

TÜRKİYE İÇİN MEVCUT ENERJİ ÜRETİMİNE ALTERNATİF YENİLENEBİLİR VE
SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİ

İrem KONYALI

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı


Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2019

KABUL VE ONAY

İrem Konyalı tarafından hazırlanan "Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi" başlıklı bu çalışma, 26 Ağustos 2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr., Mehmet Baha Karan (Başkan)



Prof. Dr., Aydın Ulucan (Danışman)



Prof. Dr., Cevriye Gencer (Üye)



Prof. Dr., Mustafa Umur Tosun (Üye)



Doç. Dr., Kazım Barış Atıcı (Üye)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr., Musa Yaşar Sağlam

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinleri yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

26/08/2019



İrem KONYALI

¹“**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**”

(1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danişmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

(2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danişmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

(3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez **danişmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.**

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, **Prof. Dr., Aydın ULUCAN** danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

İrem KONYALI

ÖZET

KONYALI, İrem. *Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.

Günümüzde fosil yakıtların tükenmesi tehlikesi dolayısıyla konvansiyonel enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim görülmektedir. Sera gazı salınım miktarının iklim değişikliği etkisi de düşünüldüğünde sürdürülebilir bir Dünya yaratmak için konvansiyonel enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru tercih olduğu görülmektedir. Bu çalışmada iki farklı optimizasyon uygulaması yapılarak uzun dönemli enerji ihtiyacının hangi enerji kaynaklarınca karşılanacağı ve mikro şebekelerde kısa dönemli hangi enerji depolama sistemlerinin kurulacağına karar verilmeye çalışılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanmanın sürdürülebilirliğe, iklim değişimine ve sera gazı salınımına olan etkisi değerlendirilmiştir. Türkiye'nin uzun dönemli enerji talebinin karşılanması değerlendirilirken konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları, hedeflenen kurulu güçleri ve beklenen sera gazı salınımı gibi unsurlar göz önünde bulundurularak çeşitli senaryolar denenmiştir. Mikro şebekelerde kısa dönemli enerji depolama sistemi seçimi için ise ekonomik, çevresel, sosyo-kültürel ve teknik unsurları da değerlendirerek Türkiye'nin farklı bölgelerinden üniversiteler seçilerek hibrit bir enerji yönetim sistemi kurmak üzere bir matematiksel problem çözdürülmüş ve farklı senaryolar ile değerlendirilmiştir. Çalışmasının sonucunda ise maliyetlere ve sera gazı salınım oranlarına bakılarak Türkiye'nin enerji talebini karşılayabilecek enerji kaynakları ve depolama sistemleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Yenilenebilir Enerji, Enerji Depolama Sistemleri, Hibrit Enerji Sistemleri, Enerji Kaynak Planlaması, Sürdürülebilirlik, Sera Gazı Salınımı, Doğrusal Programlama

ABSTRACT

KONYALI, İrem. *Selection Of Alternative Renewable And Sustainable Sources Of Energy For Turkey*, Master's Thesis, Ankara, 2019.

Nowadays, there is a shift from conventional energy sources to renewable energy sources due to the danger of depletion of fossil fuels. When the climate change effect of greenhouse gas emissions is considered, it is seen that renewable energy sources are the right choice instead of conventional energy sources to create a sustainable world. In this research, two different optimizations used for determining which energy sources will meet the long term energy needs and which short term energy storage systems will be installed in microgrids. The impact of using renewable energy sources on sustainability, climate change, and greenhouse gas emissions was evaluated. Various scenarios are evaluated for fulfilling Turkey's long-term energy demand with considering factors such as conventional and renewable energy sources, targeted setup power and expected greenhouse gas emissions. As for the choice of short-term energy storage system on the micro-network, economic, environmental, socio-cultural and technical elements are used for solving the mathematical problem of establishing hybrid energy management system in chosen universities from different regions of Turkey and evaluated with various scenarios. The result of the study determines energy sources to meet Turkey's energy demand and its storage systems with considering costs and greenhouse gas emissions rates.

Keywords

Renewable Energy, Energy Storage Systems, Hybrid Energy Systems, Energy Planning, Sustainability, Greenhouse Gas Emmission, Linear Programming

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1
1.BÖLÜM : ENERJİ, KONVANSİYONEL ENERJİ KAYNAKLARI, YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE DEPOLAMA ÇEŞİTLERİ	3
1.1. MEVCUT DURUM ANALİZİ	3
1.2. ENERJİ KAYNAKLARI	10
1.2.1. Konvansiyonel Enerji Kaynakları.....	12
1.2.2. Yenilenebilir Enerji.....	13
1.2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknik Özellikleri.....	13
1.2.3.1. Güneş Enerjisi.....	14
1.2.3.2. Rüzgar Enerjisi	16
1.2.3.3. Su Enerjisi.....	19
1.2.3.3.1. Hidroelektrik Enerjisi.....	19
1.2.3.3.2. Dalga Enerjisi.....	20
1.2.3.3.3. Gelgit Enerjisi.....	21
1.2.3.4. Jeotermal Enerji.....	22

1.2.3.5. Biyokütle Enerjisi.....	24
1.2.3.6. Hidrojen Enerjisi.....	25
1.3. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ.....	26
1.3.1. Enerji Depolama Sistemleri ve Teknik Özellikleri.....	26
1.3.1.1. Elektriksel Depolama Yöntemleri.....	33
1.3.1.2. Mekanik Depolama Yöntemleri.....	34
1.3.1.3. Kimyasal Depolama Yöntemleri.....	38
1.3.1.4. Elektrokimyasal Depolama Yöntemleri.....	38
1.3.1.5. Termal Depolama Yöntemleri.....	41
1.3.2. Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanım Alanları ve Şekilleri.....	41
1.3.2.1. Kitle Enerji Uygulamaları.....	42
1.3.2.2. Yan Servis Uygulamaları.....	43
1.3.2.3. Son Kullanıcı Enerji Yönetim Uygulamaları.....	44
1.3.2.4. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu.....	44
1.4. PROBLEM TANIMI.....	45
2.BÖLÜM : LİTERATÜR TARAMASI.....	47
2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI.....	47
2.2. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ.....	51
2.3. MİKRO ŞEBEKELER VE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMLERİ.....	58
2.4. MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR.....	64
2.4.1. Çok Kriterli Karar Verme.....	65
2.4.2. Net Bugünkü Değer Analizi.....	65
2.4.3. Matematiksel Programlama.....	66
2.4.4. Homer.....	67
3.BÖLÜM : UYGULAMA 1.....	69

3.1. TÜRKİYE İÇİN UZUN DÖNEMLİ ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİ	69
3.1.1. Enerji Kaynağı Seçimi Modellerinin Varsayımları.....	71
3.1.2. Enerji Kaynağı Seçimi Baz Modeli.....	72
3.1.3. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 1.....	74
3.1.4. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 2.....	75
3.1.5. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 3.....	76
3.1.6. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 4.....	77
3.1.7. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 5.....	78
3.1.8. Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 6.....	80
3.2. TÜRKİYE İÇİN UZUN DÖNEMLİ ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİ PROBLEMİNİN SONUÇLARI	81
4.BÖLÜM : UYGULAMA 2	97
4.1. MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA ALTERNATİFLERİ SEÇİMİ	97
4.1.1. Depo Seçimi Matematiksel Modelinin Varsayımları.....	100
4.1.2. Depo Sistemi Seçimi Matematiksel Modellerinde Kullanılan Özellikler.....	100
4.1.3. Şebeke Bağımlı Model.....	102
4.1.4. Kısmen Şebeke Bağımsız Model.....	110
4.2. MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA ALTERNATİFLERİ SEÇİMİ PROBLEMİNİN SONUÇLARI	112
SONUÇ	124
KAYNAKÇA	128
EK 1. ORJİNALLİK RAPORU	134
EK 2. ETİK KURUL / KOMİSYON İZİNİ YA DA MUAFİYET FORMU	135

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Emisyon Oranları	6
Tablo 2. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Miktarları 2018....	14
Tablo 3. Enerji Depolama Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	30
Tablo 4. Uygulama 1 Senaryo Listesi.....	70
Tablo 5. Uygulama 1 Senaryo Sonuçları.....	82
Tablo 6. Uygulama 1 Senaryoların Sera Gazı Salınım Miktarları.....	84
Tablo 7. Uygulama 1 Senaryo Bazında Birim Enerji Üretimi ve Maliyeti.....	87
Tablo 8. Uygulama 1 Senaryo Sonuçları.....	88
Tablo 9. Uygulama 2 Senaryo Listesi.....	99
Tablo 10. Uygulama 2 Üniversitelerin Enerji Talebi Dağılımı.....	113
Tablo 11. Uygulama 2 Üniversitelerin Depoladığı Maksimum Enerji.....	114
Tablo 12. Uygulama 2 Şebeke Bağımlı Modelde Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemleri Maliyetleri.....	115
Tablo 13. Uygulama 2 Şebeke Bağımlı Modelde Enerji Piyasasından Enerji İhtiyacının Karşılama Durumundaki Maliyetler.....	116
Tablo 14. Uygulama 2 Kısmen Şebeke Bağımsız Modelde Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemleri Maliyetleri.....	117
Tablo 15. Uygulama 2 Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemi Seçimleri.....	119
Tablo 16. Uygulama 2 Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemi Büyükükleri.....	120

Tablo 17. Üniversitelerin Şebekeye Göre Değişen Enerji Depolama Sistemi Maliyetleri.....	120
Tablo 18. Üniversitelerin Sera Gazı Salınım Oranları.....	121

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünya Enerji Kullanımının Kaynak Bazlı Dağılımı.....	4
Şekil 2. Türkiye Enerji Üretimi Kaynak Bazlı Dağılımı.....	5
Şekil 3. Türkiye'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2002-2013 Yılları Arasındaki Gelişimi.....	8
Şekil 4. Tasarımsal Bir Akıllı Şebeke Örneği.....	10
Şekil 5. Türkiye Güneş Potansiyeli Atlası.....	16
Şekil 6. Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası Rüzgar Yoğunluğu Haritası.....	18
Şekil 7. Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası Rüzgar Hızı Haritası.....	18
Şekil 8. Türkiye Jeotermal Kaynak Haritası.....	23
Şekil 9. Enerji Depolama Sistemleri.....	33
Şekil 10. Ultrakapasitör.....	34
Şekil 11. Bir Volanın İç Kesiti.....	35
Şekil 12. Hazneli Pompajlı Bir Hidroelektrik Sistemi Akış Şeması.....	36
Şekil 13. Sıkıştırılmış Hava İle Enerji Depolama.....	37
Şekil 14. Baz Senaryoya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	89
Şekil 15. Senaryo 1'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	90
Şekil 16. Senaryo 2'ye Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	91
Şekil 17. Senaryo 3'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	92
Şekil 18. Senaryo 4'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	93
Şekil 19. Senaryo 5'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	94

Şekil 20. Senaryo 6'ya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları.....	95
Şekil 21. Senaryo 6'ya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları Jeotermal Hariç...	95
Şekil 22. Senaryo Sonuçlarına göre 2023 yılı Kurulu Güç Miktarları.....	96

GİRİŞ

Günümüzde önemli problemlerden biri nüfus artışı ve sanayinin gelişmesiyle artan enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Enerjinin üretilmesi ve varolan veya gelecek talepleri karşılaması, fosil kaynakların tükenmesi, sürdürülebilir bir düzen kurulması gibi unsurlar göz önünde bulundurulduğunda enerji kaynaklarının seçimi konusu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın iki problemi vardır bunlar; uzun dönemli enerji ihtiyacı için enerji kaynağı seçimi ve kısa dönemli enerji kaynağı seçimidir. Yöneylem araştırmasının uygulama alanlarından olan enerji planlaması ve yatırım planlama konularından yararlanılmıştır. Doğrusal programlama yöntemi kullanılarak enerji talebi ve bu talebi karşılamak üzere enerji kaynaklarının optimize edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra ise mikro şebekeler için enerji depolama sisteminin teknik, çevresel özelliklerinden yararlanılarak seçilmiştir.

Birinci bölümde enerji kaynaklarının Türkiye ve Dünya'daki mevcut durumları üzerine bir analiz bulunmaktadır. Devamında ise enerji kaynakları ve özellikleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılabileceği enerji depolama sistemlerinin avantajları, dezavantajları ve özelliklerini detaylı bir şekilde özetlenmiştir. Bölümün sonunda bu çalışmanın konusu olan problemlerin tanımı ve bu çalışmanın literatüre katkısı yer almaktadır. İkinci bölümde yapılacak uygulamalara uygun ve araştırma boyunca yararlanılmış kaynaklardan elde edilen bulguların ve tarihçenin yer aldığı literatür taraması bulunmaktadır. Üçüncü bölümde makro düzeyde bir problem modellenerek Türkiye için uzun vadede ihtiyaç duyulacak enerji talebinin projeksiyonu yapılarak konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi yapılmıştır. Bu seçim yapılırken ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hedeflediği kaynak kullanımları da dikkate alınmıştır. Dördüncü bölümde ise bölgesel bir enerji depolama probleminin modellenmesi yapılarak nasıl bir mikro şebeke modeli oluşturulduğu üzerinde durulmuştur. Depolama sistemlerin her türlü karakteristik özelliği değerlendirilerek doğrusal programlama ile enerji kaynaklarının hangisinin hangi depo kaynağı ile kullanılacağı kararının verilmesi sağlanmıştır. Model her ne

kadar ekonomik açıdan bir optimizasyon yapıyor gibi gözükse de çok kriterli bir karar verme probleminde kullanılan her tür teknik özellik, çevresel ve sosyo-kültürel etkilerin hepsi birer değerlendirme aracı olarak kullanılmış ve sayısal modele yansıtılmıştır. Sonuç bölümünde çalışma boyunca ana amacımız olan sürdürülebilir bir dünya yaratmak için sera gazı emisyonunu azaltıp yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları kullanmanın çevresel, ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan bizlere katkısını göstermektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve başlangıçtaki hedefe ne kadar ulaşıldığı yer anlatılmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda Türkiye'nin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılarken sürdürülebilir bir Dünya konusunda katkı sağlanabileceği gösterilmek istenmiştir.

BÖLÜM I

ENERJİ, KONVANSİYONEL ENERJİ KAYNAKLARI, YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE DEPOLAMA ÇEŞİTLERİ

1.1 MEVCUT DURUM ANALİZİ

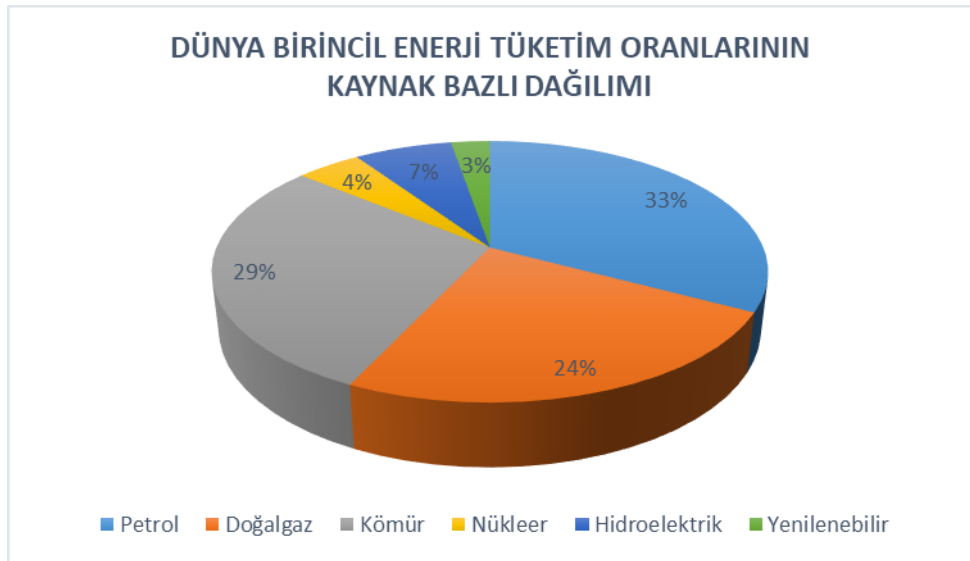
İnsanlık açısından en önemli kavramlardan birinin sürdürülebilirlik olduğu günümüzde tüm dünyaya sürdürülebilir bir yaşam kaygısı hakimdir. Sürdürülebilirlik bir çok anlamda kullanılabilirdiği gibi hayatımızın birçok alanı için de geçerli bir kaygıdır. Gerek insani ihtiyaçlarımızın karşılanmaya devam etmesi, doğal yaşamın devamlılığının sağlanması, ekonomik açıdan çarkların döndürülebilmesi ve sosyo-ekonomik konularımızın korunması bile birer sürdürülebilirlik sorunu olarak ele alınabilir.

Sürdürülebilirliğin üç tanımlı boyutu bulunmaktadır. Bunlar çevresel, ekonomik ve sosyo-ekonomik boyutlardır. Sürdürülebilirliğin boyutları açısından akif kaynakların kullanılmaya devam etmesinin dünyamıza zarar vermekte olduğu çeşitli raporlarla gözler önüne serilmektedir. Fosil yakıt kullanımının günden güne artmasıyla artan karbon salınım oranı dünyadaki yaşamı ciddi anlamda tehdit etmeyi sürdürmektedir. Çevresel boyutlar açısından yaklaştığımızda karbon salınımı, küresel ısınma, iklim değişikliği fosil kaynakların yaratmakta olduğu problemlerdir. Ekonomik olarak fosil yakıtların kullanımı her ne kadar ucuz gelse de yenilenebilir enerji kaynakları teknolojilerinin ilerlemesi ile ekonomik olarak fosil yakıt kullanmakla benzer maliyetlere indirgenmeye başlamıştır.

Tüm saydığımız etkenlerin yanında fosil yakıtlar kendilerini yenileyebilen kaynaklar değildir. Doğal olarak günün birinde tükenmeleri beklenmektedir. Enerji ihtiyacımızın gitgide artması da fosil kaynakların tükeneceği güne daha hızla yaklaşmamızı sağlamaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında elektriksiz ve enerjisiz bir yaşam düşünülemezine göre bu durumda

sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için doğal yollardan enerji elde etmek ve bu enerjiyi kullanmak doğa dostu bir çözüm yöntemi olabilir.

Günümüzde üretilen ve tüketilen enerjinin büyük kısmı yenilenemeyen yani fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir. Dünya enerji ajansının hesaplamalarına göre elektrik tüketimi 2003 yılında 14.781 milyar kilowatt saat iken 2015 yılında 21.699 milyar kilowatt saate ulaşmış ve 2030 yılı için de 30.116 milyar kilowatt saat olması beklenmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak ise 2004 yılından 2030 yılına kadar karbondioksit salınımının %55 artması beklenmekte. Yapılan araştırmalara göre global olarak enerji ihtiyacının %29'u fosil yakıt ile sağlanmakta olup birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Global anlamdaki karbon salınımının %44'ü ise fosil kaynakların enerji ihtiyacı olarak kullanılmasının acı bir sonucudur.(International Energy Agency, 2013) Şekil 1'de Dünya üzerinde enerji kaynaklarının kullanım oranlarını görebilirsiniz.



Şekil 1:Dünya Enerji Kullanımının Kaynak Bazlı Dağılımı

Konuya Türkiye açısından bakarsak 2017 yılından 2018 yılına kadar elektrik enerjisi ihtiyacı %5,6 artış göstermiş olup, elektrik üretimi %7,7 artmıştır. 2023 yılına kadar ise bu değerlerde yıllık ortalama %4,8lik bir artış beklenmektedir.

“2017 yılında Türkiye’deki elektrik üretiminin %37’si doğal gazdan, %33’ü kömürden, %20’si hidrolik enerjiden, %6’sı rüzgârdan, %2’si jeotermal enerjiden ve %2’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir.” (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Türkiye’deki enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2:Türkiye Enerji Üretimi Kaynak Bazlı Dağılımı

Türkiye’nin birincil enerji kaynakları tüketimine bakarsak %32 doğalgaz, %31 kömür ve yaklaşık %27’lik kısmı ise petrole aittir. Bu oranlara bakarsak tüketilen enerjinin yaklaşık %90’ı yenilenemeyen fosil kaynaklardan elde edilmektedir ki bu global oranın yaklaşık üç katına denk gelmektedir.

Türkiye ve Dünya’daki enerji kaynaklarının kullanım oranlarına bakarsak yenilenebilir enerji kaynaklarının yenilenemeyen ve fosil enerji kaynaklarına göre çok az kullanıldığını görebilmekteyiz. Bu oranlar gün geçtikçe değişmekle birlikte hala istenen seviyelere gelememiştir. Dünya çapında yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla beraber fosil yakıtların kullanımı da azalmaktadır. 2000li yılların başından günümüze yenilenebilir enerji kullanımı yıllık ortalama %3 oranında artış göstermiştir.

Fosil yakıt kullanmak yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji elde etmek ise üçlü performans yaklaşımına göre hem çevresel, hem sosyal, hem de ekonomik anlamda bir çok katkı sağlayacaktır. Bu araştırma boyunca bizler için en önemli konulardan biri olan sera gazları ve karbon salınımı oranı ve bunların dünyamız üzerindeki etkilerini de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırarak azaltabiliriz.

Dünya üzerindeki yaşamı tehdit eden ve sürdürülebilir yaşamın günümüzdeki en büyük problemi küresel ısınmadır. Küresel ısınma dünya üzerindeki canlı yaşamını tehdit etmekle beraber iklim değişikliğinin de başlıca sebebidir. Küresel ısınmanın en büyük sebebi ise sera gazlarının salınımıdır. 2005 yılında Birleşmiş Milletlerin ve bu öatı altındaki ülkelerin katılımıyla Kyoto protokolü imzalanmıştır. Kyoto protokolünün amacı iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımının belirli sınırlar içinde tutulmasını sağlamaktır. Günümüzde küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı birçok çalışma yürütülmektedir. Sera gazlarının içinde karbonmonoksit, karbondioksit, metan, azot ve flor içerikli gazlar vardır. Sera etkisine sebep olan en önemli etken karbondioksit gazıdır ki bu fosil yakıt kaynaklarının ana bileşeni karbon olduğundan en çok karbondioksit ve karbonmonoksit salınımına yol açan unsur fosil yakıt kaynaklarının tüketimidir. Mevcut araştırmalara göre karbondioksit salınımının %80'i fosil yakıt kaynaklarından enerji üretim ve tüketimi sırasında ortaya çıkmaktadır.

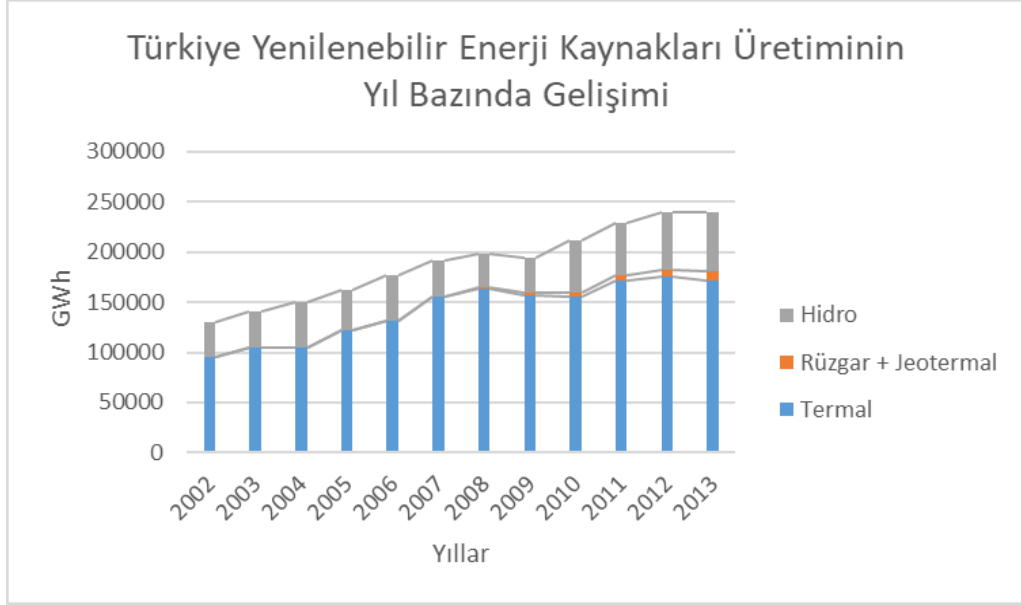
Tablo 1: Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Emisyon Oranları

Kaynak	Min. - Max. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)
Linyit	790 - 1.372	1.054
Kömür	756 - 1.310	888
Fuel-oil	547 - 935	733

Doğal gaz	362 - 891	499
Nükleer	2 - 130	66
Biyokütle	10 - 101	26
Hidroelektrik	2 - 237	26
Güneş	13 - 731	23
Rüzgar	6 - 124	10

Tablo 1’de çeşitli enerji kaynaklarının karbon salınım oranları gösterilmiştir. Fosil yakıtlara karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye olan etkisi karbon salınım oranlarından da görülebilmektedir. Yapılan araştırmalara göre fosil yakıt kullanımı 1980lerden 2008 yılına kadar 6.630milyon tondan 11.630milyon tona çıkmış karbondioksit salınımı ise 9.396 milyon metrik tondan 32.083 milyon metrik tona yükselmiştir.

Günümüzde her ne kadar kullanılsa da yenilenebilir enerji kaynaklarının hala kullanılmayan büyük bir enerji üretme potansiyeli mevcuttur. Tüm dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım ve kurulum oranları arttırılmaya çalışılmaktadır. Bununla ilgili Türkiye Enerji Bakanlığı’nın stratejik planlarında belirli hedefler bulunmaktadır. Aşağıdaki bulunan Şekil 3’te yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllar boyuncaki gelişimini ve 2013 yılı itibariyle mevcut potansiyelini görebilirsiniz.

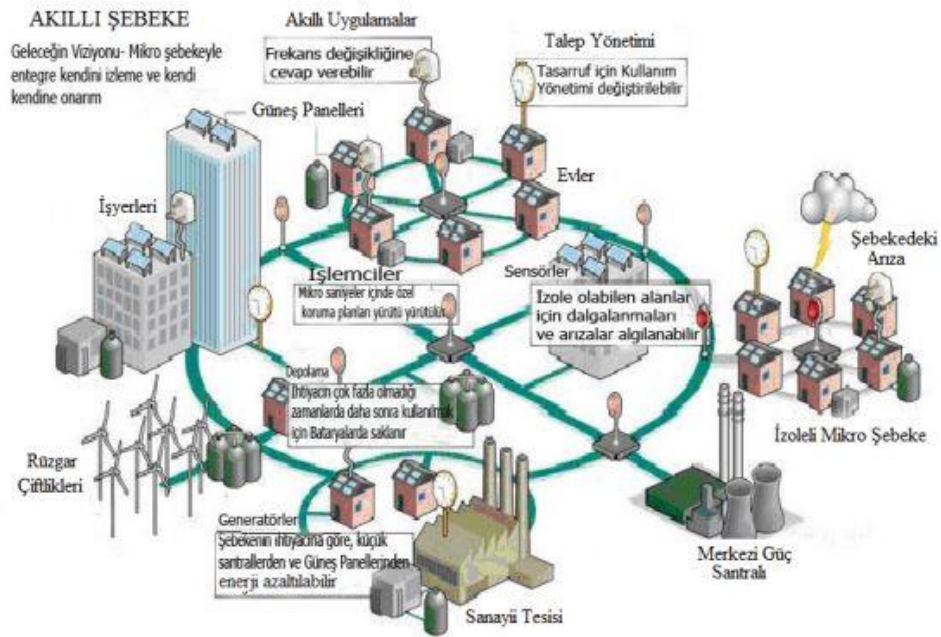


Şekil 3:Türkiye'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının 2002-2013 Yılları
Arasındaki Gelişimi

Sürdürülebilirlik kaygısı güdülerek yenilenebilir kaynaklara yönelmek beraberinde bazı sorunları getirmektedir. Bilindiği üzere yenilenebilir doğal yollardan elde edilir bu yüzden de doğası gereği kesikli bir yapıya sahiptir. Kesikli bir yapıya sahip olması bu kaynakların kullanımı konusunda fazlasıyla bir dezavantaj yaratmaktadır. Herhangi bir noktadaki enerji tüketimimize bakarsak örneğin bir evde; günün her saatinde aynı miktarda enerji kullanmayız ancak sürekli bir enerji ihtiyacımız mevcuttur. Şimdide doğal yollardan elde ettiğimiz bir enerjiyi düşünelim mesela rüzgar enerjisinden elektrik ürettiğimizi varsayarak rüzgarın stabil olmaması her noktada aynı yoğunluk ve hızla esmemesi, gün içi saatlerde farklı hızlara sahip olması durumlarına bakarsak bir rüzgar tribününden her an aynı miktarda enerji üretmesini bekleyemeyiz. Doğal olarak bir rüzgar tribünü için her saat enerji üretmek mümkün olmamaktadır. Aynı şekilde güneşten sadece gündüzleri yararlandığımız için geceleri güneş enerjisini doğal yollardan kullanarak enerji elde etmemiz mümkün değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının hepsi açısından kesikli bir doğaya sahip olması sorun yaratmaktadır. Bu dezavantajı bir avantaja çevirmek ise enerji depolayabileceğimiz sistemlerin kullanılmasıyla mümkün kılınmıştır.

Yenilenebilir enerjinin kullanılmasıyla beraber enerji depolama sistemlerine olan ilgide günden güne artmaktadır. Enerji depolamak kompleks bir konu olsa da birçok alanda enerji ihtiyacının karşılanması açısından önemli bir yardımcıdır. Elektrik kesintileri, ani enerji yüklenmesi vb. durumlarda enerji depolarından yararlanılabilir. Enerji depolarının da çeşitli kısıtları bulunmakla birlikte (yer, maliyet, yaşam ömrü, verimlilik vb.) yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemlerinin bir arada kullanılması ayrı olmalarından çok daha efektif bir sonuç elde etmemizi sağlar.

Bölgesel olarak izole veya küçük bölgeler kendi içlerinde akıllı ve mikro şebekeler kurulması için ideal yerlerdir. Akıllı şebekeler içerisinde kendi enerjilerine üreten ve depolayan şebekelerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi yapıp daha sonra hibrit enerji depolama sistemleri yardımıyla bu enerjiyi depolayarak enerji üretmedikleri durumlarda kullanırlar. Akıllı şebekeler çevre dostu bölgesel bir yaşam alanıdır. Talebine göre üretimini ve depolamasını gerçekleştiren bu şebekelerle ilgili bir çok araştırma mevcuttur. Bu çalışmadaki temel amaçlarımızdan biri de var olan bir nokta için akıllı bir şebeke kurulumu gerçekleştirmenin maliyet olarak optimizasyonunu çıkarmaktır. Şekil 4'te tasarımsal olarak bir akıllı şebekeyi görebilirsiniz.



Şekil 4: Tasarımsal Bir Akıllı Şebeke Örneği (KOCAMAN B., 2013)

Akıllı şebekeler veya bölgesel enerji depolamaları tek evden başlayarak büyük bir alan için bir ara çözüm üretmektedir. Yenilenebilir enerjinin depolanması, son kullanıcı talebini karşılamayı sağlarken bir yanında da ekonomik kazanç sağlama imkanı tanımaktadır. Bu açıdan baktığımızda ekonomik açıdan sürdürülebilir kalkınma için yararlı olduğunu görebiliriz. Aynı zamanda istihdam imkanı ve teknoloji gelişmesi yarattığı içinde sosyo-ekonomik anlamda katkı sağlamaktadır. Fosil yakıtlara göre fazlasıyla doğa dostu olduğunu da göz önüne alınca sürdürülebilirliğin 3 boyutunu da sağlayan bir çözüm yöntemi haline geldiğini görebiliriz.

1.2 ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, sözlükte iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynakları ise bir maddenin iş yapabilme yeteneği için tanımlanan enerjinin elde edildiği yer olarak sözlükte yer almaktadır. Enerji kaynaklarını yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, birincil(doğadan elde edilen ve işlenmemiş

enerji) ve ikincil(birincil enerji kaynaklarının işlenmesi yoluyla elde edilen enerji) enerji kaynakları gibi çeşitli sınıflandırmalara tabi tutabiliriz.

Enerji kaynaklarının yenilenebilirliği tüketildikten sonra kısa zamanda kendini yenileyebilmesi, doğaya zararlı atıklar bırakması ve sürdürülebilir olması gibi unsurlarla ölçülür. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına petrol, benzin, dizel yakıt, doğal gaz, fosil yakıtlar, kömür, linyit, nükleer enerji örnek verilebilirken, yenilenebilir enerji kaynaklarına ise güneş enerjisi, rüzgar enerjisi örnek olarak gösterilmektedir.

Konvansiyonel yani geleneksel enerji kaynakları olarak adlandırılan kaynaklar günümüzde en çok kullanılan, daha önceden keşfedilmiş, yenilenebilir olma özelliğine sahip olmayan kaynaklardır. Bu kaynakların ortak özellikleri istenen düzeyde üretilebilmeleri, fosil kaynaklı yakıtlar olmaları, depolanma ihtiyacı duyulmaması, yüksek miktarda sera gazı salınımı yapmaları ve sürdürülebilir olmamalarıdır. Petrol, kömür, doğal gaz ve hatta nükleer enerjiyi de bu kaynaklar arasında sayabiliriz.

Birincil enerji kaynakları yüksek enerji yoğunluğuna sahip ve depolanabilir enerjilerdir. Ancak çoğu yenilenebilir enerji kaynağı oldukları doğal formlarında depolanamazlar. Bu tip depolanamayan doğal kaynakları ikincil forma dönüştürerek saklamak gereklidir. Gaz veya likit haldeki ikincil enerji formlarını saklamak çok kolayken ısı veya elektrik şeklinde olan ikincil enerji formlarının depolanması zordur. Isı ve elektrik enerjisinin depolanması birincil enerji kaynaklarının kullanımını azaltarak sera gazı salınımının düşmesine yardımcı olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğal akış içerisinde elde edildiğinden süreklilik sağlamak amacıyla enerji depolama sistemleri ile destek vermek bu kaynaklardan daha çok verim elde etmemizi sağlar. Enerji depolama sistemleri ise mekanik, kimyasal, elektriksel, elektrokimyasal gibi çeşitli sınıflandırmalara sahiptirler. Enerji depolama kaynakları elde edilen enerjinin dönüştürülüp saklandığı sistemlere verilen genel isimdir. Bataryalar, volanlar, sıkıştırılmış hava, yakıt hücreleri gibi çeşitleri vardır.

Enerji depolama kaynaklarını birbirinden ayıran bazı temel özellikler vardır. Kullanım yerleri, kullanım masrafları, ömürleri, kullanılan enerji kaynağı ve verimliliği gibi. Bu özellikler doğrultusunda enerji depolama kaynaklarını birbirlerinden ayırabilir veya bir kısmını bir arada kullanarak hibrit sistemler elde edebiliriz.

Enerji depolama sistemlerinin birkaç temel amacı vardır bunlar; enerji ihtiyacının pik olduğu durumlarda ihtiyacın karşılanması, sürekli kullanılabilirlik, bölgesel enerji ihtiyacının karşılanması, yük dengesinin sağlanması ve frekans dalgalanmalarının azaltılmasıdır.

1.2.1 Konvansiyonel Enerji Kaynakları

Günümüzde üretilen ve tüketilen enerji büyük bir çoğunlukla konvansiyonel kaynaklar yoluyla olmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları uzun yüzyıllardır bilinmekte ve kullanılmaktadır. Konvansiyonel kaynaklar ise fosil yakıtları kullanmaktadır. Günümüzde artan nüfus ve enerji ihtiyacı ise fosil kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. En geç birkaç yüzyıl içerisinde fosil kaynakların tükeneceği düşünülmektedir.

Konvansiyonel kaynaklar kendilerini çok uzun sürelerde yenileyebildikleri için bunlar yenilenebilir kaynaklar arasında sayılmamaktadır. Ancak teknolojilerinin yeterli gelişmişlik düzeyine erişmesinden kaynaklı olarak sürekli üretim yapabilen kaynaklardır. Bu süreklilik durumu ise rezervlere bağlı olduğundan sürdürülebilir değildir. Başlıca konvansiyonel enerji kaynakları petrol, linyit, doğalgaz, taş kömürü ve 1970li yıllarda bu kaynakların arasına katılan nükleer enerjidir.

Fosil kaynakların tükenişi, nükleer atıkların çevresel olarak yarattığı kirlilik, fosil kaynaklı yakıtların sera gazı salınımının yüksekliği gibi unsurlar sürdürülebilirliği tehdit etmekte ve dünyayı yeni enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir.

1.2.2 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları doğal yollardan elde edilen, sürdürülebilirliği ve devamlılığı olan, tüketildikten sonra kısa sürede kendini yenileyebilen ve bitmeyen kaynakların genel adlandırılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları pratikte sınırsız bir enerji kaynağı olarakta görülmektedir. Güneş ışımalarının hiç bitmemesi, rüzgarın her gün esmeye devam etmesi veya akarsuların gel git hareketlerine devam edecek olması bu duruma örnek olarak gösterilebilir.

En temelde kullandığımız yenilenebilir enerji kaynaklarından biri güneş ve rüzgar olmakla beraber jeotermal, biyokütle, okyanus, akarsu ve diğer su kaynaklarından elde edilen enerji, hidrojen gibi başka kaynaklarda bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilir kalkınma açısından önemli olduğunu gösteren birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajların en başında sera gazı ve karbon emisyon miktarlarının yenilemeyen enerji kaynaklarına göre büyük oranda düşük olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları genel olarak çevre dostudur çünkü doğanın kendi akışı içinde elde edilir. Bazı tiplerinin kurulum maliyetlerinin çok yüksek olması bir dezavantaj olarak gözükmele beraber dışa bağımlı olmaması, acil durumlardaki kullanılabilirliklerin yüksek olması gibi unsurlar bu kaynakların daha çok avantajlı olduğunu gözler önüne sermektedir.

1.2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Teknik Özellikleri

Yenilenebilir enerji kaynakları dediğimizde akla ilk gelen güneş ve rüzgar enerjisidir. Bunların dışında jeotermal enerji, biyokütle ve biyogaz enerjisi, hidrojen enerjisi, hidroelektrik enerji, dalga enerjisi ve gelgit enerjisi de yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Hidroelektrik, dalga ve gel-git enerjilerinin hepsi sulardan elde edilen enerjiler olup tek başlık altında toplanabilir. Tablo 2’de 2018 itibariyle Türkiye’nin yenilenebilir kaynaklarına ait kuru güç miktarları gösterilmiştir.

Tablo 2 : Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Miktarları 2018
(TEİAŞ)

Enerji Kaynağı	Kurulu Güç
Hidrolik	28.114,4 MW
Rüzgar	7.005,1 MW
Güneş	5.062,9 MW
Jeotermal	1.282,5 MW
Biyokütle	646 MW

Teknik olarak bakarsak yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulum maliyetleri çok yüksektir ancak çevreyi korumadaki başarısı, sosyo-ekonomik katkıları fosil yakıtlara göre çok fazladır. Her kaynağın farklı çevrim yolları ve bu çevrimlerin ise farklı verimlilik ve sera gazı salınım oranları mevcuttur. Bu bölüm boyunca yenilenebilir enerji kaynaklarından, özelliklerinden ve bu kaynaklardan elde edilen enerjinin çevrim yollarından bahsedilmiştir.

1.2.3.1 Güneş Enerjisi

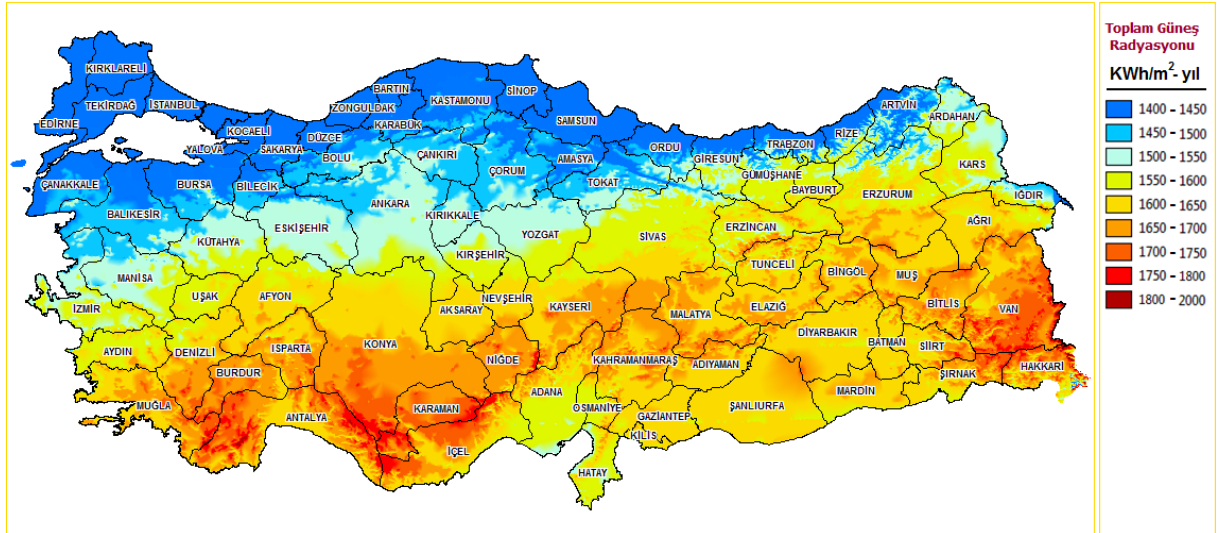
Güneşte yaşanan füzyon tepkimeleri sonucunda güneşin yaptığı ışımaya güneş enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Güneşten gelen ışımının yalnızca %50'si yeryüzüne düşmekte olsada çok yüksek miktarda enerji potansiyeline sahiptir. Güneş panelleri veya diğer adıyla güneş pilleri yani fotovolatik sistemler olarak adlandırılan sistemler sayesinde ışımının getirdiği enerji elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir.

Güneş enerjisi günümüzde bir çok amaçla kullanılmaktadır. Bunlar; binaların ısıtılması ve soğutması, sıcak su elde edilmesi, deniz suyunun arıtılması yolu ile saf su ve tuz eldesi, bitki/meyve/sebze kurutulması, buhar elde edilmesi, hidrojen ve elektrik üretilmesi olarak örneklendirilebilir. Güneş enerjisinin özellikleri;

- Havanın bulutlu olmasından etkilenir
- İşletme gideri düşüktür
- Heryerde kullanılabilir
- Bölgesel kullanım için oldukça elverişlidir
- İlk yatırım maliyeti yüksektir
- Geniş alana ihtiyaç duyar

Güneş enerjisi ilk olarak 1930lı yıllarda alternatif bir enerji kaynağı olarak görülmeye başlanmış ancak çalışmalar sadece araştırma düzeyinde kalmıştır. 1960larda ortaya çıkan petrol krizi sırasında bu potansiyelden yararlanma kararı alınmıştır. Bunun temel sebebi Dünya üzerine 1 yılda düşen güneş miktarından elde edilebilecek enerjinin yaklaşık değerinin bilinen petrol rezervlerinin 516 ve kömür rezervlerinin 156 katı olmasıdır. 1970li yıllarda Türkiye’de bu potansiyeli görüp araştırmalara başlamıştır. (Alkan A., 2016)

Dünya üzerinde potansiyel olarak en yüksek enerji üretiminin gerçekleştirilebileceği yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Teorik hesaplara göre Dünyadaki birincil enerji ihtiyacının yaklaşık yirmi katını güneş enerjisi bize sağlayabilecek kapasitededir. Türkiye açısından bakarsak günlük ortalama 7.5 saatten yıllık ortalama 2.741 saatlik güneşlenme süresi vardır. Yıllık toplam 1.527 kWh/m².yıl güneş enerjisi Türkiye’ye ulaşmaktadır. (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018) Şekil 5’te Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelini görebilirsiniz.



Şekil 5: Türkiye Güneş Potansiyeli Atlası (YEGM, 2018)

Haritadan da görülebileceği üzere güneş enerjisi potansiyeli en yüksek olan bölge Güneydoğu Anadoludur. Güneydoğu Anadolu'nun hesaplanan yıllık güneşlenme süresi 2993 saat ve yıllık ortalama güneş ışınımı 1.460 kWh/m².yıl'dır.

Işık enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlere güneş hücreleri veya fotovoltaik hücreler denir. Yüzeyle çarpan güneş ışınlarının yarı-iletken malzemeler yardımıyla elektronlarından ayrıştırılması yöntemiyle elektrik enerjisine direkt olarak çevrilir. Tek bir hücrenin verimliliği %5-%30 arasındadır. Daha fazla enerji elde etmek için güneş hücreleri bir arada paralel veya seri olarak bağlanırlar. Çok sayıda hücrenin bir araya gelmesiyle güneş panelleri oluşturulur. Birçok farklı tipte malzeme ile yapılan çeşitli güneş panelleri mevcuttur.

1.2.3.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinin ana kaynağı güneştir. Güneşin her yeri homojen ısıtamaması sonucunda ortaya çıkan basınç, nem ve sıcaklık farkından dolayı rüzgar oluşur. Rüzgarın oluşturduğu kinetik enerji rüzgar türbinleri sayesinde mekanik enerjiye ve daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülür.

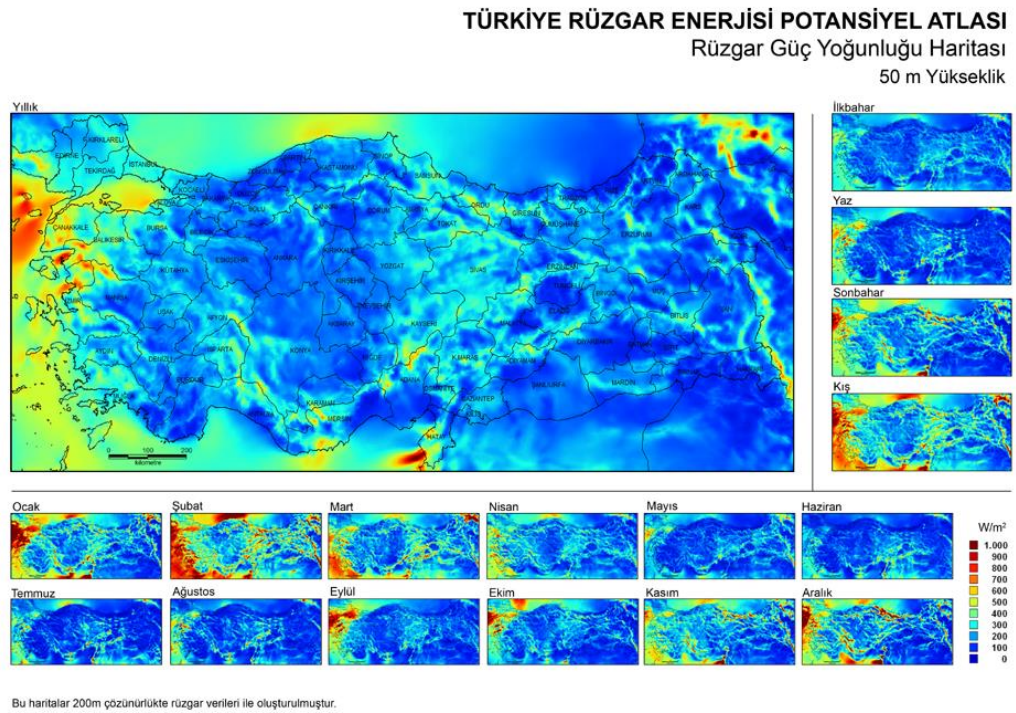
Rüzgar enerjisinin genel özellikleri aşağıda listelenmiştir.

- İlk yatırım maliyeti yüksektir
- Bakım ve onarım maliyeti düşüktür
- İstihdam yaratır
- Çevre dostudur
- Atmosferde bolca bulunur
- Zamanla fiyatının artma ihtimali yoktur çünkü kaynağı güvenilirdir
- Kapasite faktörü düşüktür
- Kurulumu hızlıdır
- Bölgesel olarak farklılıklar gösterir
- Kuşların göç yolu üzerine kurulmaması gerekir ekolojik açıdan zarar verebilir
- Coğrafik olarak bazı kısıtları vardır bölge seçimi ona göre yapılmalıdır

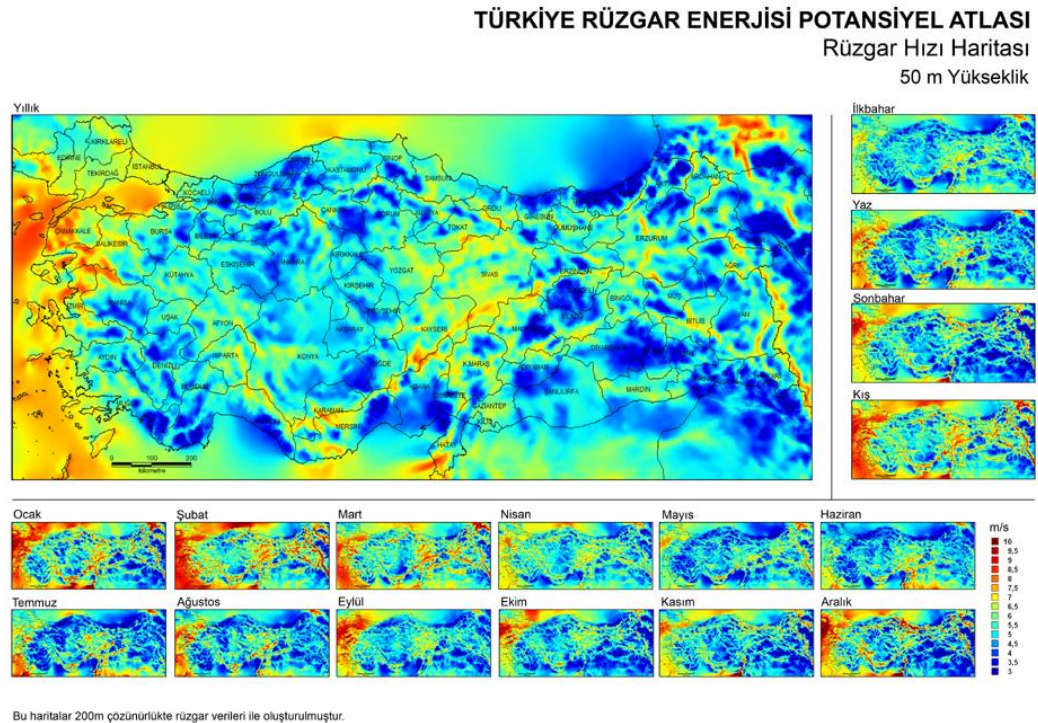
Rüzgardan enerji üretme fikri millattan önceki yıllara kadar dayanmaktadır. 1800lü yılların sonunda ise modern tekniklere geçilmiş ve rüzgardan elektrik üretimi başlamıştır. Türkiye’de ise 1900lü yılların sonunda çalışmalar başlamıştır.

Türkiye’nin mevcut durumdaki rüzgar potansiyeli değerlendirildiğinde 2006dan 2015 yılına kadar yaklaşık 92 kat kurulu güç artımı sağlanmıştır. 2015 yılında rüzgar ile üretilen toplam 11.543 GWh’lik enerji elektrik ihtiyacının %4,4ünü karşılayabilmiştir. Türkiye’nin toplam rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olup tümü kullanılabilseydi elektrik ihtiyacının %44’ünü karşılardı. Yakın zamanda Türkiye için mevcut ve lisansı alınacak kaynaklar dahil edildiğinde elektrik ihtiyacının %12’sinin rüzgar enerjisinden karşılanması beklenmektedir. 2018 verilerine göre dünyada kurulu rüzgar enerji santrallerin toplam gücü ise ülkemizden 100 kat daha fazladır. Yine de buna rağmen kurulu güç anlamında Avrupa ülkeleri arasında 7.sırada Türkiye bulunmaktadır.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’ne göre rüzgar enerjisinden yararlanmak için en az 50 m yükseklik ve 7m/s’lik rüzgar hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 6 ve Şekil 7’de Türkiye’nin rüzgar enerji potansiyelini oluşturan rüzgar yoğunluğu ve rüzgar hızı gösterilmiştir.



Şekil 6: Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası Rüzgar Yoğunluğu Haritası (YEGM, 2018)



Şekil 7: Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası Rüzgar Hızı Haritası (YEGM, 2018)

Rüzgar türbinleri rüzgarda bulunan kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirirler. Dişli kutusu, pervanesi, jeneratörleri, frenleme mekanizması, platformu, kulesi ve daha birçok mekanizmadan oluşurlar. Rüzgar türbinlerini dönme eksenlerine, kanat sayılarına göre sınıflandırabiliriz. Rüzgar türbinlerinin bir arada bulunduğu alanlar ise rüzgar enerji santralleri olarak adlandırılır. Rüzgarı yakalamak için belirli yükseklik, açıklık ve farklı coğrafi unsurların bir arada olması gerektiğinden alan seçimi önemli ve zorlayıcıdır. Kurulumu hızlı ancak maliyetlidir. Uzun ömürlüdürler ve maliyetlerini çok hızlı bir şekilde çıkarabilirler.

1.2.3.3 Su Enerjisi

Su ile ilgili yenilenebilir enerji kaynaklarının en bilineni hidroelektriktir. Diğer su ile ilgili yenilenebilir kaynaklar çok kullanılsa da dalga enerjisi ve gelgit enerjisi gibi okyanustan elde edilen enerji çeşitleri vardır. Her ne kadar yüksek potansiyele sahip bir enerji çeşidi olsa da henüz elektriksel enerjiye çevrimi tam olarak sağlanamadığından gelişme aşamasındaki bir teknolojidir ve Dünya üzerinde pilot denemeler yapılmaktadır.

1.2.3.3.1 Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik veya hidrolik enerjisi en gelişmiş teknolojiye sahip olan yenilenebilir enerji çeşididir. Su akışının yarattığı kinetik enerjinin kanallar ve türbinler yardımıyla elektrik enerjisine çevrilmesiyle elde edilen enerjiye hidrolik enerjisi denir. Hidroelektrik enerjisi elde etmede en önemli unsurlar suyun akış hızı ve düştüğü yüksekliktir.

Doğal ve yapay barajlara hidroelektrik santraller kurulması ile enerji çevrimi yapılmaktadır. Barajlarda durgun halde bekleyen potansiyel enerjiye sahip olan suyu türbinlere gönderilerek kinetik enerji kazandırılır. Ardından türbinlerdeki kinetik enerji mekanik enerjiye çevrilir. Mekanik enerji ise jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine çevrilerek süreç tammalanır.

Dünya üzerinde en çok enerji ihtiyacını karşılayan yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik santralleridir. Türkiye’de kurulu gücün yaklaşık %32’si hidrolik santrallerden sağlanmaktadır.

Hidroelektirik enerjisinin özellikleri aşağıda yer almaktadır.

- Çevre kirliliğine sebep olmaz
- İstihdam yaratır
- Enerjinin birim maliyeti düşüktür
- Verim kaybı azdır
- Hızlı bir şekilde devreye alınabildiğinden acil enerji kesintilerinde kullanılabilir
- Hızlı devreden çıkarılabilir
- Yatırım maliyeti ve kurulum süresi fazladır
- Teknik ömrü uzundur
- Bakım onarım maliyetleri düşüktür
- Yağışa bağlı enerji üretir
- Depremde felakete sebep olabilir
- Sosyo-ekonomik katkısı yüksektir

Hidroelektrik santralleri akan su veya barajda birikmiş suyun akış gücü yardımıyla elektrik enerjisi elde etmeyi sağlayan sistemlerdir. Suyun yüksek bir yerden akıtılması ile veya zaten halihazırda akan bir suyun akış hızını alarak kanallar yardımıyla alınan su türbinlerin dönmesini sağlar. Dönen türbinler jeneratörlerle bağlanır ve türbinde oluşan mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Sahip oldukları depolama tipleri veya pompajlı olup olmamasına göre hidroelektrik santrallerini ayırabiliriz.

1.2.3.3.2 Dalga Enerjisi

Kısaca bahsetmek gerekirse dalga enerjisi denizlerde oluşan dalgaların hareket ve basıncından elde edilen enerji çeşididir. Her ne kadar dünyanın yaklaşık %70'i deniz ve okyanus olsa da yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında en az kullanılan çeşit enerji dalga enerjisidir.

Dalga enerjisini dönüştürmek için dalga jeneratörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelgit enerji sistemleri, dalga çiti, deniz suyu salınımı, deniz suyu ısı enerji kazanım veya akıntı ile enerji üretim sistemleri dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

Dalga enerjisinin özellikleri;

- İstihdam sağlar
- Kıyıların korunmasına yardımcı olur
- Yeni keşifler sağlar
- Çevre kirliliği yaratmaz
- Hava koşullarından etkilenir
- Her yerde kullanılamaz
- Çalıştırma ve bakım maliyeti düşüktür

Şeklinde sıralanabilir.

Dalga enerjisinin çevrilmesi fikrinin ortaya çıkışı 1800lü yıllara dayanmakla birlikte teknolojinin olgunlaşması 1900lü yılların son çeyreğinde gerçekleşmiştir.

Dünya üzerinde toplam olarak 5,69 MW'lık kurulu dalga enerjisi istasyonu veya tarlası bulunmaktadır. Ülkemizde ise kurulu herhangi bir dalga enerjisi istasyonu yoktur.

1.2.3.3.3 Gelgit Enerjisi

Gelgit olayı esnasında ay, dünya ve güneşin çekim gücü ile oluşan merkezkaç kuvveti sonucunda denizlerdeki büyük dalgalanma hareketinden elde edilen enerjiye gelgit enerjisi denir. Dünya'da yaklaşık 3000GW'lık gelgit enerjisi bulunmasına rağmen sadece %2'si elektrik üretmek için kullanılabilir. (www.enerjibes.com)

Gelgit enerjisini iki yolla kullanabiliriz. İlk yöntem suyun bir baraj veya haznede biriktirilmesi ve kot farkı oluşturularak bu kot farkından doğan suyun potansiyel enerjisini türbinler yardımıyla elektrik enerjisine çevirmektir. Bir diğer yöntem ise türbinler yardımıyla dalgaların hareketi sırasında türbinlerin dönmesi sağlanıp bağlı olduğu jeneratör yardımıyla elektrik üretimini sağlamaktır.

Gelgit enerjisinin özellikleri;

- Temiz bir enerjidir herhangi bir gaz salınımı yapmaz
- Potansiyeli büyüktür

- Tuzlu sudan içme suyu elde edilmesine yardımcı olur
- Enerji çevrimi için kurulan santrallerin maliyeti çok yüksektir
- Santrallerin kapladığı alan çok büyüktür.

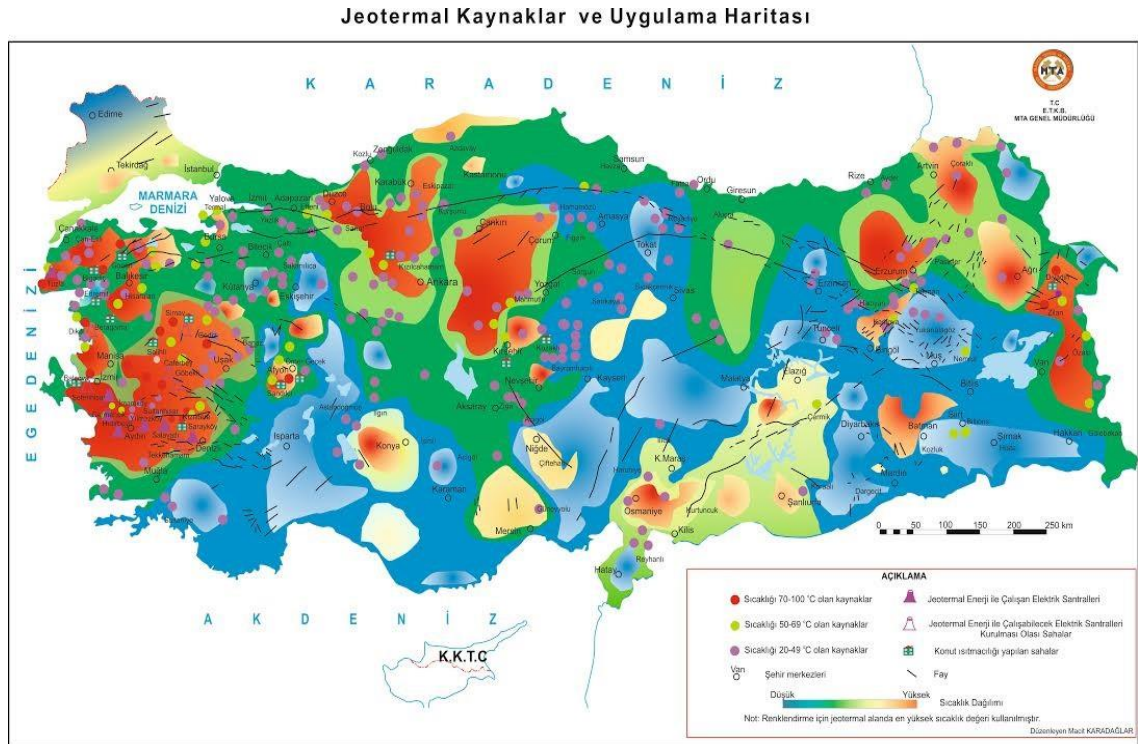
1100lü yıllarda ilk olarak ispanya, ingiltere ve fransa'da keşfedilen gelgit değirmenleri kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde Dünya üzerinde çeşitli yerlerde kurulu gelgit santrallerinin toplam gücü 521,6MW olmasına karşın Türkiye'de kurulu gelgit santrali yoktur.

1.2.3.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal kelimesi Yunancadan gelmekte ve dünya ısısı demektir ve dünyanın alt katmanlarında bulunan termal enerjiden geldiği için bu şekilde isimlendirilmiştir. İlk olarak 1990lü yıllarda İtalya'da elektrik üretimi amaçlı kullanılmaya başlamıştır.

Yeraltında bulunan ve yeryüzündeki sularla beslenen havzalarda biriken ısının meydana getirdiği çeşitli mineral, tuz ve kayaçlarında bulunduğu termal su kütleleri jeotermal enerjiyi meydana getirmektedir. Aktif fay hatları ve Alp-Himalaya hattında bulunmasından kaynaklı olarak Türkiye'nin ciddi bir jeotermal enerji potansiyeli mevcuttur.

Dünya üzerinde 2018 yılı itibariyle kurulu jeotermal enerji gücü 14.369 Gwe civarlarında olmakla birlikte elektrik enerjisi üretimi konusunda ilk 5 ülkeden biri de Türkiye'dir. Şekil 8. Türkiye Jeotermal Kaynak Haritasında da görülebileceği üzere Türkiye jeotermal enerji konusunda oldukça fazla kaynağa sahiptir.



Şekil 8 : Türkiye Jeotermal Kaynak Haritası (MTA Genel Müdürlüğü, 2018)

Jeotermal enerji doğrudan veya doğrudan olmayan yollarla kullanılabilir. Doğrudan kullanım yolları ısıtma, endüstriyel kullanım ve turizm gibi amaçlarla olmakla birlikte elektrik enerjisi üretimi doğrudan olmayan kullanımı yoluyla elde edilmektedir. Jeotermal enerjiyi 3e ayırırız ve bunlar ısı seviyesine göre düşük, orta ve yüksektir. Düşük ve orta ısıdaki kaynaklar doğrudan kullanım için kullanılmaktadır. Yüksek ısı kaynakları ise endüstriyel amaçlı olarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Jeotermal enerjinin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Maliyeti yenilenebilir enerjiler arasında en düşük olandır
- Üretim verimi yüksektir
- Çok kısa bir sürede kendini amorti edebilir (2-3yıl)
- Yeni teknolojiler sayesinde çevreye zararı sifıra yaklaşmıştır
- Reenjeksiyon sayesinde yenilenebilitesi artırılabilir
- Tamamen kesintisiz olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır

- Elektrik üretmek fosil yakıtlara göre %80 daha ucuzdur. (Şimşek N., 1998)

Jeotermal enerjinin elektrik enerjisine çevrimi için jeotermal enerji santralleri gereklidir. İki farklı tipte santral kullanılmaktadır. Bu santrallerde temel olarak jeotermal enerji kaynağı kullanılarak öncelikle kinetik enerjiye çevrilen jeotermal enerji daha sonra elektrik enerjisine çevrilmektedir.

1.2.3.5 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle tanımı canlı organizmalardan üretilen maddelere verilen isimdir. Biyokütle ismi biyolojik olan ancak fosil olmayan organik madde kütlesinden gelmektedir. Çürümeye terk edilen canlı organizma atıkları biyokütle olarak adlandırılır ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle örnek verebileceğimiz birçok atık türü vardır.

Biyokütle enerjisi evlerden atılan meyve ve sebze çöpleri gibi organik atıklar, hayvanların dışkıları, ağaçların bir kısmı, buğday, mısır gibi yetiştirilen bitkiler gibi doğada bulunan organik atıklardan elde edilebileceği gibi sanayi ve endüstri atıklarından da elde edilebilir. Biyokütle enerjisi bu atıkların doğrudan yakılabilmesiyle elde edilebileceği kompleks süreçlere tabi tutularak da enerji elde etmek için kullanılır.

Biyokütle enerjisinin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Her yerde yetiştirilebilir olması
- Depolanabilir olması
- Sera gazı salınımının çok düşük olması
- Atmosferdeki karbondioksit çevrimine katkı sağlaması
- Farklı ölçeklerde enerji üretimi için kullanılabilirliği
- Kırsal alanlarda sosyo-ekonomik olarak katkı sağlaması
- Asit yağmurlarına neden olmaması

Biyokütle temel olarak 3 çeşit yöntem kullanılarak enerjiye çevrilmektedir. Bu yöntemler termokimyasal, fizikokimyasal veya biyokimyasal dönüşüm yollarıdır. Piroliz, karbonlaştırma, gazlaştırma, doğrudan yakma, fermantasyonlaştırma ise

bu yöntemlerden bazılarının alt aşamalarıdır. Elektrik enerjisi için biyokütleden elde edilen biyogaz kullanılır. Biyogaz üretimi hayvan gübresinin kokusunu yok etmeye, yabancı ot tohumlarının çimlenmesine engel olmaya, sağlık ve çevreyi etkileyecek etmenlerin yok olmasına katkı sağlamakla birlikte gübreden daha yararlı bir organik oluşuma neden olmaktadır.

Özellikle orman atıklarının yakılarak biyogaza dönüştürülmesi ile elektrik enerjisine dönüşüm kullanılmakla birlikte hayvansal ve bitkisel atıklarda aynı işlem için kullanılabilen ve bu sayede çevreye katkı sağlamayan gübreler yararlı bir hale getirilmektedir. Biyokütlenin çevrimi için biyogaz santralleri kullanılarak çevrim sağlanmaktadır.

1.2.3.6 Hidrojen Enerjisi

Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının altında bahsedecek olsakta aslında hidrojen birincil enerji kaynağı değildir. Doğada serbest halde bulamadığımız hidrojeni her türlü enerji kaynağından sağlamamız mümkündür. Teorik olarak hidrojen enerji taşıyıcısı olduğundan her çeşit enerji kaynağıyla birlikte kullanılabilir. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen hidrojen doğaya zararsızken fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen çevre dostu değildir.

Hidrojen yaklaşık 200 yıldan uzun bir süredir enerji taşıyıcısı ve yakıt olarak kullanılmaktadır. 1805 yılında icat edilen içten yanmalı motorlar hidrojen ile çalışmaktadır. Araç yakıtı, mutfaklar, elektronik aletler, sanayi, uzay çalışmaları gibi birçok farklı alanda kullanılması mümkündür. Bu yüzden ki enerji taşınımı için de kullanılabilir. Elektrikten daha verimli bir şekilde enerjiyi bir yerden bir yere taşıma özelliğine sahiptir. Geleceğin yakıtı olarak adlandırılan hidrojenin özellikleri;

- Kolay ve güvenli taşıma sağlama,
- Her yerde kullanılabilme
- Tükenmeme
- Taşıma sırasındaki enerji kaybının olmaması veya çok az düzeyde olması

- Depolanabilmesi
- Temiz bir kaynak olması
- Çevreye zararlı olmaması
- Birim kütle başına sahip olduğu yüksek kalori değeri
- Ekonomik olması
- Karbon içermemesi
- Hafif olması
- Yüksek verimle enerji üretebilmesi
- Doğrudan yakılabilir veya kimyasal yolla kullanılabilirliği
- Elektrik ve mekanik enerjiye dönüşümünün kolaylığı

ile hidrojen enerjisi bir çok açıdan sürdürülebilir kalkınma konusunda çok avantaj sağlamaktadır. Hidrojen bir yakıt hücresinde, elektrik santralinde veya su ile bir hidrojen kaynağı olarakta kullanılabilir. Hidrojen bir yakıt hücresinde, elektrik santralinde veya su ile bir hidrojen kaynağı olarakta kullanılabilir.

Hidrojenin saydığımız avantajları henüz gelişmekte olan bir enerji türü olduğundan her zaman geçerli olamamaktadır. Hidrojenle ilgili çalışmalar günümüzde hala yürütülmekte olup gelecekte yüksek oranda kullanılması beklenmektedir.

1.3 ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

1.3.1 Enerji Depolama Sistemleri ve Teknik Özellikleri

Ekonomik açıdan baktığımızda üretilen bir enerji kullanılmadığı takdirde boşa üretilmiş ve maddi kayıp yaşatmaktadır. Geleneksel yollardan elektrik enerjisi üretildiğinde anlık olarak bu enerjinin tüketilmemesi yani fazla üretilmiş olması bir kayıptır. Bu kaybı önlemek adına enerjinin depolanabilmesi gerekmektedir.

Enerji depolama ihtiyacı yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin bazı koşullara bağlı ve değişken olması nedeniyle doğmuştur. Bir önceki bölümde de bahsettiğimiz gibi aslında ciddi potansiyellere sahip olan yenilenebilir enerji her an kullanılmamaktaydı. Bunun en basit örneği geceleyin güneşin olmayışı veya kış mevsiminde ışınımın düşük seviyelerde olması. Oysa gündüz ışınım yapılan saatlerde üretilen tüm güneş enerjisini kullanmayı tercih etmeyebiliriz.

Bu durumda üretilen enerjinin boşa gitmesi ve ekonomik bir kayıp durumu söz konusu olacaktır.

Sürdülebilir bir yaşam için bu kadar önemli olan bu yenilenebilir enerji kaynaklarını hep kullanmak için enerji depolama sistemleri olarak adlandırılan sistemler kullanılır. Enerji depolama sistemleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisini bu kaynaklardan faydalanamayacağımız durumlarda da kullanabilir hale getirebiliriz. Hava durumunun oluşturduğu dalgalanmaların önlenmesi, stabil enerji sağlanması, kaliteli ve güvenilir bir enerji kaynağı olabilmesi, sisteme gerektiğinde güç verebilmesi, acil durumlar için bir çözüm oluşturması bakımlarından depolama sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilmesi mantıklı bir yöntemdir. İzole ve bölgesel alanlar açısından bakarsak akıllı şebekeler otomatik yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri içeren çözümlerdir.

Birbirinden farklı karakteristik özelliklere sahip enerji depolama sistemleri bulunsa da hepsinin temel amacı üretilen enerjinin saklanması üzerine kurulmuştur. Enerjinin depolanması üretilmiş elektriksel enerjinin mekanik, kimyasal, potansiyel vb. başka bir enerjiye çevrilmesi ve sisteme verilirken tekrar elektrik enerjisine çevrilmesini gerektirir. Enerjinin depolanması ve sisteme geri verilmesi sırasında doğal olarak bazı kayıplar yaşanmaktadır. Aynı zamanda enerji depolama sistemleri pahalı sistemlerdir çünkü üretilen enerjinin farklı tiplerde olması, gücün ve voltajın dengelenmesi vb. birçok unsurdan dolayı akıllı şebekelerde enerji depolama kesinlikle bir ihtiyaçtır.

Enerji depolama sistemlerinin ekonomik boyutunun bir problem halinden çıkması için farklı depo çeşitlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre edilmesi ve hibrit bir yapı oluşturulması bir çözüm yöntemidir. Hibrit bir sistem oluşturmak için ise önce akıllı şebekenin ihtiyaçlarına ardından da bu ihtiyaçlara uygun farklı enerji depolama sistemlerinin seçilmesi gerekmektedir. Enerji depolama sistemlerinin göz önünde bulundurulması gereken ve seçim sırasında dikkate alınması gereken bazı karakteristik özellikleri bulunmaktadır. Bu

özellikler yaşanan kayıpların boyutunu veya kullanma amacımıza uygunluğunu belirleyebilmemiz için önemli unsurlardır.

Enerji depolama sistemleri arasında seçim ve karşılaştırma yaparken temel olarak baktığımız unsurlar; ekonomik uygulanabilirlik, verimlilik, yaşam ömrü, çevresel etkileri, teknik özellikleri, kapasite, enerji/güç yoğunluğu, kurulum ve bakım maliyetleri, hızlı cevap verebilirlik, teknik gelişmişlik düzeyi, özboşalım yüzde ve süreleri olarak belirtebiliriz.

- ❖ Ekonomik uygulanabilirlik: Ekonomik uygulanabilirliği bütün faktörler etkilemekle birlikte en çok verimlilik ve yaşam ömrü etkiler. Bir depolama sisteminin ne kadar süre kullanılabilceği, ne kadar fiyata mal olduğu ve verimlilik unsurları üretilen birim enerjinin fiyatını ortaya çıkarır. Birim fiyatın ortaya çıkışıyla kurulum ve işletim maliyetlerinin ne kadar sürede kendini karşılayacağı ve ekonomik açıdan depolama sisteminin kurulmaya değer olup olmadığı konusunda fikir verir.
- ❖ Verimlilik: Depodan çıkan enerji ile sisteme giren enerjinin oranlanması sonucunda ortaya çıkan ve sistemden elde edilen faydanın göstergesidir. Aynı zamanda sisteme yeterli elektrik sağlanması için kaybolan enerjinin bilinmesi ve ona göre fazladan depolanması gereken enerjinin hesaplanmasında kullanılır.
- ❖ Yaşam ömrü: Sistemin kaç çevrim yapabileceği veya kaç sene boyunca çevrim yapmaya devam edebileceğidir. Yaşam ömrüne bakılarak amortisman maliyetleri hesaplanmaktadır. Sistemin ne kadar süre kullanılabilceğinin göstergesidir. Sistemin kaç kere dolum ve boşaltım yapabileceğidir.
- ❖ Çevresel etkiler: Ne kadar zararlı atık üretildiği ve yapılan sera gazı salınım miktarıdır. Her ne kadar yenilenebilir kaynaklardan yararlanılırsa da enerji depolama sistemlerinin de çevre dostu olması ve minimum atık çıkarması hedeflenmektedir. Fosil yakıt kullanımının azaltılması sürecinde çevreye zararlı etkisi en az olan sistemlerin seçilmesi fosil yakıtlarla yarışmak açısından önemlidir.

- ❖ Teknik özellikler: Enerji depolama sistemlerinin çalışma süresi, verimliliği, özboşalım süresi, kapasitesi, dolun süresi, enerji boşaltım süresi, sistem gecikme süresi, depolama süresi, operasyonel olarak kolay kullanılabilirliği, enerji iletim oranı, kilowatt enerji başına düşen ağırlık, yaşam ömrü gibi özelliklerin tamamı sistemlerin teknik özellikleridir.
- ❖ Kapasite: Elektriksel olarak depolayabileceği güç miktarı kapasite olarak adlandırılır. Bir enerji depolama sistemi kapasitesinden daha fazla yük taşıyamaz yani depolayamaz. Bu yüzden gerekli talebi karşılamak için kapasite önemli bir unsurdur. Kapasitesi düşük olan sistemlerden daha fazla kurulması gerekmektedir.
- ❖ Enerji/Güç yoğunluğu: Dışarı verilen gücün hacime bölünmüş hali güç yoğunluğunu ifade eder. Birim ağırlığa düşen enerji olarakta hesaplanabilir. Yüksek kalitede güç elde edilmek istenince güç yoğunluğunun yüksek olması gerekir. Hızlı cevap verilebilirlik için de güç yoğunluğu önemli bir unsurdur.
- ❖ Kurulum ve işletme maliyeti: Enerji depolama sisteminin sıfırdan kurulması için gerekli olan maliyet kurulum maliyeti olarak alınır. Kurulum maliyetinin içinde inşa edilmesi, alan, büyüklük, mekanik aksamlar gibi unsurlar yer alır. İşletme maliyeti ise sistemin operasyonel, bakım ve onarım, atıkların yarattığı maliyet, amortisman giderleri ve değişim maliyetlerinin hepsini ele alır. Bu maliyetler sistemin ekonomik açıdan uygunluğunu ölçmek için kullanılır ve maliyet optimizasyonu açısından önemlidir.
- ❖ Hızlı cevap verebilirlik: Sistemin ani kesintilerde devreye girebilme hızıyla ilgilidir. Bazı depolama sistemleri enerji ihtiyaçlarını daha hızlı karşılayabilmektedir. Depolanmış enerjinin ne kadar sürede elektrik enerjisine çevrildiği ve sisteme verilebildiği cevap verebilirliğinin göstergesidir. Depolama kaynaklarının kullanım alanlarından bazıları ani elektrik kesintileri, voltaj dengeleme olduğundan sisteme hızlı elektrik verebilmek ve açığı kapamak için hızlı cevap verebilirlik önemlidir.
- ❖ Teknik gelişmişlik düzeyi: Teknolojinin ne kadar olgunlaşmış olduğunun göstergesidir. Daha yeni teknolojiler henüz yeterince güvenilir

olmayabilir. Teknolojinin olgunluk seviyesi bizlere geleceği hakkında da fikir verir. Olgunlaşmayan teknolojiler geliştirilmeye açık olmakla birlikte henüz oturmadıkları için daha fazla sorun çıkarma ihtimalleri yüksektir. Teknolojiler olgunlaştıkça maliyetler düşmektedir.

- ❖ Özboşalım yüzde ve süresi: Depo kaynağının durduğu yerde enerjiyi kaybetmesi sonucunda deşarj olması durumunu ifade etmektedir. Enerjiyi boşaltma süresi özboşalım süresi olarak adlandırılır. Sakladığı enerjinin ne kadarını kaybettiği ise özboşalım yüzdesi ile ifade edilir.
- ❖ Çevrim verimliliği: Bir şarj/deşarj süresi boyunca depolama sisteminden çıkan enerjinin sisteme verilen elektriğe oranıdır. Sistemdeki enerjinin bir tam dolaşımı sırasında ortaya çıkan kayıp ve eksiklerin göstergesidir.

Tablo 3'te bazı depolama sistemlerinin seçiminde kullanılabilecek avantaj ve dezavantajları listelenmiştir.

Tablo 3 : Enerji Depolama Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

<i>Depolama Yöntemi</i>	<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
<i>Pompa</i> lı <i>Hazneli</i> <i>Hidroelektrik</i>	Çok yüksek kapasitelidir	Kurulum maliyeti yüksektir
	Verimlilik yüksektir	Kurulumu uzun sürer
	Cevap verebilirliği hızlıdır	Bazı coğrafik özellikler aranır
	Birim enerji maliyeti düşüktür	
<i>Sıkıştırılmış Hava</i>	Çok yüksek kapasitelidir	Kurulumu uzun sürer
	Hızlı cevap verebilir	Verimlilik düşüktür
	Birim enerji maliyeti düşüktür	
<i>Volan</i>	Uzun ömürlüdür	Enerji yoğunluğu düşüktür

	Hızlı cevap verebilir	Fiyatı yüksektir
	Yüksek güç yoğunluğuna sahiptir	
<i>Süperiletken manyetik</i>	Verimlilik yüksek	Enerji yoğunluğu düşüktür
	Hızlı cevap verebilir	Üretim masrafı yüksektir
	Yüksek güç yoğunluğuna sahiptir	Soğutmaya ihtiyaç duyar
	Uzun ömürlüdür	Enerji depolaması sınırlıdır
<i>Ultra kapasitör</i>	Uzun ömürlüdür	Fiyatı yüksektir
	Düşük sıcaklıkta çalışabilir	Sarjın bir kısmını tüketir
	Hızlı cevap verebilir	Enerji yoğunluğu düşüktür
	Yüksek güç yoğunluğuna sahiptir	
<i>Akış Bataryaları</i>	Yüksek kapasitelidir	Enerji yoğunluğu düşüktür
	Verimlilik yüksektir	Fiyatı yüksektir
		Teknolojik olarak hala gelişmektedir
<i>Kurşun-asit Batarya</i>	Kurulum masrafı azdır	Enerji yoğunluğu düşüktür
	Yüksek geri kazanım oranına	Sınırlı deşarj

	sahiptir	kapasitesine sahiptir
<i>Ni-Cad Batarya</i>	Yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir	
	Verimlilik yüksektir	
<i>Li-ion</i>	Yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir	Üretim masrafı yüksektir
	Verimlilik yüksektir	Fazla ısınma sorunu vardır
<i>NAS</i>	Yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir	Üretim masrafı yüksektir
	Verimlilik yüksektir	Güvenlik problemi vardır
<i>Metal</i>	Verimlilik yüksektir	Elektriksel şarjı zordur

Enerji depolama sistemlerini yukarıda bahsedilen teknik özelliklerinin dışında 5 ana sınıfa ayırırız. Bunlar elektriksel depolama yöntemleri, mekanik depolama sistemleridir. Her yöntemin altında çeşitli başka yöntemler bulunmaktadır. Hatta bazı yöntemler kendi içlerinde tekrar ayrılmaktadırlar. Enerji depolama sistemlerinin alt kırılımları Şekil 9'da gösterilmiştir.



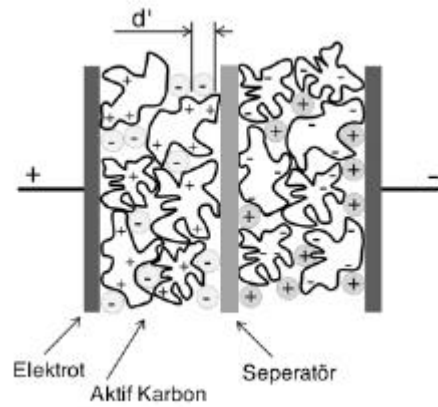
Şekil 9: Enerji Depolama Sistemleri

1.3.1.1. Elektriksel Depolama Yöntemleri

Ultra kapasitör enerji depolama ve süperiletken manyetik enerji depolama elektriksel depolama yöntemleridir.

- ❖ **Ultra Kapasitör Enerji Depolama:** Kondansatörlerde elektrik enerjisi depolamaktır. Pozitif ve negatif yüklerin ayrılması ile elektriksel enerji depolanması sağlanır. Elektriksel enerjinin çift katmanlı bir yapı üzerinde bulunan çok sayıda elektrotlar ve dielektrik bir ayırıcı yüzeyden oluşmaktadır. Fiziksel olarak birbirlerinden ayrı yüzeyler olsa da iyon geçişi olabilmektedir. Ultra kapasitörler kimyasal bir reaksiyonla çalışmadığından daha uzun bir yaşam ömrüne sahiptirler. Yaklaşık bir milyon çevrim yapabilmektedirler. En önemli avantajlarından bir diğeri ise yüksek ve düşük sıcaklıktan etkilenmeden çalışabilmeleridir. Diğer depolama sistemlerinin bir çoğuna göre daha yüksek güç yoğunluğuna sahip olmakla birlikte enerji yoğunlukları o kadar yüksek olmamaktadır. Deşarj süresi hızlı ve boyutları da kapasitörlerden dolayı biraz büyüktür. Ancak gelişen teknolojiler sayesinde boyutları küçültülmüş ve kapasitede

artış sağlanabilmiştir. Enerji ihtiyacına hızlı cevap verebilir, verimliliği yüksektir. Şekil 10'da standart bir ultrakapasitörü görebilirsiniz.



Şekil 10: Ultrakapasitör (WANG, 2012)

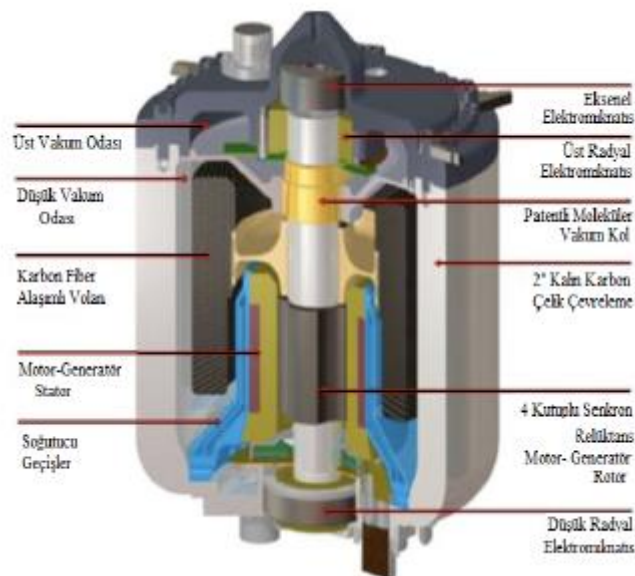
- ❖ Süperiletken Manyetik Enerji Depolama: Süperiletken bir bobinin içindeki akımın akmasıyla oluşan manyetik alanda enerjinin depolanmasıdır. Yüksek verimlilik oranı, enerji ihtiyacına kısa sürede cevap verebilirlik, uzun yaşam ömrüne sahip olması karakteristik özelliklerinden bazılarıdır. Yüksek maliyetli olması ve sıcaklığa karşı duyarlılığı ise dezavantaj yaratmaktadır. Süperiletken manyetik enerji depolama sistemi süperiletken bir bobin, enerji çevrimi için bir sistem ve soğutma sisteminden oluşmaktadır. Bobin içerisinde akan akım bir kere başladıktan sonra durmadığından sürekli olarak çalışmaya devam eder bu yüzden de bir soğutma işlemi gereklidir.

1.3.1.2. Mekanik Depolama Yöntemleri

Mekanik depolama yöntemleri potansiyel veya kinetik enerji depolamaya sağlayan 3 yöntemde oluşur. Genelde büyük çaplı sistemlerde kullanılan bu yöntemler volan, hazneli pompalı su veya pompajlı hidro, sıkıştırılmış hava depolama sistemleridir.

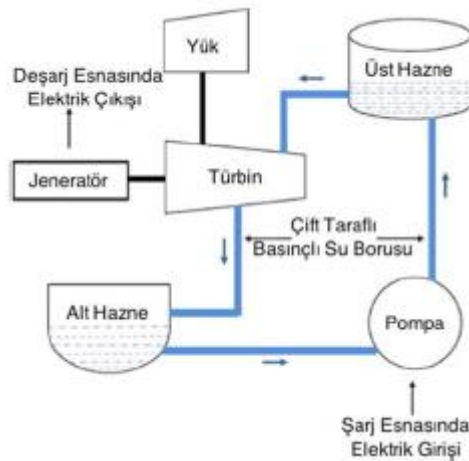
- ❖ Volan: Basit döner tekerlekler kullanarak sisteme giren elektrik enerjisini önce kinetik enerjiye sonra mekaniğe dönüştürerek saklar. Volan'ın dönme hızına bağlı olarak fazla olan enerji mekanik bir batarya gibi davranarak saklanması sağlanır. Daha sonra sisteme enerji verilmek istenince volan yavaşlatılarak elektrik enerjisine dönüşüm yapılır.

Volan'ın dönme hızı içindeki enerji miktarıyla doğru orantılıdır. Şarj durumundayken tıpkı bir motor gibi davranan volanlar deşarj fazına geçince jeneratör görevi görmeye başlar. Hızlarına göre iki çeşide ayrılırlar düşük hızlı ve yüksek hızlı volanlar. Düşük hızlı volanlarda depolanan enerji yoğunluğu düşükken, yüksek hızlı volanlardaki enerji yoğunluğu yüksektir. Aynı zamanda yüksek hızlı volanlar boyutu etkilediğinden daha çok yer ihtiyacı duyarlar. Volanlar hızlandırılıp yavaşlatılabildiği için şarj süresi bataryalara göre daha hızlı dolmaktadır. Uzun ömürlüdürler, karbon emisyonu yaratmazlar, zehirli bileşikler içermezler, verimlilikler nominalde %90 civarındadır, enerji ihtiyacına hızlı cevap verebilirler, özboşalım oranı yüksektir(saatlik %3-20), maliyetleri yüksektir. Uzun dönemli düşünülünce verimlilikteki kayıp miktarı fazladır. Boştaiken çok fazla özboşalım yaptığından verimliliği düşmekte ve uzun dönemde kullanılması mantıklı olmamaktadır. Kısa vadede diğer sistemleri dengeleme amaçlı veya yedek güç ünitesi olarak kullanılması daha olasıdır. Genel olarak hızlı cevap verebildiğinden frekans dengelemede, voltaj dengeleme sayesinde daha kaliteli bir enerji elde edilmesine yardımcı olur. Şekil 11'de bir volan sisteminin iç kesiti yer almaktadır.



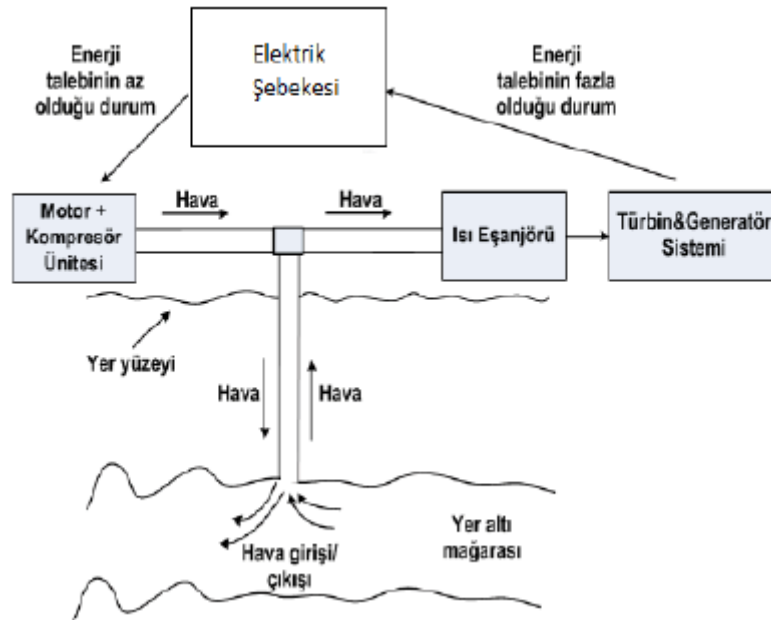
Şekil 11: Bir Volanın İç Kesiti (Fehrenbacher K., 2007)

❖ Hazneli Pompalı Hidro: Potansiyel enerjinin depolanması yoluyla elektrik enerjisi elde etmek için hazneli pompalı sistemler kullanılır. Farklı havuzlarda bulunan suların pik zamanlarda yer değiştirmesi ve jeneratöre aktarılması yoluyla elektrik enerjisi elde etmeye ve depolamaya yarar. Genel olarak yük dengeleme, pik enerji karşılama ve yan hizmetlerde kullanılır. Enerji ihtiyacı düşük olduğu zamanlarda su yüksekteki havuza aktarılarak depolanır. Enerji ihtiyacı yüksek olunca yukarıda bulunan havuzdan aşağıda bulunan havuza aktarılarak buradaki türbinlerle potansiyel enerjinin elektrik enerjisine çevrimi sağlanır. Yüksek güç gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Olgun, teknik olarak sonsuz yaşam süreli, coğrafik unsurlardan etkilenen, büyük bir alan ihtiyacı duyan, %70-85 verimlilik oranına sahip, depolama kapasitesi fazla, kurulum maliyeti yüksek, kurulum süresi uzundur, yüksek güç potansiyelli, kısa sürede ciddi miktarda güvenilir enerji sağlayabilen, yeterli miktarda suyun haznede birikmesine ihtiyacı olan sistemlerdir. Büyük bir alana inşa edilmesi gerektiğinden ekolojiye zarar verir. Hidroelektrik santrallerinde, yeraltındaki maden veya mağara oyuklarında veya açık denizlerde de kurulabilecek bir sistemdir. Şekil 12’de hazneli pompalı bir hidro sistemi gösterilmiştir.



Şekil 12: Hazneli Pompalı Bir Hidroelektrik Sistemi Akış Şeması (Turan D., Yönetken A., 2016)

- ❖ Sıkıştırılmış Hava: Mevcut gaz türbini teknolojisinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Hava fazlasının kompresörlerle sıkıştırılması ve yeraltında depolanması yöntemidir. Yeraltında mağaralarda veya tuz yataklarında depolanır. Enerji talebi azken havanın kompresörlerle sıkıştırılması ve enerji talebi artınca serbest bırakılan enerji ile elektrik enerjisi üretilmesi yöntemi kullanılır. Kurulumu pahalı, yüksek kapasiteli, enerjiyi uzun süreli depo edebilen, özboşalım ve kaybı az, yüksek miktarda enerji depolamaya uygun, verimlilik oranı %70, cevap verebilme süresi uzun, işletme giderleri yüksektir, hızlı hidro pompasına göre daha yüksek enerji ve güç yoğunluğudur, belli bir miktarda karbon emisyonuna sebep olan, büyük enerji ihtiyacı durumları için ideal, henüz tam anlamıyla gelişmesi bitmemiş, yer üstünde veya yerin hemen altında tüpler yardımıyla bir rezervuar kurularak da geliştirilmeye çalışılmaktadır. Şekil 13'te sıkıştırılmış hava ile enerji depolayan bir akışı verilmiştir.



Şekil 13: Sıkıştırılmış Hava İle Enerji Depolama (KOCAMAN B., 2013)

1.3.1.3. Kimyasal Depolama Yöntemleri

Kimyasal depolama yöntemlerinde iki çeşit vardır bunlar; yakıt hücresi ve hidrojen enerjisi depolamadır. Kimyasal depolama enerji kimyasal bileşiklerde kurulan bağlarda depolanır ve reaksiyonlarla tekrar sisteme verilir.

- ❖ Hidrojen Depolama: Hidrojen yanıcı ve patlayıcı bir gaz olduğundan sıvı halde depolanabilmesi için sürekli soğutulması gerekmektedir. Bu ekstra çabalarda hidrojenin sıvılaştırılarak depolanmasını pahalı bir yöntem kılmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu ve hacim yoğunluğu olmasına karşın çevrim verimliliği %41 dolaylarında kalmaktadır. Sıvılaştırılarak kullanılabilmesi gibi yakıt hücrelerinde de depolanabilir.
- ❖ Yakıt Hücrelerinde Depolama: Yakıt hücreleri bir yakıt ve bir oksitleyici yardımıyla kimyasal enerjinin ısı ve elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan sistemlerdir. Ortalama verimliliği %40-%60 arası değişen, genellikle yüksek maliyetlere sahip olan, kimyasal yakıt ve yakıcılarını üzerlerinde taşıyıcı harici kaynaklardan alırlar, yük değişimine adaptasyonu yavaştır. Anot ve katot arasındaki elektron değişimi yöntemiyle depolanan enerji tekrardan elektrik enerjisine dönüştürülür. Yakıt hücrelerinde birçok farklı kimyasal kullanılabilir. Proton geçirgen zarlı yakıt hücresi, molten karbonat yakıt hücresi, katı oksit yakıt hücresi, doğrudan metanol yakıt hücresi, fosforik asitli yakıt hücresi, alkalın yakıt hücresi, formik asit yakıt hücresi, elektro galvanik yakıt hücresi yakıt hücrelerine örnektir. Temel olarak yakıt hücrelerinde birbirinden ayıran ve farklılaşmasını sağlayan kullanılan elektrolitlerdir.

1.3.1.4. Elektrokimyasal Depolama Yöntemleri

Elektrokimyasal depolama yöntemi denince akla gelen ilk ve tek yöntem bataryalar yada diğer ismiyle pillerdir. Aynı zamanda tüm depolama sistemleri arasında en çok kullanılan depolama yöntemlerinden biridir. Bunun ilk sebebi farklı alanlarda da kullanılabilir olmasıdır. Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolarlar. Pilleri konvansiyonel ve akış bataryaları veya birincil ve ikincil piller olarak ayrılabilir. Birincil piller tek kullanımlık sarj edilemeyen

pillerdir bu yüzden tersinemez olarakta adlandırıldıkları olur. İkincil piller ise defalarca sarj edilip kullanılabilir. Birincil pil örnekleri çinko-hava, gümüş-oksit, cıva pilleridir. İkincil piller ise kurşun-asit, nikel-kadmiyum, nikel metal hibrit, sodyum-sülfür, sodyum-nikel klorit, lityum-iyon pillerdir. İkincil piller aynı zamanda konvansiyonel pillerdir. Akış pilleri veya akışkan bataryalar olarak ayrılan grupta ise vanadyum redox, çinko-brom, polisülfüt bromür bataryalar yer almaktadır.

- ❖ Kurşun-asit: En eski batarya tipidir bu yüzden olgunluk seviyesi yüksektir. Boyut olarak büyük, ağır, verimlilik oranı %70-80 civarındadır, kısa ömürlü, ucuz, güvenilir, şarj verimi düşük, yüksek akım verebilirler, ancak hızlı şarj olamaz ve ısınma sorunu yaşarlar. En büyük sorunlarından biri ağır metal kullanımdan doğacak çevresel etkilerdir.
- ❖ Nikel-kadmiyum: Uzun yaşam ömürlü, boyut olarak küçük, kapasitesi yüksektir, ancak aynı kapasitedeki bir kurşun-asit bataryadan 4-5 kat daha pahalıdır, yüksek enerji yoğunluklu, bakım gereksinimi az, hızlı şarj olur, şarj sırasında ısınmaz, özboşalım oranı çok çok düşük neredeyse 0 seviyesindedir, verimliliği düşüktür. Kadmiyum geri dönüştürülebilir olsa da fazlasıyla zehirlidir. Kadmiyumun geri dönüşümü de ekstra maliyet getirmektedir. Buna rağmen en fazla kullanılan batarya çeşitlerinden biridir. Deşarj hafızası vardır tamamen boşalmadan sarj edildiği takdirde hızlı deşarj olur. Deşarj hafızası aynı zamanda pil performansını da zamanla düşürür.
- ❖ Nikel metal hibrit: Enerji yoğunluğu kurşun-asit ve nikel-kadmiyum bataryalardan çok daha fazladır, pahalıdırlar, çevreye zararlı değildir, dayanıklıdırlar, yüksek sarj ve deşarj için uygundur, deşarj karakteristiği düzgündür, özboşalım oranı yüksektir, belli bir sarj oranından sonra performansta düşüş yaşanır, yüksek kapasitelidir, bakım gereksinimi azdır, yüksek güç ve enerji yoğunluğu, yaşam ömrü uzundur. Nikel-kadmiyum gibi bu pillerinde hafızası vardır ancak tamamen deşarj olmadan sarj edilmesi nikel-kadmiyum pildeki kadar sorun yaratmaz ve performansı daha az etkiler.

- ❖ Sodyum-sülfür: Uzun ömürlü, verimliliği %88-92, yüksek enerji ve güç yoğunluklu, bakım gerektirmeyen, yüksek kapasiteli, ucuz ve geri dönüştürülebilir materyellerle yapılan, gelişmekte olan, ilk kurulum maliyeti yüksek, yüksek sıcaklıklarda çalışan, uzun deşarj süresine sahip bataryalardır.
- ❖ Sodyum-nikel klorit: Yüksek enerji ve güç yoğunluklu, yüksek sıcaklıklarda çalışan, kurşun-asit bataryalardan daha yüksek kapasiteye sahip, aşırı şarj ve deşarja dayanımı yüksek, küçük hacimli pillerdir.
- ❖ Lityum-iyon: Özellikle telefon, laptolarda kullanılan, en yaygın kullanım yerine sahip ve bolca kullanılan, olgunlaşma seviyesi yüksek ama hala geliştirilen bir teknolojidir. Yüksek enerji yoğunluklu, verimlilik oranı %90-95, çok yüksek güç kapasiteli, uzun yaşam süreli, geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilme yetisine sahip, aşırı şarja/deşarja karşı korumalı, ani enerji ihtiyaçlarını karşılama, voltaj dengeleme, frekans dengeleme, voltaj destekleme durumlarına yardımcı, özboşalım oranı çok düşük, hafif, güvenilir, hızlı şarj/deşarj olabilen, fiyatı kurşun-asit bataryaların 3-4 katı kadardır. Ancak Lityum-iyon bataryalara geleceğin teknolojisi olarak bakılmaktadır.
- ❖ Vanadyum redox: Megawatt seviyesinde enerji depolayabilir, boyut arttıkça maliyeti düşer, en yüksek çevrim sayısına sahip bataryalardan biridir yaklaşık 13.000 kez şarj/deşarj olabilirler, çevre dostudur, orta ve uzun süreli depolamaya uygundur, özboşalımları yok denecek kadar az, kompleks yapılı, hızlı cevap özelliğinden dolayı anlık güç kesintisi gibi acil durumlarda ve yük dengelemede kullanılabilir, yüksek verimliliğidir, deşarj ve şarj dayanıklılığı yüksek, stabil performans sahibidirler.
- ❖ Çinko-brom: Orta ve uzun dönem depolamalar için uygundur, özboşalım yok denecek kadar az, yüksek enerji yoğunluklu, derin deşarj yapabilen, kompleks yapılı, hızlı cevap verebilirlikli, %70-%85 verimlilik oranlı, fazla şarja toleranslı, uzun yaşam süreli, adaptasyonu yüksek, stabil performanslı, bakım gereksinimi düşük batarya tipleridir.

1.3.1.5. Termal Depolama Yöntemleri

Termal ısı depolama iki yolla yapılır bunlar sıcak ve soğuk enerji depolamadır. Isıl enerji depolama olarakta alınan bu depolama sistemi tepkime sırasında ortaya çıkan ısı, duyulur ısı veya gizli ısının depolanması yoluyla gerçekleştirilir. Isı yollu depolama su sistemlerinde yapılırken hava ısıtma sisteminde ise çakıl taşı yoluyla depolama yapılır.

Her kaynakta farklı tiplerde termal enerji depolama yöntemlerinden bahsedilmekle birlikte en bilineni termal depolama üniteleridir ve hissedilen sıcaklık ya da erime sıcaklığı ile gerçekleştirilir. Erime sıcaklığı kullanan depolama sisteminde katı halden sıvı hale geçen maddenin erime ısısının ve sıvının depolanması yoluyla gerçekleştirilir. Daha sonra sıvı madde katıya dönüştürülerek sisteme verilir. Hissedilir enerji yönteminde ise ısıtılınca ısı açığa çıkarmayan ama buhar oluşturmaya yarayan maddelerin ısıtılması yoluyla depolanır.

1.3.2 Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanım Alanları Ve Şekilleri

Akıllı ve mikro şebekeler; yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri sayesinde kendi enerjisini üretilip depolayabilen bölgesel yaşam alanlarıdır. Akıllı şebekelerin üç temel hedefi vardır bunlar: (Kocaman B., 2013)

1. Şebeke kapasitesini optimize etmek için elektrik enerjisinin arz ve talep tarafını daha iyi dengelemek, yük eğrisinde günlük dalgalanmaları önleyerek, "yük faktörünü" maksimize etmek,
2. Üretim ve iletim kısıtlamalarından dolayı oluşan enerji maliyetlerindeki oynamaları düzenlemek,
3. Son kullanıcı tarafında daha fazla dağıtılmış üretim (yenilenebilir veya konvansiyonel) ve enerji depolamaya olanak tanıyan mikro şebekelerin kurulmasıdır. (Kocaman B., 2013)

Akıllı ve mikro şebekelerin amaçlarından da görülebileceği üzere enerji depolama sistemlerini birçok farklı amaç için farklı şekillerde kullanabiliriz. Ana kullanım amaçları çalışma boyunca da bahsettiğimiz üzere yenilenebilir enerji

kaynaklarından elde edilen enerjinin kesikli olması yani sezonsal ve gün içindeki hava durumu kaynaklı farklılıklar dolayısıyla varolan enerji talebinin karşılanması için sürekliliğini sağlamak olsa da bir çok başka nedenlerle enerji depolama sistemlerinin kullanılabileceği ve enerji şebekelerine destek olunabileceği bilinmektedir. Mesela bunlardan bazıları yük dengelemek, maliyet oynamalarını düzenlemek, voltaj desteği sağlamak, güvenilir ve kaliteli enerji elde etmektir.

Akıllı şebeke uygulamaları tüm sayılanların yanında demgesiz enerji üretiminden kaynaklanan pik zamanı talebi ve güç üretimi arasındaki farklardan kaynaklanan voltaj, frekans düzensizlikleri, ekonomik kayıpları da kapatır. Enerjinin depolanması ve sonra kullanılmak üzere kaydırılması yoluyla ekonomik olarak kazanç sağlanabilir. Gün içinde değişiklik gösteren hava durumu kaynaklı durumlar veya mevsimsel farklılıklardan dolayı evlerin ısınma ihtiyacının belli dönemlerde olması gibi ihtiyaçlardan doğan durumlarda da akıllı şebekelerde kısa dönemli depolama uygulamaları için fırsat yaratmaktadır. Böylece dönemsel enerji ihtiyaçları daha ucuz bir yolla karşılanabilir.

Temelde 4 ana grup altında bu uygulamaları toplayabiliriz. Bu uygulamalar kitle enerjisi uygulamaları, yan servis uygulamaları, son kullanıcı enerji yönetimi uygulamaları ve yenilenebilir enerji entegrasyonuna destek uygulamalarıdır.

1.3.2.1 Kitle Enerji Uygulamaları

Kitle enerji uygulamaları büyük resimi etkileyen ve mikro şebekelerde en temel sebeplerle ortaya çıkan uygulamalardır. Kitle enerji uygulamalarını ilgilendiren iki konu vardır bunlar; enerji arbitrajı ve pik enerji saatlerinde takviye yapılmasıdır.

- ❖ Enerji arbitrajı: Pik yüklere hizmet eden, pik olmayan saatler sırasında üretilen, kullanılan gücün arbitrajı, pik olmayan zamanlarda enerji depolama şarjı veya yük kaymasını sağlamak için pik yükler arasında deşarj. (Kuşdoğan Ş.) Maliyetli bir yöntemdir ancak sistemi ekonomik olarak optimize etmeye yarar bunun temel sebebi pik olmayan saatlerde düşük maliyetteyken enerjinin depolanıp pik olan enerji maliyeti yüksek

olan saatlerde sistemi verilmesidir. Verimliliği artırır ve enerji kıtlığı olan dönemlerde de sisteme enerji vermeye yarar. Aynı zamanda depolanan enerji pik saatlerde sisteme yüksek fiyattan satılarak kar elde edilebilir.

- ❖ Pik enerji saatlerinde takviye: Pik güç talebini karşılamak için enerji kapasitesini sağlamak. (Kuşdoğan Ş.) Pik enerji saatlerindeki yükü karşılayabilmek amacıyla uygulanır. Ekonomik bir hedef veya amacı yoktur tamamen talebi karşılama amaçlıdır. Normal kapasiteli bir sisteme takviye amaçlı uygulanır.

1.3.2.2 Yan Servis Uygulamaları

Yan servis uygulamaları temel amaçlara yardımcı olan her sistemde bulunan bazı sorunlara yardım amaçlı uygulamalardır. Bunlar; yük dengeleme, dönme rezervi, voltaj desteği, frekans düzenlemesi ve sistem toparlanmasıdır.

- ❖ Yük dengeleme: Sistemde ana güç dengesini sağlamak için talep dalgalanmalarında yük çıkışını ayarlamak. (Kuşdoğan Ş.) Yük ve üretim arasında denge sağlanmasıdır.
- ❖ Dönme rezervi: 10 dakika içinde elektrik talebini karşılar, çevrim içi rezerv kapasitesini sağlar. (Kuşdoğan Ş.) Normal zamanlarda kullanılmayan enerjinin sisteme verilmesi yoluyla kısa süreli kesintilerin karşılanmasıdır.
- ❖ Voltaj desteği: Ana spesifik gerilim seviyesini muhafaza eden ve reaktif gücü absorbe eden veya üretilen gerilimin kontrolünü sağlar. (Kuşdoğan Ş.) Reaktif gücün stabil olmasını sağlar ve bölgesel uygulamalarda kullanılabilir.
- ❖ Frekans düzenlenmesi: Sistemdeki enerji akışında oluşabilecek frekans düzensizliklerini dengelemek için yapılan uygulamalardır. Yük ve üretim dengesizliği yaşandığında frekans düzensizliği ortaya çıkar. Bu noktada fazla yüklenen jeneratörler yavaşlar ve frekansı düşürürler. Eğer yük üretimden fazlaysa jeneratör hızlanır ve frekans yükseltir. Mesela rüzgarın bir anda kesilmesi sonucunda sistemde frekans aniden düşer. Bu durumda sisteme enerji verilerek sorun çözülmesini sağlayan uygulamalardır.

- ❖ Sistem toparlanması: Bir sistemin sıfırdan başlatılması anında ihtiyaç duyduğu enerji çalışırken ihtiyaaç duyduğu enerjiden daha fazladır. Bu anlarda sisteme destek olmak ve yedek jeneratör görevi görerek tüm sistemin başlatılmasını, hatlara enerji akışı sağlanması durumudur. Kör başlangıç olarak adlandırılır. Aynı zamanda sistemdeki ani bozukluklarda (büyük potansiyelde tüm şebekenin enerjisini kaybetmesi durumunda) şebekenin senkron çalışmasını korumak için yardımcı olur. (Kuşdoğan Ş.)

1.3.2.3 Son Kullanıcı Enerji Yönetim Uygulamaları

Son kullanıcı için önemli olan ve farkedilebilir sorunlara dair uygulamalardır. Mesela elektrik tüketicisi olan bizler enerjinin kalitesi, güvenilirliği ve sürekliliğiyle ilgileniriz. Bu yüzden son kullanıcı uygulamaları da enerjinin daha kaliteli, güvenli ve devamlı olmasını sağlamak adına olan uygulamalar bütünüdür.

- ❖ Güç kalitesi: Müdahale veya kesinti olmadan elektrik enerjisinin hizmet desteği kullanımı. Genellikle güç kalitesi sınırları içinde gerilim seviyelerini koruma ile ilgilidir. (Kuşdoğan Ş.) Düşük yük durumlarında veya kısa süreli uygulamalar sırasında sisteme verilen enerjinin kalitesinin yükseltilmesini sağlayan uygulamalardır.
- ❖ Güç güvenilirliği: Kullanıcıya her koşulda aynı kalitede ve sürekli güç sağlanmasına yarayan uygulamalardır.
- ❖ Güç devamlılığı: Dönemsel olarak ihtiyaçlar değişebilir. Mesela kışın evlerin ısınma ihtiyacı olan dönemlerde güneş enerjisinden yararlanılma oranı azalabilir. Oysa yazın güneş enerjisinden fazlaca yararlanılabileceği dönemlerde ısıtma ihtiyacı azdır. Yaz dönemlerinde güneş enerjisinin sağladığı enerjinin kışında sağlanabilmesi enerji depolama sistemleri uygulamalarıyla sağlanabilmektedir.

1.3.2.4 Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu

Yenilenebilir enerji entegrasyonu ise tıkanma takviyesi ve iyileştirme ertelemesi olarak anılan uygulamalardır.

- ❖ Tıkanma takviyesi: Elektrik için alternatif yollar sağlayarak hatların kapasitesinin artması ile iletim sistemlerinde şebekede akışın azalması. (Kuşdoğan Ş.)
- ❖ İyileştirme ertlemesi: Üretim ya da iletimin ertelenmesi; örneğin sistemde enerji depolamayı kullanarak yükü azaltmak. (Kuşdoğan Ş.)

1.4 PROBLEM TANIMI

Bu çalışmanın iki farklı problemi vardır. Bu problemlerden ilki uzun dönemli optimal enerji kaynağı seçimi optimizasyonu, ikincisi ise mikro şebekelerde enerji depolama sistemleri seçimi için çok kriterli bir problemdir.

İlk problem makro düzeyde olup uzun dönemli bir optimal düzeyde enerji kaynak planlamasıdır. Ekonomik ve çevresel unsurlar göz önünde bulundurularak Türkiye için 10 yıllık enerji talebinin hangi enerji kaynaklarından ne kadar enerji üretilerek sağlanacağı sorusuna doğrusal programlama metodu ile karar vermektedir. Bu problem için Türkiye'nin 2013-2023 yılları arasındaki enerji talebi projeksiyonu, kurulu güç miktarları, hedeflenen yeni enerji kaynaklarındaki kurulum miktarları, sera gazı salınımı ve etkileri unsurları göz önüne alınmıştır. Farklı senaryolar altında enerji kaynaklarının da değişimi gözlemlenmektedir. Sera gazı salınımının etkileri, çevresel politikalar izlenmesinin sonuçları, mevcut durumun devamlılığının getirileri gibi farklı durumlar altındaki değişimler yansıtılmaktadır.

Çalışmanın ikinci problemi ise mikro düzeyde bir enerji depolama sistemi karması seçimidir. Mikro şebeke düzeyinde bir problem çözebilmek için küçük ve izole olarak kullanılabilir bölgeler seçilerek düzensiz enerji talebi ve düzensiz enerji üretimi altında enerji ihtiyacını karşılayabilecek enerji depolama sistemlerini seçmektir. Mikro şebekeler olarak Türkiye'nin farklı yerlerinden üniversiteler seçilerek bu üniversitelerin talepleri, yenilenebilir enerji kaynağı kurulumu sonrasında depolanması gereken enerji miktarları ve bu depolamanın hangi sistemlerle yapılacağı bulunmuştur. Enerji depolama sistemlerinin seçimi sırasında teknik özellikler, çevresel ve sosyo-kültürel etkilerde göz önünde

bulundurularak çok fazla sayıda kriter ile optimizasyon teknikleri kullanılarak çok kriterli bir karar verme problemi doğrusal programlama yolu ile çözdürülmüştür.

Bu tez çalışmasının diğer çalışmalardan farkı Türkiye için uzun dönemli bir enerji kaynak planlaması yapmasıdır. Kaynak planlaması yapılırken Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hedef olarak koyduğu kurulu güç miktarlarına yönelik çalışılmıştır. Farklı senaryo çalışmaları sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim miktarına, sera gazının azaltılması için seçilebilecek kaynakların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Hem güncel veriler kullanılmış hem de gelecek projeksiyonu yapılmıştır.

Enerji depolama sistemlerinde ise daha önce çok kriterli karar verme yöntemi kullanılan bir problem tipi için yeni kısıtlar eklenerek bir optimizasyon yapılmıştır. Bir enerji depolama sisteminin sahip olduğu her teknik özellik, çevresel etki, maliyet, sosyo-kültürel etki ile ilgili kısıtlar yazılarak yeni bir problem oluşturulmuştur. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynakları kurularak bu kaynakların kesikli yapısı dikkat alınarak şebekeye bağlı sistemlerle olan farklılıklarının getirdiği sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

Uzun dönemli enerji kaynak planlaması yapabilmek ve mikro şebekelerde enerji depolama sistemi seçimi problemlerini çözebilmek için öncelikle enerji kaynaklarının ve enerji depolama sistemlerinin tanınması, özelliklerinin belirlenmesi, daha sonra bunları bir arada kullanan mikro şebekeler ve benzer problemlerin çözümünde kullanılan matematiksel yaklaşımlar incelenmiştir.

Bu tez çalışması boyunca yararlanılan kaynakları 4 ana başlık altında toplayabiliriz; yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri, mikro şebekeler ve matematiksel yaklaşımlardır.

2.1 YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI

Şimşek (1998), çalışmasına göre ekonomileri ilgilendiren en önemli konulardan biri olan enerji sorununun çözümü için fosil kaynaklı olmayan yenilenebilir enerji kaynakları arasında ülkemizde en yüksek potansiyele sahip ve düşük maliyetli olan jeotermal enerji ve konumundan söz etmiştir. Fosil kaynaklara kıyasla tükenme olasılığı olmadığından daha güvenilir bir kaynak olması, enerji darboğazı açısından bakıldığında açığın kapanması, yerli tüketim, dışa bağımlılığın azaltılması için elverişli bir kaynak oluşu üzerinde tespitler yapılmıştır. Maliyet olarak %50-%80 arası daha ucuz olduğunu belirtilmiştir. Çevresel etkilerinin neredeyse hiç olmaması ve kendilerini kısa sürede amorti etmeleri de avantajları arasında sıralanmıştır. (Şimşek, N., 1998)

Doukas, Patlitzianas ve Psarras (2006), araştırmada Yunanistan'ın yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olmasına rağmen çok fazla kullanılmamakta ve tercihen aşağı sıralarda yer aldığını söylemektedir. Daha sonra hükümetin çabaları, enerji piyasası, iklimle ilgili durumlar nedeniyle güvenlik, istikrar ve çevrenin korunması gibi artı yönleri bulunduğundan sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. En iyi sistemin kurulması ve desteklenmesi

için ise yapılan araştırmalar sonucunda çok kriterli karar verme problemi çözdürülmüştür. Araştırma sonucunda Yunanistan'ın enerji portfolyosuna dair çok sayıda bilgi çıkarılmış en çok kullanılması gereken kaynaklar belirlenmiştir. Analitik ağ modeli ile çözümlene yapılmıştır. (Doukas, H., Patlitzianas, K. D., & Psarras, J., 2006)

Kılıç (2007), çalışmasında Türkiye'nin biyokütleye bakışı, biyokütle olarak kullanılabilecek malzemeler, biyokütlenin avantajları, çevrim şekilleri, kullanım alanları, potansiyeli değerlendirilmiştir. Türkiye'deki biyokütlenin diğer yenilenebilir kaynaklar arasındaki yer ve potansiyelinden bahsedilmiştir. Kişi başına yapılabilecek biyokütle üretim miktarı, bunların nelerden üretilebileceği ve hangi alanlarda kullanılabileceği ortaya konmuştur. (Kılıç, F. Ç., 2007)

Topal ve Arslan (2008), Türkiye açısından biyokütle enerjisinin potansiyeli değerlendirilmiştir. Ülkemizde biyokütleden çoğunlukla doğrudan yakma yolu ile enerji edilmektedir. Elektrik enerjisi üretmek için başka yöntemlerin kullanılması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Bunun için yeterli olanaklara sahip olduğu değerlendirilmiştir. (Topal, M., & Arslan, E. I., 2008)

Oberschmidt, Geldermann, Ludwig ve Schmehl (2010), çalışmasında fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye kadar bir sürü teknoloji bulunduğundan bahsedilmiştir. Bu teknolojilerin çevresel etkileri, ekonomik getirileri gibi değişik kıstaslar bulunmaktadır. Belirlenen amaç ve kısıtlamalar doğrultusunda en uygun teknolojilerin seçimi için yaşam döngüleri, gelişmişlik ve gelişebilirlik düzeyleri, riskleri gibi unsurların göz önünde bulundurulmalıdır. Promethee tekniği kullanılarak teknolojiler sıralanmıştır. (Oberschmidt, J., Geldermann, J., Ludwig, J., & Schmehl, M., 2010)

Üçgül ve Akgül (2010), biyokütlenin çevrim teknolojileri, bu teknolojilerin nasıl kullanıldığı, biyokütlenin nasıl değerlendirildiği ve hangi maddelerin biyokütle olarak kabul edilerek hangi yöntemler kullanılarak dönüştürülebileceği üzerinde durulmuştur. Biyokütlenin çevrim teknolojileri ve sonuçlarında elde edilen ürünlerden bahsedilmiştir. Mevcutta yapılan bir laboratuardaki biyokütle çalışmalarının sonucu anlatılmıştır. (Üçgül, İ., & Akgül, G., 2010)

Erkul (2012), çalışmasında Türkiye’de bulunan jeotermal kaynaklardan bir örnek ele almış ve ekonomik olarak katkısı gözlem yapılarak araştırılmıştır. Dünya ve Türkiye'deki jeotermal kaynakların karşılaştırılması ve tarihsel gelişimi incelenmiştir. Daha sonra Kızıldere jeotermal ele alınarak çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Suya bor karışmasının bir çevre kirliliği olması ve bu soruna göre bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Sürdürülebilirlik açısından jeotermal kaynaklardan yararlanmak için reenjeksiyon işleminin uygulanması gerektiği ortaya konmuştur. (Erkul, H., 2012)

Yılmaz (2012), çalışmasında dünyada ve Türkiye’de enerji kaynaklarının kullanımı ve dağılımı değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma açısından yaklaşımlarda bulunulmuş, potansiyel rakamlar ve yüzdeler göz önüne serilmiştir. Türkiye ve Dünya açısından enerjiler, kurulu güçler değerlendirilmiştir. Mevcut kaynaklar değerlendirilmiş, yenilenebilir alternatiflerden ve bunların potansiyellerinden bahsedilmiştir. Türkiye'nin dünyadaki durumu hakkında bir inceleme yapılmış ve gösterilmiştir. (YILMAZ, M., 2012)

Ho, Chang, Wei ve Wang (2014), çalışmalarında düşük karbon salımlı bir kampüs yaratmak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını değerlendirmektedir. Bulanık iki aşamalı bir algoritma ve çok amaçlı lineer bir matematiksel programlama yardımıyla bir üniversitede örnek çalışma yapılmıştır. Karbon salınımında minimizasyon sağlanmış ve bunun için örnek bir maliyet analizi çıkarılmıştır. (Ho, Y. F., Chang, C. C., Wei, C. C., & Wang, H. L., 2014)

Kapluhan (2014), çalışmasında sürdürülebilir kalkınma, çevresel etkiler, enerji verimliliği kavramları göz önünde bulundurularak biyokütle enerjisi değerlendirmiştir. Dünya ve Türkiye'deki biyokütle enerjisinin potansiyelleri ve değerlendirilmesi yapmıştır. Dünyada biyokütle enerjisine olan yatırımların arttığı çünkü birçok alanda kullanılabildiği gözlemlenmiştir. Türkiye'nin bölgesel bazda biyokütle potansiyelleri incelenmiştir. Her bölge için enerji üretimi yapılabilecek bir potansiyel olduğu tespit edilmiştir. (Kapluhan, E., 2014)

Kaya ve Koç (2015), Türkiye için genel bir enerji değerlendirilmesi, mevcut ve yapılmakta olan santraller ve enerji çeşitlerinin maliyetlerinin karşılaştırılmasına dair bir analiz çalışması yapmıştır. Mevcuttaki santraller, enerji üretim potansiyelleri değerlendirilmiş, enerji maliyetindeki etkili unsurlar değerlendirilerek mali bir analiz yapılmıştır. Fosil ve yenilenebilir kaynaklarından enerji üretiminin mali sonuçları çıkarılmıştır. Sonuçlar içinde en yüksek birim maliyetin güneş santrallerine en düşüğün ise rüzgar santrallerine ait olduğu belirtilmiştir. (Kaya, K., & Koç, E., 2015)

Štreimikienė, Šliogerienė ve Turskis (2016), çalışmasında çevreye olan etkisini de dahil etmek üzere elektrik üretim teknolojisinin bazı özellikleri de dikkate alınarak analitik hiyerarşi yaklaşımı ve aras yöntemleri ile çok kriterli karar verme problemi çözülmüştür. Nicel ve nitel kriterler(çevre, ekonomi, teknoloji ve politik yönleri) yardımıyla elektrik üretim teknolojileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda Litvanya'nın enerji portfolyosuna dair çok sayıda bilgi çıkarılmış en çok kullanılması gereken kaynaklar belirlenmiştir. AHP ve ARAS yaklaşımları kullanılmıştır. (Štreimikienė, D., Šliogerienė, J., & Turskis, Z., 2016)

Karagöl ve Kavaz (2017), çalışmaz özellikle Dünya ve Türkiye'deki yenilenebilir enerji kullanım, kapasite oranlarını baz alarak mevcut durum ve gelecek hedefleri hakkında bilgileri içermektedir. Geçmişten günümüze enerji kaynaklarının değişimi, Dünyadaki bakış açısının kaydığı yönler üzerinde durulmuştur. Türkiye'nin enerji kullanımının çoğunun dışa bağlı olduğu ve bunun azaltılması gerekmektedir. Bunun için ilk hedef kaynakların çeşitliliğini arttırmaktır. Türkiye konumu dolayısıyla tüm kaynaklarından faydalanma imkanına sahip olduğu ve Türkiye'nin çoğu ülkeden daha elverişli imkanlara sahip olduğu görülmüştür. Yenilenebilir enerji ile ilgili ekonomik ve hukuki gelişmelerle birlikte uzun vadede milli gelir, istihdam, çevresel faktörler gibi birçok alanda fayda sağlanabilecektir. (Karagöl, E. T., & Kavaz, İ., 2017)

Müller vd. (2017), şebekelerde oluşan ve gelecekte oluşacak enerji depolama ihtiyacını karşılamak için yapılan araştırmalar sonucunda en çok bataryalarla ilgili çalışmalar bulunduğu dikkat çekmektedir. Batarya teknolojilerinin hızlı evrimleşmesi ve kolay ulaşılabilmesi dolayısıyla yeni uygulamalarda da

görülmektedir. Fotovoltaik teknolojiyle birleştirilen batarya ile depolama sistemlerinin evin elektrik faturasına katkısı görülmektedir. Farklı şebeke durumlarındaki uygulamalarda yapılan enerji depolama sistemlerinin değerlendirilmesi sonucunda bataryaların en umut verici sistemler olduğu ve yerleşik uygulamalarda lithium-ion bataryaların(kimyasal içerikli) en iyi karaktere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Batarya enerji depolama sistemleri potansiyellerini en iyi düşük voltaj seviyesindeki şebekelerde göstermektedirler. Orta voltaj seviyeli şebekelerde ise birkaç sistemin birleşiminin birden kullanılması avantaj sağlamaktadır. (Müller, M., Viernstein, L., Truong, C. N., Eiting, A., Hesse, H. C., Witzmann, R., & Jossen, A., 2017)

2.2 ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Aslan (2007), çalışmasında hidrojen enerjisinin genel özellikleri, yakıt olarak kullanılması, hidrojen ekonomisi kavramı ve geçişi engelleyen unsurlar anlatılmıştır. Hidrojen ekonomisine geçiş yapabilmek için çeşitli senaryolardan bahsedilmiştir. Japonya ve Litvanya örnekleri verilmiştir.(Aslan Ö., 2007)

Barin, Canha, Magnago, Rosa Abaide ve Wottrich (2009), araştırması göstermiştir ki hibrit sistemleri alternatif enerji sistemleri yerine kullanmak ve bu sistemlere depolama sistemleri entegre etmek bir çözümdür. Verimlilik, maliyet, teknik olgunluk, çevreye etkileri, güç uygulama bölgesi ve ömrü kriter olarak alınarak AHP ve bulanık mantık yöntemleriyle 5 farklı teknolojinin değerlendirilmesi yapılmıştır. AHP ve bulanık mantık yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. (Barin, A., Canha, L. N., Magnago, K., da Rosa Abaide, A., & Wottrich, B. , 2009).

H. Daneshi, Srivastava ve A. Daneshi (2010), çalışmaya göre yenilenebilir ve yeşil enerji konseptinin bir dalı olan rüzgar enerjisine olan ilginin gün geçtikçe arttığı ve fosil yakıt yerine enerji sektöründe kullanılmaya başlandığı görülmüştür. Doğasından kaynaklı olarak rüzgar enerjisinin stabil bir yapısı olmayıp dış etkenlere fazlasıyla bağımlıdır. Bu yüzden de sıkıştırılmış hava enerji depolamasıyla enerjinin saklanması yöntemi çalışılmıştır. Bu makalede karışık tamsayı bir matematiksel problem çözdürülmüştür. Problemden rüzgar

enerjisi CAES ile depolanması sonucunda pik durumdaki yük azaltılması, sistemin operasyon maliyetleri, birim taahüt ve sevkleri olumlu yönde etkilendiği kanıtlanmıştır. (Daneshi H, Srivastava A, Daneshi A, 2010)

Vazquez, Lukic, Galvan, Franquelo ve Carrasco (2010), çalışmalarında ulaşım ve şebekelerde kullanılabilecek enerji depolama sistemlerinden bahsedilmiştir. Batarya çeşitleri, volanlar, pompalı hidro sistemler ve sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri tanıtılmıştır. Bahsedilen sistemlerin akıllı şebeke ve ulaşım araçlarında kullanım yöntemlerinden bahsedilmiştir. Olgunlaşmış teknolojilerin birçok açıdan akıllı şebekelerdeki mevcut sorunlar için bir çözüm olabileceği gösterilmiştir. Sistemler karakteristik açıdan karşılaştırılmıştır. (Vazquez, S., Lukic, S. M., Galvan, E., Franquelo, L. G., & Carrasco, J. M., 2010)

Kurt (2010), rüzgar enerjisinden elektrik üretim ve tüketiminin dengede olması için şebekeye entegre edilebilecek depolama sistemleri değerlendirilmiştir. Bu depolama sistemlerinin karakteristik özellikleri, uygulamaları ve potansiyellerine değinilmiştir. makaleye göre rüzgar enerjisinin şebekeye entegrasyonu için volanlar, bataryalar kısa dönemli kullanımlar açısından uygundur. Sıkıştırılmış hava ve pompalı hidro depolama ise uzun dönemli rüzgar enerjisi depolaması için uygun teknolojilerdir. (Kurt G., 2010)

Tutar ve Eren (2011), hidrojen enerjisinin gelişimi, tarihinden bahsetmiştir. Türkiye için potansiyel hidrojen enerjisi değerlendirilmiş ve SWOT analizi yapılmıştır. Dünya üzerindeki bazı ülkelerin hidrojen konusunda geliştirdikleri teknolojiden bahsedilmiş ve Türkiye'de yapılan çalışmalara değinilmiştir. Türkiye'de hidrojenin geçmişi anlatılmış ve 2030 yılına kadarki gelecek öngörülerini yapılmıştır. Hidrojen enerjisine ait teknolojilerin gelişme gereksinimine parmak basılarak ülkemizin dışa bağımlılığını azaltmak için bir yöntem olarak önerilmiştir. (Tutar F., Eren M.V., 2011)

Özarlan (2012), çalışmasında rüzgar ve güneş enerjisini depolayabilmek için dünya çapında da kullanılan büyük ölçekteki depolama sistemleri tanıtmıştır. Ayrıca pompalı hidro, yeraltında tuz açıklığında depolama, sıkıştırılmış hava

depolama, doğal gaz depolama, sıkıştırılmış hidrojen depolama yöntemleri ve karakteristiklerinden bahsedilmiştir. (Özarıslan A., 2012)

M. Kozak ve Ş. Kozak (2012), enerji tipleri ve enerji depolama yöntemlerinin araştırmıştır. Değişik enerji depolama yöntemlerinin karakteristik özelliklerine değinilmiştir. Isıl enerji, elektriksel ve mekanik enerji depolama yöntemlerine değinilmiştir. Bu makale sonucunda farklı tipteki enerji depolama yöntemlerinin maliyetsel açıdan ve birkaç teknik özellik açısından karşılaştırılmıştır. (Kozak M., Kozak Ş., 2012)

Mahlia, Saktisahdan, Jannifar, Hasan ve Matseelar (2014), araştırmalarında enerjinin sürdürülebilirliği ve enerjiden maliyetten tasarruf için enerji depolamak en önemli etken haline geldiğinden bahsetmektedir. Son yüzyılda artan petrol kullanımı ve sera gazı salınımı çok yüksek boyutlara ulaştığından dünyanın sürdürülebilirliği için alternatif ve inovatif yöntemler keşfedilmeye başlanmıştır. Bunlardan biri de enerji kesintileri, enerji israfları, çevresel problemler ve maliyet düşürmek üzerine etkisi olan enerjinin depolanması konusudur. Enerji depolamak sistem performansını iyileştirmek için çok fazla potansiyele sahiptir. Fazla enerjinin depolanıp doğru zamanda kullanılması yeni bir enerji santrali kurulmasından daha etkilidir. Karbon emisyonunun sıfır olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre olabilmesi enerji piyasasındaki yerini almasına yardımcı olan en büyük etkenlerdir. Tüm bunların yanı sıra ideal karakterde bir depolama sistemi bulunmamakta ve her sistemin artıları eksileri dikkate alınarak olabilecek en iyi seçimle elektrik şebekesinde fosil yakıtın yerini alabilir. (Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H., & Matseelar, H. S. C., 2014)

Yekini, Wazir ve Bashir (2014), çalışmaya göre yakın zamanlarda enerji güç sektörü müşterilerine daha güvenilir ve ulaşılabilir bir sistemle enerji temin etmek istemektedir. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sektörüne entegrasyonunu sağlamakla birlikte şebekelere uzak olan yerleşimlerin enerjiye ulaşmasında problem yaratmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleriyle birleşmesi ise bu soruna bir çözüm niteliğindedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının rastgele yapısı, doğaya zarar

vermemeleri gibi unsurların hepsi göz önüne alınarak enerji depolama sistemlerinde uygun teknolojiler seçilmelidir. Araştırmalar göstermiştir ki hiçbir depolama aracı tek başına bir sistem için yeterli değildir. Bu araçlardan birini seçmek için maliyeti, teknolojinin gelişmişliği, enerji yoğunluğu, güç ve depo kapasiteleri gibi etkenler büyük şebekelerde uygulamak için bakılması gereken başlıca faktörlerdir. Enerji üreten kaynakların doğası gereği depolama sistemleriyle bütünleşik çalışmaları ve bazı durumlarda da başka destek sistemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. (Yekini Suberu, M., Wazir Mustafa, M., & Bashir, N., 2014)

Akinyele ve Rayudu (2014), farklı enerji sistemlerinin özellikleri, uygulamaları, teknolojik gelişimleri ve maliyet unsurları anlatılmıştır. Enerji depolama sistemlerinin özellikleri tanıtılmış ve hangi sistemin hangi uygulamada başarılı olabileceğine dair çıkarımlar yapılmıştır. (Akinyele, D. O., & Rayudu, R. K., 2014).

Das, Krishnan ve McCalley (2015), farklı sistem senaryolarında genel bir enerji depolama sistemiyle üretim maliyeti simülasyonu, performans hesaplaması ve depolama ekonomisi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Depolama modeli rezervuar enerji durumu, depolama taahütleri, enerji ve yatırımcı piyasasındaki çapraz ve arbitraj fırsatlarının arasındaki dinamik ilişkiyi yakalamak üzerine kurulmuştur. Bu makale sonucunda sıkıştırılmış hava yoluyla enerji depolama için modellenen bir sistem test edilmiştir. Yığın depolamanın enerji piyasası fiyatlarındaki düşüş, sistem üretim ve döngü maliyetlerine etkisi, artan rüzgar penetrasyonu ile depolama sistemlerinin ekonomik geçerliliğini geri ödeme dönemleri açısından inceleme durumları simüle edilmiştir. (Das, T., Krishnan, V., & McCalley, J. D., 2015)

Krishnan ve Das (2015), çalışmada ortak elektrik piyasasında arbitraj fırsatlarını da dikkate alarak enerji depolama sistemlerinin nereye ve ne büyüklükte kurulması gerektiği sorusuna değinilmiştir. Elektrik piyasasındaki fırsatlar ve yan hizmetlerin dışında enerji üretim maliyetleri de göz önünde bulundurularak güvenilirlik testleri uygulanmıştır. Tüm bu çalışmaların sonucunda şebekelerde yığın enerji depolamanın birçok faydası bulunmuştur. Geleneksel

yöntemlerdense yığın depolama tercih edilmelidir. Aynı zamanda yığın depolamanın ortak marketlerden daha çok kazandırdığı da ortadadır. (Krishnan, V., & Das, T., 2015)

Hajipour, Bozorg ve Fotuhi-Firuzabad (2015), çalışmada monte carlo simülasyonu kullanılarak izole bölgelerde bulunan şebekeler için optimal enerji planlaması yapılmıştır. Enerji depolama alanının boyutu dışında “Zamanla kapasite arttırımı yapılmalı mı?” gibi sorulara da odaklanılmıştır. Güvenlik kriterleri, yatırım ve işletim maliyetleri, verimlilik ve yaşam döngüsü gibi faktörler göz önüne alınarak enerji depolama sistemleri karşılaştırılmıştır. Operasyonel parametrelerin de ekonomik parametreler kadar önemli olduğu, teknoloji seçimiyle hem operasyonel hem ekonomik parametrelerde ciddi değişiklikler olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Yeni yöntemle geleneksel yöntemleri kıyaslarsak yeni metodolojinin daha karlı olduğu ortaya çıkmıştır. (Hajipour, E., Bozorg, M., & Fotuhi-Firuzabad, M., 2015).

Turan ve Yönetken (2016); enerji kaynaklarında verimliliğin arttırılması, farklı kaynaklar arası entegrasyon sağlanabilmesi, üretim ve tüketim oranlarının arttırılması, şebeke kararlılığı sağlamak, düşük karbon salınımını amaç edinerek enerjinin depolanma yöntemleri hakkında genel bir bilgi verilmiş ve kendi aralarında sistemler kıyaslanmıştır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artmasından dolayı verim açısından enerji depolama sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Tek bir depolama yöntemi kullanarak her koşulda istenen verim elde edilemeyeceği belirtilmiştir. Bu yüzden farklı sistemlerin bir arada kullanılması ve hangilerinin kullanılacağı belirlenmesi için maliyet analizi ile seçilmesi gerektiğinde karar kılınmıştır. Aynı zamanda bir gelecek öngörüsü olarak daha yeni ve verimli enerji depolama kaynaklarına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. (Turan, D., & Yönetken, A., 2016)

Günter ve Marinopoulos (2016), çalışmasına göre yeni gelişen teknolojiler sayesinde bataryaların fiyatı düşmekte ve elektriksel enerji depolama uygulamaları diğer sistemlerle yarışabilmektedir. Bu çalışmada frekans düzeltme ve zirve limitleme konularına değinilmiş, bunların maliyet fayda ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Şebekeye bağlı olan enerji depolama

sistemlerinde çeşitli uygulamaların tanıtılması ve bunların mevcut hali ile kıyaslaması yapılmıştır. Enerji piyasası ve çeşitli uygulamalardan bahsedildikten sonra enerji depolama sistemlerinin metrikleri belirlenmiştir. Mevcut ve gelecekteki piyasa durumları gösterilerek basit bir metodoloji yardımıyla enerji depolama sistemlerinin iki farklı uygulamasının fayda maliyeti ölçümlenmiştir. Piyasanın mevcut halinden biraz daha iyi olması durumunda bile enerji depolama sistemlerinin daha karlı oldukları kanıtlanmıştır. (Günter, N., & Marinopoulos, A., 2016)

Palizban ve Kauhaniemi (2016), modern şebekelerde kullanılan enerji depolama sistemlerinin farklı kullanım teknolojileri ve kullanılabildiği farklı uygulamalardan bahsedilmektedir. Enerji uygulamalarında hangi teknolojinin kullanılacağını seçmek için çeşitli faktörler kullanılabilir. Bu faktörler kapasite, güç, cevap verme süresi, boşalma ve dolma süreleri, yaşam ömrü gibi faktörlerdir. Amaç, performans fiyat dengesinin optimize edilmesidir. Elektriksel enerji depolama tekniklerinin uygulanabileceği uygulamalar çok limitli sayıda olmakla birlikte geçici güç durumlarını ele alır. Elektrokimyasal depolama ise yaygın kullanılmakla birlikte voltaj destekleme, frekans düzenleme ve black start uygulamalarında kullanılır. Mekanik depolama ise daha geniş enerji uygulamalarında ve yenilenebilir enerjinin büyük ölçekli olarak entegrasyonunda kullanılır. Bunlar haricinde termal ve bataryalarda yaygın olarak farklı uygulamalarda kullanılmakta ve getiri sağlamaktadır. (Palizban, O., & Kauhaniemi, K., 2016)

Aneke ve Wang (2016), enerji depolama sistemleri şebekenin stabilizasyonunu sağlamakla birlikte, enerji sistemlerinin daha verimli kullanılması ve fosil yakıt tüketimini azaltarak enerji üretiminin çevresel etkilerini azalttığını göstermektedir. Henüz gelişme aşamasında olan teknolojiler bulunduğu bölgesel enerji depolama sistemlerinde kullanılabilecek şekilde kanıtlanmış birkaç çeşit uygulama bulunmaktadır. Başlangıçta enerjideki arz talep dengesini sağlayabilmek, karbondioksit emisyonunu azaltabilmek için enerji depolama sistemlerinin kurulması zamanla devletlerin ilgisini çekmiştir. Bir sürü enerji depolama tekniği olmasına rağmen hepsi birbirinden farklı karakter ve

özelliktir ki bu durum her depolama sistemi için tek bir teknoloji seçip kullanmayı zorlaştırmaktadır. Bazı enerji teknolojileri ise (super kapasitör, termokimyasal vb.) henüz geliştirilmeye devam ettiğinden gerçek hayatta uygulaması bulunmadığından neler getireceği bilinmemektedir. (Aneke, M., & Wang, M., 2016)

Vo, Xia, Rogan, Wall ve Murhpy (2017), çalışmada pompalı hidro enerji sistemleri ve sıkıştırılmış hava depolama sistemi gibi enerji depolama sistemlerinden bahsetmektedir. Bu sistemler hem yüksek kapasiteli hem de uzun deşarj süresine sahiptir. Maliyet, verim, pozisyon esnekliği, depolama kapasitesi, deşarj süresi ve çevreye etkileri göz önüne alınarak tek kriterli ve çok kriterli karar verme problemleri çözülmüştür. Her depolama sistemi teker teker karşılaştırılınca ekonomik açıdan ve verim açısından olaya yaklaşıncaya en iyi sistemin PHES olduğu ortaya çıkmaktadır. (Vo, T. T. Q., Xia, A., Rogan, F., Wall, D. M., & Murphy, J. D., 2016)

Parra vd. (2017), insanların enerji ihtiyacının karşılanması, aynı zamanda fosil yakıtların tüketilmesinin önlenerek sera gazı salınımının azaltılması amaçlarıyla yola çıkılan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlaması enerjinin stoklanması gereksinimini doğurduğundan bahsetmektedir. Bölgesel enerji depolama sistemleri müstakil evler ve şebeke ölçeğindeki bölgeler için çeşitli alternatifler barındırmaktadır. Teknik ve ekonomik açıdan yaklaşılması gereken bu konu aynı zamanda bölgedeki ölçek ekonomisine ve bölgesel farklılıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Henüz gelişme aşamasında olan teknolojiler yüzünden bölgesel enerji depolama sistemlerinin bir kısmı çok ekonomik olmamakla birlikte ilerleyen zamanlarda yaygınlaşması beklenmektedir. Sürdürülebilir bir gelecek için fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynakların kullanımı ve bu kaynaklarda üretilen enerjinin depolanmasının çevreye yaptığı katkı da göz önünde bulundurularak devletlerce de desteklenmesi beklenmektedir. (Parra, D., Swierczynski, M., Stroe, D. I., Norman, S. A., Abdon, A., Worlitschek, J., Patel, M. K., 2017).

Fernandez-Blanco, Dvorkin, Xu, Wang ve Kirschen (2017), çalışmasında ele alınan önemli bir konu şebeke ölçekli enerji depolama sistemlerinde sistemin

nereye ve hangi büyüklükte yapılandırılacaktır. Bu araştırmada beklenen operasyon maliyeti ve enerji depolama sistemin yatırım maliyetlerinin minimizasyonu amaç fonksiyonudur. En çok lokasyon, en büyük boyut, ana sermaye ile yayılabilecek depolama, yenilenebilir enerjinin yayılmasının getirisi, geleneksel üretimin marjinal maliyeti ve yenilenebilir üretme kapasitesi gibi farklı açılardan yaklaşmıştır. Karışık tamsayı doğrusal programlamasıyla enerji depolama için optimal lokasyon ve boyut kararları verilmiştir. Ekonomik, politik ve mevzuatsal durumlarda probleme dahil edilmiştir. (Fernandez-Blanco, R., Dvorkin, Y., Xu, B., Wang, Y., & Kirschen, D. S., 2017)

2.3 MİKRO ŞEBEKELER VE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMLERİ

Barin vd. (2011), çalışmaya göre mevcut ve gelecekte oluşacak enerji kesintileri, çevresel endişeler dolayısıyla fosil kaynakların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının geçmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları genellikle enerji depolama sistemleriyle beraber daha dikkat çekici ve işlevsel olmaktadır. Güç kalitesi, verim, maliyet, çevresel etkileri, teknik uygunluk ve yük yönetimi unsurları dikkate alınarak çeşitli enerji depolama sistemleri analitik hiyerarşi ve bulanık mantık yöntemleriyle birçok kriterli karar verme problemi çözülmüştür. Güç kalitesini amaç fonksiyonu olarak aldıktan sonra enerji depolama sistemlerinin diğer unsurlarının birbirleriyle ilişkileri, önceliklendirme analizleri ve ağırlıkları belirlenmiştir. Tüm bunların sonucunda uygun enerji sistemleri bulunmuş ancak güç kalitesi amacı taşıdığından dolayı maliyet ve çevreye etkisi dikkate alınmadığından bunlar da dikkate alınarak tekrar çözülmüş ve aynı sonuca varılmıştır. (Barin, A., Canha, L. N., Abaide, A. R., Magnago, K. F., Wottrich, B., & Machado, R. Q., 2011)

Dursun (2012), Kırklareli Üniversitesi Kavaklı Kampüsü'nün enerji ihtiyacını güneş enerjisi ve yakıt hücreli güç üreten sistemlerle karşılamak için HOMER yazılımı üzerinden hibrit enerji sistemlerine dair çalışmalar yapılmıştır. Var olan hibrit sistemlerin enerji maliyetleri, yenilenebilirlik oranları, bugünkü net değer analizi maliyetleri ve hidrojen üretimleri üzerinden değerlendirmesi yapılmıştır. Bu makalede dört farklı şebeke bağımsız ve şebeke bağlantılı sistem simüle

edilerek HOMER yazılımında değerlendirildiğinden bahsedilmektedir. Yakıt tüketimi, çevreye katkısı, emisyon oranları ve ekonomik getiriler açısından dört farklı yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Şebeke bağımsız sistemlerin şebekeya bağlı sistemlere göre daha fazla yatırıma ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Bu yüzden de daha yüksek maliyetli enerjiye sebep olmaktadır. Her sistemin birbirine göre farklı artı eksileri bulunduğunu göstermektedir. (Dursun, B., 2012).

Dagdougui, Minciardi, Ouammi, Robba ve Sacile (2012), çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları yerel çevresel şartlara bağlı bir opsiyon olmakla beraber eğer güneş ve rüzgar yeterince fayda sağlanabilecek kadar ise geleneksel enerji üretim yöntemleriyle ekonomik olarak yarışabileceğinden bahsedilmiştir. Hibrit sistemler ise enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerjiyle eşgüdümlü çalışarak ekonomik açıdan gelişme sağlamaktadır. Bu makalede dinamik bir karar verme modeli ile yeşil bina kavramı için sürdürülebilir bir sistem aranmıştır. Dinamik bir enerji yönetim sistemi kurulmuş ve farklı tipteki enerji kaynaklarının farklı tipteki enerji gereksinimlerini karşılayabileceği bir algoritma tasarımı yapılmıştır. Enerji depolama sistemlerinin varlığı ve yokluğu arasındaki farklar değerlendirilmiştir. (Dagdougui, H., Minciardi, R., Ouammi, A., Robba, M., & Sacile, R., 2012)

Kocaman (2013), çalışmada AB komisyonunun hedefleri doğrultusunda yenilenebilir kaynaklardan enerji eldesi ve sera gazı salınımının azaltılması için akıllı şebekelerin ve mikro şebekelerin kurulması gerekliliğinden bahsedilmiştir. Akıllı şebekelerde kullanılacak enerji depolama teknolojileri ele alınmış ve hangi alanlarda kullanılacağı açıklanmıştır. Bu bilgiler sonucunda akıllı ve mikro şebekelerin gelecekte yaygınlaşacağı ve buna bağlı olarak enerji depolamanın gerekli olduğu görülmüştür. Doğal afetlerden dolayı meydana gelen arızalar, güç güvenilirliğini arttırmak, frekans ve gerilimi korumak gibi amaçlarda kullanılacak enerji depolama teknolojilerinden bahsedilmiştir. Elektrikli araçlar, bina ve evler ve akıllı şebekeler için hangi depolama tekniklerinin daha uygun olduğuna karar verilmiştir. (Kocaman B., 2013)

Cau, Cocco, Petrollese, Knudsen Kær ve Milan (2014), araştırmaları sırasında izole mikro şebekelerdeki enerji yönetimi için fotovoltaik diziler ve rüzgar türbinleri için batarya ve hidrojen depolama yöntemi kullanılarak oluşturulan bir enerji yönetim sistemi anlatılmaktadır. Geleneksel enerji yönetim sistemlerine göre yenilenebilir enerji kaynaklarının doğal durumlardan kaynaklanan kesikli yapıları göz önünde bulundurularak talep edilen enerjinin karşılanması için bir stratejik çizelgeleme oluşturulması gerektiği savunulmaktadır. Bu makale sonucunda bilinmezlikler göz önüne alınarak stokastik dağılımlarla oluşturulan farklı olası senaryolarla enerji yönetim stratejisi denenmiştir. Enerji depolama ekipmanlarının kullanım maliyetleri minimumda tutularak enerji talebi karşılanmaya çalışılmıştır. Geleneksel enerji yönetim stratejilerine göre enerji kullanım maliyetleri düşmüş ve ortalama enerji depolama verimi artmıştır. (Cau, G., Cocco, D., Petrollese, M., Knudsen Kær, S., & Milan, C., 2014).

Castillo ve Gayme (2014), çalışmaya göre şebeke lsnde depolama farklı karakterde teknolojilerin kullanılmasıyla oluşur ve bunlar çeşitli potansiyeller ve engeller yaratmaktadır. Belirsizliği hafifleten kaynakların sıralanması, ağa entegre edilen sistemlere dair diğer önemli noktaların keşfedilmesi, büyük ölçekli sistemlerden şebeke sistemlere geçiş adaptasyonun oluşturulması gibi önemli unsurlar vardır. Bir diğer ana unsur ise ekonomik uygulanabilirlik olduğundan sistemlerin teknik özelliklerinin çekişmesini (hem g hem enerji sağlayabilmesi gibi) ve piyasa koşullarını da göz önünde bulundurmak gereklidir. Tüm bunların yanı sıra mevzuatsal değişimlerin de hesaba katılması piyasa için gereklidir. Bu araştırmanın sonuçları piyasa ve mevzuat değişimleri eşit şekilde engeller oluşturduğunu göstermiştir. Bu yüzden de teknik, ekonomik ve mevzuatsal durumları göz önünde bulunduran yeni modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji depolama sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının taşınmaması, kesikli olması gibi durumların hepsini çözememektedir. Enerjinin kullanılabilirliği ve stabilizasyonu için bu durumda göz önünde bulundurularak bir sistem tasarlanmalıdır. (Castillo, A., & Gayme, D. F., 2014)

Pham ve Daniel (2015), enerji şebekelerinin esas parçalarının enerji depolama sistemleri olduğu anlatılmaktadır. Her enerji şebekesinin farklı koşulları ve

ihtiyaçları vardır. Bu kompleks ihtiyaçları karşılamak içinse birbirinden farklı karakterlerde enerji depolama sistemlerinden seçim yapmak gerekmektedir. Bu makalede seçim yapmak için bulanık mantık ile birçok kriterli karar verme problemi çözümlenmiştir. Küçük çaplı şebekelerde kullanılabilir ve sahada karar vericinin ağırlıklandırmasıyla oluşan basit bir algoritma kurulmuştur. Esnek olan bu algoritma ekonomik ve çevresel parametrelerde eklenerek kullanılabilir. (Pham, C. T., & Daniel, M., 2015)

Park ve Kwon (2016), alışma Güney Kore'nin yüksek derecede fosil yakıt bağımlılığından dolayı hkmet özellikle çok enerji ihtiyacı olan ğretim kurumlarının kendi ihtiyaçlarını karşılayacak yenilenebilir kaynaklara geçişinin istendiğinden bahsetmektedir. Bundan dolayı Kyung-Hee niversitesi elinde bulunan enerji kaynaklarıyla (dizel jeneratörler, güneş enerjisi, rzzgar enerjisi, bataryalar) mevcut enerji ihtiyacının karşılanması için HOMER yazılımıyla enerji kullanımının nasıl olması gerektiğine dair olası çözümler üretmiştir. 10 farklı şebekeye bağlı ve bağlı olmayan senaryo HOMER ile simüle edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. şebekeye bağlı olan sistemler her zaman daha verimli sonuçlanmıştır. (Park, E., & Kwon, S. J., 2016)

E. zdemir, Aktaş, Erhan ve ř. zdemir (2017), çalışmasında elektrik şebekelerine yardımcı olmak amacıyla enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve akıllı şebekeler için esneklik ve dengeleme yöntemleri sunulmuştur. Akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının yarattığı sorunlara çözüm olarak enerji depolama sistemlerinin katkılarından bahsedilmiştir. Bu alışma sırasında bir hibrit enerji depolama sistemi tasarımı yapılmıştır. Batarya ve ultra kapasitörlerin bir arada kullanılması ile yüksek enerji ve g yoğunluklu bir sistem tasarlanmıştır. Oluşturulan hibrit sistemin deneysel sonuçları incelenmiştir. Ultra kapasitör kullanımı maliyeti arttırsa da yüksek enerji ve güç yoğunluğunun sağlanması avantaj elde edilmesini kolaylaştırmıştır. Bu hibrit sistemle sürekli ve kaliteli bir enerjinin elde edilebileceği test edilmiştir. (zdemir, E., Aktaş, A., Erhan, K., & zdemir, ř., 2017)

Das, Hoque, Mandal, Pal ve Raihan (2017), Bangladesh'te bir akıllı şebeke için kurulan hibrit enerji depolama sisteminin maliyet analizini yapmıştır. Biyokütle jeneratörü, fotovoltaik hücreler, dizel jeneratör, rüzgar türbini ve kurşun-asit bataryalar yardımıyla izole bir bölgenin enerji ihtiyacı problemi çözümlenmiştir. Hibrit enerji depolama sisteminin Homer programı yardımıyla net bugünkü değer analizi çıkarılmıştır. Mevcut sisteme göre %40-%60 arası daha az karbon salınımı yaptığı bulunmuştur. Birim elektrik maliyeti olarak mevcut sistemle yarışabilecek bir seviyede olamdığı gözlenmiştir. (Das, B. K., Hoque, N., Mandal, S., Pal, T. K., & Raihan, M. A., 2017)

Das, Tan, Yatim ve Lau (2017), araştırmalarında Malezya'nın kırsal bölgelerinde elektrik ihtiyacı dizel sistemlerle sağlandığı anlatılmaktadır. Benzin fiyatındaki dalgalanmalar ve taşımanın zorluğundan dolayı yenilenebilir enerji alternatiflerine yönelim istenmiştir. Güneş enerjisi yardımı ile fotovoltaik piller, bataryalar ve yakıt hücreleri birlikteliği ile bir sistem tasarlanarak ekonomik anlamda analiz edilmiştir. Homer optimizasyon programı yardımı ile yeni sistemin çevre dostu olduğuna, dizel sistem ile değişimi için enerji birim maliyetinin ve toplam maliyetinin uygun olduğuna karar verilmiştir. (Das, H. S., Tan, C. W., Yatim, A. H. M., & Lau, K. Y., 2017)

Kuleli, Albayrak ve Erensal (2017), çalışmaları sırasında sürdürülebilir kalkınma için enerjinin en önemli faktörlerden biri olduğuna değinmiştir. Bu yüzden temiz, yenilenebilir ve fiyat bakımından uygun enerji kaynakları kullanılmalıdır. Ancak bu kaynakların hiçbiri tüm talepleri karşılamadığından uygun enerji sistemini seçmek için çok kriterli karar verme problemi çözülmesi gerektiği öne sürülmüştür. Sürdürülebilirlik faktörleri, bunların bağlılık ve birbirleriyle geri dönüşleri incelenmiştir. Bunun dışında tüm bu faktörlerin faydaları, fırsatları, maliyetleri ve riskleri de göz önüne alınarak bir problem kurulmuştur. Araştırma sonucunda Türkiye'nin enerji portfolyosuna dair çok sayıda bilgi çıkarılmış ve en çok kullanılması gereken kaynaklar belirlenmiştir. Analitik ağ modeli ile çözümlenmiştir. (Kuleli Pak, B., Albayrak, Y. E., & Erensal, Y. C., 2017)

Waqar vd. (2017), Pakistan gibi kapasite yetmezliğinden kaynaklı enerji kesintilerinin çok olduğu ülkelerde termal kaynaklar yardımıyla enerji üretimi

ortaya çıkmasından bahsedilmektedir. Kombine ısı ve güç santralleri konsepti bu ülkeler için en iyi opsiyonlardır. Fotovoltaik hücreler, bataryalar ve dizel jeneratörlerin de bu sisteme eklenmesi Homer programı yoluyla simüle edilmiştir. Yıllık çevrilen ısı enerjisinin maksimizasyonu, birim maliyetler, net bugünkü değer analizi, sera gazı emisyonunun minimize edilmesi amaçları ile santralin kurulabileceği lokasyonlar arasından en iyisi seçilmiştir. (Waqar, A., Shahbaz Tanveer, M., Ahmad, J., Aamir, M., Yaqoob, M., & Anwar, F., 2017)

G. Singh, Baredar, A. Singh ve Kurup (2017), çalışmada bir ada için kurulan yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil olduğu elektrik üretim sisteminin minimum maliyette enerji üretmesi problemini çözümlenmiştir. Bu çözümlenme sonucunda güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi yardımıyla izole bir bölge için proje ömrü boyunca oluşacak maliyetler net bugünkü değer analizi sayesinde yansıtılmıştır. (Singh, G., Baredar, P., Singh, A., & Kurup, D., 2017)

Halabi, Mekhilef, Olatomiwa ve Hazelton (2017), çalışmada Malezya'da bulunan iki farklı lokasyondaki iki farklı enerji yönetim sisteminin analizini yapmıştır. İki lokasyonda da fotovoltaik, dizel jeneratör ve bataryalardan oluşan hibrit enerji depolama sistemleri bulunmaktadır. Teknik, ekonomik, çevresel koşullar bakımından iki sistemin mali analizi yapılmıştır. Hibrit sistemlerin, maliyet açısından en uygun sistemler olduğu tespit edilmiştir. %100 yenilenebilir sistemler ise en çevreci sistem olmalarının yanı sıra en yüksek maliyetteki sistemlerdir çıkarımı yapılmıştır. (Halabi, L. M., Mekhilef, S., Olatomiwa, L., & Hazelton, J., 2017)

Akinyele (2018), Nijerya'da üç lokasyonda bulunan bir grup ev için detaylı kapasite, kazanç ve kayıplar, bataryaların şarj durumları, güvenilirlik, kullanıcıların enerji talebi artışı ve çevrim ömür analizi unsurları dikkate alınarak Homer programı yardımıyla bir problem çözdürülmüştür. Bu çözümlenmenin sonucunda ekonomik anlamda kurulum, bakım, değişim ve birim elektrik üretim maliyetlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. (Akinyele, D., 2018).

Sawle, Gupta ve Bohre (2018), güneş ve rüzgar enerjisi ile kurulan hibrit enerji sisteminin iki farklı optimizasyon yöntemiyle analiz edilmesi ve analizlerin karşılaştırılması yapmıştır. (Sawle, Y., Gupta, S. C., & Bohre, A. K. (2018).

Halabi ve Mekhilef (2018), hibrit enerji sistemlerinde sürdürülebilir kaynaklar ve enerji yönetim konseptlerinden bahsetmiştir. Minimum maliyet ile güvenilir bir sistem tasarlamak istenmiştir. Geleneksel yöntemler ve yenilenebilir kaynakların bir arada kullanarak en az maliyete sahip ve çevreye duyarlı bir sistem tasarlanmak hedeflenmiştir. Fiyatı düşürebilmek ve yeterli miktarda enerji üretmek için geleneksel yöntemlerden de yararlanılmıştır. Geleneksel yöntemlerin kullanılması karbondioksit salınımını arttırmıştır. Tüm bu çalışma sırasında görülmüştür ki enerji kaynaklarının ve depolama sistemlerinin tüm karakteristik özellikleri seçimleri fazlasıyla etkilemektedir. (Halabi, L. M., & Mekhilef, S., 2018)

Nag ve Sarkar (2018), çalışmada Hindistan'ın kırsal bölgelerinde kullanmak için hibrit bir enerji sistemi modellenmesi amaçlanmıştır. Güneş, rüzgar, hidro ve biyokütle enerjileri kullanılarak bir tasarım yapılmış ve Homer programında çözdürülmüştür. Uzun süreli bir model kurulmuş gelecek için bir öngörü hazırlanmıştır. Farklı enerji kaynakları kullanmanın avantaj sağladığı görülmüştür. (Nag, A. K., & Sarkar, S., 2018)

2.4 MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR

Literatür taraması yapılırken görüldüğü üzere enerji kaynakları ve enerji depolama sistemlerinin seçiminde birçok farklı matematiksel yaklaşım kullanılmıştır. Bunların en yaygınları çok kriterli karar verme teknikleri, matematiksel programlama metodları, net bugünkü değer analizleri ve HOMER (hibrit ve çoklu enerji kaynaklarının optimizasyonu) optimizasyon programıdır. Tüm yaklaşımlarda temel olarak enerji ihtiyacının en ucuza sağlanması adına oluşturulacak hibrit sistemlerin seçimi ele alınmıştır.

Tüm matematiksel yaklaşımlar aynı amaç doğrultusunda kullanılsa da aralarında bazı farklılıklar vardır. Örneğin doğrusal programlama ile maliyetler

ve sera gazı salınımı dikkate alınmışken, çok kriterli karar verme ile enerji depolarının teknik kısıtlamaları ve özellikleri dikkate alınarak depo sistemi seçilmiştir. Net bugünkü değer analizi ise kurulacak olan enerji kaynaklarının ve enerji depolamalarının yaşam ömürlerini de dikkate alarak uzun süreli bir proje olarak planlanmasını sağlamış ve maliyetleri dikkate almıştır. Ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı tarafından geliştirilen ve bu tarz problemler için çokça kullanılan bir diğer optimizasyon metodu ise HOMER programıdır. Bu program ise enerji talebini karşılamak için kurulacak enerji üretim ve depo sistemlerinin seçimini enerjinin birim maliyetini hesaplayarak seçmektedir.

Bu noktada enerji üretim ve depolama sistemleri arasından seçim yaparken kullanılan yöntemlerin büyük çoğunluğunun maliyet esasına dayandığı görülmüştür. Ancak bizler için maliyet kadar önemli bir diğer hedef ve amaç ise sera gazı salınımının düşürülmesi ve yaşanabilir bir dünya bırakmaktır.

2.4.1 Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme seçeneklerin ve karar kriterlerinin çok olduğu sistemlerin çözülmesi için bir matematiksel çözüm yöntemidir. Bir çok farklı biçimi olan çok kriterli karar verme yöntemi mevcuttur. Enerji kaynağı ve enerji depolama sistemleri seçimi problemlerinde fazlasıyla kullanılmasının temel sebebi kaynak ve depo sistemlerin çok alternatifli ve çok sayıda özelliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Çok kriterli karar verme problemlerinde en iyi/olası/uygun alternatif seçilmeye çalışılır.

Çok kriterli karar verme problemi çözmek için öncelikle karar verilecek alternatiflere yani kullanılacak enerji kaynak ve depolarına karar verilir. Daha sonraki adımda karar vermeye yarayan ve problem için önem taşıyan seçim kriterlerinin neler olduğu belirlenir. Bu noktada alternatiflerin teknik özellikleri, çevresel etkileri, ekonomik getiri ve maliyetleri gibi özelliklerin hepsi seçim kriteri olarak belirlenip sıralanabilir. Başlangıçta belirlenen enerji kaynak ve depo alternatiflerinin seçim kriterlerine bağlı olarak ölçümleri yapılır ve puanlanır. Daha sonra verilen puanlar, kriterlerin problemdeki ağırlığı doğrultusunda matematiksel bir modele dönüştürülerek değerlendirilir. Bu değerlendirmenin

yapılabilmesi için çok kriterli karar metotlarından problemin amacı ve niteliğine uygun birtanesi seçilebilir. Matematiksel problemin çözümü sonrasında hangi alternatiflerin seçilmesi gerektiğine karar verilir.

2.4.2 Net Bugünkü Değer Analizi

Net bugünkü değer analizi bir proje planlanırken o projenin süresi boyunca getirisi ile proje için bugün harcanması gereken maliyetlerin arasındaki farkın hesaplanmasına dayanan bir methoddur.

Net bugünkü değer analizi proje ömrü boyunca oluşan tüm maliyetlerin dikkate alınması ile oluşturulur. Öncelikle belirli bir proje ömrü belirlenir. Örneğin 30 sene boyunca belirli bir alanın enerji talebine cevap verecek hibrit bir sistem kurduğumuzu düşünelim. 30 yıl boyunca kurulacak enerji kaynak ve depo sistemlerinin kurulum maliyetleri, bakım ve onarım maliyetleri, işletme giderleri, amortisman maliyeti, yakıt maliyetleri toplanır. Daha sonra amortisman faktörü hesaplanır. Amortisman faktörü faiz oranı ve enflasyon oranına bağlıdır. Denklem 4.3.1'den de görülebileceği üzere amortisman faktörü hesaplanır.

$$\text{Amortisman Faktörü} = \frac{\frac{i_0 - f}{1 + f} + (1 + \frac{i_0 - f}{1 + f})^N}{(1 + \frac{i_0 - f}{1 + f})^{N-1}} \quad (2.4.2.1)$$

2.4.2.1 denkleminde N proje ömrü, i_0 yıllık reel faizi, f enflasyon oranını göstermektedir.

Hibrit sisteme proje ömrü boyunca harcanan tüm maliyetlerin toplamının amortisman faktörüne bölünmesi yolu ile sistemin net bugünkü değeri ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem kullanılarak farklı sistemlerin net bugünkü değerleri karşılaştırılmaktadır.

2.4.3 Matematiksel Programlama

Enerjinin optimizasyonu yöneylem araştırmasının uygulama alanlarından biridir. Bu problemler bir çok amaca sahip olmasının yanı sıra karmaşık karar verme problemleridir. Enerji problemlerinin çözümünde doğrusal programlama, çok kriterli doğrusal programlama, tamsayı programlama gibi değişik yöntemler

kullanılmaktadır. Tüm yöntemlerin temelinde amaç edinilen unsurun en iyilenmeye çalışılması hedeflenmektedir.

Matematiksel programlama ile enerji problemleri çözülürken yer seçimi, üretim miktarı, yapılması gereken toplam yatırım, enerji kaynaklarının seçimi, depolama kaynaklarının gibi kararlar verilmektedir. Bu amaçların bir kısmını bir arada çözümlenebilmek için çok amaçlı doğrusal programlama kullanılabileceği gibi sadece ekonomik bir optimizasyon yaratmak için doğrusal programlamadan yararlanılmaktadır. Enerji optimizasyonu problemlerinin teknik, ekonomik ve çevresel bir sürü kısıtı bulunabilmektedir.

Bu tarz enerji problemlerinin çözümünde matematiksel programlama kullanılmasının temel sebeplerinden biri optimizasyon yapmaya uygun bir problem türü olması ve bu optimizasyonda hem ekonomik anlamda hemde çok kriterli karar vermede kullandığımız unsurların hepsinin bir arada göz önünde bulundurulabilmesidir.

Matematiksel programlama yaparken problemin amacı, kısıtları, girdileri ve karar verilmesi gereken unsurların belirlenmesi ile başlanır. Daha sonra karar verilmesi gereken unsurların tamsayılı, kesirli olmasına göre programlamanın tipi belirlenir. Aynı zamanda amaç fonksiyonundaki amaçların birden çok olması durumunda da problem çok amaçlı doğrusal programlama olarak hazırlanmalıdır. Problemin sonucunda ise amaca uygun en büyüklenmiş veya en küçüklenmiş sonuca ulaşılması sağlanmaktadır.

2.4.4 Homer

Ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı tarafından tasarlanan Homer (hibrit ve çoklu enerji kaynaklarının optimizasyonu) mikro şebeke tasarlamak üzere kurulan bir optimizasyon programıdır. Homer temelde benzetim, optimizasyon ve duyarlılık analizi işlevlerinin hepsini bir arada yürütebilmektedir.

Öncelikle bir sistem için girilen her türlü girdiyi (mevsimsel, coğrafik, teknik) proje ömrü boyunca saatlik olarak simüle ederek modeller. Daha sonra proje ömrü boyunca net bugünkü değer analizi yaparak en düşük maliyetli sistem

tasarımını bulmaya çalışır. Son aşamada ise belirsizlikleri de göz önünde bulundurarak duyarlılık analizleriyle çoklu optimizasyon yapmaktadır.

Homer programı mikro şebeke için enerji kaynakları alternatiflerini ve depolama sistemi alternatiflerini bir arada değerlendirir. Bunun için bir bölge için karşılanması istenen enerji talebi, o bölgenin fiziksel kaynakları, meteorolojik verileri sisteme girilir. Bu veriler benzetim yöntemiyle simüle edilerek bir veri seti oluşturulur. Daha sonrasında sistem insan elinde olmayan bazı değişkenleri belirler bunlar gelecekteki petrol fiyatlarındaki değişiklikler, rüzgar hızındaki değişimler gibi verilerdir. Bu veriler üzerinde çeşitli duyarlılık analizleri çalıştırır. Tüm bu girdilerle ise matematiksel bir problem yaratarak problemi toplam maliyeti en küçükleyecek biçimde çözüme ulaştırır. Sonuç olarak ise hangi enerji kaynaklarının ne kadar kullanılması ve kurulması gerektiği, hangi depo sistemlerinin seçilmesi ve ne kadar kullanılması gerektiği ve bütün bu enerji yönetim sisteminin maliyetinin ne kadar olacağı bilgilerini vermektedir.

Homer programı dördüncü bölümde bahsettiğimiz diğer tüm matematiksel yaklaşımları kapsamaktadır diyebiliriz. Çok kriterli seçeneklerden arasından karar verme, maliyetler açısından net bugünkü değer analizi gerçekleştirme ve maliyet optimizasyonu yapmak için bir model kurmaktadır. Homer hazır bir program olduğundan bir çok bilimsel çalışmada kullanılmaktadır.

BÖLÜM III

UYGULAMA 1

3.1 TÜRKİYE İÇİN UZUN DÖNEMLİ ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİ

İlk uygulamada mevcut kaynaklarda göz önünde bulundurularak Türkiye'nin uzun dönemli enerji ihtiyacının hangi kaynaklar ile karşılanacağı sorusunun yanıtı aranmıştır. ETKB ve TEİAŞ'ın yaptığı gelecek projeksiyonuna dayanarak 2013-2023 yılları arasındaki enerji talepleri doğrultusunda Türkiye için kurulması gereken yeni enerji kaynaklarının tür ve boyutları belirlenmiştir.

Modelin temel amacı uzun bir dönem boyunca artan enerji ihtiyacını karşılayabilecek konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seçilmesidir. Aynı zamanda yeni kurulacak kaynaklarında kapasitesine karar vermektedir. Bu problem makro düzeyde incelenmiş olup tüm Türkiye için çözdürülmüştür.

Modelin bir senaryosunda ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yenilenebilir kaynakların artırılması konusunda belirlediği hedefler doğrultusunda enerji kaynaklarının seçimi yapılmıştır. Modelin bu hedefleri sağlaması için hedefler modele kısıt olarak eklenmiştir. Modelin bu kısmı sayesinde hedeflerin gerçekleşmesi ile mevcut sistemin devam etmesi arasındaki sera gazı salınımı değişimini göstermektedir.

Problem kurulurken Türkiye'nin 10 yıllık enerji talebi baz alınmış ve mevcut kaynaklar ile enerji ihtiyacı karşılanmaya çalışılmıştır. Tüm talebin karşılanması için mevcut kaynaklara ek olarak seçilmesi gereken kaynakların kurulum, bakım onarım ve kullandığı petrol maliyetlerine göre değerlendirilmiştir. Aynı zamanda karbon salınımının yarattığı çevresel zarar için BM tarafından belirlenen karbon salınım vergisi de probleme katılmıştır.

Çalışmanın bu kısmında kurulan matematiksel modellerde yedi farklı senaryo ile çeşitli politikalar izlenmiştir. Baz senaryoda Türkiye için tahmini hesaplanan enerji talebini karşılayacak enerji kaynaklarının seçimi problemine çözüm bulunmaktadır. Hangi kaynaktan ne kadar kurulacağına karar veren baz model ilk senaryoda uygulanmıştır. İlk senaryoda baz modelin karbon salınımına karşı

önlem olarak vergilendirilmiş hali çözümlenmiştir. İkinci senaryoda sera gazı vergisi BM'nin belirlediği miktardan daha düşük olsaydı sorusunun sonucunda seçilecek enerji kaynaklarını belirlemektedir. Üçüncü senaryoda sera gazını direkt olarak limitlenmesinin sonuçları yansıtılmaktadır. Dördüncü senaryo enerji kaynağı kurulum hedefleri ve kurulum kapasiteleri hiçe sayılarak sadece yenilenebilir kaynak kurulsaydı ve mevcut konvansiyonel kaynaklarla devam edilseydi oluşacak sonuçları sergilemektedir. Beşinci senaryo enerji kaynağı kurulum hedeflerini görmezden gelerek mevcut enerji kaynaklarının aynı yüzdelerle kurulmaya devam etmesi sonucunda gelecekte olacak sonuçları göstermektedir. Son senaryoda ise ETKB'nin belirlediği kurulu güç hedefleri doğrultusunda enerji ihtiyacının karşılanması ve kaynakların kurulmasının sonucu yer almaktadır. Senaryolar ile ilgili özet tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Uygulama 1 Senaryo Listesi

Senaryo Adı	Senaryo Amacı
Baz Senaryo	Herhangi bir sera gazı limiti veya kaynak kurulum hedefi olmaksızın enerji talebinin karşılanması.
Senaryo 1	Baz senaryo üzerine sera gazı BM'in belirlediği miktarda vergilendirilmiş uzun vadeli enerji kaynak planlanması.
Senaryo 2	Baz senaryo üzerine düşük düzeyde sera gazı vergilendirilmiş uzun vadeli enerji kaynak planlanması
Senaryo 3	Baz senaryo üzerine sera gazı salınımı limitlendirilerek enerji kaynak planlanması.
Senaryo 4	Mevcut kaynaklara ek olarak sadece yenilenebilir enerji kaynağı planlanması.
Senaryo 5	Mevcut enerji kaynağı yüzdeleri ile enerji kaynak planlamasına devam eden senaryo.

Senaryo 6	ETKB'nin belirlediği uzun vadeli kaynak kurulum hedeflerine uyarak uzun vadeli enerji kaynak planlanması.
--------------	---

Problemin sonucunda kurulacak enerji kaynaklarının toplam proje maliyeti, birim enerji üretim maliyeti ve sera gazı salınım miktarı bulunmuştur. Belirlenen hedefler doğrultusunda kurulan kısıtlarla ise sera gazı salınımının yenilenebilir enerji kaynakları yoluyla olan değişimi gösterilmek istenmiştir. Matematiksel modellerin çözümü IBM ILOG CPLEX programı yardımıyla bulunmuştur.

3.1.1 Enerji Kaynağı Seçimi Modellerinin Varsayımları

Çalışma boyunca belirli varsayımlar yapılarak matematiksel modeller çözdürülmüştür. Bu varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- Birleşmiş Milletler tarafından hesaplanan Sera Gazı Vergisi'nin 20 dolar olduğu varsayılmıştır.
- Deloitte firmasının yayınladığı Türkiye için Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında bulunan TEİAŞ'ın geçmiş veriler ile hazırladığı Türkiye'nin gelecekteki enerji talebi projeksiyonu problemde enerji talebi olarak varsayılmıştır. (Deloitte,2014."National Renewable Energy Action Plan for Turkey")
- Dünya Doğayı Koruma Vakfı Türkiye'nin yayınladığı Türkiye'nin Yenilenebilir Gücü raporunda temel aldığı TEİAŞ ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Stratejik Planından alınan Türkiye'nin gelecekteki enerji kaynağı arttırım hedefleri modelin gerçekleştireceği hedefler olarak alınmıştır.(WWF Türkiye, Türkiye'nin Yenilenebilir Gücü)
- Kurulu güçlerin ne kadar enerji ürettiğini bulmak için TEİAŞ'ın Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu Raporunda bulunan santrallerin ortalama çalışma süreleri kullanılmıştır. (TEİAŞ,2013)

- Kaynak kurulumlarının kapasitesi ise daha önceki yıllarda kurulan kaynakların büyüklüğünden yola çıkılarak en büyük ölçekte kurulan kaynak kabul edilerek kullanılmıştır.
- İndirim oranı ise uzun dönemli bir problem olduğundan maliyetlerin zamanla düşeceği varsayımından yola çıkılarak %5 olarak kabul edilerek kullanılmıştır. (Geem, Z., & Kim, J. H., 2016)

3.1.2 Enerji Kaynağı Seçimi Baz Modeli

Kümeler:

i : Enerji Kaynakları Kümesi. $i = \{1, \dots, N\}$

t : Zaman Periyotları Kümesi. $t = \{1..T\}$

Parametreler:

D_t : $t \in T$ Zamanındaki Enerji Talebi

cf_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Kapasite Faktörü

$cons_i$: $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Kurulum Maliyeti

om_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Bakım ve Onarım Maliyeti

fc_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Petrol Maliyeti

sgs_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Salınım Oranı

$exist_i$: $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Mevcut Güç Miktarı

$target_{it}$: $t \in T$ Zamanındaki $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynakları için Hedeflenen Güç Miktarı

$percent_t$: $t \in T$ Zamanını için Hedeflenen Yenilenebilirlik Oranı

cap_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Kurulum Kapasitesi

re_i : $\begin{cases} i \in N \text{ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Yenilenebilir Olması} & 1 \\ \text{Konvansiyonel Olması} & 0 \end{cases}$

d_t : $t \in T$ Zamanındaki indirim oranı

per_i : $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Mevcut Yüzdeleri

limit : Sera Gazı Limiti

M : Büyük Sayı

Karar Değişkenleri:

X_{it} : $t \in T$ Anında Sistemde Bulunan $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarına Eklenmesi Gereken Güç Miktarı

Y_{it} : $t \in T$ Anında Sistemde Bulunan $i \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Toplam Güç Miktarı

Matematiksel Model

Min	$\sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * cons_i + X_{it} * om_i + Y_{it} * cf_i * fc_i) * d_t$	(3.1.2.1)
$Demand_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * cf_i)$		$\forall t \in T$ (3.1.2.2)
$Y_{i1} = X_{i1} + exist_i$		$\forall i \in N$ (3.1.2.3)
$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it}$		$\forall t \in T, \forall i \in N$ (3.1.2.4)
$cap_i \geq X_{it}$		$\forall i \in N, \forall t \in T$ (3.1.2.5)

Denenen tüm senaryolar arasından en maliyet etkin sonucun bulunması için sadece kapasite kısıtı altında enerji talebinin karşılanmasına yönelik çalışılmıştır. Çevresel bir güdü bulunmayan bu senaryoda herhangi bir sera gazı limiti veya vergisi olmadığı takdirde en maliyet etkin sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda herhangi bir kurulu güç hedefi de bulunmamaktadır. En yalın ve sade model olduğundan diğer senaryolarda bu senaryo üzerine eklenen kısıtlar ile denenmektedir.

Modelin amaç fonksiyonu olan (3.1.2.1) denkleminde proje ömrü boyunca kurulması gereken enerji kaynaklarının kurulum maliyeti, bakım onarım maliyeti ve kullandıkları petrol maliyetleri göz önünde bulundurularak toplam maliyetin seneler boyuncaki indirim oranı da göz önünde bulundurularak minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

(3.1.2.2) Kısıtı sistemin çalıştığı süre boyunca enerji talebinin karşılanması için kurulan denge kısıtıdır. Mevcut kaynakların kapasite faktörüyle çarpılması sonucunda üretilen enerji miktarının talepten fazla olması gerekmektedir.

(3.1.2.3) ve (3.1.2.4) kısıtları varolan enerji kaynakları ve yeni kurulacak enerji kaynaklarının mevcut kaynakların toplamını göstermesine yarayan kısıtlardır. Yeni kurulacak kaynakların miktarı bir önceki kısıt ile talep miktarına bağlı olarak belirlenmektedir.

Kısıt (3.1.2.5) ise bir sene içinde kurulabilecek enerji kaynağının büyüklüğünü gösteren bir kapasite kısıtıdır. Ortalama olarak daha önceki kurulan enerji kaynağı değerlerinden yola çıkılarak belirlenen bu kapasite değeri bir sene içinde kurulabilecek maksimum kaynak büyüklüğünü göstermektedir.

3.1.3 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 1

Bu senaryoda baz olarak kullanılan senaryonun üzerine sera gazı salınımının vergilendirilmesi eklenmiştir. Bu vergi BM tarafından belirlenmiş olup yaklaşık değeri 20 dolardır. Ne kadar sera gazının enerji kaynaklarından çıktığı ve salındığını ölçüp daha sonra salınan her bir ton CO₂ için ekstra bir maliyet olduğunu göz önüne alarak bir matematiksel problem çözdürülmüştür. Bu noktada enerji kaynaklarının kurulum maliyetlerinin yanı sıra saldıkları sera gazı için de bir maliyet oluşmaktadır. Doğal olarak konvansiyonel kaynakların kurulum maliyetleri performanslarına göre daha düşük olsada saldıkları sera gazının yüksek olması sebebiyle maliyetlerini arttırıp yenilenebilir kaynaklarla mücadelesini zorlaştırmaktadır.

Baz modelde yer alan tüm kısıtlar (3.1.2.2) – (3.1.2.7) olduğu gibi bırakılmıştır. Sadece amaç fonksiyonuna bir denklem eklenerek problem çözdürülmüştür.

Matematiksel Model

$$\text{Min } \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * cons_i + X_{it} * om_i + Y_{it} * cf_i * fc_i) * d_t + sgs_i * cf_i * init_{it} * 20 \quad (3.1.3.1)$$

$$Demand_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * cf_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.3.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + exist_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.3.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.3.4)$$

$$cap_i \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.3.5)$$

Amaç fonksiyonuna yeni eklenen denklem:

$$\sum_i^N \sum_t^T sgs_i * cf_i * Y_{it} * 20 \quad (3.1.3.6)$$

Sera gazı salınımına bağlı vergi miktarının maliyetini bulmak için mevcut kaynakların yaptığı üretime bağlı sera gazı salınım miktarı ve BM tarafından belirlenen karbon salınımının maliyetinin çarpımı hesaplanmaktadır. (3.1.3.6) denklemi karbon salınımının maliyetini göstermektedir. Baz modelin amaç fonksiyonuna (3.1.2.1)'e eklenen (3.1.3.6) denklemi sayesinde model enerji kaynakları arasında seçim yaparken bu kaynakların sera gazı salınım oranlarını da değerlendirmektedir. Yani bu senaryoda baz senaryoya oranla çevresel ve maliyetsel etkenler daha baskındır.

3.1.4 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 2

Baz senaryo ve senaryo birin bir uyarlaması olan sera gazının maliyetlendirilmiş hali olan bu modelde BM tarafından belirlenen sera gazı salınımı vergisi için daha düşük olsaydı varsayımı yapılmıştır. Sera gazı maliyetinin düşürülmesinin enerji kaynağı seçimine etkisi gözlemlenmektedir. Maliyetsel olarak sera gazı salınımı enerji kaynaklarının kurulum maliyetine yaklaştıkça seçilen enerji kaynakları arasındaki dengelerin değişimi gözlemlenebilmektedir.

Baz modelde yer alan tüm kısıtlar (3.1.2.2) – (3.1.2.7) olduğu gibi bırakılmıştır. Sadece amaç fonksiyonuna bir denklem eklenerek problem çözdürülmüştür.

Matematiksel Model

$$\text{Min } \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * cons_i + X_{it} * om_i + Y_{it} * cf_i * fc_i) * d_t + sgs_i * cf_i * init_{it} * 2 \quad (3.1.4.1)$$

$$Demand_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * cf_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.4.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + exist_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.4.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.4.4)$$

$$cap_i \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.4.5)$$

Amaç fonksiyonuna yeni eklenen denklem:

$$\sum_i^N \sum_t^T sgs_i * cf_i * init_{it} * 2 \quad (3.1.4.6)$$

3.1.5 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 3

Mevcuttaki senaryolara göre biraz daha çevreci ancak daha gerçekçi olmak gerekirse tamamen yenilenebilir kaynak kurmak günümüzde henüz mümkün değildir. Yenilenebilir kaynakların yanında kurulan konvansiyonel kaynakların ise gün geçtikçe azalması gerekmektedir. Bu senaryo ise enerji kaynağı kurulum hedeflerinin tamamen dışında sera gazı salınımını limitleyerek kurulacak enerji kaynaklarına karar vermektedir.

Baz modelin tüm kısıtları olduğu gibi bırakılarak (3.1.5.6) kısıtı eklenerek sera gazı salınımının limitlenmesi sayesinde azaltılması sağlanmaktadır.

Matematiksel Model

$$\text{Min} \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * cons_i + X_{it} * om_i + Y_{it} * cf_i * fc_i) * d_t \quad (3.1.5.1)$$

$$Demand_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * cf_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.5.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + exist_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.5.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.5.4)$$

$$cap_i \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.5.5)$$

$$\sum_i^N \sum_t^T sgs_i * cf_i * Y_{it} \leq Limit \quad (3.1.5.6)$$

Yeni eklenen kısıtlar:

$$\sum_i^N \sum_t^T sgs_i * cf_i * Y_{it} \leq Limit \quad (3.1.5.6)$$

3.1.6 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 4

Baz senaryo üzerinden uyarlanan dördüncü senaryoda mevcuttaki konvansiyonel kaynakların varlıklarını sürdürmelerinin yanı sıra politikaların daha çevresel yürütülmesiyle beraber sadece yenilenebilir kaynakların kurulumunu hedeflemektedir. Her ne kadar zor gözükse de bu tez çalışmasının ikinci matematiksel bölümünde yer alan izole bölgelerde kurulan yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının karşılanması probleminde olduğu gibi bu senaryoda da sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulmasının sonuçları gösterilmek istenmiştir.

Mevcut kurulu gücün üzerine sadece yenilenebilir enerji kaynakları eklenerek enerji talebinin mevcut kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklarla karşılanması sağlanmaktadır. Yenilenebilir kaynakların yüzdesi bu modelde yüksek oranda artacaktır.

Matematiksel Model

$$\text{Min} \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * \text{cons}_i + X_{it} * \text{om}_i + Y_{it} * \text{cf}_i * \text{fc}_i) * d_t \quad (3.1.6.1)$$

$$\text{Demand}_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * \text{cf}_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.6.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + \text{exist}_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.6.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.6.4)$$

$$\text{cap}_i \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.6.5)$$

$$\text{re}_i * M \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.6.6)$$

Yeni eklenen kısıtlar:

$$\text{re}_i * M \geq X_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.1.6.6)$$

Matematiksel modele eklenen yeni kısıt sayesinde yenilenebilir olmayan yani konvansiyonel kaynakların kurulumu engellenerek sadece yenilenebilir kaynaklar arasından seçim yapılması sağlanmaktadır. Bu senaryoda ise hangi yenilenebilir enerji kaynağının daha çok tercih edilebileceği maliyet açısından gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih sıralamasının ortaya çıkmasının yanı sıra oldukça çevreci bir politika izlemenin maliyeti de gözler önüne serilmektedir.

3.1.7 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 5

Bu senaryoda Türkiye'nin kaynak kurulum hedefleri, sera gazı limitleri, kaynakların kurulum kapasiteleri yok sayılarak bugünkü politikaların izlenmeye devam etmesi sonucunda oluşacak sera gazı salınımı ve enerji kaynaklarının kurulumu için harcanması gereken maliyetler ortaya konmuştur. Çalışmanın tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulamakla birlikte politikaların değişmesi gerektiğini öne sürmek için kurulan bu senaryoda tüm

konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları bugünkü yüzdeleri ile artmaya devam etmektedir.

(3.1.2.5) kısıtı da bu modelde yer almamaktadır. Kaynakların kurulumu için herhangi bir kapasite yetersizliği olmayacağı öngörüsü yapılmıştır. Oysa bu senaryo gerçek anlamda baktığımızda fosil kaynakların tükenmesi tehlikesi ile karşı karşıya olduğundan mevcut politikalar sonucu kurulabilecek bazı kaynakların aslında kurulamayacak kapasitede olacaklarını da bize gösterebilmektedir.

Matematiksel Model

$$\text{Min} \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * \text{cons}_i + X_{it} * \text{om}_i + Y_{it} * \text{cf}_i * \text{fc}_i) * d_t \quad (3.1.7.1)$$

$$\text{Demand}_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * \text{cf}_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.7.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + \text{exist}_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.7.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.7.4)$$

$$Y_{it} * \text{cf}_i = \text{per}_i * \text{Demand}_t \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.7.5)$$

Yeni eklenen kısıtlar:

$$Y_{it} * \text{cf}_i = \text{per}_i * \text{Demand}_t \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.7.5)$$

Kısıt (3.1.7.5) sayesinde enerji kaynakları o seneki enerji talebinin sonucuna göre artmaları gereken miktarda artarak günümüzdeki politikaların devam ettirilmesi ve yenilenebilir kaynaklarda özellikle bir artış olmaması durumunu yaratmaktadır. Her kaynağın aynı yüzde oranlarını koruyacak biçimde enerji talebi ile artışını sağlanmaktadır.

3.1.8 Enerji Kaynağı Seçimi Modeli Senaryo 6

Son senaryoda ise ETKB'nin belirlediği kurulum gücü hedefleri dikkate alınarak Türkiye için uzun vadede hangi kaynakların hangi yıllarda hangi oranda arttırılacağı bulunmuştur. Bu senaryo en maliyetli senaryolardan biri olacaktır çünkü talepten daha yüksek bir oranda kaynak kurulumu hedeflenmektedir. Bu durumun birkaç temel sebebi vardır bunlar;

- ETKB hedeflenen kurulum güçlerini elektrik enerjisi ihtiyacı için değil Türkiye genelindeki her çeşit enerji ihtiyacını karşılayacak biçimde belirlemiştir. Bunun içine ısınma, ulaşım, elektrik dahil edilerek hesaplanmıştır.
- ETKB aynı zamanda Bulgaristan, Yunanistan, Gürcistan, Irak, İran, Suriye, Azerbaycan ve Ermenistan'a yapılan enerji satışlarını da hesaba katarak enerji ihtiyacını belirlemiştir.
- ETKB kurulu gücü hesaplarken kapalı veya kullanılmayan santraller, emreamadelik, ticari şartlar, yedek kurulu güç (yaklaşık %50), bakım onarımdaki santralleri ve politik durumları da değerlendirerek kurulu güç projeksiyonu yapmaktadır.

Tüm bu unsurların sonucunda ETKB'nin yaptığı projeksiyon Türkiye'nin mevcut elektrik enerjisi talebinin çok daha üzerinde olmaktadır.

Kurulu güç hedefleri doğrultusunda enerji kaynak planlaması yapmak ve sadece elektrik tüketim talebiyle karşılaştırmak çok anlamlı olmasa da hedeflere uygun bir model ile çalışmak ve artan enerji üretiminin birim enerji maliyetine ve sera gazı salınımına etkisi bu senaryo sayesinde görülebilecektir. ETKB'nin hedeflediği kurulum miktarları genel olarak yenilenebilir kaynaklar üzerine yöneldiğinden kısmen çevreci bir senaryo olduğunu da göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Matematiksel Model

$$\text{Min} \sum_i^N \sum_t^T (X_{it} * cons_i + X_{it} * om_i + Y_{it} * cf_i * fc_i) * d_t \quad (3.1.8.1)$$

$$Demand_t \leq \sum_i^N (Y_{it} * cf_i) \quad \forall t \in T \quad (3.1.8.2)$$

$$Y_{i1} = X_{i1} + exist_i \quad \forall i \in N \quad (3.1.8.3)$$

$$Y_{it+1} = X_{it+1} + Y_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.8.4)$$

$$Y_{it} \geq target_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.8.5)$$

$$\sum_i^N Y_{it} * re_i * cf_i \geq percent_t * Demand_t \quad \forall t \in T \quad (3.1.8.6)$$

Yeni eklenen kısıtlar:

$$Y_{it} \geq target_{it} \quad \forall t \in T, \forall i \in N \quad (3.1.8.5)$$

$$\sum_i^N Y_{it} * re_i * cf_i \geq percent_t * Demand_t \quad \forall t \in T \quad (3.1.8.6)$$

(3.1.8.5) ve (3.1.8.6) kısıtları ise enerji kaynakları için hedeflenen yüzde ve güç miktarlarını sağlamak içindir. (3.1.8.5) kısıtı her sene için o kaynağın ne kadar güce ulaşması gerektiğini göstermektedir. (3.1.8.6) kısıtı ise yenilenebilir kaynakların toplam yüzdesinin ne kadar olması gerektiğini gösteren bir hedef kısıtıdır.

3.2 TÜRKİYE İÇİN UZUN DÖNEMLİ ENERJİ KAYNAKLARININ SEÇİMİ PROBLEMİNİN SONUÇLARI

Enerji kaynağı seçimi yapan matematiksel model 6 farklı senaryo ile denenmiştir. Bu senaryolardan ilki baz senaryo olup diğer senaryolar genel olarak bunun üzerine kurulmaktadır. Senaryolar hedefler, çevreci bakış açıları gibi şartlarla değişkenlik göstermektedir. Türkiye'nin 2013 ve 2023 arasındaki

enerji talebi projeksiyonundan yola çıkılarak hangi enerji kaynaklarının hangi boyutta kurulması gerektiği kararı verilmiştir.

Baz senaryoda herhangi bir sera gazı etkisi veya kaynak kurulum hedefi bulunmayan bir senaryo çözdürülmüştür. Baz senaryonun üzerine kurulan birinci senaryoda BM tarafından belirlenen sera gazının vergilendiği varsayılarak hedeflere ulaşırken değişmesi gereken kaynak seçimleri belirlenerek biraz daha çevreci bir bakış açısı elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci senaryoda ise sera gazı vergisi düşürülerek sera gazının kaynaklar arasındaki etkisi incelenmiştir. Üçüncü senaryoda konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımı engellenmemekle birlikte çevreci bir yaklaşım sağlayabilmek için sera gazı salınımının limitlenmesi sağlanmaktadır. Dördüncü senaryoda hedeflerin içinden konvansiyonel kaynaklar çıkarılarak tamamen yenilenebilir kaynaklara yönelmenin getireceği sonuçlar gösterilmiştir. Mevcut kaynaklara ek olarak kurulacak yeni sistemlerde tamamen yenilenebilir kaynakların kullanılması dolayısıyla en çevreci olarak nitelendirilebilecek senaryo üçüncü senaryo olmaktadır. Beşinci senaryoda ise bugünkü model ile devam edilirse nelerle karşılanacağını göstermektedir. Son senaryoda ise ETKB tarafından verilen hedefler denenmiş ve bu hedeflere ulaşılması sonucunda neler olabileceği gözlemlenmiştir. Tüm senaryoların enerji kaynağı kurulumu açısından maliyet sonuçları Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5: Uygulama 1 Senaryo Sonuçları

Senaryo	Enerji Kaynağı Kurulum, Bakım Onarım ve Üretim Maliyeti (Milyar \$)
Baz Senaryo	92,49
Senaryo 1	92,53
Senaryo 2	92,49
Senaryo 3	96,16

Senaryo 4	141,78
Senaryo 5	138,78
Senaryo 6	9104,5

Tablo 5'te yer alan enerji kaynağı kurulumu maliyetlerine bakıldığında en uygun opsiyonun limitsiz ve hedefsiz senaryolar olduğunu görmekteyiz. En çevreci yaklaşımlardan bir diğeri olan 3 numaralı senaryoda maliyetsel açıdan uygun maliyetli senaryolara yakın olmakla birlikte çevreci bakış açısını da desteklediğinden değerlendirilmesi gereken bir opsiyondur. Bu senaryonun diğeri yenilenebilir kaynak kurulumu yapan senaryolara göre daha düşük maliyetli olmasının sebebi ise öncelikle uygun fiyatlı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmasıdır. Problemin sonucunda elde edilen en pahalı opsiyonlar ise konvansiyonel kaynak kurulumuna izin vermeyerek sadece yenilenebilir kaynak kuran senaryo, mevcut yüzdeyle devam etmek ve hedeflere uygun kaynak arttırımı yapılan opsiyonlarda görülmektedir. Özellikle ETKB senaryosunda kaynak kurulumu maliyetinin yüksek olmasının sebebi enerji ihtiyacından daha fazla miktarda enerji üretecek kaynak kurma hedefi olmasından kaynaklanmaktadır. Enerji kaynaklarının kurulumu tek maliyet etkeni olmasa da bu problemin çözümünde yer alan en önemli unsurlardandır. Çevreci opsiyonların konvansiyonel kaynaklardan daha uygun maliyetlerde olması ise yenilenebilir kaynaklara yönelmek için güzel bir etken olabilir.

Senaryolar çalıştırılırken yenilenebilir enerji kaynakları arasında maliyetsel açıdan ve sera gazı salınım oranları açısından bir yönelim olmaktadır. Pek tabi bu yönelimin bir başka sebebi de bu kaynakların kurulum kapasitesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok tercih edileni jeotermal enerji kaynağıdır. Türkiye'nin potansiyelini de göz önünde bulundurursak bu durumun oldukça doğal olduğunu görmekteyiz. En son tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı ise güneş olmuştur. Senaryolardaki kaynak yönelimi sırayla jeotermal, rüzgar, hidroelektrik, biyogaz ve güneş sırasıyla gitmektedir. Bu yönelim ise

yenilenebilir kaynaklardan hangilerinin daha çok tercih edilebileceğini göstermiştir.

Senaryolarda aynı zamanda konvansiyonel kaynaklar arasında da maliyetlere ve sera gazı salınımına bir yönelim olmaktadır. Konvansiyonel kaynaklarda öncelikle doğal gaza eğilim daha fazla olmaktadır. Kullanım açısından en az tercih edilen ise hedef koyulmadığı takdirde kurulmayan nükleer santrallerdedir. Konvansiyonel kaynakların tercih sırası doğal gaz, termik ve en sonda ise nükleer enerji kaynakları olarak sıralanmaktadır.

Enerji kaynaklarının kurulum maliyetlerinden sonra sera gazı salınım miktarının azaltılması ise bu çalışmanın başından beri hedeflenen en temel unsurlardandır. Senaryolardaki sera gazı salınım miktarlarını Tablo 6'da bulabilirsiniz.

Tablo 6: Uygulama 1 Senaryoların Sera Gazı Salınım Miktarları

Senaryolar	Sera Gazı Salınım Miktarı (Milyon Ton)
Baz Senaryo	1799,6
Senaryo 1	1780,4
Senaryo 2	1788,1
Senaryo 3	1700
Senaryo 4	1106,3
Senaryo 5	1476,6
Senaryo 6	6235,6

Senaryolar incelendiğinde en düşük sera gazı salınımının yenilenebilir enerji kaynaklarına geçen modelde olduğunu görebilmekteyiz. Sera gazı maliyetlendirilmiş modellerin ise sera gazı salınımında çokta başarılı sonuçlar vermediğini görmekteyiz.

Sera gazı salınımı maliyetlendirildiğinde baz senaryoya göre %1 oranında sera gazı salınımı azalmaktadır. Sera gazının limitlenmesi ise baz senaryoya göre %5,5 oranında sera gazı salınımını azaltmaktadır. Sera gazı için kaynaklar hedeflere uymadan mevcut yüzdelerle devam etse %18 oranında, mevcut kaynakların üzerine sadece yenilenebilir enerji kaynakları kurulursa %38,5 oranında sera gazı salınımı azalmaktadır. ETKB hedeflerine uygun kaynak kurulduğu takdirde ise sera gazı salınımı 3,5 katına çıkmaktadır.

Sera gazının vergilendirildiği senaryolara bakacak olursak birinci ve ikinci senaryoda sera gazı salınımının maliyetlendirilmesi sonucu olarak yenilenebilir kaynaklara olan eğilim artmaktadır. Öncelikle baz senaryo ve birinci senaryo arasında %1'lik bir sera gazı salınımı değişimi vardır. Bunun temel sebebi sera gazı maliyeti olduğundan enerji talebini karşılamak için rüzgar ve jeotermal enerji kaynakları daha çok artırılarak diğer kaynaklardan destek alınmaması sağlanmıştır. Baz senaryo ve ikinci senaryo arasında %0,6'lık bir sera gazı salınımı farkı bulunmaktadır. İlk senaryoda olduğu gibi bu senaryoda da rüzgar ve jeotermal enerji kaynaklarında daha fazla artış olmaktadır.

Sera gazı vergisi birinci ve ikinci senaryo arasında %90 azaltılmıştır. İlk senaryoda BM tarafından belirlenen 20 dolar ikinci senaryoda 2 dolar olarak değiştirilmiştir. Sera gazı salınımının daha düşük maliyetlendirilmesinin bir sonucu olarak sera gazı salınım miktarı artmış bunun yanı sıra enerji kaynağı kurulum masrafları çok cüzzı bir miktarda azalmıştır. Kaynak kurulumu arasında bir kapasite bulunmadığından bu durum normal karşılanmıştır.

Sera gazının vergilendirilmesi ilk senaryoda enerji kaynağı kurulumu açısından baz senaryoya oranla az bir enerji kaynağı maliyeti oluşturmaktadır. Ancak ikinci senaryoda sera gazı salınımının maliyetinin azaltılması sonucunda baz senaryoya göre enerji kaynağı kurulum maliyeti değişmemiştir. Tüm bunların sonucunda her iki senaryoda da baz senaryoya göre sera gazı salınım miktarında bir iyileşme söz konusudur.

Senaryo üçte denenen sera gazının belli bir miktarın altında olması ise sera gazı salınımını %5,5 oranında azaltmayı sağlamıştır. Tabiki bu azalma olurken

hedeflenen kurulumla ulaşılması imkansız olduğundan kaynak seçimi açısından kurulum kapasiteleri genişletilmiştir. Problem bu noktada özellikle taş kömürü, ithal kömür ve linyit kullanımını hedeflenen rakamların oldukęa altında kurmaktadır. Bu sayede de en ęok sera gazı salınımı yapan kaynaklar ęok az miktarlarda kurulmaktadır. Bu durum maliyetsel açıdan enerji kaynağı kurulumu olarak büyük bir külfet getirmemektedir. Baz senaryoya göre enerji kaynağı kurulum maliyeti %4 daha fazladır.

Biraz daha ęevreci bakış ağısıyla kurulan senaryo dört ise maliyetsel anlamda baz senaryoya göre %53 oranında artışa neden olurken sera gazı salınımında ise %38,5 oranında kazanę sağlamaktadır. Mevcut kaynakların yanına sadece yenilenebilir enerji kaynaklarını koyarak enerji talebine cevap vermek ęevreci bir yaklaşım sağlayabilmektedir. Sera gazı salınımından bir kazanę sağlarken enerji kaynağı açısından da bir maliyet getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinden dolayı bu durum oldukęa normaldir.

Baz senaryoya göre ETKB tarafından belirlenen hedefler üzerinden ilerlenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar gerek enerji kaynağı kurulum maliyetleri olsun gerekse sera gazı salınım oranları açısından en maliyetli ve en az ęevreci sonuçlardan birini vermektedir. Buna karşın senaryo beş ile ęzmlenen günümüzde kullanılan kaynakların aynı oranlarla kurulmaya devam etmesi sonucunda sera gazı salınımı baz senaryoya göre %18 daha az ancak enerji kaynağı maliyeti olarakta %50 oranında daha pahalı olmaktadır. Günümüzde olan yüzdelerle devam etmenin bir başka sonucu olarak ise yenilenebilir enerji kaynaklarında (hidroelektrik hariç) istenen oranlara ulaşılmamaktadır. Bu durum ise sürdürülebilirlik anlamında ęok yol alınamadığını göstermektedir.

Problemin ęzm sırasında enerji talebini karşılayacak ya da hedeflere göre enerji talebinden daha yüksek miktarda enerjiler üretilmiştir. Kullanılan enerji miktarı ise enerji kaynağı maliyetleriyle orantılanarak birim enerji için harcanan meblağ belirlenmektedir. Senaryolar boyunca üretilen enerji miktarları kilowatt cinsinden Tablo 7'de gösterilmektedir. Aynı zamanda birim enerji üretimi için harcanan maliyetlerde Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7: Uygulama 1 Senaryo Bazında Birim Enerji Üretimi ve Maliyeti

Senaryolar	Üretilen Birim Enerji (GWh)	Üretilen Enerjiye Göre Birim Enerji Maliyeti (\$)
Baz Senaryo	3648	0,0253
Senaryo 1	3648	0,0254
Senaryo 2	3648	0,0253
Senaryo 3	3648	0,0264
Senaryo 4	3664,7	0,0387
Senaryo 5	3649,5	0,038
Senaryo 6	130870	0,0696

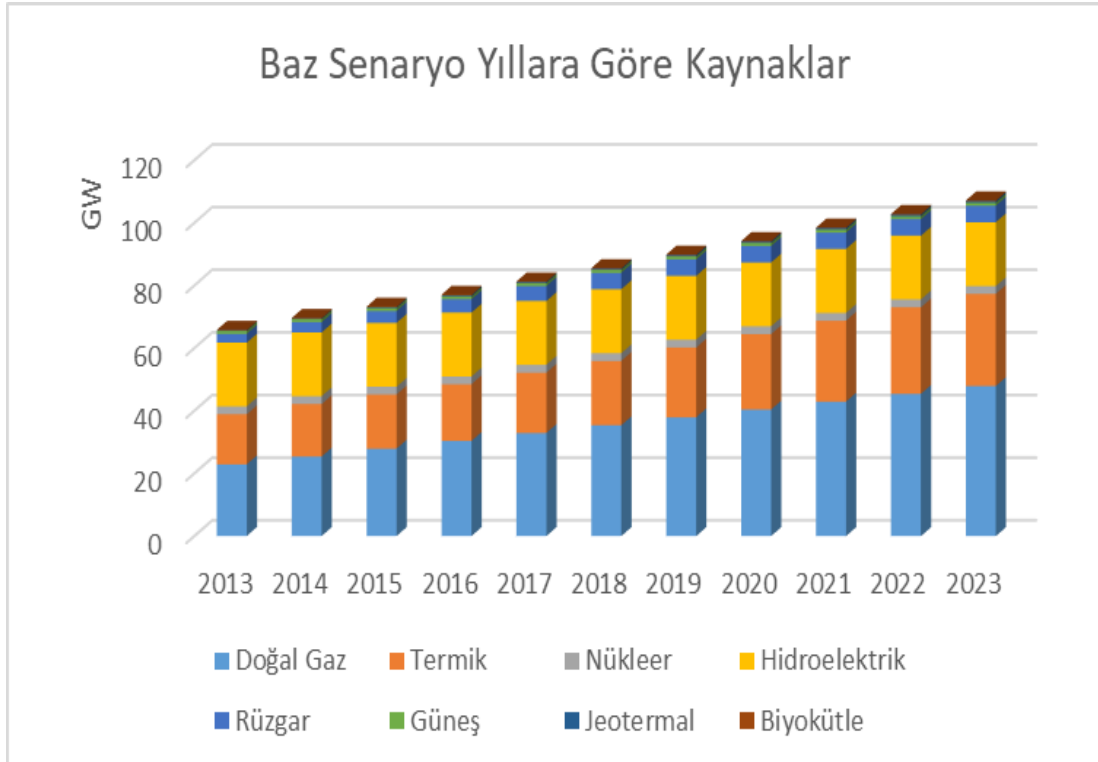
Tablo 7'den de görülebileceği üzere kullanılan 1 kilowattsaat için harcanan maliyetler arasından en ucuzu baz senaryo ve senaryo 2 olmuştur. Bir sonraki en uygun maliyetli senaryo ise senaryo 1 olmuştur. Kullanılan 1 kilowattsaatlik enerjinin en maliyetli olduğu senaryo ise ETKB hedeflerinin gerçekleştirildiği senaryo 6 olmuştur. Yapılan yatırımların sonucunda modellerde 1 kilowattsaatlik enerjinin birim maliyeti 0,0253 ile 0,0696 dolar arası değişmektedir.

Çalışmanın bu kısmında denenen farklı senaryoların özellikle iki tanesini çevreci yaklaşım kabul edebiliriz. Bu çevreci yaklaşımlar sera gazının azaltılmasına yönelik önlemler içermektedir. Senaryo 3 ve 4 çevreci bakış açıları ile kurulmuş senaryolardır denebilir. Özellikle maliyet açısından yaklaşan senaryolar ise 1 ve 2 dir. 6. senaryo Türkiye'nin stratejik planları üzerine işlemiş ve enerji kaynaklarının kurulum hedefleri kullanıldığından bu senaryolar enerji talebinden daha fazla enerji üretmektedir. Bundan kaynaklı olarak daha yüksek maliyetlere sebep olmaktadır.

Tablo 8: Uygulama 1 Senaryo Sonuçları

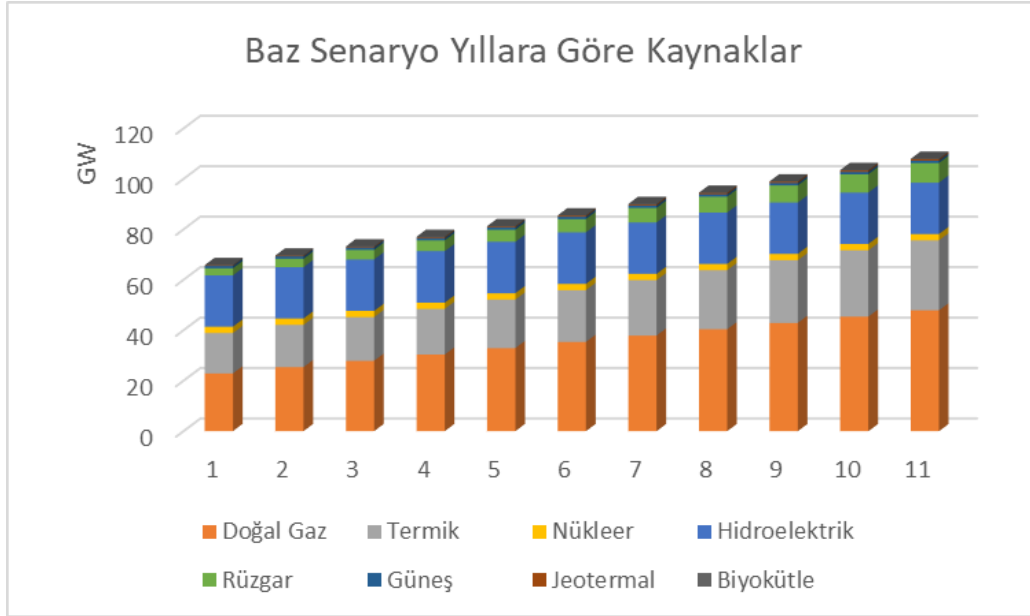
Senaryolar	Enerji Kaynağı Maliyetleri (Milyar \$)	Sera Gazı Salınım Miktarı (Milyon Ton)	Sera Gazı Vergisi Maliyeti (Milyar \$)	Toplam Maliyet (Milyar \$)
Baz Senaryo	92,49	1799,6	35,992	128,482
Senaryo 1	92,53	1780,4	35,608	128,138
Senaryo 2	92,49	1788,1	3,5762	96,0662
Senaryo 3	96,16	1700	34	130,16
Senaryo 4	141,78	1106,3	22,126	163,906
Senaryo 5	138,68	1476,6	29,532	168,212
Senaryo 6	9104,5	6235,6	124,712	9229,212

Baz senaryo hedef ve limitler olmadan çalışarak sadece enerji talebini karşılamaya odaklanmıştır. Maliyetsel açıdan bakıldığında ise maliyet etkinliği hedefine uyum sağlamış en az enerji kaynağı ve sera gazı salınımına sahip olan modellerden biri olmuştur. Altıncı senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Son senaryonun sonucuna göre enerji kaynaklarındaki değişim Şekil 14'de gösterilmektedir.



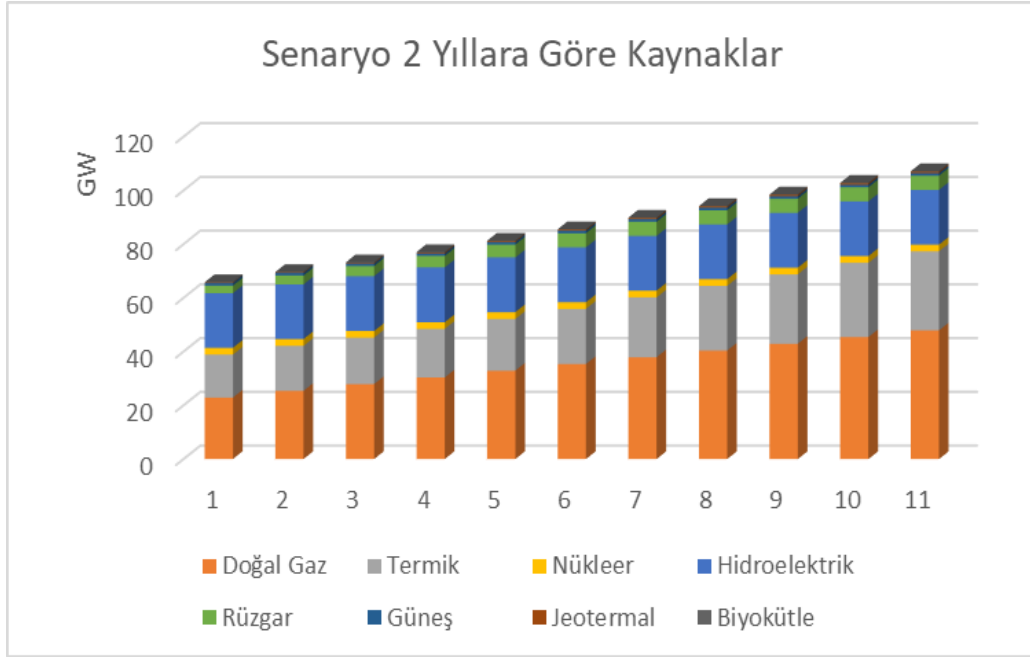
Şekil 14: Baz Senaryoya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Birinci senaryo sera gazı maliyetinin amaç fonksiyonuna etkisini göstermektedir. Baz senaryo üzerine kurulmuş enerji talebini karşılama hedefi taşımakla beraber sera gazı salınımını da dikkate aldığından enerji kaynağı seçimi yaparken hedeflere ulaşıldıktan sonra sera gazı salınımını daha az yapan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Sera gazı salınımının düşmesi için ise hedeflere uygun enerji kaynağı kurulumu yapıldığından enerji kaynağı kurulum maliyetleri artmaktadır. Total olarak maliyetine bakıldığında ise sera gazının maliyetlendirildiği durumlarda baz senaryoya göre biraz daha az maliyetli olmaktadır. Birinci senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Birinci senaryoya göre yıllar bazında enerji kaynaklarının değişim miktarları Şekil 15'te gösterilmektedir.



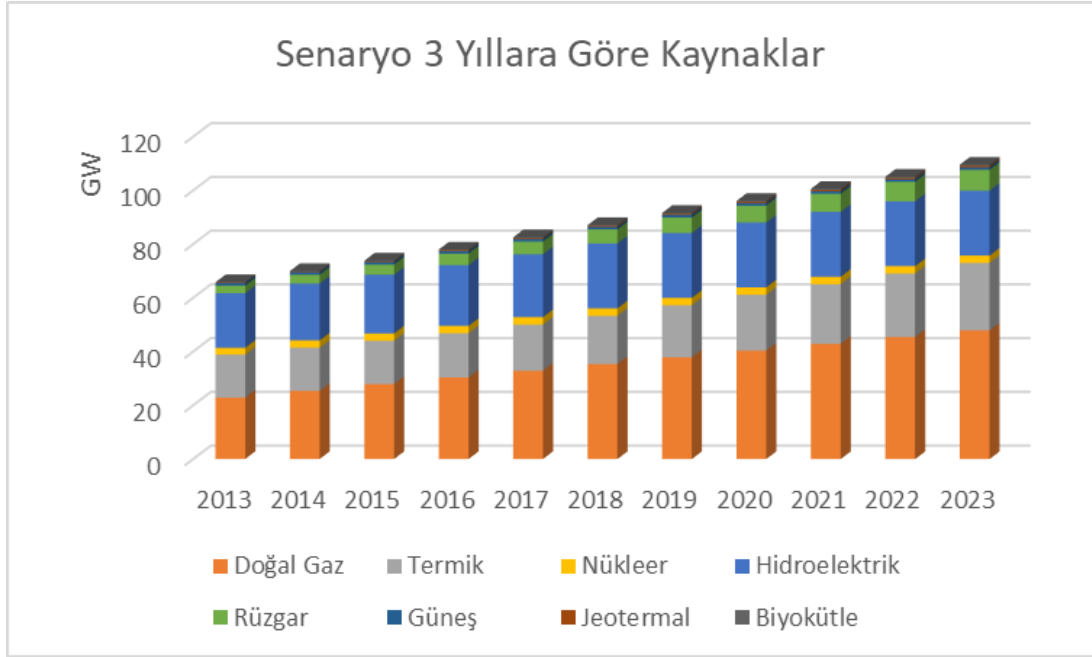
Şekil 15: Senaryo 1'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

İkinci senaryo, birinci senaryo ve baz senaryonun bir uyarlaması olarak sera gazı maliyeti düşürüldüğünden toplamda biraz daha maliyet etkin bir strateji yaratmıştır. Sera gazı salınımı baz senaryoya göre azalmış olsada kaynak kurulum maliyeti açısından bir etki yaratmamaktadır. İkinci senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Şekil 16'da senaryo 2'ye göre eklenmesi planlanan enerji kaynaklarının sonrasındaki durum gösterilmektedir.



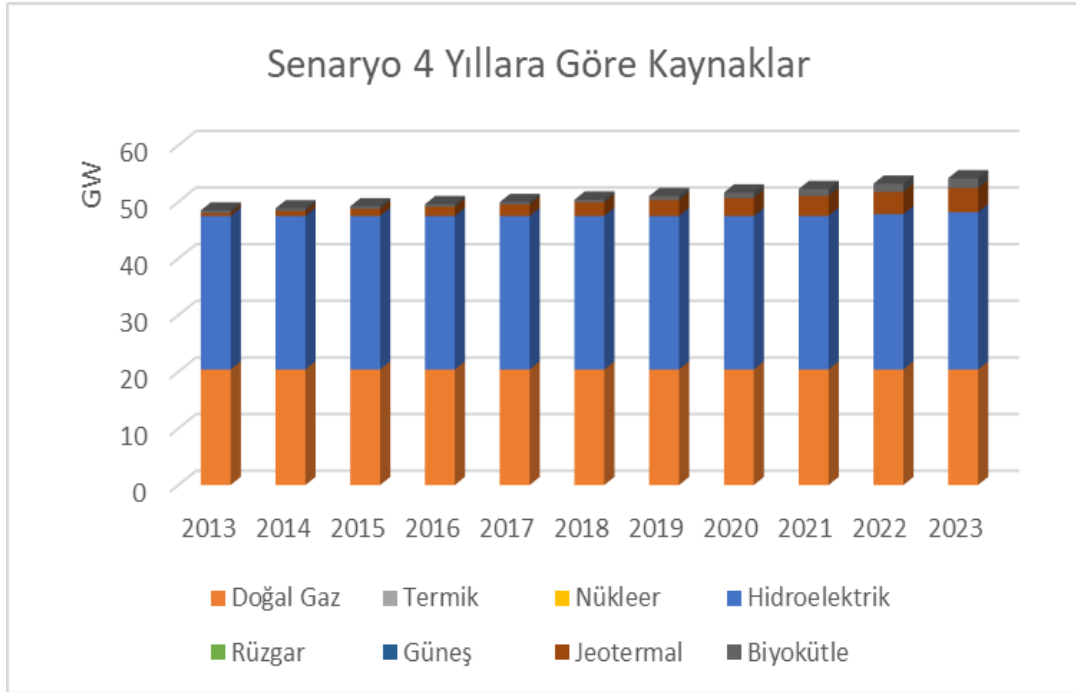
Şekil 16: Senaryo 2'ye Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Üçüncü senaryo ise sera gazının limitlenmesi yoluyla oldukça çevreci bir çözüm yöntemi geliştirmekle beraber sera gazı salınımında büyük bir düşüş ve ilerleme göstermektedir. En az dördüncü senaryo kadar çevreci ve maliyet etkin bir çözüm ortaya koymaktadır. Üçüncü senaryonun sonuçlarını tablo Tablo 8'de görebilirsiniz. Şekil 17'de üçüncü senaryo sonuçlarına göre kurulması planlanan enerji kaynaklarından sonraki durum yıllar bazında verilmiştir.



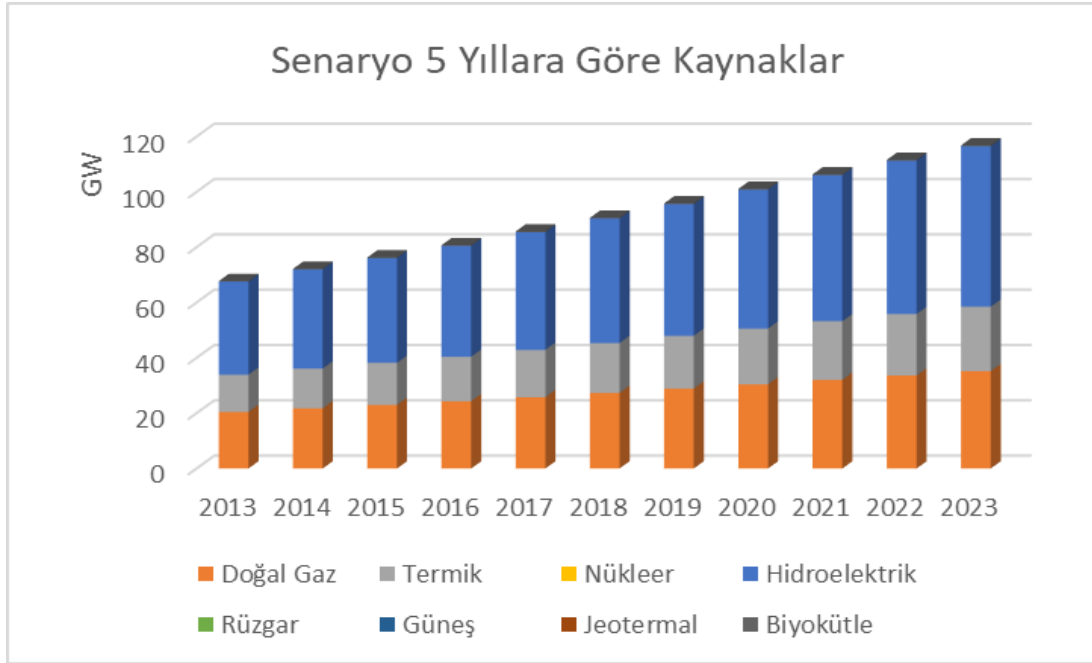
Şekil 17: Senaryo 3'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Dördüncü senaryo mevcut kaynakların yanına sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının eklenmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzdesel olarak oldukça yüksek bir düzeye ulaşmasını ve çevreci bir yaklaşım sergilemektedir. Bu senaryonun sonucunda çevresel bakış açısından çok yararlı bir sonuç elde edilmektedir. Sera gazı salınımında ciddi bir azalma söz konusu olmakla birlikte maliyet açısından da en pahalı çözüm yöntemlerinden biri olmaktadır. Dördüncü senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Senaryo 4 kapsamında mevcut kurulu güce eklenmesi planlanan enerji kaynaklarının miktarları ise Şekil 18'de bulunmaktadır.



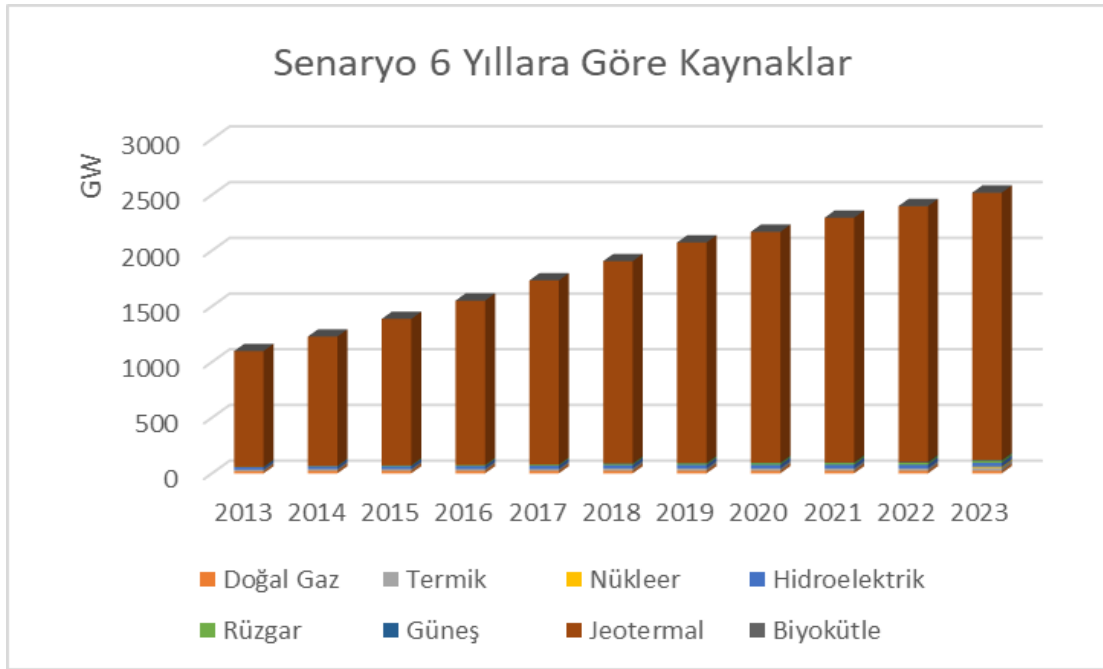
Şekil 18: Senaryo 4'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Beşinci senaryo eğer mevcut yapıda devam edilirse enerji kaynaklarına harcanması gereken maliyetleri ve sera gazı salınımı oranının ne kadar olacağını göstermektedir. Mevcut politikayı izlemenin sonucu olarak enerji kaynağı kurulum maliyeti en yüksek seviyedeki senaryolardan biri olmaktadır. Maliyetsel anlamda uygun olmamasının yanı sıra yenilenebilir kaynak kurulumunu desteklememesi ve fosil kaynak kullanılmaya devam etmesi sebepleriyle gelecek açısından devam ettirilemez bir politikadır. Beşinci senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Senaryo 5'in sonuçlarına göre yıllar boyunca kurulumuna karar verilen kaynak miktarları Şekil 19'da gösterilmektedir.



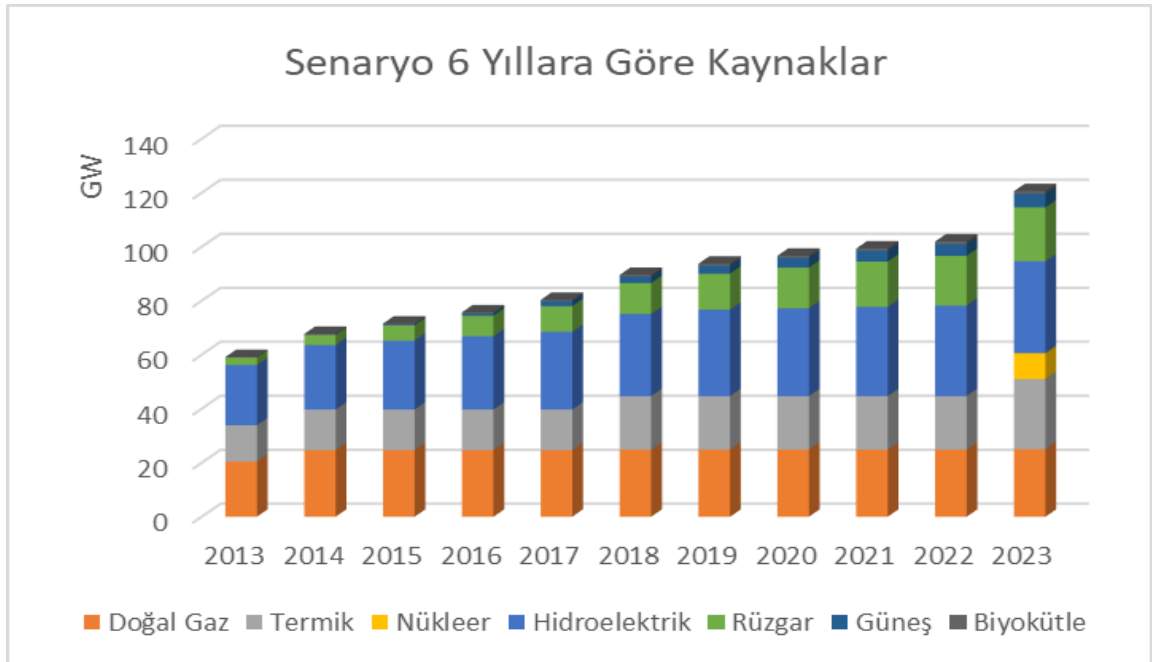
Şekil 19: Senaryo 5'e Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Altıncı senaryo stratejik planda yer alan hedefler doğrultusunda enerji kaynağı kurularak enerji talebini karşılamış ve sonuçları bakımından en maliyetli senaryolardan biri olmuştur. Bunun sebeplerinden biri mevcut hedeflenen enerji kaynağı kurulum miktarlarının talebin çok daha üstünde enerji üretebilme kapasitesine sahip olmasıdır. Sera gazı salınımı açısından da en fazla sera gazı salınımı yapan senaryodur. Dolayısıyla stratejik planlar doğrultusunda bir yatırımı diğer senaryolarla kıyaslamamanın çokta doğru olduğu söylenemez. Ancak maliyetteki artış ile sera gazı salınımındaki artış bir değildir. Çünkü stratejik hedefler yenilenebilir kaynakların arttırımı üzerine kurulmuştur. Yatırım maliyeti olarakta daha uygun çözümlerin oluşu bu hedeflerin yeterli olmayacağını göstermektedir. Altıncı senaryonun sonuçlarını Tablo 8'de görebilirsiniz. Altıncı senaryoya göre yıllar boyunca eklenmesi gereken yeni kaynak miktarları ise Şekil 20'de gösterilmektedir.



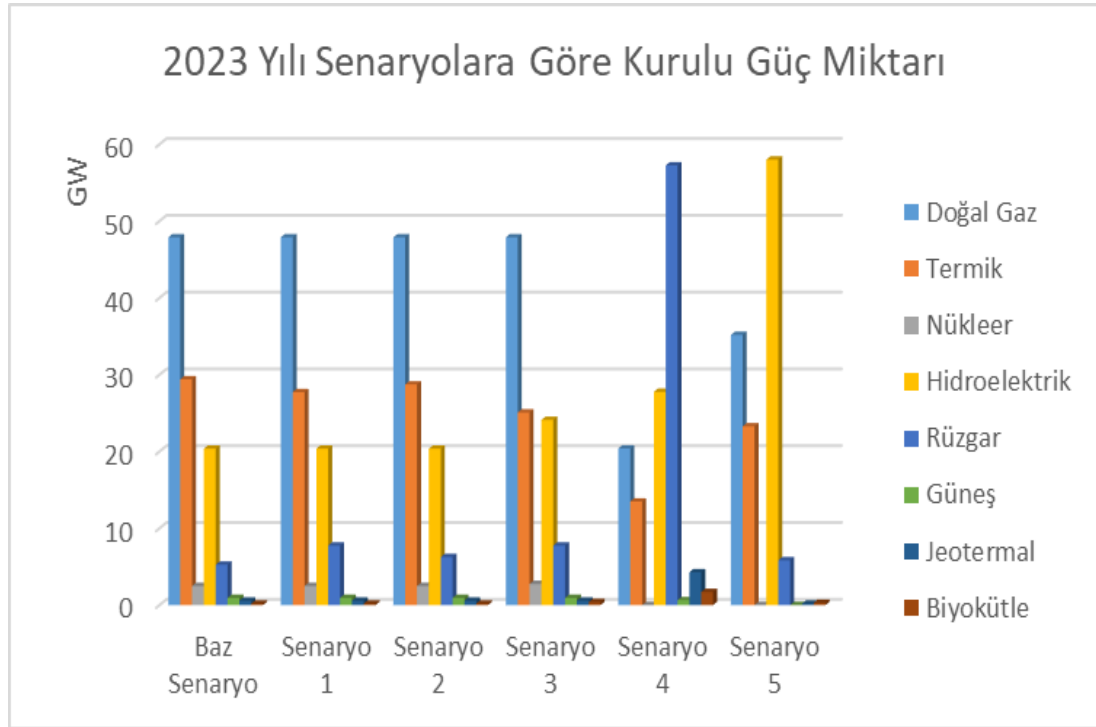
Şekil 20: Senaryo 6'ya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları

Altıncı Senaryoda çok yüksek oranda bir jeotermal hedefi bulunmaktadır. Bu hedef haricindeki kaynak gelişimleri Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21: Senaryo 6'ya Göre Yıl Bazında Kaynak Miktarları Jeotermal Hariç

Senaryoların sonucunda kurulması gereken toplu kurulu güç miktarları Şekil 22'de gösterilmektedir.



Şekil 22: Senaryo Sonuçlarına göre 2023 yılı Kurulu Güç Miktarları

Tüm bu senaryoların sonucu olarak Türkiye için 3. ve 5. senaryo gibi çevreci senaryoların izlenmesi düşünülen hedeflere göre daha az yatırım gerektirmekte ve sera gazı salınımını da ciddi ölçüde azaltmaktadır. Sera gazının vergilendirilmesi durumu ise sera gazı salınımını azda olsa azaltırken maliyetleri bir miktar arttırmaktadır.

BÖLÜM IV

UYGULAMA 2

4.1 MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA ALTERNATİFLERİ SEÇİMİ

Çalışmanın bu kısmında hazırlanan matematiksel modeller ile şebekeye %100 bağlı çalışan ve şebekeye %90 bağlı enerjinin kalan kısmını ise yenilenebilir enerji kaynağından sağlayan hibrit sistemler tasarlanmıştır. Tamamen izole olmayan ve kısmen izole olan sistemlerin enerji talebini karşılarkenki farklılıkları incelenmiştir. Kısmen izole bir mikro akıllı şebekenin enerji ihtiyacının karşılanması için tamamen yenilenebilir enerji kaynak ve depoları kullanılmıştır. Seçilen bölgelerde talep edilen enerjinin en optimize şekilde karşılanmasına yönelik enerji kaynağının boyut problemi ve depo sistemi seçimi ve boyut seçimi yapılmaktadır.

Green Metric endeksi üniversitelerin sürdürülebilirlik seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma sayesinde üniversiteler diğer üniversiteler ile kendilerini kıyaslayabilmekte çevresel anlamda katkılarına görebilmektedir. Bu endekste atık, çevresel etkiler, karbon salınımı, enerji kullanımı gibi farklı değerlendirme unsurları vardır. Bu yüzden de problem kurulurken izole bölge olarak üniversiteler seçilmiştir. Seçilen üniversitelerin farklı şehirlerde olması, şehirlerin farklı enerji kaynağı potansiyeline sahip oluşu, üniversitelerin boyutlarından kaynaklı enerji taleplerinin değişkenliği ve bu talebin karşılanması problemin baz aldığı ana unsurlar olmuştur. Bunların dışında enerji kaynaklarının yapabileceği üretim miktarını belirlemek için seçilen lokasyonlara ait güneş ışınım oranları, güneşlenme saatleri, rüzgar hızları değerlendirilmeye alınmıştır. Enerji kaynaklarının kurulum ve bakım onarım maliyetleri, yenilenebilir kaynaklar arasından seçilmesi, büyük çapta santral kurulmadan çalışabilmesi ve sera gazı salınım oranları göz önünde bulundurulmuştur. Enerji depolama sistemlerinin seçilmesi için kurulum ve bakım onarım maliyetleri, verimliliği, olgunlaşma seviyesi, enerji uygulamalarında kullanım durumu, çevresel etkileri gibi özellikleri değerlendirmeye alınmıştır.

Çalışma boyunca iki farklı matematiksel model hazırlanmıştır. İlk model bağlı olduğu şebekenin enerjisini kullanarak düzensiz bir talebe uygun depolama sistemi karışımı seçmektedir. İlk modelin amacı mevcut sistemde ortaya çıkan karbon gazı salınımını tespit etmek ve düzensiz enerji talebini karşılayabilmek için maliyet olarak uygun enerji depolama sistemini seçmektir. Düzensiz enerji talebinin bir sonucu olarak enerji piyasasından ekstra enerji satın almanın maliyetine karşılık enerji depolama sistemlerinin kullanılmasına da değinilmiştir.

İkinci model şebekeden kısmen bağımsızlaşmaya çalışan bölgeleri temsil etmektedir. İzole bir bölge yaratmak enerji kaynağı kurulumu maliyetini ciddi oranda arttıracığından belirli bir yüzdeyle şebekeden ayrılma halini temsil etmektedir. Şebekeden almadığı enerjinin tamamını yenilenebilir enerji kaynağı kullanarak mevcut talebi karşılayacak bir enerji kaynağının ihtiyacı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli yapısı dolayısıyla oluşabilecek kayıp ve sorunları çözümlenebilecek hibrit bir enerji depolama sisteminin kurulum kararını alabilmektedir.

Hazırlanan matematiksel modeller seçilecek depolama sistemlerinin her türlü teknik, çevresel, sosyo-kültürel, ekonomik özelliklerini ve enerji uygulamalarındaki performanslarını dikkate almaktadır.

Bu problemde hazırlanan matematiksel modeller üç farklı senaryo ile denenmiştir. Senaryolardan ilki çevresel, teknik ve sosyo-ekonomik özelliklerin hepsinin ortalama üstünde olmasının sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu senaryo baz alınarak diğer iki senaryo kurulmuştur. İkinci senaryoda tamamen maliyet etkin olması için teknik özellikler, çevresel özellikler, sosyo-kültürel etkileri ve enerji uygulamalarındaki performanslarının ortalamanın altında olabileceği kabul edilerek kısıtlar gevşetilmiş ve en ucuz şekilde nasıl depolama ihtiyacının karşılanabileceğine bakılmıştır. Son senaryoda ise baz modelin üzerinden çevresel kısıtlar daha da daraltılarak tamamen çevre etkin bir politika izlemenin sonucunda nasıl bir maliyetle karşılaşılabileceği değerlendirilmiştir. İkinci uygulamada denenilen modeller ve senaryolar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Uygulama 2 Senaryo Listesi

Modeller/Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
%100 Şebeke Bağımlı Model	Seçilecek enerji depolama sistemlerinde çevresel, teknik ve sosyo-ekonomik özelliklerin ortalama üstü olması.	Maliyet etkin enerji depolama sistemlerinin seçimi.	Çevre etkin enerji depolama sistemlerinin seçimi.
%10 Şebeke Bağımsız Model	Seçilecek enerji depolama sistemlerinde çevresel, teknik ve sosyo-ekonomik özelliklerin ortalama üstü olması.	Maliyet etkin enerji depolama sistemlerinin seçimi.	Çevre etkin enerji depolama sistemlerinin seçimi.

Problemin sonucunda kurulacak hibrit bir enerji sisteminin toplam proje maliyeti, birim enerji üretim maliyeti ve sera gazı salınımının bulunması sağlanmıştır. Problem kurulurken seçilen üniversitelerin 1 yıllık enerji talebinin saatlik dağılımı ele alınmıştır. Şehirlerin bir yıllık ortalama güneşlenme süreleri ve güneş ışınım değerleri baz alınarak ay bazında dağılımlarına bakılmış, aynı zamanda şehirlerin mevcut rüzgar potansiyelleri de değerlendirilmiştir. Matematiksel modellerin çözümü IBM ILOG CPLEX programı yardımıyla bulunmuştur.

4.1.1 Depo Seçimi Matematiksel Modellerinin Varsayımları

Çalışma boyunca belirli varsayımlar yapılarak matematiksel modeller çözdürülmüştür. Bu varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- Üniversitelere ait enerji talebi verileri üniversitelerin yıllık çıktığı ihale bilgilerinden elde edilmiştir. Üniversiteler senelik enerji ihtiyacı için ihale çıkmakta ve ihale sonucunda yıllık enerjilerini belirli bir fiyata satın almaktadır. Bu ihalelerin amacı enerjinin sabit miktardan satın alınmasını sağlamaktadır. Normalde elektrik kullanıcıları her saat farklı fiyatlardan elektrik satın almaktadır. Ancak ihaleler sayesinde birim elektrik fiyatı sabit olmaktadır.
- Üniversitelerin toplam enerji ihtiyacı bilinmekle birlikte saatlik enerji ihtiyaç dağılımları daha önce üzerinde çalışan problemler yardımı ile bulunmuş ve bu şekilde kullanılmıştır.
- Lokasyonlara ait aylık güneş ışınım miktar ve saatleri bilinmektedir. Güneş enerjisine dair faktör puanı bu ışınım miktar ve saatlerinin ortalamalarına göre günlük ve saatlik olarak dağıtılmıştır.
- Lokasyonların ortalama rüzgar hızları bilinmektedir. Bu hızlar istatistiki dağılımlar kullanılarak çoğaltılmış ve kullanılmıştır.
- Şebeke bağımsız modelde ilk aşamada tüm üniversitenin elektrik ihtiyacının karşılanmasının ekonomik açıdan çok imkansız olduğu gözlemlendiğinden %10'unun karşılanması ile yenilenebilir enerjiye bir geçiş dönemi yapılacağı varsayılmıştır.

4.1.2 Depo Sistemi Seçimi Matematiksel Modellerinde Kullanılan Özellikler

Matematiksel modelde enerji depolama sistemlerinin seçimi için daha önce bahsedilen teknik özelliklerin bir kısmı kullanılmıştır. Bu teknik özelliklerin neler olduğuna dair açıklamalar aşağıda verilmiştir. Özellikleri dört ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar teknik özellikler, çevresel etkiler, sosyo-kültürel etkiler ve enerji uygulamalarına dair performanslarıdır.

Teknik Özellikler:

- ❖ Sistemin sahip olduğu kapasite: Barındırabileceği maksimum enerji miktarı
- ❖ Sistemin verimi: Sisteme depolanmak için giren enerjinin sistemden çıkan enerjiye oranı
- ❖ Yaşam ömrü: Sistemin kullanılabilmesi süre
- ❖ Özboşalım oranı: Sistemin çevrimde değilken kendi kendine kaybettiği enerji miktarı
- ❖ Enerji yoğunluğu: Birim hacim için sistemde saklanan enerji
- ❖ Güç yoğunluğu: Sistemden verilen enerjinin yoğunluğu
- ❖ Olgunluk seviyesi: Depolama yönteminin gelişmişlik düzeyi
- ❖ Stabil depolama süresi: sistemdeki enerjinin özboşalığa uğramadan stabil olarak depoda bulunabilme süresi
- ❖ Cevap verebilirlik: Şebekenin enerji ihtiyacının karşısında sistemin ne kadar sürede enerji verebileceğini gösterir süre
- ❖ Güvenilirlik: Depolama sisteminin ne kadar güvenilir olduğu

Olarak değerlendirilmektedir.

Çevresel Etkiler:

- ❖ Sistemin görünür etkisi: Çevresel olarak dışardan görülebilen etkileri, kapladığı alan, kazı gereksinimi vb.
- ❖ Biyolojik etkisi: Biyolojik olarak çevrede bıraktığı etkiler, göç alanlarını etkilemesi, doğal habitattaki canlılara etkisi vb.
- ❖ İklim değişimine etkisi: Enerji depolama sistemlerinin iklim değişikliğine sebep etkisinin varlığı
- ❖ Kirlilik yaratma: Sistemin kurulduğu alanda bir kirlilik yaratma durumunun olması
- ❖ Toksik madde barındırma: Sistemin kullandığı malzemelerde toksik madde bulunması

Olarak değerlendirilmektedir.

Sosyo-Kültürel Etkiler:

- ❖ Bulunduğu çevrede eğitime verdiği katkı
- ❖ Sosyo-kültürel olarak bulunduğu çevrede yarattığı gelişmeler
- ❖ İstihdam yaratması
- ❖ Sistemin çevre açısından güvenlik problemi yaratmaması

Olarak değerlendirilmektedir.

Enerji Uygulaması Performansları:

- ❖ Enerji arbitrajında kullanılabilirliği
- ❖ Pik saatlerde tıkanma takviyesinde kullanılabilirliği
- ❖ Yük dengelemesi yapabilirliği
- ❖ Dönme rezervi uygulamalarında kullanılabilirliği
- ❖ İyileştirme erteleme sağlayabilirliği
- ❖ Tıkanma takviyesi sağlayabilirliği
- ❖ Voltaj desteği sağlayabilirliği
- ❖ Sistem toparlanması uygulamalarında kullanılabilirliği
- ❖ Frekans düzenlemesi yapabilirliği
- ❖ Kapasite düzenlemesi yapabilirliği
- ❖ Kaliteli güç seviyesi yakalayabilirliği
- ❖ Güvenli güç sağlayabilirliği
- ❖ Kısa süreli uygulamalardaki stabilitesi
- ❖ Zaman kaydırma yapabilirliği

Olarak değerlendirilmektedir.

4.1.3 Şebeke Bağımlı Model

Şebeke bağımlı modelde herhangi bir enerji kaynağı kurulumu yapılmadan mevcut bulunduğu şehir şebekesinden enerji alması ve fazla enerjiyi depolaması yöntemi ile bir bölgenin enerji ihtiyacı karşılanmaktadır.

Kümeler:

- i : Enerji Depolama Sistemleri Kümesi. $i = \{1, \dots, M\}$
- k : Enerji Kaynakları Kümesi. $k = \{1, \dots, N\}$
- t : Zaman Periyotları Kümesi. $t = \{1..T\}$

Parametreler:

D_t : $t \in T$ Zamanındaki Enerji Talebi

$power_t$: $t \in T$ Zamanındaki Şebekeden Çekilen Güç Miktarı

$costBR$: Şebekeden Çekilen Enerjinin Birim Üretim Maliyeti

ghg_k : $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Salınım Miktarı

per_k : $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Kullanım Yüzdesi

cap_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Kapasitesi

eff_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Verimi

$lifetime_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Yaşam Ömrü

$costCE_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Kurulum Maliyeti

$costOM_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Bakım ve Onarım Maliyeti

sdr_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Özboşalım Oranı

$eden_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Enerji Yoğunluğu

$pden_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Güç Yoğunluğu

mat_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Olgunluk Seviyesi

ssd_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Stabil Depolama Süresi

$rest_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Cevap Verebilirlik Süresi

$reli_i$: $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Güvenilirliği

vis_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Görünür Etkisi

bio_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Biyolojik Etkisi

cc_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin İklim Değişimine Etkisi

wot_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Kirlilik Yaratma Seviyesi

txc_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Toksik Madde Barındırması

edu_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Eğitime Katkısı

cul_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Sosyo-Kültürel Yapıya Katkısı

- job_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin İstihdama Katkısı
 sec_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Güvenlik Seviyesi
 ea_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Enerji Arbitrajı Özelliği
 psi : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Pik Tıkanma Takviyesi Özelliği
 lf_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Yük Dengelemesi Özelliği
 sr_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Dönme Rezervi Özelliği
 ud_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin İyileştirme Ertelemesi Özelliği
 cr_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Tıkanma Takviyesi Özelliği
 vc_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Voltaj Desteği Özelliği
 bs_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Sistem Toparlanması Özelliği
 fr_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Frekans Düzenlemesi Özelliği
 cf_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Kapasite Düzenlemesi Özelliği
 pq_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Kaliteli Güç Sağlayabilirliği
 pr_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminin Güvenli Güç Sağlayabilirliği

Karar Değişkenleri:

SGS: Toplam Sera Gazı Salınım Miktarı

X_i : $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sistemlerinin Sayısı

Y_{ti} : $t \in T$ Anında Sistemde Bulunan $i \in M$ kümesindeki Enerji Depolama Sisteminde Depolanacak Enerji Miktarı

Matematiksel Model

$$\text{Min } \sum_i^M (\text{costCE}_i + \text{costOM}_i) * X_i \quad (4.1.3.1)$$

$$\text{Demand}_t + \sum_i^M Y_{ti} \leq \text{power}_t \quad \forall t \in T, t = \{1\} \quad (4.1.3.2)$$

$$\text{Demand}_{(t+1)} + \sum_i^M Y_{(t+1)i} \leq \text{power}_{t+1} + \sum_i^M Y_{ti} \quad \forall t \in T \quad (4.1.3.3)$$

$$\text{SGS} = \sum_k^N \sum_t^T \text{per}_k * \text{ghg}_k * \text{power}_t \quad (4.1.3.4)$$

$$X_i * \text{cap}_i \geq Y_{ti} \quad \forall t \in T, i \in M \quad (4.1.3.5)$$

$$\text{SGS}, X_i, Y_{ti} \geq 0 \quad \forall t \in T, i \in M \quad (4.1.3.6)$$

$$\sum_i^M X_i * 15 \leq \sum_i^M X_i * \text{lifetime}_i \quad (4.1.3.7)$$

$$\sum_i^M X_i * 40 \leq \sum_i^M X_i * \text{eden}_i \quad (4.1.3.8)$$

$$\sum_i^M X_i * 4000 \leq \sum_i^M X_i * \text{pden}_i \quad (4.1.3.9)$$

$$\sum_i^M X_i * 4 \leq \sum_i^M X_i * \text{mat}_i \quad (4.1.3.10)$$

$$\sum_i^M X_i * 250 \leq \sum_i^M X_i * \text{ssd}_i \quad (4.1.3.11)$$

$$\sum_i^M X_i * 0,05 \geq \sum_i^M X_i * \text{sdr}_i \quad (4.1.3.12)$$

$$\sum_i^M X_i * 50 \leq \sum_i^M X_i * \text{eff}_i \quad (4.1.3.13)$$

$$\sum_i^M X_i * 2 \leq \sum_i^M X_i * \text{reli}_i \quad (4.1.3.14)$$

$$\sum_i^M X_i * 500000 \geq \sum_i^M X_i * \text{rest}_i \quad (4.1.3.15)$$

$$\sum_i^M X_i * 0.5 \geq \sum_i^M X_i * \text{vis}_i \quad (4.1.3.16)$$

$$\sum_i^M X_i * 0.6 \geq \sum_i^M X_i * \text{bio}_i \quad (4.1.3.17)$$

$$\sum_i^M X_i * 0.5 \geq \sum_i^M X_i * \text{cc}_i \quad (4.1.3.18)$$

$\sum_i^M X_i * 0.3 \geq \sum_i^M X_i * wot_i$	(4.1.3.19)
$\sum_i^M X_i * 0.3 \geq \sum_i^M X_i * txc_i$	(4.1.3.20)
$\sum_i^M X_i * 0.25 \leq \sum_i^M X_i * edu_i$	(4.1.3.21)
$\sum_i^M X_i * 0.1 \leq \sum_i^M X_i * cul_i$	(4.1.3.22)
$\sum_i^M X_i * 1 \leq \sum_i^M X_i * job_i$	(4.1.3.23)
$\sum_i^M X_i * 0.4 \leq \sum_i^M X_i * sec_i$	(4.1.3.24)
$\sum_i^M X_i * 0.1 \leq \sum_i^M X_i * ea_i$	(4.1.3.25)
$\sum_i^M X_i * 0.1 \leq \sum_i^M X_i * ps_i$	(4.1.3.26)
$\sum_i^M X_i * 0.3 \leq \sum_i^M X_i * lf_i$	(4.1.3.27)
$\sum_i^M X_i * 0.2 \leq \sum_i^M X_i * sr_i$	(4.1.3.28)
$\sum_i^M X_i * 0.3 \leq \sum_i^M X_i * ud_i$	(4.1.3.29)
$\sum_i^M X_i * 0.2 \leq \sum_i^M X_i * cr_i$	(4.1.3.30)
$\sum_i^M X_i * 0.2 \leq \sum_i^M X_i * vc_i$	(4.1.3.31)
$\sum_i^M X_i * 0.2 \leq \sum_i^M X_i * bs_i$	(4.1.3.32)
$\sum_i^M X_i * 0.3 \leq \sum_i^M X_i * fr_i$	(4.1.3.33)
$\sum_i^M X_i * 0.3 \leq \sum_i^M X_i * cf_i$	(4.1.3.34)
$\sum_i^M X_i * 0.2 \leq \sum_i^M X_i * pq_i$	(4.1.3.35)
$\sum_i^M X_i * 0.15 \leq \sum_i^M X_i * pr_i$	(4.1.3.36)

Amaç fonksiyonu olan (4.1.3.1) denkleminde matematiksel model boyunca kurulacak olan enerji depo sisteminin kurulum ve bakım maliyetlerinin toplam maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. (4.1.3.2) - (4.1.3.6) arasındaki

kısıtlar sistemin enerji talebini karşılmasına yönelik depo kurulması, kapasitesi ve enerji dengelmeye dair olan kısıtları içermektedir.

Sistemin çalıştığı süre boyunca mevcut enerji talebini karşılmasını sağlayan denge kısıtları (4.1.3.2) ve (4.1.3.3) denklemlerinde gösterilmiştir. Bunlar sisteme ilk anda ($T=1$) şebekeden aldığı enerji, o anda talep edilen enerjiden ve o an depolayacağı enerjiden fazla ya da aynı olmalı. (4.1.3.2) İlk andan sonra herhangi bir anda şebekeden alacağı enerji ve bir önceki anda depoladığı enerji ise o andaki enerji talebini karşılamalı ve kalan enerjide depolanmalıdır. (4.1.3.3) Bizim için en önemli unsurlardan biri olan sera gazı salınımı ise kısıt (4.1.3.4) ile hesaplanmaktadır. Toplam sera gazı salınımı tüm kaynaklardan sağlanan enerji ve o kaynakların sera gazı salınım oranına eşittir. İlk model şebeke bağımlı bir model olarak çalıştığından mevcut şebeke kaynaklarının sera gazı salınımı ve gerekli olan enerji miktarının o kaynaktan sağlandığı unsurları dikkate alınmıştır. (4.1.3.5) kısıtı ise enerji depolama sisteminden kaç tane satın alınacağı kararıdır. Herhangi bir T anında depolama yapılabilecek enerji miktarı ise o enerji depolama sisteminin kapasitesi ve depo kaynağından kaç tane alındığına bağlıdır. Kısıt (4.1.3.6) ise karar değişkenlerinin pozitif olduğunu göstermektedir.

(4.1.3.7)-(4.1.3.36) arasında bulunan kısıtlar depo sistemlerinin özelliklerinin birbirleriyle karşılaştırılması için kurulmuştur. Her depo sisteminin farklı özelliklerini göz önüne alınarak teknik olarak gelişmişlikleri değerlendirilip hibrit depolama sisteminin belli bir seviyede olması için oluşturulmuştur.

(4.1.3.7)-(4.1.3.15) arasındaki kısıtlar depolama sistemlerinin teknik özelliklerine değinmektedir:

Kısıt (4.1.3.7) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama olarak belirli bir yaşam ömrü üzerinde olmasıdır. Yaşam ömrünün uzun olması sistemin daha uzun süre kullanılabilmesi ve doğal olarak birim enerji maliyetinin düşmesini sağlamaktadır. Kısıt (4.1.3.8) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama olarak belirli bir enerji yoğunluğunun üzerinde olmasıdır. Kısıt (4.1.3.9) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama belirli bir güç yoğunluğu üzerinde

olmasıdır. Kısıt (4.1.3.10) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama belirli bir olgunluk seviyesi üzerinde olmasıdır. Olgunluk seviyesi sistemin sorun çıkarması, bakım ve onarım maliyetleri açısından da önem taşımaktadır. Kısıt (4.1.3.11) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama belirli bir stabil depolama süresi üzerinde olmasıdır. Kısıt (4.1.3.12) Seçilen enerji depolama sistemlerinin ortalama özboşalım oranlarının belirli bir düzeyin altında kalmasını ifade etmektedir. Kısıt (4.1.3.13) ise seçilen sistemlerinin verim düzeyinin yüksek olmasını sağlamak içindir. Sistemin depolama süresininin stabilitesi, özboşalım oranı ve verimliliği en önemli sayılabilecek teknik özelliklerdir. Çünkü sistemin kullanıldığı süreyi, depolamanın yüksek düzeyde kalabilmesi sayesinde daha az depo kaynağı kurmayı gerektirmektedir. Kısıt (4.1.3.14) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir güvenilirlik seviyesi üzerinde olmasını sağlamaktadır. Güvenilirlik seviyesi de tıpkı olgunlaşma seviyesi gibi yaşanacak problemlerin az olmasını dolayısıyla daha düşük maliyetlerde olmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.1.3.15) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir cevap verebilirlik süresinin altında olmasıdır. Cevap verebilirlik süresi şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde özellikle daha fazla önem taşımaktadır. Elektiriğin olmadığı durumlarda depolardan hızlı yanıt alabilmek akıllı ve mikro şebekelerin devamlılığı açısından kritik bir faktör olabilmektedir.

(4.1.3.16)-(4.1.3.20) arasındaki kısıtlar depolama sistemlerinin çevresel özelliklerine değinmektedir:

Kısıt (4.1.3.16) seçilen enerji depolama sistemlerinin çevreye karşı olarak bıraktığı etkilerden görülebilecek boyutta olanların (ciddi bir alan kaplaması, su kaynaklarını kirletmesi veya kullanması gibi) belirli bir seviyenin altında olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.17) seçilen enerji depolama sistemlerinin çevreye yarattığı biyolojik etkilerin (kuşların göç yoluna etkilemesi vb.) belli bir seviyenin altında olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.18) seçilen enerji depolama sistemlerinin iklim değişikliğine etkisinin belirli bir düzeyin altında olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.19) seçilen enerji depolama sistemlerinin kirlilik yaratma düzeylerinin belirli bir seviye altında olması isteğini

karşılacaktır. Kısıt (4.1.3.20) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir toksik madde barındırma seviyesi altında olması isteğini karşılamaktadır.

(4.1.3.21)-(4.1.3.24) arasındaki kısıtlar depolama sistemlerinin sosyo-kültürel özelliklerine değinmektedir:

Kısıt (4.1.3.21) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir eğitim imkanı yaratmanın üzerinde olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.22) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir sosyo-kültürel etki yaratma seviyesinin üzerinde olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.23) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir istihdam yaratma etkisinin üzerinde olması isteğini karşılamaktadır. Kısıt (4.1.3.24) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir güvenlik seviyesi üzerinde olması isteğini karşılamaktadır.

(4.1.3.25)-(4.1.3.36) arasındaki kısıtlar depolama sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanabilecek bazı durumlara karşı kullanılan özelliklerine değinmektedir:

Kısıt (4.1.3.25) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir enerji arbitrajı yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.26) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir pik tıkanma takviyesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.27) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir yük dengelemesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.28) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir dönme rezervi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.29) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir iyileştirme ertelemesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.30) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir tıkanma takviyesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.31) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir voltaj desteği yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.32) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir sistem toparlaması yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.33) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir frekans düzenlemesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.34) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir kapasite düzenlemesi yapabilmesidir. Kısıt (4.1.3.35) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir kaliteli güç sağlayabilmesidir. Kısıt (4.1.3.36) seçilen enerji depolama sistemlerinin belirli bir güvenli güç sağlayabilmesidir.

4.1.4 Kısmen Şebeke Bağımsız Model

Kısmen şebekeden bağımsız modelde şebekenin yanı sıra yeni bir enerji kaynağı sistemi kurulumu gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Hem yenilenebilir bir enerji kaynağı kurarak şebekeden kısmen bağımsızlaşmış hemde yenilenebilir enerjinin kesikli yapısına uygun bir depolama sistemi seçimi yapılmıştır. Şebeke bağımlı modele göre bazı eklemeler ve değişimler yapılmış olup aşağıda mevcuttur.

Yeni Eklenen Parametreler:

$capS_k$: $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağının Kapasitesi

$costCS_k$: $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağının Kurulum Maliyeti

$costOMS_k$: $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağının Bakım ve Onarım Maliyeti

$costB_k$: $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağının Birim Üretim Maliyeti

$factor_{tk}$: $t \in T$ anında $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağının Üretimi Etkileyen Faktör Kapasitesi

Yeni Eklenen Karar Değişkenleri:

$Generation_{tk}$: $t \in T$ anında $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynağına Bağlı Anlık Üretim Miktarı

Z_k : $t \in T$ anında $k \in N$ kümesindeki Enerji Kaynaklarının Sayısı

Matematiksel Model

$$\text{Min } \sum_k^N (costCS_k + costOMS_k) * Z_k + \sum_i^M (costCE_i + costOM_i) * X_i \quad (4.1.4.1)$$

$$Demand_t + \sum_i^M Y_{ti} \leq \sum_k^N Generation_{tk} + power_t \quad \forall t \in T, t = \{1\} \quad (4.1.4.2)$$

$$Demand_{(t+1)} + \sum_i^M Y_{(t+1)i} \leq \sum_k^N Generation_{tk} + \sum_i^M Y_{ti} + power_{t+1} \quad \forall t \in T \quad (4.1.4.3)$$

$$\sum_k^N \sum_t^T ghg_k * Generation_{tk} \quad (4.1.4.4)$$

$$Z_k * capS_k \geq Generation_{tk} \quad \forall t \in T, k \in N \quad (4.1.4.5)$$

$$Generation_{tk} = Z_k * capS_k * factor_{tk} \quad \forall t \in T, k \in N \quad (4.1.4.6)$$

$$Z_{tk} \geq 0 \quad \forall t \in T, k \in N \quad (4.1.4.7)$$

(4.1.3.5)-(4.1.3.36) arasındaki kısıtların hepsi bu modelde de bulunmaktadır.

(4.1.4.1) Amaç fonksiyonunda yeni kurulacak enerji kaynağının kurulum, bakım onarım maliyetleri ve enerji depolama sistemlerinin kurulum ve bakım onarım maliyetlerinin minimizasyonu hedeflenmiştir.

Kısıt (4.1.4.2) ve (4.1.4.3) kısıt (4.1.3.2) ve (4.1.3.3) ile benzer olup sistemin çalıştığı süre boyunca mevcut enerji talebini karşılamaı sağlayan denge kısıtlarıdır. Sisteme ilk anda (T=1) üretilen enerji ve şebekeden çekilen enerjinin toplamı, o anda talep edilen enerjiden ve o an depolayacağı enerjiye fazla ya da aynı olmalı. (4.1.4.2) İlk andan sonra herhangi bir anda üretilen enerji, şebekeden alınan enerji ve bir önceki anda depolanan enerji ise o andaki enerji talebini karşılamalı ve kalan enerjiyi de depolanmalıdır. (4.1.4.3) Bizim için en önemli unsurlardan biri olan sera gazı salınımı ise kısıt (4.1.4.4) ile hesaplanmaktadır. Toplam sera gazı salınımı tüm kaynaklardan sağlanan enerji ve o kaynakların sera gazı salınım oranına eşittir. Burada bulunan kaynaklardan üretilen enerji ile karbon salınım oranları çarpılarak hesaplanmaktadır. Üretim miktarını belirleyen kısıt olan (4.1.4.5) T anında üretilebilecek enerji, kurulan enerji kaynaklarının kapasitesi ve sayısının çarpımından küçük ya da eşit olmalı. Üretilebilecek enerji miktarının bağlı olduğu unsurlar kısıt (4.1.4.6)de ele alınmıştır. Enerji kaynağı sayısı, kaynağın kapasitesi ve enerji üretim faktörü üretilebilecek maksimum enerjiyi belirler. Üretim faktörü bölgenin rüzgar hızı, güneş ışınım oranı gibi unsurların saatler ve aylara göre dağılımı ve üretim kaynağının veriminin kullanılarak elde edildiği bir çarpan olarak belirlenmiştir. (4.1.4.7) kısıtı karar değişkenlerinin pozitif değişkenler olduğunu göstermektedir.

4.2 MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA ALTERNATİFLERİ SEÇİMİ PROBLEMİNİN SONUÇLARI

Depo sistemi seçimi yapan matematiksel modellerden şebeke bağımlı, kısmen şebeke bağımsız modeller üçer farklı senaryo kurularak çalıştırılmıştır. Senaryolar birbirlerinden çevreci olma ve maliyet etkin politikalar izleme olarak ayrılmaktadır.

Şebekeye bağlı olma veya olmama durumu kendine yetebilen izole bölgeler yaratma durumlarını incelemeyi sağlamaktadır. Şebekeye bağlı olunan durumlarda sistemden düzenli miktarda enerji çekildiği varsayımı yapılmıştır bu varsayımın temeli ise üniversitelerin ihale yoluyla enerji satın alması ve şebekeden düzenli bir miktarda enerji çektiği düşünülerek oluşmuştur. Aynı zamanda düzensiz enerjiyi karşılamak için enerji piyasasından anlık olarak enerji satın almanın maliyetsel olarak daha yüksek olduğu da bilinmektedir. Enerji talebinin düzenli olmaması ve enerji piyasasındaki fiyatlardan dolayı şebekeden alınan enerjinin depolanma ihtiyacı doğmaktadır. Kısmen şebeke bağımsız modelde ise yenilenebilir enerji kaynakları kurarak üniversitelerde mikro şebekeler yaratılmaya çalışılmıştır. Üniversitelerin enerji ihtiyacının %10'unun yenilenebilir kaynaklardan kalan %90'ının ise şebeke elektriğinden sağlandığı varsayılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek kurulum bedelleri yüzünden üniversitelerin yatırımı yavaş yavaş yaptığı düşünülerek başlangıç olarak %10'luk bir yönelim öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğası gereği kesintili yapıda olması ise üretilen fazla enerjilerin daha sonra oluşması muhtemel enerji üretimi eksikliğini gidermesi adına depolanması gerektiğini göstermektedir. Sera gazının maliyetlendirilmesi ise enerji kaynağı seçimini etkileyen bir unsurdur.

Birinci senaryoda depolama sistemlerine ait tüm özelliklerin ortalamanın üzerinde değerlere sahip olarak sağlanması istenmiştir. Bu senaryo tam olarak çevreci ve maliyet etkin olmaya iki bakış açısında ortasında bulunan bir politika izlenmesinin sonucunu yansıtmaktadır. Senaryonun uygulanması sırasında enerji depolarının sahip olması istenen özelliklere ait ortalama katsayılar kısıt (5.2.3.7)-(5.2.3.38)'e yansıtılmıştır.

İkinci senaryoda enerji depolama sistemlerinin özelliklerine dair kısıtlar gevşetilmiş ve daha maliyet etkin bir senaryo uygulanmıştır. Tamamen maliyet etkin davranabilmek için ilk senaryoda bulunan ortalama katsayılar fazlasıyla gevşetilerek daha düşük özelliklere sahip enerji depolama sistemlerinin de seçilebilmesine izin verilmiştir. Bu senaryo için kısıt (5.2.3.7)-(5.2.3.38) arasındaki kısıtlardaki kat sayılar gevşetilerek ortalama değerlerinin altına çekilmiştir.

Son senaryoda ise çevresel etkilerin çok önemli olduğu düşünülerek daha çevre etkin bir durum yaratılmıştır. (5.2.3.16)-(5.2.3.20) arasındaki kısıtlar ilk senaryoya göre daha da kısıtlanarak çevresel anlamda etkileri en aza indirgenmiş özelliklere sahip enerji depolama sistemlerinin seçildiği bir senaryo denenmiştir.

Üniversiteler bazında baktığımızda elektrik enerjisi ihtiyaçlarının değişkenlik gösterdiğini görebilmekteyiz. Bunun temel sebepleri öğrenci ve öğretim görevlisi sayıları, yerleşke büyüklüğü, yurt bulundurup bulundurmaması gibi fiziksel ve sayısal özelliklere dayalı olduğu söylenebilir. Aynı zamanda günlere, aylara ve mevsimlere bağlı olarak saatler bazındaki enerji talebi değişkenlik göstermektedir. 1 sene için çözülen bu problem için kullanılan toplam enerji talepleri ve dağılıma bağlı olarak en yüksek ve düşük talep miktarları Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Uygulama 2 Üniversitelerin Enerji Talebi Dağılımı

	Toplam Talep (MWh)	Maksimum Talep (kWh)	Minimum Talep (kWh)
Hacettepe	37.000	7468	3157
Aladdin Keykubat	1.500	303	128
Mardin Artuklu	4.250	858	363
Pamukkale	15.600	3149	1331
Adnan Menderes	560	113	48

Öncelikle şebekeye tamamen bağımlı modelin sonuçlarını incelersek üniversitelerin enerji ihtiyacına göre yaptıkları enerji depolama sistemleri seçimlerini görebiliriz. Bu enerji depolama sistemlerinin tipleri üniversiteden üniversiteye çok değişmemektedir. Bunun temel sebebi depo seçimi kısıtlarından kaynaklanmaktadır. Ancak depolanacak enerji miktarlarının farklı olmamasının sonucu olarak ise depo sayıları değişkenlik göstermekte ve depolama sistemi maliyetleri değişmektedir. Uygulamanın sonucuna göre kısmen şebeke bağımsız modelin tüm sene boyunca depoladığı maksimum miktarları Tablo 11’de görebilirsiniz.

Tablo 11: Uygulama 2 Üniversitelerin Depoladığı Maksimum Enerji

Maksimum Depolanan Miktar (kWh)	Şebeke Bağımlı Model	Kısmen Şebeke Bağımsız Model
Hacettepe	14.840	17.090
Aladdin Keykubat	615	141
Mardin Artuklu	1.790	816
Pamukkale	6.495	7.420
Adnan Menderes	216	201

Tablo 11’de görüldüğü üzere üniversiteler bazında şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız modeller arasında depolanan enerji miktarı değişmiştir. Hacettepe ve Pamukkale üniversitesini dikkate alırsak iki üniversite içinde depolanan enerji miktarında artış bulunmaktadır. Bunun temel sebebi şebeke bağımsız modelde buldukları konum doğrultusunda kullanabilecekleri yenilenebilir enerji kaynağının sadece güneş olmasıdır. Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresini de göz önüne alan bu modelde her an güneş bulunmaması dolayısıyla depolanması gereken enerji miktarı artmaktadır. Oysa Aladdin Keykubat, Mardin Artuklu ve Adnan Menderes üniversiteleri konumları dolayısıyla hem güneş hem de rüzgar enerjisinden faydalanabilmektedir. Bu sayede bu üniversiteler daha fazla yatırım yaparak her iki enerji tipini kullanabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli yapısından daha az etkilenmektedir.

Güneşin olmadığı saatlerde rüzgar enerjisinden de yararlanabilmekte bu sayede ise daha az enerji depolayarak kendine yetebilmektedir. Uygulamanın bu kısmı enerji kaynaklarının maliyetlerini incelemediğinden daha fazla enerji kaynağı kurulabilmektedir. Oysa uygulama 1'den de görülebileceği üzere enerji kaynaklarının maliyeti enerji depolama sistemlerinden oldukça yüksektir. Uygulama 2'nin bir amaç fonksiyonunun enerji kaynaklarının maliyetlerinin minimizasyonu olması durumunda diğer üniversitelerde depo miktarlarını arttırıp enerji kaynağı sayısını azaltma eğilimine girmektedirler.

Enerji depolama sistemleri seçimine kurulan senaryolardaki stratejilerle baktığımızda sonuçlar arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Bunun sebebi ise çevreci veya maliyetsel yaklaşımların modelin seçimlerini yüksek miktarda etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Toplamda baktığımızda tüm senaryolar aynı miktarda enerji depolamakta ancak depo tiplerine eğilimleri değişmektedir. Bu değişen depo tipi ve sayısı ise kurulum ve bakım onarım maliyetlerini etkilemektedir. Senaryolar bazında üniversitelerin enerji depolama sistemlerine yapmaları gereken yatırımı Tablo 12'de bulabilirsiniz.

Tablo 12: Uygulama 2 Şebeke Bağımlı Modelde Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemleri Maliyetleri

Enerji Depolama Sistemi Maliyetleri (Bin \$)			
Üniversite/Senaryo	Baz Senaryo	Senaryo 1 (Maliyet Etkin)	Senaryo 2 (Çevre Etkin)
Hacettepe	2561	1747	7076
Aladdin Keykubat	107	74	296
Mardin Artuklu	309	212	857
Pamukkale	1120	764	3099
Adnan Menderes	38	27	105

Tablo 12'den de görülebildiği üzere maliyet etkin, çevreci ve ortalama bir politika izlendiğinde maliyetler oldukça değişmektedir. Çevreci politikalar, ortalama teknik özelliklere sahip bir sisteme göre yaklaşık 1.7 kat daha pahalıdır. Ortalama özelliklere sahip sistemler ise tamamen maliyet etkin izlenen bir politikaya göre %29 ila %31 daha az yatırım gerektirmektedir.

Şebeke bağımlı modelde enerjinin düzenli olarak şebekeden çekildiği varsayılmıştır. Şebekeden enerji çekerken üniversitelerin ihaleye girdiği miktarın sabit bir şekilde şebekeden geldiği düşünülmüştür. Ancak gerçek hayatta şebekeden istenen miktarda enerji çekmek mümkündür. Buna rağmen elektrik piyasası fazlasıyla hareketli bir piyasa olup enerji açığı olması durumunda sisteme verilen enerji çok daha yüksek fiyatlardan satılmaktadır. EPIAŞ tarafından belirlenen enerji piyasası rakamları 1 lot enerji için 0 ila 2000 TL arasında olabilmektedir. Araştırmalar göstermektedir ki enerji satın alınanın 2018 yılı için ortalaması 231 TL civarındadır. (Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi, 2018) Bu durumda yıllık bazda şebekeden alınan sabit enerji baz alınarak enerji talebinin yüksek olduğu saatlerde enerji piyasasından enerji alınmasının getirdiği bedeller Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 13: Uygulama 2 Şebeke Bağımlı Modelde Enerji Piyasasından Enerji İhtiyacının Karşılanması Durumundaki Maliyetleri

Üniversite	Enerji Piyasasından Enerji Satın Alma Maliyetleri (Bin \$)
Hacettepe	2405
Aladdin Keykubat	100
Mardin Artuklu	291
Pamukkale	1055
Adnan Menderes	35

Tablo 13'den de görülebileceği üzere enerji piyasasından ekstra alınan enerjinin maliyeti maliyet etkin senaryodaki enerji depolama sistemlerinin kurulum

maliyetinden daha yüksektir. Baz senaryonun maliyetlerine ise oldukça yakın olduğu görülmektedir. Enerji piyasası fiyatlarının gün geçtikçe yükseldiği de göz önünde bulundurulduğunda şebeke bağımlı sistemlerin de enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyduğu görülebilmektedir.

Şebekeden kısmen bağımsız modellerin sonuçlarına bakarsak şebeke bağımlı modellere göre bazı değişiklikler gözlemleyebiliriz. Bunlardan ilki enerji depolama sistemlerinin maliyetlerinde bazı artışlar veya azalışlar söz konusudur. Bunun temel sebebi şebekeye bağlı olmayan mikro sistemlerde düzenli bir enerji akışı bulunmamasıdır. Az sayıda yenilenebilir kaynak kullanıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının bu kesikli yapısı talep edilen enerjinin karşılanamaması ile sonuçlanabildiğinden enerji depolama sistemlerine daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çeşitli olduğu durumlarda ise daha az enerji depolamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kısmen şebeke bağımsız modellere ait enerji depolama sistemlerinin maliyetleri Tablo 14'te bulunmaktadır.

Tablo 14: Uygulama 2 Kısmen Şebeke Bağımsız Modelde Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemleri Maliyetleri

Enerji Depolama Sistemi Maliyetleri (Bin \$)			
Üniversite/Senaryo	Baz Senaryo	Senaryo 1 (Maliyet Etkin)	Senaryo 2 (Çevre Etkin)
Hacettepe	2948	2011	8152
Aladdin Keykubat	25	17	74
Mardin Artuklu	142	98	392
Pamukkale	1280	874	3539
Adnan Menderes	35	24	102

Kısmen şebeke bağımsız modeli senaryolar bakımından incelersek ise yine çevreci politikaların ortalamaya göre 1.7 kat daha maliyetli olduğunu görmekteyiz. Maliyet etkin politikaların ise ortalama teknik özelliklere sahip sistemlere göre %31 daha ucuz olduğu belirlenmiştir.

Depolama sistemlerinin seçilmesi ise uygulama 2'nin en öncelikli problemlerinden biridir. Tüm depo sistemleri arasından seçim yapılması sırasında depolanması planlanan enerjinin yanı sıra depoların teknik, çevresel özellikleri de dikkate alınmaktadır. Kısmen şebeke bağımsız model ile şebeke bağımlı modelin seçtiği enerji depolama sistemleri arasında ciddi bir farklılık bulunmamaktadır. Depolama sistemlerinin özellikleri şebeke bağımlı ve bağımsız modelde farketmediğinden seçilen depo tipleri de değişiklik göstermemektedir. Genel olarak model enerji depolama sistemlerinin teknik, çevresel etkilerine göre seçim yaptığından sadece depolanacak enerjinin büyüklüğüne göre değişimler yaşanmaktadır. Şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız modeller arasında enerji depolama tiplerinin sayılarında değişiklik yaşanmaktadır.

Senaryoların çevre etkin veya maliyet etkin olduğunda seçtiği teknolojiler ise farklılaşmaktadır. Bu yüzden ki izlenen stratejiler sonucunda enerji depolama sistemlerinin seçiminde genel eğilimler bulunmaktadır. Daha çevreci bir bakış açısı ile model çözdürülüşünde baz modele göre daha çok yakıt hücrelerinin tercih edildiği gözlemlenmektedir. Oysa maliyet etkin bir strateji izleyip teknik özelliklerinin önemsenmediği durumlarda en çok sıkıştırılmış hava depolama sistemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Maliyet etkin stratejide diğer stratejilerden farklı olarak küçük boyutlu hazneli pompalı hidroelektrik enerji depolama sistemleri tercih edilmemektedir. Çevre etkin stratejide ise çinko hava bataryalar sıkıştırılmış hava depolamadan daha çok tercih edilmektedir. Tablo 15'te izlenen politikalara bağlı olarak tercih edilen enerji depolama sistemlerini sıralı olarak görebilirsiniz.

Tablo 15: Uygulama 2 Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemi Seçimleri

Baz Senaryo	Senaryo 1 (Maliyet Etkin)	Senaryo 2 (Çevre Etkin)
<ul style="list-style-type: none"> • Sıkıştırılmış Hava Depolama • Çinko Hava Batarya • Sodyum Sülfür Batarya • Kurşun Asit Batarya • Hazneli Pompalı Hidro Enerji Depolama Sistemleri • Ultra Kapasitör 	<ul style="list-style-type: none"> • Sıkıştırılmış Hava Depolama • Çinko Hava Batarya • Sodyum Sülfür Batarya • Kurşun Asit Batarya • Ultra Kapasitör 	<ul style="list-style-type: none"> • Çinko Hava Batarya • Sıkıştırılmış Hava Depolama • Sodyum Sülfür Batarya • Kurşun Asit Batarya • Hazneli Pompalı Hidro Enerji Depolama Sistemleri • Ultra Kapasitör • Fosforik Asit Yakıt Hücresi

Tablo 15 incelendiğinde çinko hava pili ve yakıt hücrelerinin geride kalan sistemlere göre daha çevreci olduğunu, sıkıştırılmış hava depolama sistemlerinin ise diğer sistemlerden daha maliyet etkin oldukları görülmektedir. Aynı zamanda hazneli pompalı hidro enerji sistemlerinin ise yeterince maliyet etkin olmadığı da gözlemlenmektedir. En çok tercih edilen depolama sistemleri ise sıkıştırılmış hava depolama sistemleri ve çinko hava bataryalar olmaktadır. Maliyetsel ve çevresel senaryolar arasındaki yüksek depolama maliyetleri ise çevresel özelliklerin karşılanması için seçilen sistemlerin ortalama maliyetini sağlaması için daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Enerji depolama sistemlerinin büyüklükleri senaryo bazında değişiklik göstermektedir. Uygulanacak senaryolara göre her üniversite için belirli büyüklüklerde batarya, sıkıştırılmış hava depolama sistemleri, ultra kapasitör, hazneli pompalı hidro enerji depolamalar veya yakıt hücreleri kurulması gerekmektedir. Tablo 16'ya bakıldığında ise enerji depolama sistemlerinin saklanacak enerji miktarına göre yüzdesel olarak ne kadar büyüklükte satın alınması gerektiği görülmektedir.

Tablo 16: Uygulama 2 Senaryo Bazında Enerji Depolama Sistemi Büyüklükleri

Enerji Depolama Sistemi Büyüklüğü (%)					
Senaryolar	Bataryalar	Sıkıştırılmış Hava Depolama	Ultra Kapasitör	Hazneli Pompalı Hidro Sistemler	Yakıt Hücresi
Baz Senaryo	46%	44%	4%	6%	0%
Senaryo 1 (Maliyet Etkin)	48%	50%	2%	0%	0%
Senaryo 2 (Çevre Etkin)	71%	14%	4%	6%	5%

Şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız sistemler arasında enerji depolama sistemleri seçiminde büyük bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Bunun temel sebebi daha önce de bahsedildiği gibi yenilenebilir enerjinin kesintili yapısıdır ve kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğidir. Hem Hacettepe üniversitesinde hem de Pamukkale üniversitesinde modeller güneş enerji panelleri kurmaktadır. Şebekeden enerji düzenli çekilirken güneş günün belli saatlerinde bulunduğu gündüz üretilen enerjinin gece talebini karşılamak üzere daha fazla depolanması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız sistem arasında enerji depolama sistemlerinde maliyet değişmektedir. İki üniversiteye ait şebekeye bağlı olup olmama durumuna göre değişen enerji depolama sistemlerinin maliyetleri Tablo 17’de görülmektedir.

Tablo 17: Üniversitelerin Şebekeye Göre Değişen Enerji Depolama Sistemi Maliyetleri

Enerji Depolama Sistemi Maliyetleri (Bin \$)						
Üniversite/Model	Şebeke Bağımlı			Kısmen Şebeke Bağımsız		
	Baz Senaryo	Senaryo 1	Senaryo 2	Baz Senaryo	Senaryo 1	Senaryo 2
Hacettepe	2561	1747	7076	2948	2011	8152
Pamukkale	1120	764	3099	1280	874	3539

Kısmen şebeke bağımsız modelde Hacettepe üniversitesi ve Pamukkale üniversitesi için sıkıştırılmış hava depolama sistemi, çinko hava batarya ve soyum sülfür bataryalar şebeke bağımlı modele göre daha fazla sayıda kullanılmaktadır. Bu durum ise enerji üretiminin belirsiz olduğu durumlarda enerji depolama sistemlerinin önemini ve aynı zamanda düzensiz enerji karşısında doğal olarak maliyetsel bir artışa neden olduğunu göstermektedir.

Şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız modeller arasındaki bir diğer önemli gösterge sera gazı salınımı oranındaki farklılıklardır. Şebeke bağımlı modeller şebeke elektriği kullandığından kendi bölgelerindeki kaynakları kullandıkları varsayılmıştır. Bunun sonucu olarak tükettikleri elektrik karşılığı bölge kaynaklarından salınan karbondioksit gibi gazlardan sorumlu olmaktadır. Şebeke bağımlı modelde hem konvansiyonel hem de yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Kısmen şebeke bağımsız modelde ise yenilenebilir enerji kaynakları ilk modele göre artmıştır. Tamamen şebeke bağımsız olamasa da şebekeden ayrılmanın ilk aşamasında yenilenebilir enerji kaynaklarına %10 oranındaki geçişin etkilerini gözlemleyerek tamamen yenilenebilir kaynak kullanımında oluşacak sonuçlar görülebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı salınımı ise konvansiyonel kaynaklara göre oldukça düşük olduğundan ciddi bir fark oluşturmaktadır. Tablo 18'de modellerden alınan sonuca göre her üniversitenin sera gazı salınım miktarlarında değişim şebeke bağımlı ve bağımsız sistemler üzerinden gösterilmektedir.

Tablo 18: Üniversitelerin Sera Gazı Salınım Oranları

Sera Gazı Salınım Miktarı (Ton)	Modeller	Üniversite	Baz Senaryo
	Şebeke Bağımlı		Hacettepe
		Aladdin Keykubat	35,4
		Mardin Artuklu	27,5

		Pamukkale	431
		Adnan Menderes	2,5
	Kısmen Şebeke Bağımsız Model	Hacettepe	1993,8
		Aladdin Keykubat	33,2
		Mardin Artuklu	27,5
		Pamukkale	425,5
		Adnan Menderes	2,5

Tablo 18'den de görülebileceği üzere kısmen şebeke bağımsız model ile şebeke bağımlı modelin sera gazı salınımları arasında ciddi farklılıklar olan bölgeler vardır. Kısmen şebeke bağımsız model enerji talebinin sadece %10'unu karşılamak için yenilenebilir kaynaklar kullandığından aynı enerji talebini karşılasalarda ciddi oranda sera gazı salınımını azaltmaktadır. Eğer tüm enerji ihtiyacı yenilenebilir kaynaklardan karşılansaydı Tablo 16'da görüldüğü üzere kısmen şebeke bağımsız modellerin sera gazı salınımları şebeke bağımlı modellere göre baya düşük kalacaktır. Yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması ile sera gazı salınımı %5 oranında azalmaktadır. Konvansiyonel kaynaklar yerine tamamen yenilenebilir kaynak kullanılması sonucunda ise sera gazı salınımı yaklaşık olarak %50 oranında azalacaktır. Yani mevcut kaynakların kullanılmasından vazgeçildiği takdirde sera gazı salınımında %50 civarında azalma olabileceği gösterilmiştir.

Uygulama 2 için kurulan matematiksel modelin sonuçlarını özetlersek ortalama olarak çoğu özelliğin yüksek olduğu senaryoda depolama sistemlerine harcanan maliyet daha yüksektir. Bunun esas sebebi çoğu sistemin tüm özelliklerinin çok iyi seviyelerde olmamasıdır. Ortalama olarak bir özelliğin yüksek olmasını istediğimiz için birçok sistemi aynı anda satın almak zorunda kalmaktayız.

Senaryo iki çoğu özelliğın ortalama altında olmasını kabul ettiğimiz bi senaryo olup en uygun maliyetli sistemlerin kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu yüzden de depolanacak enerji miktarına göre bir sistem seçilmektedir. Son senaryo ise çevre etkin olması açısından çevresel özellikleri fazlasıyla kısıtlanmıştır. Bu yüzden de sistemin maliyeti fazlasıyla yükselmiştir. Çevre etkin bir politika izlemenin maliyeti tamamlamamalı maliyet etkin bir politika izlemeye oranla yaklaşık 4 kat fazla maliyet getirmektedir.

Genellikle en çok seçilen enerji depolama sistemleri ise sıkıştırılmış hava depolama sistemleri ve çinko hava bataryalar olmuştur. Çevreci yaklaşımlar daha çok sistemin bir arada kullanılmasına sebep olmaktadır çünkü hem çevreci hem teknik açıdan gelişmiş sistemler pek bulunmamaktadır. Maliyet etkin yaklaşımlar ise en etkin sistemleri seçmişlerdir.

Şebeke bağımlı ve kısmen bağımsız sistemlere bakarsak enerji depolama sistemleri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına bağılı olarak bir maliyet farkı görmekteyiz. Enerji depolama sistemlerinin yanı sıra enerji kaynağının kurulumu ise oldukça büyük bir maliyet getirmektedir. Sera gazı salınım oranı ise mevcut teknolojilere göre fazlasıyla düşük bir seviyededir. Şebeke bağımsız sistemlerle tüm enerji ihtiyacını karşıladığımızı varsaysak bile sera gazı salınımını oldukça azaltmış oluruz. Sera gazı salınımındaki %50 oranındaki değişim ise sürdürülebilirlik açısından çok ciddi bir fark oluşturacaktır.

SONUÇ

Fosil kaynakların tükenmekte olduğu ve mevcut teknolojinin çevresel zararlarına karşılık yeni ve sürdürülebilir enerji arayışı içinde hazırlanan bu çalışmada enerji kaynakları ve enerji depolama sistemlerine ayrı başlıklar altında değinilmiştir. Bu çalışmanın ana amaçları olan iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımının azaltılması, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması hedeflerinin hepsi uygulamalar içinde farklı bakış açılarıyla değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında kurulan model ile Türkiye'nin 2013-2023 yılları arasındaki enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik enerji kaynaklarının seçimi yapılmıştır. Çevreci yaklaşımların bir kısmı mevcut politikanın sürdürülmesinden ya da hedeflenen seçimlerden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu masraflı olsa bile gelecek kaygısı ve sera gazının vergilenmesi sonucunda maliyet artışından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim daha da artabilecektir.

Makro düzeyde Türkiye için 10 yıllık ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi talebinin karşılanması problemi ile başlanmış ve 10 yıl için farklı senaryolar altında denemeler yapılarak Türkiye için birkaç farklı enerji portföyü oluşturulmuştur. Doğrusal programlama metodlarıyla çözdürülen birinci uygulama yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin maliyetsel boyutta Türkiye'ye etkisini göstermektedir. Enerji portföyü oluşturulurken çevresel kaygılar ön planda bulundurularak konvansiyonel enerjilerden çok yenilenebilir enerjiye yönelim yapılmaya çalışılmış ve maliyetler ortaya konmuştur. Mevcut sistemle devam etmektense tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak her ne kadar maliyetli olsada sera gazı salınımını ciddi oranda azaltması çok büyük bir avantaj getirmektedir. BM'e göre sera gazının vergi maliyetine tabi olması durumunda oluşacak maliyetlerde yenilenebilir kaynaklar ve konvansiyonel kaynaklar arasında bir eğilim farkı yarattığı görülmüştür. En etkili sonuçlardan biri ise sera gazı salınımını limitleme ile konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanılmasıyla elde edilmiştir.

ETKB'nin resmi hedefleri doğrultusunda arttırılması planlanan enerji kaynağı portföyü ise en maliyetli sonucu vermektedir. Bunun temel sebepleri enerji kaynağı kurulum hedeflerinin çok yüksek olması, elektrik, ulaşım ve ısınma için harcanan tüm enerjiyi karşılamayı hedeflemesi, enerji transferlerini hesaba katması, ticari sebepler barındırması, kullanılmayan enerji santrallerini var sayması, yedek güç tutma ihtiyacı, bakım onarım durumlarının hesaplanması ve emreamade kapasiteyi dikkate almasındandır. Mevcut talebin çok daha fazlasını karşılayan bu senaryo hedeflerin yüksekliğinden dolayı maliyetlerin yüksek olması sebebiyle çokta uygulanabilir bulunmamıştır.

Yenilenebilir ve konvansiyonel enerji kaynaklarının çevreye saldığı sera gazı oranları büyük miktarda farklılık göstermektedir. Dolayısıyla ilk uygulamanın sonuçları incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yüksek oranda geçişin sera gazı salınımını mevcut duruma göre ciddi oranda değiştirdiği görölmektedir. Bu değişim yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilimi arttırmakla birlikte çevresel anlamda yüksek bir kazanç sağlamaktadır.

Farklı durumlar açısından hangi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabileceği ve bu kaynakların doğası gereği olan kesintili yapılarının bir dezavantaj olmaması adına hangi enerji depolama sistemleri ile entegrasyonunun gerçekleştirileceğine karar vermek için doğrusal programlama yardımı ile ikinci uygulama çözdürölmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının getirileri, çevreci oluşu ve en önemlisi yaşamın sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurularak devlet teşviği, üniversitelerin öncü olması ile birlikte oluşturulabilecek hibrit enerji depolama sistemleri belirlenmiştir. Mevcut olarak kullanılan tüm özelliklerin yere veya isteklere göre değişebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmanın ikinci uygulamasının sonuçlarını inceleyecek olursak hibrit enerji depolamak için teknik açıdan en uygun sistemlerin seçimiyle kurulan enerji depolama sistemleri şebeke bağımlı veya kısmen şebeke bağımsız sistemler açısından maliyetsel açıdan ufak farklar yaratmaktadır. Kaç çeşit enerji kaynağı kurulabileceği, değişen enerji talebi, enerji kaynaklarından üretilebilecek enerji miktarının değişkenliği enerji depolama sistemlerini etkileyen unsurların bir

kısmı olmuştur. Ancak bu uygulamanın en önemli kısmı enerji depolama sistemlerinin teknik, çevresel, sosyo kültürel etkilerini dikkate alarak seçim yapmasıdır.

Şebekeye bağlı olan sistemlerin yüksek enerji talebi anında piyasadan enerji satın alması durumu ile enerji depolaması durumları bir arada incelendiğinde maliyet etkin davranılan senaryoda enerji depolamanın daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Daha çevreci özelliklere yönelince enerji depolama maliyetinin arttığı gözlenmektedir. Çevreci özelliklerin artması ilk uygulamada olduğu gibi bu uygulamada da biraz maliyet artışına sebep olmuştur. Ancak üniversitelerin maddi ve çevresel kaygıları maliyetlerin değişmesine sebep olabilecektir.

Şebekeden kısmen bağımsız sistemlere bakarsak bu sistemler hem yenilenebilir enerji kullanımını destekleyici hem de enerji depolarının avantajlarını gösteren sistemler olmuştur. Enerji kaynağının tek olacağı noktalarda enerji üretiminin düzensizleşmesi sebebiyle enerji talebinin karşılanmasında sorun yaşanmaması için enerji depolama sisteminin maliyeti artmaktadır. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleriyle kullanılması gerektiği görüşlerini destekleyici bir kanıt niteliğindedir. Enerji kaynağının birden fazla olabileceği durumlarda ise enerji üretimindeki düzensizlik azalmakta bu sayede enerji depolama sistemine harcanması gereken meblağlar düşmektedir. Ancak enerji kaynağı maliyetinin enerji depolama sisteminden yüksek olduğu bilinen bir gerçektir. Hem enerji kaynağı hem de enerji depolama sistemlerinin maliyetlerini bir arada değerlendirirsek daha az enerji kaynağı ve daha çok enerji depolama sistemi kurarak daha maliyeti düşük bir enerji yönetim sistemi elde edebiliriz.

Enerji depolama sistemlerinin yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulması çok daha fazla maliyet getirmektedir. Aynı zamanda piyasadan ekstra enerji satın almaktansa enerji depolama sistemi kurmanın maliyetleri daha katlanılabilir olmaktadır. Enerji kaynaklarına ve enerji depolama sistemlerine harcanacak maliyetlerin uzun süreli olduğu göz önünde bulundurulursa sera

gazı salınımından elde edilcek çevresel kazançlar ile katlanılabilir ve getirisi yüksek bir durum olduğu gör÷lmektedir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmanın sonucunda yenilenebilir kaynaklardan ve enerji depolama sistemlerinden elde edebileceğimiz faydalar ortaya çıkmıştır. Çevresel bakış açısının biraz daha yüksek maliyetlere sebep olması karşısındaki getirileri değerlendirilmiştir. Gelecek ve sürdürülebilirlik açısından ise yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artırılması gerektiği açıkça ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- Akinyele, D. O., & Rayudu, R. K. (2014). Review of energy storage technologies for sustainable power networks. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 8, 74-91. doi:10.1016/j.seta.2014.07.004
- Akinyele, D. (2018). Analysis of photovoltaic mini-grid systems for remote locations: A techno-economic approach. *International Journal of Energy Research*, 42(3), 1363-1380. doi:10.1002/er.3886
- Alkan A. (2016). Yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi, Kocaeli
- Aneke, M., & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Applied Energy*, 179, 350-377. doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.097
- Aslan, Ö. (2007). Hidrojen ekonomisine doğru.
- Barin, A., Canha, L. N., Abaide, A. R., Magnago, K. F., Wottrich, B., & Machado, R. Q. (2011). Multiple Criteria Analysis for Energy Storage Selection. *Energy and Power Engineering*, 03(04), 557-564. doi:10.4236/epe.2011.34069
- Barin, A., Canha, L. N., Magnago, K., da Rosa Abaide, A., & Wottrich, B. (2009, May). Multicriteria decision making for management of storage energy technologies on renewable hybrid systems-the analytic hierarchy process and the fuzzy logic. In *2009 6th International Conference on the European Energy Market* (pp. 1-6). IEEE.
- Castillo, A., & Gayme, D. F. (2014). Grid-scale energy storage applications in renewable energy integration: A survey. *Energy Conversion and Management*, 87, 885-894. doi:10.1016/j.enconman.2014.07.063
- Cau, G., Cocco, D., Petrollese, M., Knudsen Kær, S., & Milan, C. (2014). Energy management strategy based on short-term generation scheduling for a renewable microgrid using a hydrogen storage system. *Energy Conversion and Management*, 87, 820-831. doi:10.1016/j.enconman.2014.07.078
- Dagdougui, H., Minciardi, R., Ouammi, A., Robba, M., & Sacile, R. (2012). Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a "Green" building. *Energy Conversion and Management*, 64, 351-363. doi:10.1016/j.enconman.2012.05.017
- Daneshi H, Srivastava A, Daneshi A. Generation scheduling with integration of wind power and compressed air energy storage. In: 2010 IEEE PES

transmission and distribution conference and exposition; 2010. p. 1-6.
doi: 10.1109/TDC.2010.5484430

- Das, B. K., Hoque, N., Mandal, S., Pal, T. K., & Raihan, M. A. (2017). A techno-economic feasibility of a stand-alone hybrid power generation for remote area application in Bangladesh. *Energy*, 134, 775-788.
doi:10.1016/j.energy.2017.06.024
- Das, H. S., Tan, C. W., Yatim, A. H. M., & Lau, K. Y. (2017). Feasibility analysis of hybrid photovoltaic/battery/fuel cell energy system for an indigenous residence in East Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1332-1347. doi:10.1016/j.rser.2017.01.174
- Das, T., Krishnan, V., & McCalley, J. D. (2015). Assessing the benefits and economics of bulk energy storage technologies in the power grid. *Applied Energy*, 139, 104-118. doi:10.1016/j.apenergy.2014.11.017
- Deloitte.(2014). *National Renewable Energy Action Plan for Turkey*.
- Doukas, H., Patlitzianas, K. D., & Psarras, J. (2006). Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. *Resources Policy*, 31(2), 129-136. doi:10.1016/j.resourpol.2006.09.003
- Dursun, B. (2012). Determination of the optimum hybrid renewable power generating systems for Kavakli campus of Kırklareli University, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6183-6190.
doi:10.1016/j.rser.2012.07.017
- Dünya Doğayı Koruma Vakfı, *Türkiye'nin Yenilenebilir Gücü*, Türkiye: WWF Türkiye
- Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi, (2018). *Elektrik Piyasası Özet Bilgiler Raporu 2018*, Türkiye: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2015). *2015-2019 Stratejik Plan*, Türkiye: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği.
- Fehrenbacher K. 2007. Flywheel Maker Pentadyne Raises \$14M.
<http://gigaom.com/cleantech/flywheel-maker-pentadyne-raises-14m/>.
- Fernandez-Blanco, R., Dvorkin, Y., Xu, B., Wang, Y., & Kirschen, D. S. (2017). Optimal Energy Storage Siting and Sizing: A WECC Case Study. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(2), 733-743.
doi:10.1109/tste.2016.2616444

- G. Kurt, "Technical and economical analysis of energy storage technologies used for wind energy storage," 2010 National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), pp. 17- 21, Dec. 2-5, (2010).
- Geem, Z., & Kim, J. H. (2016). Optimal energy mix with renewable portfolio standards in Korea. *Sustainability*, 8(5), 423.
- Günter, N., & Marinopoulos, A. (2016). Energy storage for grid services and applications: Classification, market review, metrics, and methodology for evaluation of deployment cases. *Journal of Energy Storage*, 8, 226-234. doi:10.1016/j.est.2016.08.011
- Hajipour, E., Bozorg, M., & Fotuhi-Firuzabad, M. (2015). Stochastic Capacity Expansion Planning of Remote Microgrids With Wind Farms and Energy Storage. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(2), 491-498. doi:10.1109/tste.2014.2376356
- Halabi, L. M., Mekhilef, S., Olatomiwa, L., & Hazelton, J. (2017). Performance analysis of hybrid PV/diesel/battery system using HOMER: A case study Sabah, Malaysia. *Energy Conversion and Management*, 144, 322-339. doi:10.1016/j.enconman.2017.04.070
- Halabi, L. M., & Mekhilef, S. (2018). Flexible hybrid renewable energy system design for a typical remote village located in tropical climate. *Journal of Cleaner Production*, 177, 908-924. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.248
- Ho, Y. F., Chang, C. C., Wei, C. C., & Wang, H. L. (2014). Multi-objective programming model for energy conservation and renewable energy structure of a low carbon campus. *Energy and Buildings*, 80, 461-468.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji. *Analiz. Seta*, 197, 18-28.
- Kaya, K., & Koç, E. (2015). ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİ MALİYET ANALİZİ. *Engineer & the Machinery Magazine*, (660).
- Kiliç, F. Ç. (2007). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. *Renewable Energy World*, 8(6).
- Kocaman, B., & KOCAMAN, B. (2013). Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 119-127.

- Kozak M., Kozak Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri, SDU International Technologic Science, 4(2):17-29.
- Krishnan, V., & Das, T. (2015). Optimal allocation of energy storage in a co-optimized electricity market: Benefits assessment and deriving indicators for economic storage ventures. *Energy*, 81, 175-188. doi:10.1016/j.energy.2014.12.016
- Kuleli Pak, B., Albayrak, Y. E., & Erensal, Y. C. (2017). Evaluation of sources for the sustainability of energy supply in Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(2), 627-637. doi:10.1002/ep.12507
- Kuşdoğan Ş. Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji depolama uygulamalarının verimliliği
- Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü – Enerji Haritaları (n.d.). Retrieved from <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>
- Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H., & Matseelar, H. S. C. (2014). A review of available methods and development on energy storage; technology update. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 532-545. doi:10.1016/j.rser.2014.01.068
- Müller, M., Viernstein, L., Truong, C. N., Eiting, A., Hesse, H. C., Witzmann, R., & Jossen, A. (2017). Evaluation of grid-level adaptability for stationary battery energy storage system applications in Europe. *Journal of Energy Storage*, 9, 1-11. doi:10.1016/j.est.2016.11.005
- Nag, A. K., & Sarkar, S. (2018). Modeling of hybrid energy system for futuristic energy demand of an Indian rural area and their optimal and sensitivity analysis. *Renewable Energy*, 118, 477-488. doi:10.1016/j.renene.2017.11.047
- Oberschmidt, J., Geldermann, J., Ludwig, J., & Schmehl, M. (2010). Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies. *International Journal of Energy Sector Management*, 4(2), 183-212. doi:10.1108/17506221011058696
- Özarıslan, A. 2012. "Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Büyük Ölçekli Enerji Depolama Yöntemleri," DEKTMK Türkiye 12. Enerji Kongresi, 14-16 Kasım 2012, Ankara
- Özdemir, E., Aktaş, A., Erhan, K., & Özdemir, Ş. (2017). Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama Uygulamalarının Önündeki Fırsatlar Ve Karşılaşılan Zorluklar. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2). doi:10.17341/gazimmfd.322175

- Palizban, O., & Kauhaniemi, K. (2016). Energy storage systems in modern grids—Matrix of technologies and applications. *Journal of Energy Storage*, 6, 248-259. doi:10.1016/j.est.2016.02.001
- Park, E., & Kwon, S. J. (2016). Solutions for optimizing renewable power generation systems at Kyung-Hee University's Global Campus, South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 439-449. doi:10.1016/j.rser.2015.12.245
- Parra, D., Swierczynski, M., Stroe, D. I., Norman, S. A., Abdon, A., Worlitschek, J., Patel, M. K. (2017). An interdisciplinary review of energy storage for communities: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 730-749. doi:10.1016/j.rser.2017.05.003
- Pham, C. T., & Daniel, M. (2015, September). Suitability analysis of Fuzzy Logic as an evaluation method for the selection of energy storage technologies in Smart Grid applications. In *2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)* (pp. 452-457). IEEE.
- Sawle, Y., Gupta, S. C., & Bohre, A. K. (2018). Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2217-2235.
- Singh, G., Baredar, P., Singh, A., & Kurup, D. (2017). Optimal sizing and location of PV, wind and battery storage for electrification to an island: A case study of Kavaratti, Lakshadweep. *Journal of Energy Storage*, 12, 78-86. doi:10.1016/j.est.2017.04.003
- Štreimikienė, D., Šliogerienė, J., & Turskis, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable Energy*, 85, 148-156. doi:10.1016/j.renene.2015.06.032
- Şimşek, N. (1998). Enerji sorununun çözümünde jeotermal enerji alternatifleri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 8(29), 15-20.
- Topal, M., & Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES*, 241-247.
- Turan, D., & Yönetken, A. (2016). Enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 113-121.
- TUTAR, F., & EREN, M., (2011). Geleceğin enerjisi: Hidrojen ekonomisi ve Türkiye. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (6).

- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü. (2013). *Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu*, Türkiye: TEİAŞ APK Daire Başkanlığı
- Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi. *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 1(1).
- Vazquez, S., Lukic, S. M., Galvan, E., Franquelo, L. G., & Carrasco, J. M. (2010). Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(12), 3881-3895. doi:10.1109/tie.2010.2076414
- Vo, T. T. Q., Xia, A., Rogan, F., Wall, D. M., & Murphy, J. D. (2016). Sustainability assessment of large-scale storage technologies for surplus electricity using group multi-criteria decision analysis. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(3), 689-703. doi:10.1007/s10098-016-1250-8
- Wang H. (2012) Carbon Nanomaterials for Supercapacitors. Introduction to the Physics of Energy DersNotları. StandfordUniversitesi, ABD.
- Waqar, A., Shahbaz Tanveer, M., Ahmad, J., Aamir, M., Yaqoob, M., & Anwar, F. (2017). Multi-Objective Analysis of a CHP Plant Integrated Microgrid in Pakistan. *Energies*, 10(10), 1625. doi:10.3390/en10101625
- Yekini Suberu, M., Wazir Mustafa, M., & Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 499-514. doi:10.1016/j.rser.2014.04.009
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü – Ansayfa (n.d.). Retrieved from <http://www.yegm.gov.tr/>
- Yenilenebilir Enerji Kaynakları Blogu - EnerjiBeş. (n.d.). Retrieved from <http://www.enerjibes.com/>
- YILMAZ, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 18/05/19

Tez Başlığı : Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 130 sayfalık kısmına ilişkin, 18/05/19 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç
- Kaynakça hariç
- Alıntılar hariç
- Alıntılar dâhil
- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre 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.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: İrem Konyalı

18.05.2019

Öğrenci No: N15224376

Anabilim Dalı: İşletme

Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

(Prof. Dr., Aydın Ulucan)



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ÇALIŞMASI ETİK KOMİSYON MUAFİYETİ FORMU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 18/09/19

Tez Başlığı: Türkiye İçin Mevcut Enerji Üretimine Alternatif Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Seçimi

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmam:

1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır,
2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir.
3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir.
4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, mülakat, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.

Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kurul/Komisyon'dan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

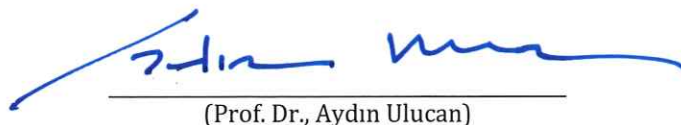
Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: İrem Konyalı
Öğrenci No: N15224376
Anabilim Dalı: İşletme
Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler
Statüsü: Yüksek Lisans Doktora Bütünleşik Doktora

18.09.2019
İmza

DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI


(Prof. Dr., Aydın Ulucan)

Detaylı Bilgi: <http://www.sosyalbilimler.hacettepe.edu.tr>

Telefon: 0-312-2976860

Faks: 0-3122992147

E-posta: sosyalbilimler@hacettepe.edu.tr