



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**CBS DESTEĞİ İLE HAYVANSAL BİYOKÜTLE KAYNAKLARI
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: DENİZLİ İLİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Pınar AKYIL YILMAZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Melayib BİLGİN

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142311301 numaralı Doktora öğrencisi Pınar AKYIL YILMAZ tarafından hazırlanan “**CBS DESTEĞİ İLE HAYVANSAL BİYOKÜTLE KAYNAKLARI POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: DENİZLİ İLİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Semih EKERCİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ

Ege Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ

Pamukkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 20/12/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere uygun olarak yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Pınar AKYIL YILMAZ

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimi aldığım zamandan beri samimiyetinden, dürüstlüğünden hiç şüphe duymadığım tez süresince emeğini esirgemeyen, yaptığı yardımları hiçbir zaman unutmayacağım Sayın Prof. Dr. Melayib BİLGİN'e, yine aynı dönemde tanıma şansına eriştiğim ve mezun olduktan sonra da bir baba gibi emeğini hep üzerimde hissettiğim sevgili hocam Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ'a en derin saygılarımı ve teşekkürü borç bilirim.

Lisans tezim sürecinde CBS ile beni ilk tanıştıran, aradan yıllar geçtikten sonra da doktora tezim sürecinde yine aynı konuda beni yönlendiren ve bu konuda cesaretlendiren, bu konulardaki bütün bilgi ve tecrübelerini büyük bir içtenlikle paylaşan, sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ'a bu çalışmadaki tüm katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca değerli bilgileri ile destek olan ve her defasında doktora tezinin önemini vurgulayan sayın hocam Prof. Dr. Semih EKERCİN'e, savunma sınavım sonrasında tezime katkıda bulunan ve desteklerini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca engin bilgilerini paylaşan ve beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen, tezime önemli katkıları olan, benim için bir hocadan çok öte bir dost olan güleryüzlü hocam Doç. Dr. Nur Sinem PARTİGÖÇ'e şükranlarımı sunarım.

Doktora çalışmam boyunca, bilgilerini paylaşan ve beni bu konuda yönlendiren, umutsuzluğa düştüğüm her anda beni yeniden cesaretlendiren, yazma sürecinde benim kadar çaba harcayan, bana olan desteği, sabrı ve inancı hiç bitmeyen, hayat arkadaşım, en büyük destekçim sevgili eşim Doç. Dr. Atakan YILMAZ'a, tez yazma süreci boyunca "Anne dersin ne zaman bitecek" diyen sabırlı çocuklarım Ata ve Ada'ya ve bilgisayarımı oyuncak sanıp oynayarak bişeyler anlatmaya çalışan minik kızım Asya'ya, varlıklarıyla bana güç verdikleri için canım aileme teşekkür ederim.

Bu tezi canım eşim Atakan YILMAZ ve çocuklarım Ata, Ada ve Asya'ya ithaf ediyorum.

Pınar AKYIL YILMAZ

AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	4
1.2 Çalışmanın Önemi	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1 Yenilenebilir Enerji	6
2.1.1 Dünyada yenilenebilir enerji kullanımı	7
2.1.2 Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanımı	10
2.2 Biyokütle Enerjisi	12
2.2.1 Dünyada biyokütle kullanımı	14
2.2.2 Türkiye’de biyokütle kullanımı	18
2.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	22
2.3.1 Tanımı ve tarihçesi	22
2.3.2 CBS fonksiyonları	25
2.3.3 CBS bileşenleri	27
2.3.4 CBS metodolojisi	29
2.3.5 CBS kullanım alanları	30
2.3.6 CBS veri tipleri ve veri yapısı	32
2.4 Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri	34
2.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi	35
2.4.1.1 Kriterlerin belirlenmesi	42
2.4.1.2 Kriter ağırlıklarının belirlenmesi	47
2.5 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)	48
2.6 Önceki Yapılan Çalışmalar	50
2.6.1 Biyokütle potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar	53
2.6.2 CBS ile biyokütle tesis yer seçimi ile ilgili çalışmalar	56
3. MATERYAL VE YÖNTEM	61
3.1 Çalışma Alanı	65
3.2 Yer Seçimi Kriterlerinin Belirlenmesi	67
3.3 Veritabanının Oluşturulması	70
3.3.1 Veri temini	71
3.4 ÇKKV Modelinin Oluşturulması	80
3.4.1 Saha uygunluk analizi	81
3.4.2 AHP ile faktör ağırlıklandırma	85
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	88
4.1 Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Eşdeğeri Hesaplamaları	88
4.2 Uygun Olmayan Alanların Haritadan Çıkartılması	92
4.3 Karar Faktörleri ile AHP Karar Matrislerinin Oluşturulması	92
4.4 Faktörlerin, Bulanık Mantık Modülü (FUZZY) Standardize Haritaların Hazırlanması	95
4.5 Ağırlıklı Çakıştırma ile Nihai Haritanın Elde Edilmesi	104
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	106

KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ.....	126



DOKTORA TEZİ

CBS DESTEĞİ İLE HAYVANSAL BİYOKÜTLE KAYNAKLARI POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ: DENİZLİ İLİ ÖRNEĞİ

Pınar AKYIL YILMAZ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, Denizli ilinde hayvansal biyokütle enerjisinin potansiyelini belirlemek ve potansiyel bir biyokütle enerji tesisi için uygun yer seçimi konusunda öneriler sunmaktır. Çalışmamızda, tesis yer seçimi için belirlenen kriterler arasından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile karar matrisleri oluşturularak önem dereceleri belirlendikten sonra Fuzzy bulanık mantık modeli ile uygun aralıklar belirlenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Denizli ilindeki hayvansal biyokütle bakımından zengin bölgelerde hayvansal biyokütle kaynaklarının potansiyeli değerlendirilmiştir. Mekansal veriler işlenerek uygunluk haritaları elde edilmiş ve analizler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre Denizli ilinde; büyükbaş hayvanlardan 45387200 m³/yıl, küçükbaş hayvanlardan 5271600 m³/yıl ve kanatlı hayvanlardan 14317600 m³/yıl biyogaz potansiyeli söz konusudur. Bu potansiyel; büyükbaş hayvanlardan 143095755 kWh, küçükbaş hayvanlardan 16620183 kWh, kanatlı hayvanlardan 45140211 kWh ısı enerjisine eşdeğerdir. Ayrıca CBS ile elde edilen saha uygunluk haritasında biyokütle potansiyeli; çok uygun, uygun, orta uygun ve az uygun olarak derecelendirilerek belirtilmiştir.

Bu çalışma, hayvansal biyokütle enerjisinin sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji çözümlerinde önemli bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmamız hayvansal biyokütle enerji tesislerinin yer seçimi ve kapasite planlaması için bir temel sağlamaktadır. Haritalama sonuçları, tesislerin konumlandırılması için uygun alanların belirlenmesinde ve bölgesel enerji altyapısının entegrasyonunda kritik öneme sahiptir. Ayrıca hayvansal biyokütle kaynaklarının etkin kullanılması, çevresel sürdürülebilirliği artırırken yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olarak ithal fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasını sağlamaktadır. Bu bilgiler, yerel yönetimler ve politika yapıcılar için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji güvenliğinin artırılması konusunda stratejik kararlar almak için kullanılabilir. Ayrıca, hayvansal biyokütle enerjisinin çevresel ve sosyo-ekonomik faydalarını ve potansiyel zorluklarını da göstermektedir. Bu çalışma, biyokütle enerjisi kullanımının artırılması için yol gösterici bilgiler ve öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Biyokütle, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Yenilenebilir Enerji.

Aralık, 2023; 126 sayfa

PhD. THESIS

DETERMINING THE POTENTIAL OF ANIMAL BIOMASS RESOURCES: A CASE STUDY OF DENİZLİ PROVINCE

Pınar AKYIL YILMAZ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Melayib BİLGİN

ABSTRACT

This study primarily seeks to evaluate the potentiality of animal biomass energy in Denizli and propose relevant recommendations for the strategic site selection of a biomass energy facility. Utilizing the Analytic Hierarchy Process (AHP), decision matrices were developed for facility site selection criteria. Fuzzy Logic modules were then applied to establish suitable ranges. Besides, Geographic Information Systems (GIS) were employed to assess the animal biomass potential in Denizli, known for its abundance of animal biomass. Spatial data were processed to generate suitability maps, and eventually comprehensive analyses were conducted. The results indicate Denizli's considerable biogas potential, with 45387200 m³/year from cattle, 5271600 m³/year from small ruminants, and 14317600 m³/year from poultry. This translates to 143095755 kWh, 16620183 kWh, and 45140211 kWh of thermal energy, respectively. Additionally, GIS-based field suitability maps classified areas as very suitable, suitable, moderately suitable, and less suitable.

This study underscores the significance of animal biomass energy within the realm of sustainable and renewable energy solutions. The findings serve as a foundation for site selection and capacity planning of animal biomass energy facilities. The GIS mapping outcomes are instrumental for identifying optimal areas for facility placement and integrating regional energy infrastructure. Efficient exploitation of animal biomass resources not only enhances environmental sustainability but also contributes to achieving renewable energy targets, thus reducing reliance on imported fossil fuels. This research is instrumental for local governments and policymakers in making strategic decisions for energy resource diversification and enhanced energy security. It further sheds light on the environmental and socio-economic benefits of animal biomass energy, accompanied by potential challenges, providing guidance for increased biomass energy use.

Key Words: Analytic Hierarchy Process (AHP), Biomass, Geographic Information Systems (GIS), Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Renewable Energy.

December, 2023; 126 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. CBS'de grafik ve grafik olmayan bilgilerin gösterimi	24
Şekil 2.2. CBS'nin temel fonksiyonları	26
Şekil 2.3. CBS'nin temel bileşenleri	27
Şekil 2.4. Klasik mantık ve bulanık mantığın şekilsel gösterimi	49
Şekil 3.1. Yer seçimi basamakları	63
Şekil 3.2. Akım şeması	64
Şekil 3.3. Denizli'nin coğrafi konumu	65
Şekil 3.4. Denizli iline ait eğim haritası.....	76
Şekil 3.5. Denizli iline ait arazi kullanım haritası.....	77
Şekil 3.6. Denizli iline ait yükseklik haritası	78
Şekil 3.7. Denizli iline ait tarım alanları haritası	79
Şekil 3.8. Denizli iline ait orman alanları haritası	80
Şekil 3.9. Çok kriterli karar verme yöntemi ve CBS ilişkisi	81
Şekil 3.10. Denizli ili su kütlesi haritalarının tamponlanmış hali.....	83
Şekil 3.11. Denizli ili anayol haritalarının tamponlanmış hali	84
Şekil 3.12. Denizli ili yerleşim yeri haritasının tamponlanmış hali.....	85
Şekil 4.1. Denizli ili biyogaz üretim haritası	90
Şekil 4.2. Denizli ili uygun alanlar haritası	92
Şekil 4.3. Fuzzy bulanık mantık kapsamında enerji nakil hatlarına yakınlık uygunluk aralığı grafiği	96
Şekil 4.4. Fuzzy bulanık mantık kapsamında anayola yakınlık uygunluk aralığı grafiği	97
Şekil 4.5. Fuzzy bulanık mantık kapsamında eğim uygunluk aralığı grafiği	97
Şekil 4.6. Denizli ili eğim uygunluk haritası	98
Şekil 4.7. Fuzzy modüle entegre edilen hammadde faktör uygunluğu aralıkları	98
Şekil 4.8. Fuzzy bulanık mantık kapsamında enerji hatlarına yakınlık standardizasyon haritası.....	99
Şekil 4.9. Fuzzy bulanık mantık kapsamında yola yakınlık standardizasyon haritası	100
Şekil 4.10. Fuzzy bulanık mantık kapsamında eğim standardizasyon haritası.....	101
Şekil 4.11. Fuzzy bulanık mantık kapsamında hammadde yakınlık standardizasyon haritası.....	102
Şekil 4.12. Fuzzy ve kısıt haritası karşılaştırılması sonucu uygunluk haritaları.....	103
Şekil 4.13. Denizli ili nihai uygunluk haritası	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. AHP ölçek esasları.....	37
Çizelge 2.2. Rastgele indeks değerleri.....	39
Çizelge 2.3. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Yerleşim alanları, elektrik iletim hatları, yollar).....	44
Çizelge 2.4. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Tarım, orman, koruma alanları ve eğim).....	45
Çizelge 2.5. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Su kütleleri).....	46
Çizelge 3.1. Denizli ili arazi dağılımı.....	66
Çizelge 3.2. Denizli ilçe ve nüfusları.....	67
Çizelge 3.3. Denizli ili hayvan mevcutları.....	71
Çizelge 3.4. Denizli ili mahalle bazlı kanatlı sayısı.....	72
Çizelge 3.5. Denizli ili mahalle bazlı büyükbaş sayıları.....	73
Çizelge 3.6. Denizli ili mahalle bazlı küçükbaş hayvan sayıları.....	74
Çizelge 3.7. Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri.....	75
Çizelge 3.8. Hayvan cinsine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları.....	75
Çizelge 3.9. Karar faktörlerinin ağırlıklarının geometrik ortalaması.....	86
Çizelge 3.10 AHP kapsamında karar faktörleri matrisi.....	87
Çizelge 4.1. Denizli ili biyogaz üretim potansiyeli.....	89
Çizelge 4.2. Denizli ili potansiyel biyogazın enerji eş değeri tahmini.....	91
Çizelge 4.3. 1. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.....	93
Çizelge 4.4. 2. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.....	94
Çizelge 4.5. 3. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Prosesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemlerinin
CGIS	Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi
CI	Tutarlılık İndeksi
CO₂	Karbondiyoksit
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
EPA	Environmental Protection Agency
GPS	Global Positioning System
GW	Gigawatt
IRENA	Yenilenebilir Enerji Ajansı
KD	Kernel Density
MW	Megawatt
RI	Random İndeksi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TO	Tutarlılık Oranını
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması

1. GİRİŞ

Modern dünyada nüfus sürekli artmaktadır. Ülkemiz de bir istisna değildir ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'in nüfus projeksiyonuna göre 2042 yılında Türkiye nüfusunun 100 milyonu aşacağı öngörülmektedir [1]. Nüfus artışına paralel olarak sanayileşme artmaya ve yaşam tarzları değişmeye devam ettikçe enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu talebin karşılanması hem ekonomik hem de sürdürülebilir açıdan giderek büyüyen bir zorluk teşkil etmektedir. Bu zorluk, ülkeleri uzun oluşum süreçleri ve olumsuz çevresel etkileri olan yenilenemez enerji kaynakları yerine, daha çevreci olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır.

Ülkemizde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2020-2035 Ulusal Enerji Planında 2020 yılında %52 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu kapasite içindeki oranının 2035 yılında %64,7'ye yükselmesi planlanmaktadır [2]. Yine aynı raporda; ülkemizin elektrik sisteminde mevcut durumda sahip olduğu, önümüzdeki dönemde sahip olabileceği esneklik imkanları ve yenilenebilir enerji potansiyeli dikkate alınarak, rüzgar ve güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimi içindeki paylarının yükseltilmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda 2035 yılında kurulu güç:

- Rüzgar enerjisinde 29,6 GW (24,6 GW kara, 5 GW deniz),
- Güneş enerjisinde 52,9 GW,
- Hidroelektrik santrallerde 35,1 GW,
- Jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde toplam 5,1 GW seviyesine yükselmesi planlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kavramı, geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı olduğu ve çevresel zorlukların ele alınması gereken dünyamızda sürdürülebilirliğe doğru büyük bir değişimi temsil etmektedir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş, artan enerji talebini karşılamak ve çevre sorunlarını ele alarak daha sürdürülebilir bir enerji geleceğini teşvik etmek için gerekmektedir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)'ın verilerine göre, Türkiye'nin birincil kaynaklara dayalı elektrik üretim kapasitesi Nisan ayı sonu itibarıyla 104524 MW'a yükselmiştir. 1012 MW'lık kapasitenin 658 MW'lık kısmı 2023 yılının ilk dört ayında

devreye alınmıştır. Bu dönemde güneş enerjisi yatırımları 445 MW ile ilk sırada yer alırken, bunu 74 MW ile biyokütle ve 60 MW ile rüzgar enerjisi yatırımları izlemiştir [3]. Yukarıdaki verilere bakıldığında ise yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütlenin önemi vurgulanmaya başlanmıştır.

Biyokütle enerjisinin olumlu çevresel etkileri vardır. Biyokütle enerjisi, asit yağmurlarına veya sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmadığı için yaygın olarak çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyokütle kullanılarak karbon emisyonlarının azaltılmasına, iklim değişikliğiyle mücadeleyle ve hava kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olunabilmektedir.

Ayrıca yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyokütle; Türkiye'de farklı türdeki enerji bitkileri ile daha geniş ekim alanlarına sahiptir. Örneğin; şeker kamışı, mısır, tatlı sorgum, tatlı darı, dallı darı, fil otu (*Miscanthus*), kolza ve aspir, yağ ve şeker bitkileri gibi bitkiler yüksek fotosentez yeteneğiyle, yeryüzüne gelen ışığın önemli bölümünü yakalayıp, enerji kaynağı olarak organik maddelere çevirmektedir. Bu durum yukarıda sayılan bitkileri enerji bitkileri statüsüne yükseltmekte ve tüm dünyada bu sebeple yetiştirilmektedir. Bizim ülkemizde de birçok bölgede enerji tarımı için yetiştirilmektedir.

Biyokütle enerjisi verimli bir şekilde depolanabilme ve sevk edilebilme özelliğine sahiptir. Rüzgar ve güneş enerjisinden farklı olarak biyokütle, peletlenerek (briketlenerek) doğrudan katı yakıt olarak kullanıldığı gibi, bazı dönüşüm yollarıyla sıvı yakıta (biyofuel) dönüştürülebilmekte ve petrol veya kömür gibi depolanabilmektedir. Biyokütle uzun süreler boyunca depolanabilir, bu da gerektiğinde kullanılabilecek bir enerji kaynağı olarak güvenilirliğini artırır, böylece şebeke istikrarını ve enerji güvenliğini geliştirir.

Biyokütle enerjisi, çeşitli faydalar ve beklentiler sunarak küresel ve Türkiye'deki enerji ortamına önemli bir katkıda bulunmaktadır [4].

Biyokütle enerjisinin üretimi ve kullanımı, kırsal ve tarımsal alanlarda ekonomik fırsatlar yaratmakta, iş olanakları sağlamakta ve geliri artırarak yerel ekonomileri olumlu yönde etkilemektedir.

Biyokütle, elektrik üretiminden kimyasal hammadde üretimine ve sıvı yakıt üretimine kadar çeşitli uygulamalara sahiptir ve bu da onu çok sayıda enerji ve endüstriyel ihtiyacı karşılamak için değerli ve çok yönlü bir kaynak haline getirmektedir.

Ayrıca diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine hayvansal atıklar, bitkisel atıklar ve arıtma çamurunu içeren biyokütle kaynakları ile sürekli enerji üretimi sağlanabilmektedir [5]. Böylelikle hem enerji üretimi sağlanmakta aynı zamanda da atıklar çevresel açıdan uygun bir şekilde bertaraf edilmektedir. Biyokütle enerjisi için kullanılan bu kaynakların bertarafı atık yönetimi için çok önemlidir. Bitkisel ve hayvansal gıdaların tüketimi, artan küresel nüfusla eş zamanlı bir artış göstermiştir. Artan gıda talebini karşılamak için hayvancılık ve tarım işletmelerinin sanayileşmesinde bir artış olmuş, bu da bu tesislerden hayvansal atıkların salınması gibi önemli sorunlara yol açmıştır. Hayvan atıkları (Hayvansal Biyokütle), kötü koku yayma, rahatsız edici unsurlar ve hava, su ve toprak kirliliği gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Atmosfere yayılan çürümüş hayvan atıklarından salınan metan, sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde neden olmaktadır. Metan en güçlü sera gazlarından biridir ve eşit hacimdeki CO₂'in yirmi katı kadar sera etkisine neden olur. Hayvansal atıkların etkin yönetimi ve kullanımı bu çevresel sorunları azaltabilir ve biyogaz üretimi yoluyla enerji üretimi gibi ek faydalar sağlayabilir. Esas olarak metandan oluşan biyogaz, değerli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve hem atıkla ilgili sorunları hem de sera gazı emisyonlarını azaltabilir. Çevresel sorunları azaltmak, sera gazı emisyonlarını düşürmek ve hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz gibi sürdürülebilir enerji kaynaklarını kullanmak için hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atıklarla mücadele etmek çok önemlidir. Uygun atık yönetimi stratejilerinin uygulanması, gıda üretimi ve enerji üretimi için daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir yaklaşımı kolaylaştırabilir [6].

Kullanılmadan doğrudan tarımsal arazilere uygulanan işlenmemiş hayvan atıkları, hastalık yapıcı mikroorganizmaların bitkiler aracılığıyla insanlara geçiş yapmasına ve bu şekilde sağlık riskleri oluşturmaya yol açabilir. Ayrıca, bu tür atıkların toprağın verimini azaltması olasıdır. Buna ek olarak, bu atıkların yüzey ve yeraltı su kaynaklarına sızması suyun kalitesini düşürebilir ve su kaynaklarını kullanılamaz hale getirebilir [7].

Hayvansal atık yönetim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bilgi sistemlerinin atık teknolojilerindeki kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, veri depolama, düzenleme, paylaşma, yeniden değerlendirme ve analiz gibi konulardaki olanakları artırmıştır. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma dayalı bilgi sistemlerinin önde gelen bir örneğidir. 2000'li yıllarda, CBS, bilişim alanının ana işlevlerinden birini oluşturmuştur. CBS, verileri coğrafi koordinatlara bağlı olarak ilişkisel veri tabanı yönetim sisteminde saklayarak birçok problemi hızlı ve etkili bir şekilde çözme kapasitesine sahiptir. CBS'nin çevresel problemlerin çözümünde kullanılması, en güçlü ve en başarılı uygulama alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır [8].

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak Denizli iline ait hayvansal biyokütle enerjisinin potansiyelini değerlendirmektir. İkincil amaç ise hayvansal biyokütle enerjisinin hesaplanan potansiyelini göz önünde bulundurarak potansiyel bir biyokütle enerji tesisi için faktörleri ve kısıtları belirlemek ve en uygun yer seçimi için öneriler sunmaktır. Yer seçimi konusunda ülkemizde olduğu gibi Denizli de de büyük bir açık söz konusudur. Biyokütle enerjisi tesisi için uygun alanlar seçilmediği sürece hem hammadde temininde hem de üretilen enerjinin kullanılması konusunda sıkıntılar yaşanmaktadır. Örneğin biyokütle kaynağına uzak kurulan tesislerde yeterli hammadde bulunamadığı için tesisin çalışmasında süreklilik sağlanamamaktadır. Yerleşim yerlerine yakın kurulan tesislerde de koku problemi yüzünden çevrede yaşayan halk rahatsız olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çalışmada seçilen kriterler çalışmanın sahada uygulanabilirliği açısından büyük önem teşkil etmektedir. Uygun yerlerin seçimi kurulan tesisin çalışmasında enerji üretimi için mevcut biyokütle kaynaklarının kullanılması verimli, sürdürülebilir ve çevre dostu sonuçlara yol açacaktır. Ayrıca, biyokütle kaynaklarının enerji üretiminde kullanılması, karbon-nötr yapıları nedeniyle hem enerji hem de atık sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmanın önemli bir diğer yönü, biyokütle enerjisinin dünya çapında, özellikle kırsal alanlarda hayvansal biyokütlenin erişilebilir bol bir kaynak olması ve bu bölgelerde sosyo-ekonomik büyümeye önemli ölçüde katkıda bulunma potansiyeline sahip olmasıdır.

Geliştirilen model yol gösterici bir niteliğe sahiptir ve tüm kurum, kuruluş, yönetici ve bireylere uygulanabilir. Belirtilen adımlar ve öneriler, biyokütle enerjisi kullanımının artırılmasına yönelik daha fazla araştırma ve ilerleme için bir temel oluşturmaktadır.

Bu çalışma, biyokütle enerjisinin potansiyelini objektif bir şekilde değerlendirmekte ve ilgili tesislerin geliştirilmesi için öneriler sunmaktadır.

1.2 Çalışmanın Önemi

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyokütle, sera gazı emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilir enerji çözümleri sağlama potansiyeli nedeniyle önemi her geçen gün artmaktadır. Sürdürülebilirliğe yönelik küresel değişim, biyokütle kaynaklarının tanımlanması ve miktarının belirlenmesi ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, CBS' nin kullanımı, biyokütle potansiyeli ile ilgili mekansal verileri haritalamak ve analiz etmek için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. CBS, biyokütle kaynaklarının belirlenmesine ve yönetilmesine yardımcı olarak bu verilerin kullanımını daha verimli hale getirmektedir.

Bu çalışmada, CBS kullanarak Denizli'deki hayvansal biyokütle kaynaklarının potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ülkemizin Ege Bölgesi'nde yer alan Denizli ilini kapsamaktadır. Mekânsal veri setlerini biyokütle dönüşüm faktörleriyle entegre eden bu çalışma, bölgedeki biyokütle potansiyelinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktadır. Bulgular, Denizli'nin sürdürülebilir enerji beklentileri hakkında değerli perspektifler sunmakta ve Türkiye'de yenilenebilir enerji konusundaki daha geniş tartışmalara önemli bir katkı sağlamaktadır.

Biyokütle önemli bir potansiyele ve çeşitli faydalara sahip yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak ortaya çıkmakta ve Türkiye de dahil olmak üzere dünya çapında sürdürülebilir enerji çözümlerinin hayati bir bileşeni haline gelmektedir. Geniş uygulanabilirliği ve faydalı sosyoekonomik ve çevresel etkileri, biyokütlenin gelecekteki enerji stratejilerinde önemli bir rol oynamasını sağlamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Yenilenebilir Enerji

Genellikle sürdürülebilir veya temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji, güneş ışığı, rüzgar, yağış, gelgit ve jeotermal ısı gibi doğal süreçleri takip ederek doğa tarafından sürekli yenilenen doğal kaynakları içerir.

Yenilenebilir enerji her şeyden önce, kaynakların tükenmesi ve iklimlerin değişmesi gibi yakın bir sorunu ele almaktadır. Dünyanın yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılığı, bu kaynakların rezervlerinin tükenmesiyle azalmaya başlamıştır. Ayrıca, fosil yakıtların yakılması sera gazları yayarak küresel ısınmaya katkıda bulunmakta, bu da iklimle ilgili aksaklıkları ortaya çıkarmaktadır. Öte yandan, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi sırasında neredeyse hiç sera gazı salmayarak karbon ayak izini iyileştirmekte ve insanlığın ekolojik ayak izini azaltmaktadır [9, 10].

Yenilenebilir enerji, ekonomik büyümeyi teşvik ederek, istihdam olanakları yaratarak ve teknolojik yenilikleri teşvik ederek sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir. Yenilenebilir enerji teknolojilerine geçiş, yeni endüstrilerin kurulmasını, iş piyasalarının canlanmasını ve enerji çeşitliliğinin artmasını sağlamıştır. Bu çeşitlendirme, enerji arzı için siyasi açıdan istikrarsız bölgelere bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırmaktadır [11, 12].

Ayrıca, yenilenebilir kaynakların dünya çapında mevcut olması, en izole ve yetersiz hizmet alan topluluklar için bile enerjiye erişimi garanti etmektedir. Şebekeden bağımsız olarak çalışan güneş enerjisi sistemleri ve küçük rüzgar türbinleri, bireylere ve kırsal topluluklara elektrik sağlayarak sosyal ilerlemeyi teşvik eder ve yaşam kalitesini artırır. Enerji üretiminin, bireyleri sadece tüketici olarak değil üretici olarak da güçlendirerek bağımsız bir enerji sistemini teşvik eder.

Yenilenebilir enerjinin önemi, iklim değişikliğinin azaltılması, enerji güvenliğinin artırılması, ekonomik kalkınmanın teşvik edilmesi ve eşitlikçi enerji erişiminin desteklenmesinde yatmaktadır. Ülkeler ve toplumlar yenilenebilir enerjiyi benimsedikçe, sadece daha temiz ve sağlıklı bir geleceği garanti altına almakla kalmaz,

aynı zamanda gelecek nesiller için daha esnek ve kapsayıcı bir enerji çerçevesini de teşvik ederler [13].

2.1.1 Dünyada yenilenebilir enerji kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji kaynaklarının yarattığı zorluklara ve çevresel kaygılara bir yanıt olarak küresel düzeyde kullanımı giderek artmaktadır. Teknolojik gelişmeler, politika çerçeveleri, ekonomik kaygılar ve çevresel zorunluluklar, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel kullanımının altında yatan çok yönlü dinamiklerden bazılarıdır [14].

İklim değişikliğini ve bunun sonuçlarını ele almaya yönelik öncelik, yenilenebilir enerjinin artan kullanımının başlıca itici güçlerinden biridir. Enerji üretmek için fosil yakıtların kullanılması sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunarak küresel ısınmayı ve bunun ekosistemler ve toplumlar üzerindeki sonuç etkilerini kötüleştirmektedir. Ülkeler küresel iklim anlaşmaları kapsamındaki taahhütlerini yerine getirmek için çalışırken, enerji yapılarında yenilenebilir enerjinin daha fazla kullanılması, karbon emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmesi bakımından çok önemli bir araç olarak hizmet etmektedir [15].

Teknolojik ilerleme, yenilenebilir enerjinin kullanım şeklini şekillendirmede kilit rol oynamaktadır. Fotovoltaik teknolojisindeki gelişmeler, güneş enerjisini yakalamanın ve dönüştürmenin etkinliğini ve satın alınabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Benzer şekilde, rüzgar türbinlerinin tasarımları rüzgar kaynaklarından daha verimli yararlanılacak şekilde geliştirilmiş ve bu da daha yüksek enerji verimi ile sonuçlanmıştır. Enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi de kesintili yenilenebilir kaynakların sürdürülebilirliğini güçlendirerek şebeke istikrarına ve güvenilir güç kaynaklarına olanak sağlamaktadır [16, 17].

Politika çerçeveleri ve düzenleyici teşvikler, yenilenebilir enerjinin benimsenmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Birçok ülke, yenilenebilir enerji projelerine özel yatırımı teşvik etmek için tarife garantisi, vergi teşvikleri ve yenilenebilir portföy standartları oluşturmuştur. Bu girişimler sermayeyi çekmekte ve yerel endüstrileri canlandırarak yenilenebilir enerji sektöründe ekonomik büyüme ve istihdam yaratılmasına neden olmaktadır.

Yenilenebilir teknolojilerin azalan maliyeti, yenilenebilir enerji projelerini hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha cazip hale getirmektedir [18].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya çapında kullanımı çevresel, teknolojik, ekonomik ve politik faktörler arasındaki karmaşık etkileşime ortak bir yanıt vermektedir. Ülkeler iklim değişikliğini azaltmak, enerji güvenliğini artırmak ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için çaba sarf ettiğinden, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu kilit bir strateji haline gelmektedir. Yenilenebilir enerjinin küresel enerji karışımındaki önemi giderek artmaktadır. Sera gazı emisyonlarını azaltma gerekliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyet rekabetçiliği ve bu tür teknolojilerin dağıtımını destekleyen hükümet politikaları gibi çeşitli faktörler bu büyümeyi yönlendirmektedir.

Yenilenebilir enerji giderek maliyet açısından daha rekabetçi hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojileri son yıllarda önemli maliyet düşüşleri yaşamıştır. Bu durum yenilenebilir enerjiyi fosil yakıtlarla daha rekabetçi hale getirerek yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır [19].

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması hükümet politikaları tarafından desteklenmektedir. Dünya çapında çok sayıda hükümet, tarife garantisi, yenilenebilir portföy standartları ve vergi kredileri gibi politikalar aracılığıyla yenilenebilir enerjinin uygulanmasını desteklemektedir. Bu tür politikalar, yenilenebilir enerjinin daha uygun fiyatlı ve erişilebilir olmasına yardımcı olmaktadır.

Yenilenebilir enerji önümüzdeki yıllarda da büyümeye devam edecektir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'ya göre, yenilenebilir enerji 2050 yılına kadar küresel elektrik üretiminin %50'sini oluşturacaktır. Bu gelişme, sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin artan maliyet rekabetçiliği ve yenilenebilir enerjinin uygulanmasını teşvik eden hükümet politikalarını kapsayan çeşitli faktörler tarafından yönlendirilecektir.

2023 yılında yenilenebilir enerji tüketiminde en önde gelen ülkeler şunlar olmuştur:

Dünya genelinde hem ülkeler hem de işletmeler, enerji kaynaklarını daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde kullanma amacıyla önemli çabalar sarf

etmektedirler. Bu bağlamda, aşağıda sıralanan 10 ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretiminde öne çıkmaktadır [20]:

1. İzlanda: İzlanda, volkanik aktiviteler ve jeotermal kaynaklar gibi doğal kaynakları kullanarak enerji üretiminde yüzde 86,87'lik bir oranla dünya liderlerinden biridir. Jeotermal enerji ve hidroelektrik güç, ülkenin elektrik üretiminde büyük ölçüde yenilenebilir kaynaklardan faydalanıldığını göstermektedir.

2. Norveç: Norveç, doğal su kaynaklarına sahip olmanın avantajıyla hidroelektrik enerji üretiminde uzmanlaşmıştır ve enerjisinin yaklaşık yüzde 71,56'sını yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadır.

3. İsveç: İsveç, biyoenerji ve hidroelektrik gibi kaynaklarla enerji üretmektedir ve enerji tüketiminin yüzde 50,92'sini yenilenebilir kaynaklardan temin etmektedir.

4. Brezilya: Brezilya, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlarıyla dikkat çekmektedir ve enerjisinin yüzde 46,22'sini bu kaynaklardan elde etmektedir.

5. Yeni Zelanda: Yeni Zelanda, hidroelektrik ve jeotermal enerjiyi etkin bir şekilde kullanarak enerji tüketiminin yüzde 40,22'sini yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadır ve sürdürülebilirlik açısından önemli adımlar atmaktadır.

6. Danimarka: Rüzgar enerjisi konusunda öncü olan Danimarka, enerji üretiminin yüzde 39,25'ini yenilenebilir kaynaklardan sağlamaktadır.

7. Avusturya: Avusturya, hidroelektrik enerji kullanımıyla öne çıkmakta olup enerji tüketiminin yüzde 37,48'ini yenilenebilir kaynaklardan karşılamaktadır.

8. İsviçre: İsviçre, enerjisinin yüzde 36,72'sini yenilenebilir kaynaklardan elde etmektedir. Nükleer ve hidroelektrik enerji, İsviçre'nin başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olmasına rağmen, ülke 2017'de nükleer enerjiyi aşamalı olarak kaldırmaya karar vermiştir. Ayrıca, ülkedeki bazı şirketler, güneş ve rüzgar enerjisi pazarlamasında uluslararası liderlik yapmaktadır.

9. Finlandiya: Finlandiya, nükleer enerji, hidroelektrik ve biyoenerji gibi çeşitli kaynakları etkin bir şekilde kullanarak enerjisinin yüzde 34,61'ini yenilenebilir

kaynaklardan elde etmektedir. Finlandiya, 2035 yılına kadar net sıfır hedefine odaklanarak çeşitli enerji kaynaklarını kullanmaktadır.

10. Kolombiya: Kolombiya, elektrikli toplu taşıma alanında liderlik yapmanın yanı sıra hidroelektrik enerji üretiminde de öncüdür. Hidroelektrik enerji üretimi ile öne çıkan Kolombiya, enerjisinin yüzde 33,02'sini yenilenebilir kaynaklardan temin etmektedir.

Bu ülkeler, yenilenebilir enerjiye stratejik politikalar ve yatırımlarla liderlik ederek sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmaktadır. Enerji üretimindeki bu dönüşüm, küresel çapta çevresel etkileri azaltma yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

2.1.2 Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanımı

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, önemli bir yere sahiptir. Türkiye’de ülkenin enerji güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme gibi bileşenlere sahip olan yenilenebilir enerji kullanımı, politika çerçeveleri, teknolojik yenilikler ve çevresel gereklilikler gibi bir dizi faktörü kapsamaktadır [21].

Türkiye’nin stratejik coğrafi konumu, güneş radyasyonu, rüzgar potansiyeli ve hidroelektrik kapasitesi gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olmasını sağlamaktadır. Ülkenin bu kaynakları ulusal enerji karışımına entegre etme amacı iki hedeften kaynaklanmaktadır: enerji portföyünü çeşitlendirmek ve enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltmak. Bu, sadece Türkiye’nin enerji güvenliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ülkeyi uluslararası iklim anlaşmaları kapsamındaki taahhütlerini yerine getirecek şekilde konumlandırmaktadır [22].

Teknolojik gelişmeler Türkiye’nin yenilenebilir enerji sektörü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yenilikçi güneş paneli teknolojileri ve rüzgar türbini tasarımları, enerji elde etmeyi daha verimli ve uygun maliyetli hale getirmiştir. Buna ek olarak, enerji depolama sistemlerine odaklanan araştırma ve geliştirme girişimleri, kesintili yenilenebilir kaynakların şebekeye entegrasyonunu geliştirerek istikrarlı ve güvenilir bir elektrik arzı sağlamaktadır.

Türkiye'nin düzenleyici ve politik çerçevesi, yenilenebilir enerji kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Türkiye Cumhuriyeti Devleti, özel sektörün yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapmasını teşvik etmek için tarife garantisi ve garantili satın alma anlaşmaları gibi çeşitli teşvik mekanizmalarını uygulamaya koymuştur. Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılmasını kolaylaştıran bu girişimlerden biri de uzun vadeli alım garantileri ve mali teşvikler sunan Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM)'dir.

Türkiye'de yenilenebilir enerjinin benimsenmesinin altında ekonomik kaygılar yatmaktadır. Yenilenebilir teknolojilerin azalan maliyetleri, geleneksel enerji kaynaklarıyla rekabet edebilirliklerini artırmıştır. Bu eğilim sadece özel yatırımları cezbetmekle kalmayıp, aynı zamanda yerli yenilenebilir enerji endüstrisinin büyümesini destekleyerek istihdam yaratılmasını ve ekonomik kalkınmayı teşvik etmektedir.

Bununla birlikte, bazı zorluklar devam etmektedir. Akademik araştırmalar şebeke entegrasyonu, kesinti ve izin süreçlerine odaklanmaktadır. Araştırmacılar, yenilenebilir enerji üretiminin kesintisini şebeke istikrarı ile dengelemek için yeni depolama çözümlerini aktif olarak araştırmaktadır. Kapsamlı bir çevresel ve sosyal analiz, büyük ölçekli yenilenebilir enerji projeleri söz konusu olduğunda yerel ekosistem dinamiklerini ve toplum katılımını dikkate almalıdır. Özetle, Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin perspektif; politika dinamikleri, teknolojik gelişim, ekonomik uygulanabilirlik ve çevresel hususların çok yönlü bir şekilde incelenmesini içermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, 2020 yılında %20 iken 2023 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %25'ini oluşturmuştur. Güneş ve rüzgâr enerjisi, Türkiye'deki başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş ve rüzgâr enerjisi, toplam elektrik üretiminin sırasıyla %15 ve %10'unu oluşturarak Türkiye'deki iki ana yenilenebilir enerji kaynağıdır. Türkiye'de güneş enerjisi kurulumu hızla artmaktadır ve 2025 yılına kadar iki katına çıkması beklenmektedir. Rüzgar enerjisi kurulumu da hızla artmaktadır ve 2025 yılına kadar %50 oranında büyümesi beklenmektedir. Hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji Türkiye'deki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Toplam elektrik üretiminin %5'ini oluşturan hidroelektrik, Türkiye'deki

üçüncü en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle ve jeotermal enerji, Türkiye'deki toplam elektriğin sırasıyla yaklaşık %2 ve %3'ünü üretmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti yenilenebilir enerji kullanımını artırma taahhüdünde bulunmuştur. Türkiye Cumhuriyeti Devleti yenilenebilir enerjinin benimsenmesini artırmaya karardır ve 2030 yılına kadar Türkiye'nin elektriğinin %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmeyi hedeflemektedir. Türkiye Cumhuriyeti Devleti, çeşitli politikalar aracılığıyla yenilenebilir enerjinin ilerlemesini desteklemektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti, yenilenebilir enerjinin gelişimini çeşitli politikalarla desteklemektedir:

- Tarife garantisi, yenilenebilir enerji için sabit bir fiyatı garanti etmektedir.
- Yenilenebilir portföy standartları, kamu kuruluşlarının elektriklerinin belirli bir yüzdesini yenilenebilir kaynaklardan üretmelerini zorunlu kılmaktadır.
- Yenilenebilir enerjiye yatırım yapmak için vergi kredileri mevcuttur.
- Türkiye'de yenilenebilir enerjideki büyümenin devam etmesi beklenmektedir.

Türkiye'de yenilenebilir enerjinin büyümesinin önümüzdeki birkaç yıl içinde devam etmesi beklenmektedir. Türkiye Cumhuriyeti Devletinin yenilenebilir enerjiye olan bağlılığı ve ülkedeki bol yenilenebilir enerji kaynaklarının bu büyümeye yardımcı olması muhtemeldir.

2.2 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, sürdürülebilir yenilenebilir enerji kapsamında önemli bir yere sahiptir. Biyokütle enerjisi, enerji üretimi için canlı organizmalardan veya atıklarından elde edilen organik maddenin kullanımını ifade eder. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisi, enerji güvenliği, iklim değişikliğinin azaltılması ve düşük karbonlu ekonomilere geçiş konularında kritik öneme sahiptir [23].

Biyokütle enerjisi, tarımsal kalıntılar, ormancılık yan ürünleri, organik atıklar ve özel enerji bitkileri gibi biyolojik materyallerin ısı, elektrik ve biyoyakıtlar gibi farklı enerji biçimlerine dönüştürülmesini içerir. Dönüşüm süreçleri; anaerobik çürüme ve fermentasyondan, yanma ve gazlaştırmaya kadar değişen biyokimyasal ve

termokimyasal yolları içerir. Bu süreçler, hem sabit hem de mobil uygulamalar için kullanılabilen enerji taşıyıcıları üretir [24].

Biyokütle enerjisinin önemi, birbiriyle bağlantılı birkaç boyuttan kaynaklanmaktadır. İlk olarak, ithal fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak ve enerji arzı kesintilerine duyarlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırabilecek yerel ve yenilenebilir bir enerji kaynağı sağlar. Biyokütleden elde edilen enerji kaynakları, rüzgar ve güneş enerjisi gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarına faydalı bir ek olarak hizmet edebilir ve şebeke istikrarını artıran kontrol edilebilir enerji alternatifleri sağlayabilir [25, 26].

İkinci olarak, biyokütle enerjisinin önemli çevresel etkileri vardır. Biyokütlenin bir yakıt kaynağı olarak kullanılması, fosil yakıtlara kıyasla net sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu, yanma sırasında açığa çıkan karbondioksitin biyokütle hammaddesinin büyümesi sırasında emilen karbondioksite kabaca eşit olduğu karbon nötrlüğü ilkesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, biyokütle enerjisinin çevresel faydalarını sağlamak için arazi kullanım değişikliklerini, hammadde seçimini ve sürdürülebilir hasat uygulamalarını dikkate almak çok önemlidir [26].

Buna ek olarak, biyokütle enerjisi kırsal alanların kalkınmasına ve özellikle tarım topluluklarında istihdam yaratılmasına katkıda bulunur. Biyokütle tedarik zincirlerinin ve işleme tesislerinin oluşturulması, hammaddelerin yetiştirilmesinden enerji üretimine ve dağıtımına kadar değer zinciri boyunca istihdam fırsatları sağlar. Yerel olarak enerji üretmek yerel ekonomileri güçlendirebilir ve toplumun direncini artırabilir [27].

Biyokütle enerjisi kavramı, organik maddelere dayalı sürdürülebilir enerji üretimine yönelik çok yönlü bir yaklaşımı kapsamaktadır. Özellikle hayvansal biyokütle kırsal alanlarda önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen bertarafı konusunda ciddi problemler yaşanmaktadır. Hayvansal atıklar ya direk yakılarak enerjiye dönüştürülmekte ya da bir süre bekletildikten sonra tarım arazilerine uygulanmaktadır. Doğrudan yakıldıklarında atmosfere ciddi anlamda sera gazı yaymakta, bekletildiklerinde ise hem atmosfere hem de su kaynaklarına ciddi anlamda kirletici yaymaktadırlar. Bu durum enerji potansiyeli yüksek hayvansal biyokütleden enerji ve çevresel boyutta fayda sağlanamaması anlamına gelmektedir. Bütün bu yanlış atık uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda, hayvansal biyokütle için sürdürülebilir

atık yönetimi yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Hayvansal atık yönetiminin amacı, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığının gerçekleştirildiği bölgelerde, büyük potansiyele sahip hayvan atıklarının kullanım kapasitesini, sağlıklı çevre, ekonomik ve sosyal yararlar dikkate alınarak ve sürdürülebilir biçimde arttırılmasını sağlamaktır [28].

2.2.1 Dünyada biyokütle kullanımı

Biyokütle üretimi ve kullanımı, ülkelerin çevresel kaygıları ve enerji güvenliğini ele alabilmesi için sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını araması küresel ölçekte giderek daha önemli hale gelmiştir. Biyokütleden elde edilen biyoenerji, küresel enerji karışımının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Biyokütle kaynaklı enerjiler; biyoyakıtları, biyoenerjiyi (elektrik ve ısı için) ve biyogazı kapsamaktadır. Ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve fosil yakıtlardan uzaklaşmaya çalıştıkça biyoenerji kullanımı da artmaktadır. Ulaşım sektöründe biyoyakıtlar, özellikle de etanol ve biyodizel yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok ülke, geleneksel fosil yakıtların yerine yenilenebilir yakıt kaynaklarının oluşturulmasını ve kullanılmasını desteklemek için biyoyakıt zorunlulukları ve teşvikleri oluşturmuştur.

Biyogaz ve anaerobik fermentasyon, organik atıkların özellikle hayvansal biyokütlenin anaerobik bozunma yoluyla ısı ve elektrik üretme yöntemleri olarak giderek yaygınlaşmaktadır. Bu teknik, atık yönetimi ve yeşil enerji üretimi için ikili bir çözüm sunmaktadır. Odun bazlı enerji başka bir seçenektir. Ormanlardan elde edilen odun yongaları ve peletlerden oluşan biyokütle, ısıtma, endüstriyel işlemler ve elektrik üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kereste işleme atıkları gibi ormancılık kalıntıları ve sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlar, çeşitli uygulamalar için önemli bir biyokütle kaynağıdır.

Biyoenerji üretimi için tarımsal atık olarak pirinç kabuğu ve mısır sapı gibi bitki kalıntıları kullanılmaktadır. Bununla birlikte, toprak bozulmasına karşı koruma sağlamak için sürdürülebilir tarım uygulamalarına devam edilmesi gerekmektedir. Anahtar otu ve miscanthus gibi özel enerji bitkileri biyoenerji amacıyla gıda ürünleriyle rekabet etmeden marjinal arazilerde yetiştirilebilmektedir.

Sürdürülebilirlik önemli bir zorluktur ve ormansızlaşmayı, toprak bozulmasını ve biyolojik çeşitlilik kaybını önlemek için biyokütlenin sürdürülebilir bir şekilde üretilmesi esastır. Etkili arazi yönetimi ve planlaması şarttır. Biyokütle üretimini gıda üretimi ve koruma çabaları ile dengeleme zorluğu, uygun arazi kullanım politikaları gerektirmektedir. Ayrıca, biyokütle dönüşüm teknolojilerini geliştirmek, verimliliği artırmak ve genel maliyetleri düşürmek için sürekli araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır. Ayrıca, bu hedeflere ulaşmak için en uygun altyapı ve lojistik çok önemlidir. Hasat, nakliye ve depolama süreçlerini kapsayan biyokütle tedarik zincirleri, sürekli ve ekonomik olarak verimli bir tedarik sağlamak için yatırım ve optimizasyon ihtiyacını gerektirmektedir.

Biyokütle kullanımı, dünyanın yenilenebilir enerji portföyü için çok önemlidir ve enerji güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyo-ekonomik kalkınmanın çözümünde çok boyutlu önemi nedeniyle kapsamlı bir araştırma alanıdır. Bu alan, teknolojik ilerleme, politika yapıları, çevresel kaygılar ve sosyo-ekonomik etkiler de dahil olmak üzere geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır [29].

Biyokütle kullanımı, hayvansal atıklar, tarımsal kalıntılar, ormancılık yan ürünleri, belediye atıkları ve enerji bitkileri gibi organik maddelerin biyoyakıt, ısı ve elektrik gibi enerji taşıyıcılarına dönüştürülmesini gerektirir. Bu işlemler, anaerobik çürüme ve fermantasyon gibi biyokimyasal tekniklerin yanı sıra yanma ve piroliz gibi termokimyasal yöntemler de dahil olmak üzere farklı yollarla gerçekleşir. Bu çeşitlendirilmiş dönüşüm mekanizmaları, biyokütlenin bir dizi uygulamada dinamik bir rol oynamasını sağlar [30].

Birkaç önemli faktör biyokütle kullanımının küresel önemine işaret etmektedir. Öncelikle biyokütle, enerji güvenliği ve çeşitliliğine önemli ölçüde katkıda bulunabilecek yenilenebilir bir kaynağı temsil etmektedir. Çeşitli bölgelerdeki mevcudiyeti sayesinde biyokütle, değişken uluslararası enerji piyasalarına bağımlılığı azaltabilecek ve enerji direncini artıracabilecek güvenilir ve yerel kaynaklı bir enerji seçeneği sunmaktadır.

İkinci olarak, biyokütle kullanımının çevresel etkileri önemlidir. Biyokütlenin yanmasından kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının hammadde büyümesi sırasında emilen karbondioksit ile dengelendiği karbon nötrlüğü ilkesi, biyokütle

enerjisini sera gazı emisyonlarının azaltılması için cazip bir seçenek haline getirmektedir. Bununla birlikte, biyokütle kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, ormansızlaşmadan kaçınma ve iyi tasarlanmış arazi kullanım stratejilerine bağlılık, biyokütle kullanımının net çevresel faydalarını garanti altına almak için çok önemlidir [31, 32].

Ayrıca, biyokütle enerjisi kırsal kalkınma ve sosyo-ekonomik büyümede çok önemli bir rol oynamaktadır. Biyokütle tedarik zincirlerinin, işleme tesislerinin ve merkezi olmayan enerji sistemlerinin geliştirilmesi, değer zinciri boyunca istihdam fırsatları sağlayarak yerel ekonomileri güçlendirir ve geçim kaynaklarını iyileştirir. Bu durum özellikle biyokütle yetiştiriciliğinin birden fazla gelir akışı yaratabildiği ve gıda güvenliğini artırabildiği kırsal alanlar için geçerlidir.

Bununla birlikte, biyokütle kullanımının yaygın bir şekilde uygulanmasının zorlukları da yok değildir. Enerji bitkileri ve gıda üretimi arasındaki potansiyel rekabet, arazi kullanımı çatışmaları ve sürdürülebilir biyokütle kaynağı gereksinimi, hassas politika çerçeveleri, teknik yenilikler ve kapsamlı değerlendirmeler gerektirmektedir.

Özetle, küresel biyokütle kullanımına ilişkin akademik araştırmalar enerji güvenliği, çevre koruma ve sosyo-ekonomik ilerlemenin karmaşık kesişim noktalarını incelemektedir. Ülkeler enerji sistemlerini daha sürdürülebilir hale getirmeyi hedefledikçe, biyokütle çok yönlü bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Biyokütle, 2023 yılında dünya çapında toplam birincil enerji kullanımının %10'undan sorumluydu. Biyokütle, hidroelektrik ve güneş enerjisinden sonra gelen üçüncü en büyük yenilenebilir enerji üreticisidir.

Biyokütle çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Biyokütle, aşağıdakileri de içeren çeşitli yollarla elektrik üretebilir:

- Doğrudan yakma: Bu yöntem, biyokütle enerjisi üretmek için en yaygın kullanılan yöntemdir. Biyokütle suyu ısıtmak için yakılır ve elektrik üretmek için bir türbine güç veren buhar üretilir.
- Fischer-Tropsch Sentezi: Bu süreç, benzin ve dizel gibi sentetik yakıtlar üretmek için biyokütleyi kullanır.

- Gazlaştırma: Bu süreç biyokütleyi elektrik veya ısı üretmek için kullanılabilen bir gaza dönüştürür.

Ayrıca biyokütle, konutların ve kuruluşların ısıtılmasının yanı sıra ulaşım araçlarının itici gücü olarak da kullanılmaktadır.

Biyokütle sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisinin sürdürülebilirliği, zaman içinde yenilenebilir doğasına atfedilmektedir. Biyokütle aynı zamanda karbon-nötr bir enerji kaynağıdır çünkü biyokütlenin yandığında yaydığı karbondioksit miktarı, bitkilerin büyürken emdiği karbondioksit miktarına eşittir [32].

Yakın gelecekte biyokütlenin daha fazla benimsenmesi beklenmektedir. Ülkeler fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını azaltmaya ve iklim değişikliği sorunuyla mücadele etmeye çalıştıkça biyokütle alımında dünya çapında artış beklenmektedir. Biyokütle, elektrik, ısı ve ulaşım için yakıt üretmek üzere kullanılabilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bitkiler, hayvanlar ve atık ürünler gibi yaşayan ya da yakın zamanda ölmüş olan organizmalardan elde edilen organik maddelerden oluşur.

2023 yılında biyokütle tüketiminde ön sıralarda yer alan ülkeler:

- Çin 1300 TWh,
- Amerika Birleşik Devletleri 400 TWh,
- Brezilya 200 TWh,
- Hindistan 150 TWh,
- Almanya 100 TWh biyokütle tüketmiştir.

Bu ülkeler çeşitli nedenlerden dolayı biyokütle kullanımında ön sıralarda yer almaktadır. Çin ve Amerika Birleşik Devletleri gibi bazı ülkeler, odun ve tarımsal atıklar da dahil olmak üzere biyokütle kaynakları bakımından zengindir. Brezilya ve Hindistan, biyokütle gelişimini destekleyen güçlü hükümet politikalarına sahip ülkelere örnektir

Biyokütle kaynakları:

Enerji üretimi için kullanılan başlıca biyokütle kaynakları odun, tarımsal atık ve belediye katı atıklarıdır. Odun en yaygın biyokütle kaynağıdır ve elektrik, ısı ve ulaşım yakıtları üretmek için kullanılır. Mahsul artıkları ve hayvan gübresi de dahil olmak

üzere tarımsal atıklar da önemli bir biyokütle kaynağıdır. Gıda artıkları ve bahçe atıkları da dahil olmak üzere kentsel katı atıklardan elektrik ve ısı üretilebilir.

Yukarıda belirtilen ülkeler dışında, enerji üretimi için önemli miktarda biyokütle kullanan diğer ülkeler şunlardır:

- Endonezya
- Rusya
- Japonya
- Fransa
- Kanada
- İtalya
- İspanya
- İsveç
- Ukrayna

Bu ülkeler odun, tarımsal atıklar ve belediye katı atıkları dahil olmak üzere çeşitli biyokütle kaynakları kullanmaktadır.

2.2.2 Türkiye’de biyokütle kullanımı

Türkiye'nin enerji ortamında biyokütle kaynaklarının kullanımı, enerji güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyümeyi ele alma kabiliyeti nedeniyle önemli bir araştırma alanıdır. Türkiye’de biyokütle kullanımı, politika çerçeveleri, teknolojik gelişmeler, çevresel kaygılar ve sosyo-ekonomik etkiler gibi çeşitli faktörleri içermektedir [33].

Türkiye’de biyokütle kullanımı, hayvansal ve tarımsal atık, orman biyokütlesi, organik atık ve enerji bitkileri gibi bir dizi organik maddenin ısı, elektrik ve biyoyakıt gibi enerji biçimlerine dönüştürülmesini içermektedir. Enerji üretimine yönelik bu yaklaşım, Türkiye'nin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve ithal fosil yakıtlara bağımlılığı azaltma vizyonuna uygundur [34].

Türkiye’de biyokütle kullanımının önemi birkaç önemli faktör tarafından vurgulanmaktadır. Öncelikle, Türkiye'nin coğrafi konumu, yerel kaynaklı yenilenebilir yakıtlar kullanarak enerji güvenliğini güçlendirme potansiyeli sağlayan

bol miktarda biyokütle kaynağına sahiptir. Özellikle hayvansal biyokütle olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Bu stratejik avantaj, Türkiye'nin enerji ithalatına bağımlılığını azaltma ve yerli enerji üretimini zenginleştirme hedefleriyle örtüşmektedir.

İkinci olarak, Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımının önemli çevresel etkileri bulunmaktadır [35]. Dahası, biyokütle kullanımı Türkiye'nin kırsal kalkınma ve sosyo-ekonomik ilerleme hedefleriyle mükemmel bir uyum içindedir. Biyokütle tedarik zincirleri, işleme tesisleri ve yerelleştirilmiş enerji sistemleri kurularak, değer zinciri boyunca çok sayıda istihdam fırsatı yaratılabilir. Bu fırsatlar özellikle kırsal bölgeler için faydalıdır. Bu sadece ekonomik büyümeyi desteklemekle kalmaz, aynı zamanda toplumun dayanıklılığını da artırır.

Türkiye'de biyokütle kullanımının akademik analizi, politika gereklilikleri, teknolojik ilerleme, çevresel faktörler ve sosyo-ekonomik etkilerin kapsamlı bir incelemesini temsil etmektedir. Türkiye enerji güvenliğini artırmayı, emisyonları azaltmayı ve kırsal kalkınmayı hızlandırmayı hedeflediğinden, biyokütle kullanımı Türkiye'nin enerji stratejisinde kritik bir rol oynamaktadır.

Türkiye, odun, hayvansal ve tarımsal atık, belediye katı atıkları bakımından geniş kaynaklara sahip olduğundan biyokütle enerjisi için muazzam bir potansiyele sahiptir. 2023 yılı itibarıyla biyokütle, Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %3'ünü oluşturmaktadır ve bu oran 2020'deki %2'lik orana göre artışa işaret etmektedir.

Türkiye'de en bol bulunan biyokütle kaynağı odundur. Ayrıca, odun Türkiye'de elektrik üretimi, ısı üretimi ve ulaşım yakıtları üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye, bol ve yenilenebilir bir odun kaynağı olarak hizmet veren geniş bir ormanlık alana sahiptir.

Türkiye'deki biyokütlenin önemli bir kısmı tarımsal atıklardan elde edilmektedir. Mahsul kalıntıları ve hayvan gübresini içeren tarımsal atıklar, Türkiye'deki bir diğer önemli biyokütle kaynağını oluşturmaktadır. Buğday samanı ve mısır sapı gibi mahsul kalıntıları, ısı ve elektrik üretimi için biyokütle kaynakları olarak potansiyele sahiptir. Hayvan gübresi, elektrik ve ısı üretimini kolaylaştırabilecek bir enerji türü olan biyogaz üretmek için kullanılabilir [36].

Evsel katı atıklar bir başka biyokütle enerji kaynağıdır. Gıda artıkları ve bahçe atıkları gibi kentsel katı atıklar biyokütle enerjisi üretmek için kullanılabilir. Bu çöpler, elektrik veya ısı üretmek için kullanılabilecek gaza dönüştürülebilir.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti biyokütle enerjisi istihdamını genişletmeye karardır ve biyokütle enerjisinin kullanımını artırmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda 2030 yılına kadar enerjisinin %10'unu biyokütle kaynaklarından üretmeyi hedeflemektedir.

Ülkemiz, çok sayıda politika uygulayarak biyokütle enerjisinin ilerlemesini desteklemektedir. Biyokütle enerjisinin gelişimini desteklemek için hükümet tarafından uygulanan politika önlemleri şunlardır:

- Tarife Garantisi yoluyla biyokütle enerjisi için sabit bir fiyat güvence altına alınmıştır.
- Yenilenebilir Portföy Standartları, kamu kuruluşlarının elektriklerinin belirli bir bölümünü yenilenebilir kaynaklardan üretmelerini gerektirmektedir.
- Biyokütle enerjisi yatırımları vergi kredilerinden faydalanmaktadır.
- Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımının artmaya devam etmesi beklenmektedir.

Önümüzdeki yıllarda Türkiye'de biyokütle enerjisi üretiminin artmaya devam edeceği öngörülmektedir. Türkiye Cumhuriyeti Devleti biyokütle enerjisini geliştirme konusundaki kararlılığı ve ülke içinde bol miktarda biyokütle kaynağının bulunması bu büyümeye katkıda bulunacaktır. Odun, tarımsal atık ve belediye katı atıklarına ek olarak Türkiye, gıda ve içecek endüstrisinden kaynaklanan atıklar da dahil olmak üzere diğer kaynaklardan elde edilen biyokütleyi kullanma potansiyeline sahiptir.

Türkiye'nin biyokütle kaynak potansiyelinin değerlendirilmesi, sürdürülebilir enerji kalkınması, enerji güvenliği ve çevrenin korunması üzerindeki etkileri nedeniyle konu ile ilgili araştırmaların önemli bir yönünü oluşturmaktadır. Türkiye'nin biyokütle kaynak potansiyeline ilişkin akademik çalışmalar, hammadde mevcudiyeti, bölgesel farklılıklar, teknolojik fizibilite ve sosyo-ekonomik hususlar gibi çeşitli faktörleri içermektedir [37].

Türkiye, tarımsal faaliyetler, ormancılık uygulamaları, organik atık döngüleri ve özel enerji bitkisi yetiştiriciliği dahil olmak üzere çeşitli biyokütle kaynaklarına sahiptir.

Bu çeşitlilik, Türkiye'nin biyokütleyi uygulanabilir bir sürdürülebilir enerji kaynağı olarak kullanma kapasitesine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bu kaynakların değerlendirilmesi, enerji içeriği, erişilebilirlik ve çevresel etkiler gibi faktörleri dikkate alarak hem nicel ölçümler hem de nitel analizler gerektirmektedir.

Türkiye'nin biyokütle kaynakları potansiyeli birkaç açıdan önemlidir. İlk olarak, Türkiye'nin ulusal enerji portföyünü çeşitlendirmek, enerji güvenliğini artırmak ve ithal fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için bir seçenek sağlar. Bu çeşitlendirme, Türkiye'nin uzun vadeli enerji stratejisiyle uyumludur ve ülkenin dış enerji arzı kesintilerine karşı direncini güçlendirir [38, 39].

Buna ek olarak, Türkiye'de biyokütle kaynaklarının kullanımının önemli çevresel etkileri bulunmaktadır. Biyokütle enerjisi, sürdürülebilir şekilde yönetilen kaynaklardan elde edilmesi koşuluyla, fosil yakıtların yerini alarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, biyokütle enerjisinin kullanımı sürdürülebilir arazi kullanımı, ormansızlaşmanın önlenmesi ve emisyon standartlarına uyum gibi çevresel açıdan sağlam uygulamalara dayanmalıdır.

Ayrıca, Türkiye'nin biyokütle kaynakları potansiyeli sosyo-ekonomik faktörlerle örtüşmektedir. Biyokütle tedarik zincirlerinin, işleme tesislerinin ve enerji altyapısının oluşturulması, değer zinciri boyunca istihdam fırsatları yaratarak kırsal kalkınmayı teşvik edebilir. Ayrıca, enerji bitkileri yetiştirmek kırsal topluluklar için alternatif gelir sağlayarak yerel ekonomik büyümeyi artırmaya yardımcı olabilir.

Ancak, Türkiye'nin biyokütle kaynak potansiyelinin açığa çıkarılması bir dizi zorluğun üstesinden gelinmesine bağlıdır. Bu zorluklar arasında biyokütle kullanımının gıda üretimi ile dengelenmesi, sürdürülebilir hasat uygulamalarının sağlanması, dönüşüm teknolojilerinin verimliliğinin en üst düzeye çıkarılması ve sorumlu biyokütle kullanımını teşvik edecek politikaların tasarlanması yer almaktadır [40].

Türkiye'deki biyokütle kaynakları potansiyelinin akademik olarak incelenmesi, hammaddelerin mevcudiyeti, teknolojinin fizibilitesi, çevresel etki ve sosyo-ekonomik hususların detaylı bir şekilde araştırılmasını içermektedir. Türkiye sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmayı amaçlarken, biyokütle enerji stratejisinin temel bir unsuru olarak

tanımlanmaktadır. Bu alandaki çalışmalar, stratejik enerji planlamasının temelini oluşturmaktadır.

Türkiye'de odun, tarımsal atık ve kentsel katı atık kaynakları açısından önemli bir biyokütle enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Toplam 23,2 milyon hektarlık geniş bir orman alanına sahiptir. Tahminlere göre, Türkiye'deki ormanların yıllık büyümesi yaklaşık 10 milyon metreküptür. Bu tür odunlar elektrik, ısı ve ulaşım yakıtı üretmek için kullanılabilir.

Türkiye'deki tarım endüstrisi, mahsul kalıntıları, hayvan gübresi ve gıda atıklarını kapsayan kayda değer miktarda atık üretmektedir. Buğday samanı ve mısır sapı gibi mahsul kalıntıları kullanılarak elektrik ve ısı üretmek mümkün olabilir. Hayvan gübresi kullanılarak biyogaz üretilir ve ısı ve elektrik üretmek için kullanılabilir. Gıda atıkları biyogaz veya kompost üretimi için kullanılabilir.

Türkiye, ülke içinde var olan bol biyokütle kaynakları nedeniyle biyokütle enerjisi için önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkemizdeki mevcut biyokütle kaynaklarının zenginliği, önümüzdeki yıllarda Türkiye'de biyokütle enerjisinin büyümesini sağlaması beklenmektedir.

2.3 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

2.3.1 Tanımı ve tarihçesi

CBS'yi anlamak için öncelikle bu alanın temel kavramlarını bilmek önemlidir. Bu temeller arasında sıklıkla birbiriyle karıştırılan veri ve bilgi kavramları yer alır. Veri, deneyim veya gözlem yoluyla elde edilen ham değerlerdir, oysa bilgi, bu verilerin işlenmiş, anlamlı ve açıklayıcı bir formudur. Veri ile bilgi arasındaki esas ayrım, insan anlayışının derinliğidir. Örneğin, bir kişinin doğum tarihini ilk işittiğimizde, onun yaşını bilmiyoruz. Ancak mevcut tarihten bu doğum tarihini çıkardığımızda, kişinin yaşını hesaplamış oluyoruz. Bu örnekte, doğum tarihi bir veri, yaş hesaplaması ise bir bilgi olarak kabul edilir. Coğrafi bilgi, dünya üzerindeki bir nesnenin konumunu veya belirli bir yerde neyin bulunduğunu tanımlar.

CBS, yeryüzü verilerini toplama, depolama, güncelleme, işleme, gerektiğinde yaratma, analiz etme ve sunma işlevlerini yerine getiren sistemler bütünüdür ve bu

sistemler donanım, yazılım ve personeli içeren, kurumsal ve organizasyonel entegrasyon gerektiren yapılar olarak tanımlanır. CBS, bazılarına göre bilgisayar tabanlı kurumsal bilgi incelemesi için bir bilim dalı, bazılarına göre ise bilimsel araştırmaları destekleyen bir veri tabanı yönetim sistemidir [41].

CBS'yi özetle tanımlayacak olursak;

- Yeryüzü verilerini toplama, saklama, sorgulama, analiz etme ve gösterme yeteneklerini sağlayan araçları içerir.
- Kurumsal bilgileri ve coğrafi koordinatları kullanarak çalışan bir bilgi sistemidir.
- Coğrafi verilerin daha etkin kullanılabilmesi için bilgi teknolojisine dayalı bir veri toplama, işleme ve gösterme aracıdır.

Özetle CBS; konuma dayalı grafik ve grafik olmayan coğrafi verilerin bütünleşik şekilde toplanmasını, saklanmasını, analiz edilmesini ve sunulmasını sağlayan bir bilgi teknolojisi sistemidir [42].

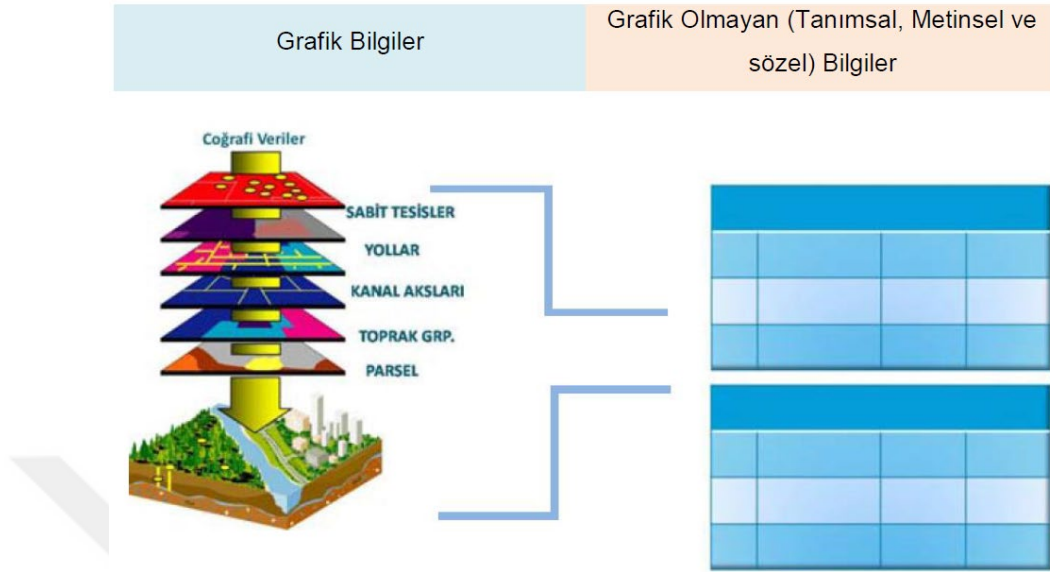
CBS'nin kullanıcıları için sunduğu avantajlar;

- Zaman ve işgücü tasarrufu sağlayarak maliyetleri azaltır,
- Geniş alanlarda büyük miktarlarda verinin depolanmasını ve yönetilmesini mümkün kılar,
- Daha hızlı ve doğru karar alma süreçlerini destekler,
- Verilerin kolay güncellenmesine ve en yeni halleriyle analiz edilerek raporlanmasına olanak tanır [43].

Atık yönetiminde ve özellikle katı atık yönetiminde planlama son derece karmaşık bir konudur. CBS, çevre planlamacılarının yaşadığı önemli sorunlardan olan ve zaman, para, insan kaynakları açısından önemli kayıplara yol açan atık toplama yollarının belirlenmesi, işleme tesisleri için yer seçimi, depolama için yer seçimi konusunda önemli bir çözüm aracı sağlayabilecektir [44].

CBS'nin temeli olan coğrafi veriler iki ana kategoride sınıflandırılır: grafik ve grafik olmayan bilgiler. Grafik bilgiler, coğrafi varlıkların niceliksel yönlerini yani konumlarını, geometrilerini, boyutlarını ve şekillerini aktarırken, grafik olmayan bilgiler, aynı varlıkların niteliksel yönlerini yani özelliklerini ifade eder. Grafik

olmayan bilgilere sıklıkla tanımlayıcı veya sözel bilgiler de denir. CBS'de bu iki tür bilginin nasıl gösterildiği Şekil 2.1'de açıklanmıştır [45].



Şekil 2.1. CBS'de grafik ve grafik olmayan bilgilerin gösterimi.

CBS, mekânsal verilerin, analitik tekniklerin ve kartografik görselleştirmenin entegrasyonu ile karakterize edilen mekânsal bilgi bilimi alanında önemli bir alandır. CBS, coğrafi olgular arasındaki karmaşık ilişkilere dair içgörü sağlayan ve bir dizi disiplinde bilinçli karar alma süreçlerine olanak tanıyan mekansal referanslı verilerin manipülasyonunu, analizini ve yorumlanmasını içerir [46].

CBS'nin temel yapısı, koordinatlar, yükseklik ve topoloji gibi nitelikler de dahil olmak üzere jeo-uzamsal verilerin dijital bir çerçevede birleştirilmesine dayanmaktadır. CBS, gelişmiş hesaplama yöntemlerini ve geleneksel veri analizi yaklaşımları kullanır. Buna ek olarak, CBS işlemlerinin çıktısı genellikle analitik sonuçların etkili bir şekilde iletilmesini kolaylaştıran ayrıntılı haritalar, bilgilendirici görselleştirmeler ve jeo-uzamsal modeller içerir [47].

CBS'nin gelişimi, kartografik verilerin bilgisayarlarda analiz edilmek üzere sayısallaştırılmasını amaçlayan ilk çalışmaların yapıldığı 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bindirme, tamponlama ve coğrafi kodlama gibi orijinal kavramlar CBS çerçevesinin temelini oluşturmuştur. 1970'ler Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi'nin (CGIS) geliştirilmesiyle öncü çalışmalara sahne olmuş ve mekansal veri modelleme

ve topoloji gibi ufuk açıcı kavramlar ortaya atılmıştır. Teknolojik ilerlemeler raster ve vektör veri modellerinin entegre edilmesini mümkün kılarak daha kapsamlı mekansal analiz yeteneklerini teşvik ettiğinden 1980'ler dönüştürücü bir dönem olmuştur [48].

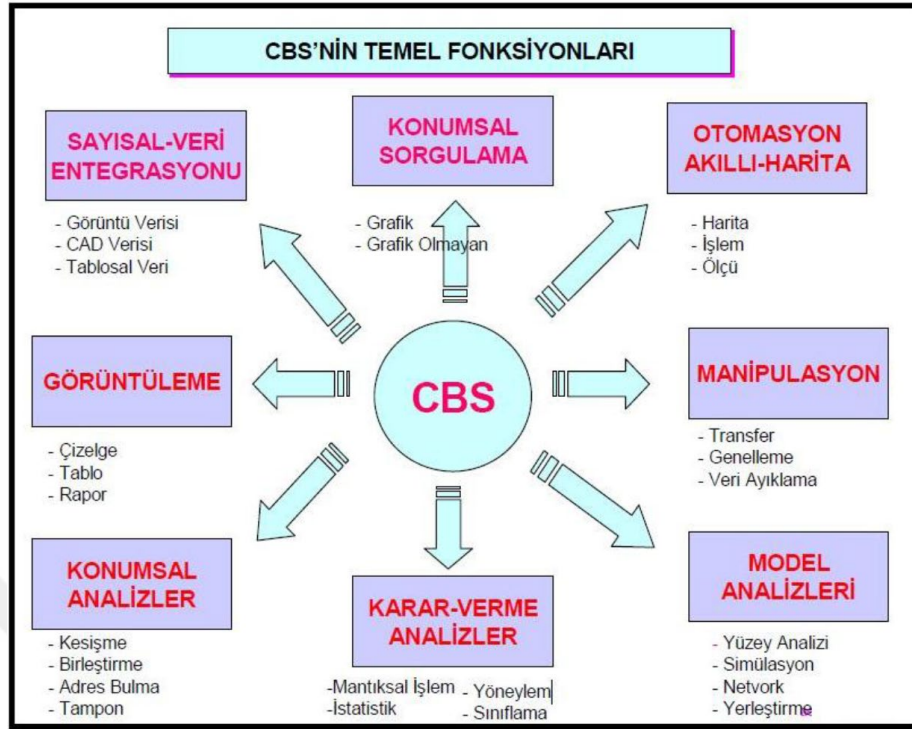
1990'lar, CBS teknolojisinin çevre yönetiminden şehir planlamasına ve kamu sağlığına kadar daha geniş bir uygulama yelpazesine yayılmasına tanıklık etmiştir. Bu dönemde, veri toplama ve yorumlama yeteneklerini geliştiren uzaktan algılama teknolojileri ile CBS entegrasyonu gözlemlenmiştir. 21. yüzyıl, web tabanlı CBS platformlarının evrimine ve açık kaynaklı CBS yazılımlarının yaygınlaşmasına tanıklık etmiş, bu da mekansal verilerin kullanımını demokratikleştiren daha fazla erişilebilirlik ve iş birliği ile sonuçlanmıştır.

CBS'nin çağdaş görünümü, coğrafi bilgi bilimi, bilgisayar bilimi ve veri analitiği dahil olmak üzere çok disiplinli çabaların bir karışımı ile tanımlanmaktadır. Jeo-uzamsal veri çoğalması, derinliğini ve kapsamını artıran sensör ağları, uydu görüntüleri ve gerçek zamanlı veri akışları ile daha da geliştirilmiştir. Dahası, CBS geleneksel sınırların ötesine geçerek acil durum yönetimi, epidemiyoloji, ulaşım planlaması ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlara doğru genişlemiştir. Özetlemek gerekirse, CBS jeo-uzamsal veri analizi, kartografik görselleştirme ve hesaplama yöntemlerinin dinamik bir birleşimini temsil etmektedir [49].

2.3.2 CBS fonksiyonları

CBS'nin kamu ve özel sektör kullanıcıları CBS fonksiyonlarından en fazla konumsal sorgulamalar ve analizler, görüntüleme ve sayısal veri entegrasyonu, model analizleri kullanmakta ve ihtiyaç duydukları haritayı CBS fonksiyonlarını kullanarak elde etmektedirler.

CBS'nin temel fonksiyonları Şekil 2.2'de gösterilmiştir [50].



Şekil 2.2. CBS'nin temel fonksiyonları.

CBS veri tabanında analiz edilecek ve sorgulanacak konu ile ilgili çok farklı kaynaklardan gelen veriler (iklim, toprak, arazi kullanımı, yükseklik, yağış, sıcaklık, nüfus, yollar, vb.) katmanlar halinde bilgisayara aktarılmakta olup; tanımlanmış yöntemler kapsamında sorgulamalar yapılmakta ve yeni bilgiler üretilmektedir. Örneğin, belirli bir hayvansal üretim için en uygun alanların seçilmesinde; arazi yapısı, mera alanlarının potansiyeli, yağış, sıcaklık vb. faktörler, uygun alanların belirlenmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda ise, harita, grafik, istatistiksel listeler gibi veriler çıkarılarak en doğru kararı almaya yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır [51].

1990'lardan bu yana, CBS'nin önemi hem özel sektör hem de kamu kurumları ve kuruluşlarında artmıştır. Özellikle, kamu kurumları ve kuruluşlar CBS ile ilgili proje geliştirme çalışmaları ve operasyonlarında öncülük etmiştir. Türkiye arazi bilgi sistemi için gerekli bilgileri toplamak amacıyla, ilk CBS çalışmaları Türk Silahlı Kuvvetleri Harita Genel Komutanlığı tarafından başlatılmıştır [52].

Tarımın kendine has özellikleri ve kayıt tutma problemi nedeniyle veri temini konusunda zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle tarım gelişen teknoloji ile teknolojinin getirmiş olduğu yeniliklere adapte olmak zorundadır ve bu yeniliklerden birisi de CBS teknolojisidir. Hemen hemen bütün alanlarda kullanılabilen CBS tarımda da geniş uygulama alanlarına sahiptir ve önemli kolaylıklar sağlamaktadır. CBS teknolojisinin kullanımı ile veriler dijital ortamda tutulabilmekte, güncellenmesi kolaylaşmakta ve mevcut veriler ile modeller oluşturularak bir standardın geliştirilmesi mümkün olabilmektedir [53].

2.3.3 CBS bileşenleri

CBS'nin fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için beş temel unsurunun birlikte olması gerekmektedir. Bunlar CBS'nin bileşenleri olarak adlandırılır ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

CBS, konumsal veri yönetimi, analizi ve görselleştirilmesindeki yeteneklerinin temelini oluşturan temel bileşenlerin karmaşık bir birleşiminden oluşur. CBS bileşenlerine ilişkin akademik tartışmalar, farklı alanlardaki mekânsal verilerin manipülasyonunu, yorumlanmasını ve iletişimini sağlayan karmaşık mimariyi incelemektedir. Bu bileşenler Şekil 2.3'teki gibi kategorize edilebilir [54, 55]:



Şekil 2.3. CBS'nin temel bileşenleri.

Donanım: CBS'nin donanım bileşeni, veri işleme, depolama ve etkileşim için gerekli fiziksel ekipmanı kapsar. Bu bileşen bilgisayarlar, sunucular, mobil cihazlar, GPS alıcıları, uzaktan algılama cihazları ve yazıcılar ve tarayıcılar gibi çevre birimlerinden oluşur. CBS'nin verimliliği sıklıkla donanımın grafik özelliklerinden, işlem gücünden ve depolama kapasitesinden etkilenir [56].

Yazılım: CBS kullanıcılarının çeşitli jeo-uzamsal görevleri üstlenmelerini sağlayan temel motor CBS yazılımıdır. Veri girişi, manipülasyonu, analizi ve görselleştirmesi için arayüzler bu yazılım paketleri tarafından sağlanır. İyi bilinen CBS yazılımları arasında ArcGIS gibi tescilli sistemler ve QGIS gibi açık kaynaklı çözümler bulunmaktadır. Bu yazılımlar veri yönetimi, mekânsal analiz, modelleme ve kartografik tasarım konularında yardımcı olur.

Veri: Coğrafi veriler CBS'nin temelini oluşturur. Bu bileşen coğrafi koordinatlar, topoloji ve geometri gibi mekânsal verilerin yanı sıra mekânsal özelliklere bağlı mekânsal olmayan bilgiler olan öznitelik verilerini de içerir. Mekansal veriler iki türde sınıflandırılabilir: raster veriler ve vektör veriler. Verilerin kalitesi, doğruluğu ve uygunluğu CBS'nin sonuçlarını önemli ölçüde etkiler [57].

Metodlar: CBS, konumsal verilerin işlenmesi ve yorumlanması için bir dizi analitik yöntem ve modele dayanır. Bu yöntemler mekansal istatistikler, yakınlık analizi, bindirme analizi, coğrafi işleme araçları ve çeşitli modelleme tekniklerinden oluşur. Temel mekansal sorgulardan karmaşık simülasyon modellerine kadar uzanan modeller, son kullanıcıların mekansal ilişkilere dayalı sonuçları tahmin etmelerini sağlar.

İnsanlar: İnsan uzmanlığı CBS'nin işleyişinde çok önemli bir konuma sahiptir. Veri toplama, değerlendirme, model oluşturma, kartografik tasarım ve CBS çıktılarına dayalı karar verme gibi görevler yetkin profesyoneller gerektirir. CBS'nin etkinliğini artırmak için coğrafyacılar, bilgisayar bilimcileri, şehir planlamacıları, ekolojistler ve diğer profesyoneller arasında disiplinler arası iş birlikleri şarttır [58].

2.3.4 CBS metodolojisi

CBS metodolojisi, akademik araştırmanın önemli bir yönüdür. Jeo-uzamsal verileri elde etmek, incelemek, yorumlamak ve iletmek için kullanılan sistematik yaklaşımları, teknikleri ve iş akışlarını içerir. CBS metodolojisine ilişkin bu bölüm, CBS araçlarının ve tekniklerinin çeşitli disiplinlerde ve uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılmasına rehberlik eden yapılandırılmış çerçeveyi ele almaktadır. CBS metodolojisi aşağıdaki bileşenler aracılığıyla açıklanabilir [59]:

Problem tanımı ve kapsam: CBS metodolojisi, problemin veya araştırma sorusunun net bir şekilde tanımlanmasıyla başlar. Çalışmanın kapsamını tanımlamak için veri gereksinimlerini belirlemek, ilgilenilen coğrafi alanı tanımlamak ve analizin hedeflerini ana hatlarıyla belirlemek önemlidir.

Verilerin elde edilmesi ve toplanması: Metodoloji, jeo-uzamsal verilerin elde edilmesi için uygun yöntemlerin seçilmesini gerektirir. Bu, mevcut veri tabanlarından, uzaktan algılama platformlarından, saha araştırmalarından ve veri sayısallaştırmadan veri elde etmeyi içerir [60].

Verilerin ön işlemden geçirilmesi: Ön işleme, verilerin temizlenmesi, dönüştürülmesi ve entegre edilmesini içeren kritik bir aşamadır. Coğrafi referanslama, veri normalizasyonu, çözünürlük ayarlamaları ve anomali giderme gibi görevleri kapsar. Ön işleme, daha sonraki analizler için veri tutarlılığını ve uyumluluğunu garanti eder.

Verilerin entegrasyonu ve yönetimi: CBS metodolojisi, çeşitli veri kümelerinin birleşik bir yapıya entegre edilmesini içerir. Veri yönetimi stratejileri arasında veritabanı tasarımı, veri indeksleme ve meta veri oluşturma yer alır. Düzenlenmiş veriler etkin erişim, manipülasyon ve analizi kolaylaştırır.

Mekânsal analiz: Mekânsal analiz teknikleri CBS metodolojisi için çok önemlidir ve jeo-mekânsal verilerden içgörülerin çıkarılmasını sağlar. Bu yöntemler arasında yakınlık analizi, bindirme analizi, mekânsal istatistikler, ağ analizi ve coğrafi işleme fonksiyonları yer alır. Mekânsal analiz, verilerdeki ilişkileri, kalıpları ve eğilimleri açıklığa kavuşturur.

Model geliştirme ve simülasyon: Karmaşık senaryolar için CBS metodolojisi, gerçek dünya süreçlerini simüle eden modeller oluşturmayı içerir. Bunlar arasında kentsel büyüme modelleri, hidrolojik modeller veya ulaşım simülasyonları yer alabilir. Modeller senaryoların test edilmesine ve tahmine dayalı analizlere yardımcı olur [61].

Görselleştirme ve kartografi: CBS metodolojisi, kartografik tasarım yoluyla etkili veri görselleştirmenin önemini vurgular. Tematik haritalar, choropleth haritalar, ısı haritaları ve 3D görselleştirmelerin oluşturulması, analiz sonuçlarının daha geniş bir kitleye iletilmesini sağlar.

Yorumlama ve karar verme: CBS metodolojisi, anlamlı içgörüler elde etmek için analitik sonuçların yorumlanmasını vurgular. Mekânsal örüntülerden sonuçlar çıkarmayı, model sonuçlarını değerlendirmeyi ve karar verme için pratik bilgiler üretmeyi gerektirir.

Doğrulama ve kalite güvencesi: CBS metodolojisi, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek için doğrulama önlemleri içerir. Bu doğrulama önlemleri, sonuçların yer gerçeği verileriyle karşılaştırılmasını, model performansının değerlendirilmesini ve belirsizlik kaynaklarının ele alınmasını içerir.

Dokümantasyon ve iletişim: Şeffaf ve tekrarlanabilir sonuçlar CBS metodolojisinin etkili bir şekilde belgelendirilmesiyle sağlanır. Bu, veri kaynaklarının, analitik prosedürlerin, kullanılan yazılımların ve temel varsayımların belgelenmesini içerir. Net bir açıklama sunmak için, sonuçlar dokümantasyon, sunumlar ve görselleştirmeler yoluyla etkili bir şekilde ifade edilmelidir.

Etik ve yasal hususlar: CBS metodolojisi veri toplarken, paylaşırken ve kullanırken etik hususları dikkate alır. Veriler işlenirken gizlilik düzenlemelerine, fikri mülkiyet haklarına ve etik standartlara uyulması çok önemlidir.

2.3.5 CBS kullanım alanları

CBS kullanımı, mekânsal bilgi biliminin akademik tartışması içinde geniş ve çeşitli bir alan oluşturmaktadır. Bu alan, CBS teknolojilerinin, birden fazla alanda mantıklı karar verme ve içgörü sağlamak için coğrafi verileri analiz etmek, sunmak ve

yorumlamak için kullanıldığı çeşitli alanları içerir. CBS uygulamaları, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi alanda akademik olarak araştırılmaktadır [62].

Kentsel ve bölgesel planlama: Kentsel ve bölgesel planlamada CBS, arazi kullanımının tahsisi, altyapı tasarımı, ulaşım düzenlemesi ve kentsel büyüme tahminini desteklemede kritik bir işleve sahiptir. Şehir planlamacıları CBS'yi demografik eğilimleri analiz etmek, çevresel etkileri değerlendirmek ve sürdürülebilir kentsel gelişim için mekânsal düzenlemeleri optimize etmek için kullanmaktadır.

Çevre yönetimi: CBS uygulamaları, ekosistemlerin izlenmesi, doğal kaynakların korunması ve habitatların haritalanması da dahil olmak üzere çevre yönetimine kadar uzanmaktadır. CBS, arazi örtüsü değişikliklerinin analiz edilmesine, biyolojik çeşitliliğin yoğun olduğu noktaların değerlendirilmesine, doğal tehlikelerin tahmin edilmesine ve koruma çabaları için uygun yerlerin belirlenmesine yardımcı olur.

Halk sağlığı: CBS, halk sağlığında hastalıkların haritalanması, epidemiyolojik analiz ve sağlık kaynaklarının tahsisi için kullanılır. CBS, hastalık kümelerini belirlemek, sağlık eşitsizliklerini anlamak ve sağlık hizmeti sunumunu optimize etmek için hastalıkların ve sağlık hizmetlerinin mekansal modellerini analiz eder [63].

Doğal kaynakların yönetimi: CBS su, ormanlar ve mineraller gibi doğal kaynakların yönetiminde çok önemlidir. Havza modellemesi, orman envanteri, toprak erozyonu tahmini ve mineral kaynak değerlendirmesine yardımcı olur. CBS, çevresel etkileri en aza indirirken kaynakların sürdürülebilir kullanımına yardımcı olur.

Afet yönetimi: Afet yönetimindeki CBS uygulamaları arasında tehlike haritalama, güvenlik açığı değerlendirmesi ve acil durum müdahale planlaması yer almaktadır. CBS, potansiyel afet senaryolarının analiz edilmesine, tahliye yollarının belirlenmesine ve acil durumlarda kaynakların koordine edilmesine yardımcı olur.

Tarım ve arazi yönetimi: CBS, tarımda hassas tarım, mahsul veriminin tahmini ve arazi uygunluğunun analizi için kullanılmaktadır. Kaynak israfını en aza indirirken sulama, gübreleme ve haşere kontrol stratejilerini optimize etmeye yardımcı olur [64].

Taşımacılık ve lojistik: Taşımacılıktaki CBS uygulamaları arasında rota optimizasyonu, trafik analizi ve lojistik planlama yer almaktadır. CBS, trafik

sıkışıklığını değerlendirmeye, verimli ulaşım ağları tasarlamaya ve filo operasyonlarını yönetmeye yardımcı olur.

Arkeoloji ve kültürel miras: Arkeolojik araştırmalar, kültürel mirası korumak amacıyla alanların haritasını çıkarmak ve eserleri analiz etmek için CBS sistemlerini kullanır. CBS sistemleri, tarihi verilerin ve arkeolojik bulguların mekansal olarak görselleştirilmesine yardımcı olur.

Emlak ve mülk yönetimi: CBS'nin gayrimenkul alanında uygun alanların seçilmesi, mülk değerlemesi ve arazinin kaydedilmesi gibi çeşitli uygulamaları vardır. Emlak piyasasındaki eğilimleri analiz etmede ve emlak yatırımlarını değerlendirmede yardımcı olur.

Uzaktan algılama ve dünya gözlemi: Uzaktan algılama teknolojisi, Dünya yüzeyinin uzaydan izlenmesi için CBS ile birleştirilmiştir. Uygulamalar arasında arazi örtüsünün sınıflandırılması, ormansızlaşmanın izlenmesi, kentsel büyümenin izlenmesi ve afetlerin değerlendirilmesi yer almaktadır.

Turizm ve rekreasyon: CBS, turizm güzergahlarının geliştirilmesinde, turistik yerlerin haritalanmasında ve turizm sektöründeki ziyaretçi eğilimlerinin analiz edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Teknoloji, parklar, yollar ve açık hava etkinlikleri için uygun yerleri belirleyerek rekreasyon planlamasını geliştirir.

Ceza adaleti ve kolluk kuvvetleri: Bu alandaki CBS uygulamaları arasında suçun haritalanması, sıcak noktaların analiz edilmesi ve alan profilinin çıkarılması yer almaktadır. CBS, suç modellerinin belirlenmesine, kolluk kuvvetleri kaynaklarının tahsis edilmesine ve suç önleme stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur [65].

2.3.6 CBS veri tipleri ve veri yapısı

CBS alanında, veri türleri ve yapılarının çeşitliliği, mekansal analiz, görselleştirme ve yorumlama tekniklerini ve potansiyelini etkileyen bilimsel araştırmanın temel bir yönüdür. CBS'deki akademisyenler arasında veri yapıları ve veri türlerine ilişkin tartışmalar, coğrafi verilerin manipülasyonunu ve kullanımını destekleyen karmaşık bilgi formatları ve organizasyonel çerçeveler yelpazesini araştırmaktadır. CBS verileri üzerine yapılan araştırmalar aşağıdaki hususları içermektedir [66]:

Veri türleri:

- Coğrafi veriler: Mekansal veriler, coğrafi özellikleri ve bunların Dünya yüzeyindeki konumlarını temsil eder. Bu veriler iki ana tipte sınıflandırılabilir: vektör verileri ve raster verileri. Vektör verileri noktaları, çizgileri ve çokgenleri kodlarken, raster verileri yükseklik veya sıcaklık gibi sürekli olguları temsil etmek için ızgara tabanlı bir düzenleme kullanır.
- Öznitelik verileri: Öznitelik verileri coğrafi özelliklerle ilişkili mekansal olmayan bilgiler sağlar. Bunlar sayısal değerleri, kategorik verileri, metinsel açıklamaları ve tarih-saat bilgilerini içerebilir. Öznitelik verileri, ortak tanımlayıcılar aracılığıyla mekansal verilere bağlanır ve coğrafi varlıklar ile öznitelikleri arasında ilişki kurulmasını sağlar.

Veri yapıları:

- Vektör veri yapısı: Vektör verileri nokta, çizgi ve poligon formatları dahil olmak üzere çeşitli veri yapıları kullanılarak organize edilir. Bu yapıların geometrileri ve topolojik ilişkileri düğümler ve köşeler aracılığıyla tanımlanır. Shapefiles, Geodatabases ve GeoJSON gibi her biri benzersiz yetenekler ve işlevler sağlayan birkaç yaygın vektör veri formatı vardır.
- Raster verilerin yapısı: Her pikselin veya hücrenin belirli bir niteliği veya özelliği temsil eden bir değer tuttuğu raster verilerde ızgara tabanlı bir yapı kullanılır. Bu değerler yükseklik veya arazi örtüsü gibi sürekli olgularla ilgili olabilir. GeoTIFF, GRID ve NetCDF mevcut raster veri formatlarından bazılarıdır.

ArcGIS Desktop, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcGlobe ve Model Builder gibi arayüzleri içeren bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. Bu yazılım, haritalama, coğrafi analizler, veri güncelleme, veri yönetimi ve görüntüleme işlemleri için kullanılır. ArcGIS Desktop, farklı kullanıcı tiplerinin ihtiyaçlarını karşılamak için ölçeklenebilir bir yapıya sahiptir. ArcView, veri kullanımı, haritalama ve analize odaklanırken, ArcEditor, bu özelliklere ek olarak gelişmiş coğrafi güncelleme ve veri üretme yetenekleri sunar. ArcInfo ise kapsamlı coğrafi bilgi sistemleri işlevleri ve zengin coğrafi işlemler sunar. ArcGIS Desktop, Extensions (Modüller) adı verilen ek yazılımlarla daha fazla yetenek eklenmesine olanak tanır. Ayrıca, kullanıcılar ArcObjects kullanarak özel modüller geliştirebilir ve Visual Basic, .NET, Java, Visual

C++ gibi standart Windows programlama araçları kullanarak yeni modüller ve özel araçlar oluşturabilirler [67].

2.4 Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde en iyi tercihin seçilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, karar vericilerin, bir dizi bağımsız faktörün etkisini dikkate alarak, belirli bir problem veya seçenekler arasında en uygun kararı verme sürecine ışık tutar. Aynı zamanda, kriterler arasında çelişkiler bulunduğunda veya kriterlerin sayısal bir şekilde ifade edilemediği durumlarda, değerlendirmeleri yapmak için ortak bir dil sunan yöntemlerdir [68].

Rasyonel bir karar verme sürecinde, en çok tercih edilen seçenek genellikle belirli kısıtlamalar ve yönetsel hedefler dahilinde sınırlanır. Bu, kararın bu kısıtlamalar ve hedefler çerçevesinde değerlendirilmesini ve istenen sonuçların elde edilmesini sağlar. Çok kriterli karar verme, teorik gelişimi ve pratik uygulamalarıyla birlikte hızla gelişmiş ve karar analizi alanında geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur [69].

Ayrıca, son yıllarda geliştirilen ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin tercihlerini net ve sayısal değerlerden arındırarak değerlendirmeler yapmalarına olanak tanımakta ve yazılımların desteğiyle hataları azaltmakta ve karar matrislerinin tutarlılığını artırmaktadır. Karar vericilerin büyük boyutlu karar matrislerini (çok sayıda kriter ve alternatif içerenler) karşılaştırmalarındaki karmaşıklığı azaltmak, karar analiz yöntemlerine daha sık başvurmayı ve daha etkili bir şekilde kullanmayı teşvik etmektedir. Karar vericilerin talepleri arttıkça, kullanılan ÇKKV yöntemlerinin geliştirilmesi, bilimsel ilerlemenin ve insan ihtiyaçlarına daha iyi cevap vermenin önemli bir katkısı olacaktır [70].

Günümüzde, karar verme problemleri genellikle karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, geliştirilen ve sayıları artan ÇKKV yöntemleri, sosyal, kültürel, finansal ve politik birçok alanda ve birçok kurumda kullanılmaktadır.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, 1960'lı yıllarda karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki temel amaç, karar vericilerin çok sayıda alternatif ve kriterin bulunduğu karmaşık

durumlarda karar alma sürecini etkin bir şekilde yönetebilmek ve sonuca hızlı bir şekilde ulaşmaktır [71].

ÇKKV sürecinde sıkça kullanılan bazı kavramlar şu şekilde açıklanabilir [72]:

Alternatifler: Karar vermenin odak noktası olan terimdir. Temel amaç, bu alternatifler arasından en uygununu seçmektir. Bir problemde, duruma bağlı olarak birkaç veya daha fazla alternatif olabilir. Bu alternatifler, daha sonra analiz edilerek en uygun olanı belirlenir.

Kriter ve öznitelik: Kriter ve öznitelik terimleri, literatürde bazen birbirinin yerine kullanılsa da bazı farklılıklar içerebilirler. Kriterler, alternatiflerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanır ve karar vericilerin değer yargılarına bağlı olarak tanımlanıp ölçümlenirler. Öznitelikler ise kriterlerin alt gruplarıdır ve daha spesifik özellikleri ifade ederler.

Amaçlar: Amaçlar, kriterlerin karar vericilerin istekleri ve hedefleri doğrultusunda nasıl yönlendirildiğini ifade eder. Kriterler, karar vericilerin arzuları ve hedefleri doğrultusunda şekillendirilir.

Karar matrisi: ÇKKV problemlerinde genellikle değişik alternatifler, olaylar ve sonuçları bir matris biçiminde gösterilir. Bu matris, alternatiflerin her bir kriter açısından nasıl performans gösterdiğini gösterir. ÇKKV, bu matris üzerinden, çok sayıda ve çoğu zaman birbirleriyle çelişen kriterler altında alternatifler arasından seçim yapmayı içerir.

Sonuç olarak, ÇKKV yöntemleri, karmaşık karar verme süreçlerini daha yönetilebilir hale getirir ve karar vericilerin çok sayıda faktörü dikkate alarak bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olur. Bu yöntemler, alternatiflerin ve kriterlerin analizini kolaylaştırır ve sonuca daha hızlı ulaşmayı sağlar.

2.4.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi

Çalışmada ele alınan AHP, 1977'de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş birçok faktörlü karar verme aracıdır. AHP, bir karar verme sürecinde hedefler, ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler arasındaki ilişkileri açıkça gösterir ve bu ilişkileri bir hiyerarşik

yapıda düzenlemektedir. AHP, belirlenen ölçütler temelinde seçeneklerin değerlendirilmesi ve önem derecelerine göre sıralanmasını kolaylaştırır. Bu metodoloji, karar vericilerin bilgi, tercihler, beceriler, yargılar ve sezgilerini de dikkate alarak nitel ve nicel verileri entegre etmektedir [73].

AHP yönteminin adımları şu şekildedir [73]:

Adım 1: Problemin tanımı ve hiyerarşik yapının kurulması:

Bu ilk aşamada, karar verme problemi tanımlanır ve hedef, kriterler, alt kriterler ve seçenekler dahil olmak üzere bir hiyerarşi oluşturulur. İlk olarak karar noktalarının sayısı belirlenir, yani kararın kaç olası sonuca dayanacağına karar verilir. Daha sonra, bu karar noktalarını etkileyen kriterler saptanır. Bu aşamada, karar noktalarının sayısı 'm', etkileyen faktörlerin sayısı ise 'n' ile ifade edilir (Denklem 2.1).

Adım 2: Faktörler arası karşılaştırma matrisi oluşturma

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Faktörlerin değerlendirilmesi, onların birbiriyle ikili ilişkileri üzerinden yapılır ve bu ilişkiler bir ölçek üzerinden değerlendirilir. Örneğin, eğer bir danışman birinci faktörü ikinci faktöre kıyasla açıkça daha üstün buluyorsa, karşılaştırma matrisinin birinci satırındaki ikinci sütun için değer 5 olarak belirlenir. Ters durumda, yani ikinci faktör birinci faktörden mutlak üstün ise, matrisin ilgili hücresi 1/5 değerini alır.

Karşılaştırma matrisi, n boyutlu bir kare matris olarak oluşturulur ve bu matrisin köşegen değerleri her zaman 1'dir. Bir faktörün kendisiyle karşılaştırılması sonucunun 1 olması bu durumu açıklar.

AHP, ÇKKV yöntemlerinden biri olarak hem nicel hem de nitel verilerin sayısal bir ölçekte değerlendirilmesine imkan tanır. Derecelendirme 1'den 9'a kadar yapılır, burada 1 eşit önem anlamına gelirken, 9 ise bir faktörün diğerine göre kesinlikle daha

önemli olduğunu ifade eder. AHP'nin bu ölçeklendirme ilkeleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. AHP ölçek esasları.

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemli	Her iki faktör eşit derece önemlidir.
3	Orta Önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha fazla tercih ediliyorsa
5	Güçlü Önemde	Bir faktör diğerine göre çok daha fazla tercih ediliyorsa
7	Çok Güçlü Önemde	Bir faktör diğerine göre çok güçlü şekilde tercih ediliyorsa
9	Son Derece Önemli	Bir faktör diğerine göre en yüksek derecede tercih ediliyorsa
2, 4, 6, 8		Yukarıdaki değerler arasında çok kararsız kalınması durumunda nadiren kullanılır.

Adım 3: Faktörlerin yüzdelerik önem dağılımının hesaplanması

Karar vericilerin katkılarıyla oluşturulan karşılaştırma matrisi, faktörlerin birbirlerine göre göreceli önem seviyelerini yansıtır. Fakat faktörlerin genel yapının içindeki yüzdelerik ağırlıklarını, yani önem dağılımlarını tespit etmek için, oluşturulan matrisin sütun vektörlerini kullanılır ve n boyutlu B sütun vektörleri elde edilir (Denklem 2.2).

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Her bir sütun vektörü elemanı, belirli bir formüle göre hesaplanır. Böylece, hesaplanan sütun vektörünün elemanlarının toplamı 1 olacak şekilde ayarlanır. Diğer sütunlara yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen vektörler matris formunda

birleştirildiğinde, yeni bir matris oluşur. Bu matrisin satırlarının aritmetik ortalaması alınarak, Öncelik Vektörü adı verilen yeni bir sütun vektörü oluşturulur.

Adım 4. Faktör karşılaştırmalarının tutarlılık hesaplanması

AHP yöntemi kapsamında elde edilen sonuçların geçerliliği, karar vericinin faktörler arası ikili karşılaştırmalarındaki tutarlılığa bağlıdır. AHP içindeki TO adımı, bu tutarlılığın ölçülmesine imkan tanır. AHP, tutarlılık analizini faktörlerin sayısı ve karşılaştırma sonucu elde edilen λ (Temel Değer) katsayısının ilişkisine dayandırır. λ 'nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir (Denklem 2.3).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 ile elde edilen D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılaştırmalı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) denklem 2.4 ile elde edilir. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması, denklem 2.5 ise karşılaştırmaların temel değerini (λ) verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2.5)$$

Lamda değerinin saptanmasının ardından, Tutarlılık İndeksi (CI) belirli bir matematik denkleminde başvurularak hesaplanır (Denklem 2.6).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2.6)$$

TO hesaplamasında son adım, Random İndeksi (RI) olarak adlandırılan ve belirli bir faktör sayısı için önceden belirlenmiş düzeltme değerleriyle bölünmesini içerir. Bu değerler bir Çizelge 2.2’de yer alır ve faktör sayısına göre ayarlanmıştır.

Çizelge 2.2. Rastgele indeks değerleri.

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

Adım 5. Her bir faktör için, m karar noktasındaki yüzde önem dağılımları bulunması

İkili karşılaştırmalar ve matris işlemleri, faktör sayısına eşit sayıda (n defa) tekrarlanır. Ancak bu sefer, her bir faktör için ele alınacak karar noktalarında kullanılacak olan G karşılaştırma matrisleri m*m boyutunda olacaktır. Her karşılaştırma işlemi tamamlandığında, karar noktalarına göre yüzdelik dağılımı ifade eden S sütun vektörleri oluşturulur (Denklem 2.7).

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Adım 6. Karar noktalarındaki sonucun bulunması

Daha sonra, oluşturulan n adet S sütun vektörü, m x n boyutunda bir karar matrisini meydana getirir (Denklem 2.8).

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Öncelik vektörü bu karar matrisiyle çarpıldığında, L sütun vektörü elde edilir ve bu vektör, karar noktalarının yüzdelik dağılımlarını ortaya koyar. Bu vektörün elemanlarının toplamı 1 olur ve aynı zamanda karar noktalarının önem sıralamasını belirler (Denklem 2.9).

$$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \vdots \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

AHP analiz sürecinde, matrise yazılan sayısal değerler genellikle "uzman görüşleri"nden faydalanılarak oluşturulur. Uzmanlar, yöneticiler, planlamacılar gibi alanında deneyimli kişiler bu matrislerin oluşumunda rol oynar. Matrislerin sonuçları geometrik ortalama alınarak değerlendirilir ve kriterlerin ağırlıkları bu şekilde hesaplanır. AHP sürecinin önemi şu üç temel nedenden kaynaklanır:

- (1) Karar verme sürecinin her zaman belirsizlikler içerdiği ve gerçek dünyadaki coğrafi verilerin değişken ve belirsiz olabileceği; verilerin birbirinden bağımsız düşünülmesinin yanıltıcı olabileceği,
- (2) Hiyerarşik modellerin stokastik doğası ve belirsizlikleri içermesi,
- (3) İnsan faktörünün (karar vericiler, yöneticiler, çalışanlar vb.) ve onların çalışmayla ilgili kriterler hakkında yapacakları yorumların önemli olduğu [74].

AHP metodunun temel adımlarını açıklamak gerekirse:

- Problemin ve hedeflerin net bir şekilde tanımlanması,
- Hedefin üzerinde durulduğu en üst seviyeden başlayarak, altında yer alan kriterler, alt kriterler ve seçeneklerin belirlenerek bir hiyerarşi oluşturulması,

- Her bir karar seviyesi için karşılaştırma matrislerinin hazırlanması,
- En büyük öz değer vektörü, tutarlılık indeksi, TO ve her kriter için normalleştirilmiş değerlerin hesaplanması,
- Elde edilen sonuçlar yeterli düzeydeyse, normalleştirilmiş ağırlıklar kullanılarak karar verme sürecinin tamamlanması; değilse, hedeflenen tutarlılık düzeyine ulaşmaya kadar sürecin tekrar edilmesidir [75, 76].

C_n kriterleri ve a_{ij} , C_i kriteri ile C_j kriteri arasındaki AHP ölçek esasların göre derecelendirme yapılarak $(n \times n)$ boyunda karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisinin her elemanı, kendi sütun toplamına bölünerek normalleştirilmiş karşılaştırma matrisi elde edilir.

Normalleştirilmiş karşılaştırma matrisinin her satırına ait ortalama değerler hesaplanarak sütun vektörü elde edilir. Hesaplanan sütun vektörü normalleştirilerek göreceli önemler vektörü bulunur. Daha sonra bu vektörün her bir elemanı, göreceli önem vektöründe karşı gelen elemana bölünerek bir başka vektör hesaplanır (Denklem 3.10). Sonuç olarak bu vektörün aritmetik ortalaması ise en büyük öz değer olan λ_{max} 'ı vermektedir [77, 78].

$$\lambda_{max} = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) / n \quad (3.10)$$

λ_{max} : En büyük özdeğer

$a_1, a_2, \dots, a_n$: Ağırlıklandırılmış toplam vektörün öncelik değerlerine oranı

n : Eleman sayısıdır.

En büyük özdeğer ve karşılaştırılan eleman sayısı değerleri kullanılarak tutarlılık göstergesi elde edilir (Denklem 3.11).

$$TG = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (3.11)$$

TG: Tutarlılık göstergesi,

n : karşılaştırılan parametre sayısıdır.

TO aşağıdaki denklem 3.12'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$TO = TG / RG \quad (3.12)$$

TO: Tutarlılık oranı,

RG: Rastgele gösterge değeridir.

Rastgele indeks (Rİ) değerleri, karşılaştırılan elemanların sayısına (n) bağlı olarak Çizelge 2.2'deki değerleri alır [79].

Bu hesaplamalar sonucunda, yapılan işlemlerin kabul edilebilir olması için elde edilen TO değerlerinin 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. TO değeri kabul edilebilir bulunduyrsa hesaplanan ağırlıklar karar verme işlemi için kullanılabilir.

2.4.1.1 Kriterlerin belirlenmesi

AHP bağlamında, kriterlerin belirlenmesi, alternatiflerin değerlendirilmesi için kilit faktörlerin veya özelliklerin tanımlanmasını ve önceliklendirilmesini gerektirir. Bu tür kriterler, çeşitli değerlendirme boyutlarında birden fazla seçeneği göz önünde bulundurarak karar verme açısından kritik öneme sahiptir. Aşağıda AHP çerçevesinde kriter belirleme adımları özetlenmektedir [80]:

Problem tanımı: AHP'deki ilk aşama, dikkat gerektiren problemin veya kararın tam olarak tanımlanmasını ve böylece kriter belirleme süreci için bağlam ve parametrelerin oluşturulmasını gerektirir. Bir sonraki adım, paydaşlardan ve farklı alanlardaki uzmanlardan alınan girdilerle maliyet, çevresel etki, güvenlik ve performans gibi faktörleri kapsayan karar kriterlerinin belirlenmesini içerir.

Son adım, ilgili ifadeler ve nedensel bağlantılar arasında mantıksal bir ilerleme oluşturarak hiyerarşik yapılandırmayı içerir. Belirlenen kriterler hiyerarşik olarak düzenlenir, en üst seviyede birincil hedef yer alır ve bunu gerektiğinde alt kriterler ve alt kriterler izler. Bu yapı, karar verme sürecinin mantıksal olarak düzenlenmesine yardımcı olur [81].

İkili karşılaştırma: AHP, bir kriterin diğerine göre tercihini ölçen bir ölçek kullanarak paydaşlar veya uzmanlar tarafından kriterlerin ve alt kriterlerin göreceli ağırlıklarının değerlendirilmesini gerektirir.

Ağırlıkların hesaplanması: AHP yöntemi, ikili karşılaştırmalara dayalı olarak kriter ağırlıklarını veya önceliklerini hesaplar. Bunlar, genel hedefe ulaşmada her bir kriterin göreceli önemini yansıtır. İkili karşılaştırmaların mantıklı ve tutarlı olmasını sağlamak için bir tutarlılık kontrolü yapılır. Tespit edilen tutarsızlıklar buna göre düzeltilir. Kriterlerin ve ağırlıklarının sağlamlığını değerlendirmek için duyarlılık analizi yapılır.

Kriter önceliklendirmesindeki değişiklikleri anlamak: Bu analiz, kriter önceliğindeki değişikliklerin karar verme süreci üzerindeki etkisinin objektif bir şekilde açıklanmasını amaçlamaktadır. Kriterlerin ve ilgili ağırlıklarının belirlenmesi ve doğrulanmasının ardından, karar verme sürecinde kullanılmak üzere son halini alırlar.

AHP yöntemi, kriterleri ve bunların göreceli önemlerini değerlendirmek için yapılandırılmış ve sistematik bir yaklaşım sunar ve karmaşık karar verme senaryolarında özellikle önemli olduğunu kanıtlar. Etkili karar verme, bilinçli ve rasyonel seçimler yapılmasını sağlamak için çeşitli yönlerin ve çeşitli paydaşların çıkarlarının dikkate alınmasını gerektirir [82]. Genel olarak enerji tesisi yer seçimi çalışmalarında kullanılan kriterlerin literatürdeki değerleri aşağıdaki Çizelge 2.3, Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Yerleşim alanları, elektrik iletim hatları, yollar).

Kriter	Kaynak	Kriter Bilgisi
Yerleşim Alanları	Hanbali vd. (2011) [83]	Alan, etrafına yapılan 1.000 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
Elektrik İletim Hatları	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0-2000 m- için: 1 ➤ 2000-10000 m- için: 1-0 ➤ 10000 m- için: 0
	Uyan (2013) [85]	Uygunluk değeri: ➤ <3000 m: 1 ➤ 3000 m-6000 m için: 2 ➤ 6000 m-10000 m için: 3 ➤ >10000 m için: 4 (Uygunluk skorları aralığı: 1-4)
Yollar	Asakerch vd. (2014) [86]	Uygunluk değeri: ➤ <1000 m için: 1 ➤ >1000 m için: 0
	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0 km-2km için: 1 ➤ 2 km-10 km için: 1-0 ➤ 10 km- için: 0
	Pareta (2013) [87]	Alan, etrafına yapılan 250 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
	Hanbali vd. (2011) [83]	Alan, etrafına yapılan 200 m’lik tampon bölge ile kısıtlanmıştır.

Çizelge 2.4. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Tarım, orman, koruma alanları ve eğim).

Kriter	Kaynak	Kriter Bilgisi
Tarım Alanları	Hanbali vd. (2011) [83]	Alan, etrafına yapılan 500 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
Orman Alanları	Wang vd. (2014) [88]	Biyokütle tesislerinin kurulumunu önlemek için tüm çalışma sahasından elenmiştir.
Koruma Alanları	Wang vd. (2014) [88]	Biyokütle tesislerinin kurulumunu önlemek için tüm çalışma sahasından elenmiştir
Diğer Arazi Sınıfları	Wang vd. (2014) [88]	Biyokütle tesisleri kurulacak alanlar için kısıtlanan arazi sınıfları; Ulusal Parklar / Doğal Hayatı Koruma Alanları
	Uyan (2013) [85]	Çıplak arazi: Uygun Tarım arazisi: Uygun değil
Eğim	Hanbali vd. (2011) [83]	Uygunluğun bulunduğu maksimum değer: <%12
	Wang vd. (2014) [88]	Uygunluk değeri: Biyokütle tesisleri için; ➤ 0-%20 için: 1-0
	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0-%10 için: 1 ➤ %10-%30 için: 0-1 ➤ %30- için: 0
	Maxson (2007) [89]	Uygunluk değeri: ➤ %1-%2 için: Orta ➤ %2-%8 için: En İyi ➤ %8-%12 için: Orta ➤ %12-%16 için: Zayıf ➤ >%17 için: En Kötü

Çizelge 2.5. Enerji tesisi yer seçimi kapsamında kriterlerin literatürdeki yeri (Su kütleleri).

Kriter	Kaynak	Kriter Bilgisi
Göller/Yüzey Suları	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0-2500 m için: 0 ➤ 2500 m-5000 m için: 0-1 ➤ 5000 m- için: 1
	Pareta (2013) [87]	Alan, etrafına yapılan 50 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
Nehirler/ Yüzey Akıntıları	Hanbali vd. (2011) [83]	Alan, etrafına yapılan 500 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0 m-100 m için: 0 ➤ 100 m-500 m için: 0-1 ➤ 500 m- için: 1
	Pareta (2013) [87]	Alan, etrafına yapılan 50 m’lik tampon bölge ile çalışma alanından elenmiştir.
Sulak Alanlar/Kuş Göç Yolları/Doğal Kaynaklar	Aydın vd. (2013) [84]	Uygunluk değeri: ➤ 0-2500 m için: 0 ➤ 2500 m-5000 m için: 0-1 ➤ 5000 m- için: 1

Verilen kriter bilgileri, biyokütle kaynakları potansiyelinin belirlenmesi için kullanılacak olan kısıtlar ve uygunluk değerlerini içermektedir. Bu bilgiler, biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesi ve uygun alanların tanımlanması için önemli bir rol oynar.

Yer seçiminde etkin kriterler; yer seçimi yapılacak konunun niteliğine uygun olan ve yer seçimi planlamasına dâhil edilmesi beklenen tüm fiziksel, coğrafik ve antropojenik ve diğer birçok özelliği tanımlamaktadır. Bu özelliklerin tamamı, bazı açılardan,

çalışmanın amacına uygun olmayabilir. Örneğin biyogaz tesisi yapılacak yerin tespit edilmesi gibi bir uygulamada değerlendirilebilecek kriterlerden biri arazi kullanım sınıfıdır. Ancak arazi kullanım sınıfları içerisinde tarım alanları, kurulması planlanan biyogaz tesisi için hammadde kaynağı olabilmesine rağmen yine de tarım alanlarına biyogaz tesisi kurulması uygun değildir ve bu sebeple çalışma alanı için eleyici, kısıtlayıcı bir nitelik oluşturur. Çalışma alanı bu arazi kullanım sınıfı tarafından kısıtlandığı için bu tür kriterlere kısıt adı verilmektedir. Kısıtlar genel olarak büyük bir kesinlik içerir ve çalışma alanlarından çıkartılır.

Kısıt haritaları ikili sisteme sahiptir. Bu durum, haritada hariç bırakılan alanın 0 ile kalan alanların 1 ile temsil edilmesini sağlamaktadır. Örneğin tez kapsamında, “Hangi bölgelerde biyokütle tesisi kurulabilir?” sorusu eleyici kriterlerin tespit edilmesi sırasında sorulabilir.

2.4.1.2 Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

ÇKKV çerçeveleri bağlamında AHP, karar verme sürecindeki göreceli önemlerini yansıtan kriterlere ağırlıkların tahsis edilmesinde çok önemlidir. Takip eden adımlar, AHP çerçevesinde kriter ağırlıklarının nasıl belirleneceğini özetlemektedir [90]:

İlk olarak, karar problemini hiyerarşik olarak yapılandırarak hiyerarşi oluşturulur. Bu hiyerarşik yapı genellikle üç seviyeden oluşur: amaç, kriterler ve alternatifler. Hedef genel amacı temsil eder, kriterler alternatifleri değerlendirmek için kullanılan faktörlerdir ve alternatifler de değerlendirilen seçeneklerdir.

Kriterleri tanımlama: Alternatifleri değerlendirmek için kullanılacak kriterleri belirleme ve tanımlamadır. Kriterlerin ilgili, gereksiz olmayan ve kararın tüm yönlerini kapsayacak şekilde kapsamlı olduğundan emin olunmalıdır.

Farklı kriterlerin göreceli önemini belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılabilir. Bir kriterin diğerinden ne derece daha önemli olduğunu ifade etmek için bir ölçek kullanılır. Yargılar, karar verme sürecine dahil olan uzmanlar veya paydaşlar tarafından sağlanır.

İkili karşılaştırmalardan elde edilen verileri toplamak için bir karşılaştırma matrisi oluşturulmalıdır. Matristeki öğeler çeşitli kriterlerin göreceli önemini temsil eder. Bu matrisler tipik olarak karar vericilerin tercihlerini yansıtan değerlerle doldurulur.

Her bir kriter için öncelik vektörlerini hesaplamak için özvektör yöntemi gibi matematiksel teknikler kullanılmalıdır. Bu süreç, tutarlılık için karşılaştırma matrislerinin normalleştirilmesini ve temel özvektörün belirlenmesini içerir. Öncelik vektörlerini hesapladıktan sonra bir tutarlılık kontrolü gerçekleştirilir. İkili karşılaştırmalarda verilen kararların tutarlı ve mantıklı olduğundan emin olmak için bir tutarlılık kontrolü gerçekleştirilir. Bu kontrol, verilerdeki herhangi bir tutarsızlığı tespit eder.

Yargıların güvenilirliğini değerlendirmek için, yargıların geçerli kabul edilecek kadar tutarlı olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan Tutarlılık Oranı (TO) hesaplanır. TO genellikle önceden tanımlanmış bir eşik değerle karşılaştırılır. Ayarlama, TO'nin kabul edilebilir eşik değerini aştığı durumlarda, bu durum tutarsız yargılara işaret edebilir. Karar vericiler, tatmin edici bir tutarlılık seviyesine ulaşana kadar ikili karşılaştırmalarını gözden geçirmeli ve ayarlamalıdır [91].

Kriter ağırlıklarındaki değişikliklerin nihai kararı nasıl etkileyebileceğini değerlendirmek için bir duyarlılık analizi yapılması tavsiye edilir, bu da karar modelinin anlaşılabilirliğini artırır. Doğrulama ve ayarlama yapıldıktan sonra kriterler uygun şekilde ağırlıklandırılmalıdır.

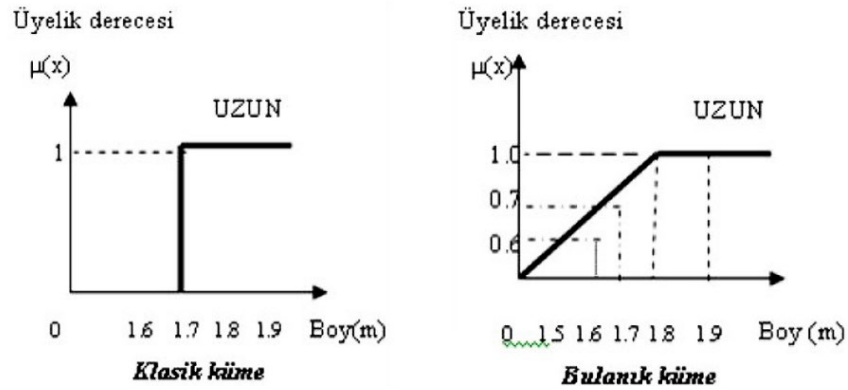
2.5 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Matematiksel modeller oluştururken, fiziksel sistemlerin genellikle doğrusal ve sabit (zamanla değişmeyen) olduğu varsayılır. Oysa doğada doğrusal sistem pek yoktur. Bu kabullenme belirli çalışma bölgeleri etrafında kabul edilebilir. Bunların dışında matematiksel modelinin çıkarılması oldukça karışık hatta imkansızdır [92]. Bir insanın düşünce dünyasının görüntüsü bile alınsa, karşılaşılabilecek olanın karmaşık, çok renkli ve net olmayan desenler olduğu görülür. İşte bu tür belirsizlikleri ifade etmek için bulanık (fuzzy) terimi kullanılır [93].

Klasik kümeler teorisinde, bir öğe ya bir kümeye aittir ya da değildir; buna karşılık bulanık kümelerde, bir öğe birden fazla kümeye belli oranlarda ait olabilir ve kesinlik

kavramı bulunmaz [94]. Bulanık mantık (Fuzzy Logic) karar verme mekanizması olarak ta tanımlanabilecek sözel ifadelerin bir uzman kişi tarafından belirtilen kesin olmayan sınırlar içindeki davranışını matematiksel olarak modellemeye yarar. Bu modelleme, belirgin olmayan sınırlara sahip bulanık kümelerle çalışır, bu yüzden 'bulanık' veya 'fuzzy' olarak adlandırılır. Bulanık mantık, bir uzmanın kesin çizgilerle tanımlayamadığı, ancak yaklaşık sınırları olan durumlar için anlamlı sonuçlar üretebilir.

Şekil 2.4'te klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki fark görülmektedir [95]. Klasik mantıkta uygun kümenin içindeki her değer aynı uygunluk derecesine (üyelik derecesine) sahipken; bulanık mantıkta kümenin içindeki tüm değerler farklı uygunluk derecesine (0 ile 1 arasında artan veya azalan) sahip olurlar.



Şekil 2.4. Klasik mantık ve bulanık mantığın şekilsel gösterimi.

FUZZY modülü yapay zekâ temeline sahip bulanık mantık analiz modülüdür ve Lotfy A. Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir [96].

Bulanık mantık modülü, doğal dünyadaki belirsizlikleri ve kesin olmayan durumları ifade etme kabiliyeti ile Aristotelesçi kesinliğin nadiren gerçekleştiğini [97] ve klasik mantığın bu tür durumları çözümlemede sınırlı kaldığını öne sürer [98].

Bulanık kümeler teorisi, kesinliğin net sınırlarını ortadan kaldırıp, belirsizliklerin tanımını genişletir. Bu yöntem, her bir kriter için bir üyelik derecesi atayarak, bu kriterlerin bulanık kümeler içinde farklı değerlere sahip olabileceğini matematiksel bir dille ifade eder [97, 99, 100].

Zadeh'in bulanık mantıkla ilgili belirttiği üç özelliği şunlardır:

- Bulanık mantığın doğruluk değerleri sayısal ifadeler yerine, günlük dildeki ifadelerle belirtilir.
- Bu ifadeler "çok doğru", "oldukça doğru", "çok yanlış" gibi nitelermeleri içerebilir.
- Çıkarım kurallarının geçerliliğinde, kesin ve mutlak doğruluğa yer yoktur [97, 99, 100].

2.6 Önceki Yapılan Çalışmalar

Elazığ ilinde 2000-2010 yılları arasında yürütölen bir çalışmada tahıl ürünlerinden elde edilebilecek potansiyel biyokötle enerjisi tahmin edilmiş ve sonuçları objektif bir şekilde tartışılmıştır [101]. Hiyerarşik olarak tahıllar 132083 MW ile en yüksek biyokötle enerji potansiyeline sahipken, bunu 10934 MW ile yem bitkileri, 8122 MW ile baklagiller, 6173 MW ile endüstriyel bitkiler, 1193 MW ile yumru bitkiler ve 443 MW ile yağlı tohumlar takip etmektedir.

Sivas ilinde yürütölen bir çalışmada da hayvan varlığına bağılı olarak elde edilebilecek ham hayvansal atık miktarını belirlenmiştir. Bu ham atık miktarından potansiyel kuru atık ve biyogaz eşdeğeri hesaplanmıştır [102]. Bu çalışmalar, kendi bölgelerinin biyokötle ve biyogaz potansiyeline ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bunların tarım ve elektrik üretimi gibi çeşitli sektörlerdeki uygulamalarının önemini vurgulamaktadır.

Yozgat ilinde 2012 verilerine dayalı bir çalışma yürütölmüştür. Yozgat merkez ve çevre ilçelerinde hayvansal atıklardan üretilen yıllık biyogaz potansiyelini 45 milyon m³ olarak hesaplamışlardır [103]. Sadece Yozgat şehir merkezinin yaklaşık 6 milyon m³ biyogaz üretebileceğı tespit edilmiştir.

TRA1 bölgesinde (Erzincan-Erzurum-Bayburt), araştırmacılar tarafından biyokötle enerji potansiyeli ve ekonomik etkileri üzerine yapılan bir analize göre, Türkiye'de hem hayvanlardan hem de bitkilerden elde edilen biyokötle enerji potansiyeli 4778 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olarak hesaplanmıştır [104]. Araştırma, hayvansal atıkların biyogaz üretiminden elde edilen yenilenebilir enerjinin önemini vurgulamaktadır. Çalışma, bölgedeki biyokötle enerjisi potansiyeline ilişkin değerli bilgiler sunmakta

ve sürdürülebilir ve çevre dostu enerji üretiminin teşvik edilmesindeki önemini vurgulamaktadır.

2012 yılında gerçekleştirilen bir araştırmada, Türkiye genelindeki hayvan atıklarından biyogaz potansiyelinin tespiti yapılmıştır. Araştırmada, atıkların kuru madde içeriği ve erişilebilirlik gibi faktörler ele alınarak, şehirler bazında biyogaz üretim kapasiteleri hesaplanmış ve bu verilerle bir atık haritası çıkarılmıştır [105].

Çin'deki bir araştırmada bahçe atıkları tür ve bulundukları bölgeye göre sınıflandırılmış ve bu atıklardan elde edilebilecek biyokütle enerjisi ile elektrik üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, bu bahçe atıklarından üretilebilecek enerjinin, Çin'in 2008 yılındaki toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %20,7'sini karşılayabileceği hesaplanmıştır [106].

Ayrı bir çalışmada, Ardahan ilindeki tarımsal ve hayvansal atıklardan potansiyel metan ve biyogaz üretimini hesaplamak için 2015 TÜİK verilerini kullanmıştır. Çalışmada ayrıca, atıkların enerjiye dönüştürülmesiyle CO₂ emisyonlarının azaltılma potansiyeli de değerlendirilmiştir [107].

Ankara ilinde organik atıklardan biyogaz üretim potansiyelini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, il düzeyinde hayvancılık atıkları, atık su arıtma çamurları, tarımsal atıklar ve mutfak atıkları analiz edilmiş ve bunların potansiyelleri ve enerji eşdeğerlikleri hesaplanmıştır [108].

2017 yılında yapılan bir çalışmada, Denizli il merkezi ve çevre ilçelerdeki hayvansal kaynaklı atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır [109]. 2014 yılı verilerine göre Denizli'deki toplam hayvan sayısı 4370129, günlük ham gübre üretimi ise 4578889 kg'dır. Araştırma, Denizli'nin hayvansal atıklarını değerlendirerek yılda tahmini 70,16 milyon m³ biyogaz üretebileceğini ortaya koymuştur. Çalışma, hayvansal atıklardan elde edilen enerji eşdeğeri açısından yıllık biyogaz potansiyelini 46,30 milyon litre dizel ve 329 milyon kWh elektrik olarak tahmin etmiştir. Ayrıca, Denizli ilinde hayvansal kaynaklardan üretilen biyokütle enerjisinin toplam kapasitesi 36486 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca hayvansal atık potansiyelini belirlemek için Agro-Atık projesi kapsamında belirlenen değerler de dikkate alınmış olup söz konusu hayvan başına değerler: Büyükbaş hayvanlar için

günde 10 kg taze atık/gün, küçükbaş hayvanlar için günde 3 kg taze atık/gün ve kümes hayvanları için günde 0,08 kg taze atık/gün'dür [110-112]. Bu çalışma, Denizli'de hayvansal atıklardan biyogaz üretimi için önemli bir potansiyel olduğunu göstermekte ve bu sürdürülebilir enerji kaynağından yararlanmanın önemini ve sağladığı çevresel ve enerji avantajlarını vurgulamaktadır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan benzer bir çalışmada araştırmacılar, bu bölgede hem güneş hem de biyokütle enerjisine vurgu yaparak sürdürülebilir enerji kaynaklarının varlığını incelemiştir. Ekip, tarımsal ve hayvansal atık biyogaz üretim potansiyelini belirlemek için hesaplamalar yapmış ve bunun bölgeye sağlayacağı faydaları değerlendirip bildirmişlerdir [113].

Tayland'da 2017'de yapılan bir çalışmada domuz çiftliklerinin atıkları kullanarak biyogaz ve elektrik enerjisi üretim imkanları incelenmiştir [114]. Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada ise Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki hayvan sayılarına dayanarak, bu atıklardan elde edilebilecek biyogazın miktarı hesaplanmış ve bunun enerji değerlerine dönüşümü analiz edilmiştir [115].

Karabük'te 2018 yılında yapılan bir çalışma farklı türdeki hayvan atıklarının yıllık miktarını ve bunlardan üretililecek biyogazın potansiyelini değerlendirmiş, 50 başlık büyükbaş hayvan çiftliği için biyogaz tesis tasarımı ve ekonomik analizler sunmuştur [116].

Konya'nın Ereğli ilçesinde 2018 yılında yapılan çalışmada hayvan gübrelerinden ve tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli araştırılmış, çeşitli bitki atıklarının biyogaz üretimine katkısı da değerlendirilmiştir [117].

Hırvatistan'daki 2018 yılında yapılan çalışmada tarımsal atıkların enerji üretim potansiyeli incelenmiş, farklı senaryolar altında bu atıklardan elde edilecek enerji miktarları tahmin edilmiştir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kullanımını artırma ve enerji ithalatını azaltma potansiyelini ortaya koymuştur [118].

Çin'in Henan bölgesinde 2019 yılında yapılan çalışmada ise bitkisel ve hayvansal atık verileri analiz edilerek, bölgenin biyogaz potansiyeli belirlenmiş ve bu süreçte karşılaşılan zorluklar ile avantajlar üzerinde durulmuştur [119].

Türkiye'nin tarımsal biyokütle atık miktarını ve enerji potansiyelini saptayan bir çalışmada; otuz farklı tarımsal ürünün yıllık artıkları, nem oranları ve enerji değerleri değerlendirilmiştir [37].

Balıkesir'deki hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların biyogaz üretim potansiyelini ve enerji eşdeğerlerini hesaplayan bir çalışmada, ilave olarak bir biyogaz tesisinin maliyet analizini yapılmıştır [120].

2.6.1 Biyokütle potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar

Doğu Anadolu Bölgesi'nde 2007 yılında tahıl bitkileri, baklagiller, endüstri bitkileri, yağlı tohumlar ve yumrulu bitkilerden elde edilebilecek kuru biyokütle miktarlarını belirlemek için objektif bir çalışma yürütülmüştür [121].

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2010 yılında yapılan bir çalışmada 1500 büyükbaş hayvanlık bir çiftlik incelenmiştir. Araştırmacılar günlük üretilen maksimum ve minimum gübre miktarlarını hesaplamış ve bu bilgileri biyogaz üretimini, biyogazın elektriğe göre parasal değerini ve biyogaz çamurunun miktarını belirlemek için kullanmışlardır. Araştırmacılar her iki senaryo için de parasal değerler sunmuşlardır [122].

Malatya ilinin ilçelerinde 2010 yılında bir çalışma yürütülmüştür. Çalışma, ekili alanları göz önünde bulundurarak tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler ve yumru bitkileri içeren ürünlerden elde edilen yıllık kuru biyokütle verimini tahmin etmiştir. Araştırmacılar ayrıca biyokütlenin kalorifik değerini de hesaplamıştır [123].

Ayrı bir çalışmada, Arnavutluk'taki biyokütle kaynakları araştırılmış ve elektrik üretme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Biyokütlenin ülkenin elektrik talebinin %45'ini karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır [124].

Iğdır ili ve ilçelerindeki 2010 yılı TÜİK verileri dikkate alınarak çeşitli hayvan türleri ve sayıları tarafından üretilebilecek potansiyel atık miktarı, hayvanların ahırlarda kalma süresine dayalı bir atık oranı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu atıkların biyogaz potansiyeli değerlendirilmiş ve sonuçları Doğu Anadolu Bölgesi ve Türkiye için karşılaştırılmıştır [125].

Afyonkarahisar ili ve ilçelerinde 2012 yılında yapılan bir çalışmada, 2006-2010 verilerine göre baklagiller, endüstri bitkileri, tahıllar, yem bitkileri, yağlı tohumlar ve yumrulu bitkiler gibi bitkisel biyokütle kaynaklarından elde edilebilecek enerji verimi hesaplanmıştır [101].

İzmir ilinin biyokütle potansiyeli 2013 yılında yapılan bir çalışmada hem bitkisel hem de hayvansal kaynaklar dahil edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, çalışmada yerel bir tesis kurmak için fizibilite belirlemek amacıyla İzmir'in endüstriyel yapısı üzerine bir analiz yapılmıştır. Çalışma, tatmin edici bir endüstriyel yapı ortaya koymuştur; ancak bilgi eksiklikleri tespit edilmiştir [126].

Kümes hayvanı atıklarından biyogaz üretimi konusunda dünyada ve Türkiye'de yapılan çalışmalar incelenmiştir. Türkiye'deki çalışmalar öncelikli olarak kanatlı atıklarının biyogaz üretim potansiyelini belirlemeye odaklanırken, küresel çalışmalar daha verimli biyogaz üretim teknikleri geliştirmeyi ve üretimi artırmayı amaçlamaktadır [127].

Geleceğin akıllı şebekeleri için kentsel katı atıklardan elektrik üretimi üzerine bir araştırma yapılmış ve 2010 yılı kentsel katı atık verilerine dayanarak elektrik üretim kapasitesi hesaplanmıştır [128].

Bazı akademik araştırmalarda biyogaz üretimi için Türkiye'deki hayvancılık atıkları, mısır silajı ve şeker pancarı küspesi miktarları incelenmiştir. Çalışmalarda Türkiye'nin biyogaz üretim potansiyeli değerlendirilmiş ve üretim miktarları çeşitli bölgelerde ısı ve elektrik üretimi için karşılaştırılmıştır [129].

Türkiye'de 2015 yılında illere göre her iki kaynağın biyokütle potansiyelini değerlendiren bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada belirlenen potansiyele dayalı sayısal haritalar oluşturulmuştur [130].

Kahramanmaraş ilinde 2015 yılında hayvansal atıklar, tarla bitkileri ve tarımsal kalıntılar kullanılarak biyogaz üretim potansiyeli ölçülmüştür. Ayrıca biyogaz potansiyellerine dayalı sayısal haritalar üretilmiştir [131].

Mersin ilinin tarımsal biyokütle potansiyeli 2005-2014 yılları arasında yıllık olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Mersin ilinin biyokütle potansiyeli Akdeniz Bölgesi ve Türkiye'nin biyokütle potansiyeli ile karşılaştırılmıştır [132].

Hindistan'da 2015 yılında yapılan bir çalışmada bitki biyokütle kaynakları ve bunların enerji potansiyelleri belirlenmiştir. Ayrıca Hindistan'daki biyokütle dönüşüm teknolojileri ve bunların kullanımı analiz edilmiştir [133].

Portekiz'in Alto Alentejo bölgesinde 2015 yılında yapılan bir çalışmada bitki bazlı biyokütle potansiyeli değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu potansiyele dayalı olarak olası bir biyokütle tesisinin özellikleri ve konumu hakkında bir değerlendirme yapılmıştır [134].

Türkiye'nin Diyarbakır ilindeki farklı ilçelerden 2010-2014 yıllarını kapsayan tarımsal ve hayvansal üretim verileri analiz edilerek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Biyogaz üretim potansiyelini göstermek için toplanan verilere dayalı olarak CBS kullanılarak haritalar oluşturulmuştur [135].

TÜİK'in 2012 yılına ait tarımsal atık, hayvansal atık ve kentsel atık verilerini kullanarak Bursa bölgesinde yapılan bir çalışmada biyogaz üretim potansiyelini değerlendirmek için hesaplamalar yapılmıştır [136].

Tokat ilinde 2015 yılında yapılan bir çalışmada büyükbaş hayvan atıklarından biyogaz potansiyeli değerlendirilmiş ve aynı bölgede bir biyogaz tesisi kurmanın fizibilitesi analiz edilmiştir [137].

Çanakkale ilinde 2016 yılında yapılan bir çalışmada büyükbaş ve küçükbaş hayvanların yanı sıra kümes hayvanlarının popülasyonuna dayalı olarak biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır [138].

Hatay ilinde 2017 yılında yapılan bir çalışmada hayvansal kaynaklı atıkların biyogaz potansiyeli atık miktarları ölçülerek değerlendirilmiştir. Araştırmacı bu potansiyelleri haritalamak için bir CBS kullanmıştır [139].

Kars ilinde 2017 yılında yapılan bir çalışmada hayvancılık atıkları, tarımsal atıklar, belediye organik atıkları, ormancılık atıkları ve gıda endüstrisi atıkları gibi farklı

biyokütle kaynaklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Çalışmada biyogazdan üretililecek elektrik miktarı araştırılmıştır [140].

2015 TÜİK verileri kullanılarak Trakya bölgesinde büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları dahil olmak üzere hayvancılık atıklarından biyogaz potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırmada, her bir hayvan tarafından üretilen gübre miktarı, hayvanların ahırda tutulduğu süreye bağlı olarak kullanılabilir atık oranı, kuru madde, gübrenin uçucu kuru madde içeriği ve biyogaz üretim oranı gibi değişkenler hesaba katılmıştır [141].

2.6.2 CBS ile biyokütle tesis yer seçimi ile ilgili çalışmalar

2001 yılında yapılan bir çalışmada kullanılan metod, tarımsal atıklardan enerji üretimi için potansiyeli tahmin etmiştir ve CBS karar destek sistemi bu metodu uygulayarak biyokütle potansiyelinin coğrafik dağılımını sağlamıştır. Araştırmacılar ayrıca teorik, mevcut, teknolojik ve ekonomik potansiyel olarak 4 farklı seviyeyi analiz etmişlerdir. Lokasyonu ve biyoenerji dönüşüm faaliyetlerini etkileyen ana parametreleri tesis kapasitesi ve mevcut biyokütle potansiyelinin mekânsal dağılımı olarak bulmuşlardır [142].

Bazı araştırmacılar 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada büyük bir İtalyan adası olan Sicili'de enerji üretimi için biyokütle kullanımının teknik ve ekonomik potansiyelini değerlendirmek için CBS destekli bir metodoloji geliştirmişlerdir [143]. Çalışmanın sonucunda o bölgede 3 Twh'nin üstünde biyometan potansiyeli olduğunu ve bu potansiyelin %90'dan fazlasının tarımsal biyokütleden geldiğini bulmuşlardır. 10 ya da 40 km maksimum taşıma yarıçapı içerisinde hammadde bulunan üç ayrı bölgeye toplam 49 biyogaz tesisinin inşa edilebileceğini ve maksimum 10 km biyokütle taşıma mesafesi ile, planlanan tesislerin üretim kapasitesi 2,1 ila 8,4 MW arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Taşıma mesafesi 40 km'ye çıkarılırsa, tesis kapasiteleri de 2,3'den 16,8 MW'a yükseldiğini ifade etmişlerdir.

Birtakım araştırmacılar 2011 yılında belediye katı atık yakma tesislerinin konumlandırılması için ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri aynı anda göz önünde bulunduran bir model oluşturmuşlardır. Bu model, AHP ve CBS kullanılarak geliştirilmiştir [144].

Polonya'da 2012 yılında yapılan çalışmada biyogaz tesislerinin yer seçiminde CBS tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır [145].

Biyokütle tesislerinin konumu, büyüklüğü ve sayısını belirlemek için 2012 yılında yapılan bir çalışmada CBS kullanılarak bir metodoloji geliştirilmiştir. Araştırmacılar AHP kullanarak belirledikleri çeşitli mekansal ve çevresel faktörleri içeren bir arazi uygunluk modeli oluşturmuşlardır [146].

Belçika'da 2012 yılında birtakım araştırmacı AHP yöntemiyle belirledikleri bir dizi kriteri değerlendirmiş ve CBS kullanarak biyokütle projeleri için potansiyel alanları saptamışlardır [147].

İngiltere'de bazı araştırmacılar 2013 yılında yaptıkları çalışmada CBS haritalama teknikleri kullanarak biyokütle enerji potansiyelinin konumsal arz talep ilişkisinin analizini yapmışlardır. İngiltere'de 25 km'lik alan içinde 1998435 ha alanda biyokütle potansiyeli olduğunu, 40 km'lik alan içinde bu rakamın 2409541 ha olduğunu saptamışlardır [148].

Bazı araştırmacılar da İspanya'da 2013 yılında bitkisel biyokütle kaynaklarını değerlendirmek için biyokütle tesisleri yerleştirme konusunda çok kriterli bir değerlendirme ve CBS metodolojisi geliştirmişlerdir [149].

Bazı araştırmacılar ise 2014 yılında yaptıkları çalışmada 3 bölgesel atık işletmesinin bulunduğu Güney Finlandiya'da biyometan üretimi ve biyogaz tesislerinin optimum lokasyon, boyut ve sayısını belirlemek için CBS kullanarak potansiyel biyokütle miktarı ve dağılımını analiz etmişlerdir. Mevcut karayolu ağı ve mekansal olarak değişen biyokütle kaynakları dikkate alınarak biyokütle taşımacılığı optimizasyonunu da içeren CBS tabanlı bir metodoloji kullanılmıştır. Tesislerin yerleşiminde taşıma mesafelerini (10 km ve 40 km) de hesaba katmışlardır. Kernel Density (KD) haritaları, yüksek biyokütle konsantrasyonuna sahip bölgeleri tam olarak belirlemek için kullanılmıştır [150].

Tokat ili üzerine 2014 yılında yapılan tez çalışmasında, büyükbaş hayvan atıklarını biyogaz üretiminde kullanacak tesislerin yerleri ve kapasiteleri belirlenmiş, öncelikle hayvan varlığına dayanarak biyogaz üretim potansiyeli saptanmıştır [151].

Portekiz'de 2014 yılında yapılan bir çalışmada süt hayvanı atıklarını kullanarak biyogaz üretimi için tesislerin yerleşimini belirlemek amacıyla ELECTRE TRI ve CBS kullanılmış ve bu süreçte çok sayıda ekonomik, çevresel, sosyal ve güvenlik kriterleri dikkate alınmıştır [152].

Düzce ilinin ilçelerinde 2015 yılında yapılan çalışmada hayvansal atık kaynaklı biyogaz miktarları hesaplanmış ve kanatlı hayvan üretim tesisleri dikkate alınarak, biyokütle tesislerinin yeri K-Means yöntemi ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, biyogaz tesislerinin potansiyel yerlerini saptamak ve tek bir büyük tesisin konumu için en uygun yerin neresi olacağını belirlemektir [153].

Danimarka'da 2015 yılında yapılan çalışmada araştırmacılar biyogaz tesisleri için uygun yer seçiminde CBS-AHP ve bulanık mantık tabanlı bir yöntem kullanarak çok boyutlu kriterleri entegre etmişlerdir. Bu modelde, tesis yerinin seçimi için ekonomik, çevresel, sosyal ve politik boyutlar dikkate alınmıştır [154].

İzmir, Afyon, Aydın, Denizli, Kütahya, Manisa, Muğla ve Uşak illerini kapsayan Ege Bölgesi'nde 2016 yılında bazı araştırmacılar, bitkisel biyokütle kaynaklarına dayalı biyokütle tesis yer seçimi için bulanık mantık, AHP, görüş birleştirme ve bilgi aksiyomu tekniklerini içeren kapsamlı bir model oluşturmuşlardır. Sonuç olarak Aydın'ın en uygun yer olduğu tespit edilmiştir [155].

Arjantin'de 2017 yılında yapılan bir çalışmada sığır gübresine dayalı biyogaz tesisleri için uygun yer bulmak amacıyla CBS kullanılmış ve coğrafi, çevresel, sosyo-ekonomik kriterleri temel alarak farklı çiftlik büyüklükleri için senaryolar geliştirilmiştir [156].

Türkiye'de 2018 yılında 30 il arasından biyogaz tesisi yer seçimi konusunu incelenmiştir. Bu analizde hayvan türlerine göre atık miktarları, evsel atık miktarları ve tarımsal atık miktarları, elde edilebilecek biyogaz miktarları ve devlet destekleri gibi çok çeşitli veriler kullanılmıştır [157].

İran'da 2018 yılında yapılan bir çalışmada kırsal alandaki hayvansal atıklar, tarımsal atıklar ve evsel atıklar ile ilgili bilgilerin biyogaz üretimi noktasında arazi kullanım haritaları, hayvan sayıları ve coğrafi bilgi sistemleri ile değerlendirilmesinde bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Model biyogaz üretim tesis yapılarının uygun

lokasyonlarının belirlenmesinde kullanılabilmektedir. İran'da yapılan daha önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığından bu çalışmada kullanılan analiz süreci daha fazla mekânsal bilgi içermektedir. Bu çalışma İran'da yıllık 2740 milyon m³ hayvansal ve kırsal atık elde edilebileceği gösterilmiştir [158].

Sivas'ta 2019 yılında yapılan bir çalışmada büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan işletmeleri dikkate alınarak, il için uygun biyogaz tesislerinin yerlerini ve güç kapasitelerini belirlemek için AHP ve CBS metodolojilerinin entegre edildiği bir model geliştirilmiştir [159].

Trakya Bölgesi'nde yapılan başka bir çalışmada ise bu bölgede yer alan 55 ilçe için biyokütle tesis yer seçimi üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada ekonomik, sosyal, çevresel ve diğer ölçütler AHP ile değerlendirilmiş, bazı ölçütler CBS ile haritalandırılarak ve diğerleri matematiksel modellerle analiz edilerek en uygun yerler saptanmıştır [160].

Bazı araştırmacılar İran'da 2019 yılında biyoetanol üretim tesisinin yer seçimi için bir çalışma yapmış ve ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri göz önünde bulundurarak en iyi en kötü metodunu kullanarak bir model oluşturmuşlardır [161].

Avusturalya'nın Queensland eyaletinde 2020 yılında yapılan çalışmada biyokütle enerjisi tesislerinin sürdürülebilir biçimde kullanımı için uygunluklarının belirlenmesi ve önceliklendirilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı Bulanık Çok Kriterli Analiz (CBS tabanlı Bulanık-ÇKA) yöntemi geliştirilmiştir. Birden fazla biyokütle türünün birden fazla ürün için (termal enerji ve biyo-elektrik enerji tedariki) potansiyeli gösterilmiştir. Yerel sürdürülebilirlik kısıtlamaları ve kriterleri kullanılarak, Doğu, Güneydoğu ve Kuzeybatı bölgelerinde 57 adet potansiyel biyokütle enerji tesisi yerleri tespit edilmiştir. Potansiyel biyokütle enerji tesisleri, Avustralya'nın biyo-elektrik enerji hedeflerinin ve zorunluluklarının önemli bir bölümünü karşılayabilecek elektrik üretebileceğini göstermiştir [145].

İzmir'de 2020 yılında yapılan bir çalışma belediye katı atıklarının organik bileşenleri ve hayvansal gübrelerin yönetiminde belediyeye ait merkezi biyogaz tesislerinin boyutlandırılması, konumlandırılması ve ekonomik kararlılığını araştırmayı amaçlamıştır. İzmir'de toplam 92 MW'a kurulu güçte 8 biyogaz tesisi inşa

edilebileceği ve birim elektrik enerjisi maliyeti 10 \$ cent/kWh olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu alışma, bölgesel biyoenerji kaynaklarının kullanımı ve organik atık yönetimi için Türkiye'de yerel bir karar destek sistemi oluşturulmasında önemli bir adımı temsil etmektedir [162].

2022 yılında yapılan bir çalışma son 20 yılın çalışmalarını özetleyerek biyoenerji tesislerinin konumunu etkileyen kriterleri ve yazarların alternatifleri nasıl karşılaştırdıklarını açıklamaktadır. Toplamda 40 makale incelenmiş; i) kabul edilen kriterler ve çok kriterli karar modeli/analizi ve ii) bu tür analizi etkileyen çevresel ve sosyal koşullar incelenmiştir. Sonuç olarak, 13 alt grup ve üç ana grup (sosyal, ekonomik ve çevresel) içeren 55 kriter tanımlanmış ve incelenmiştir [163].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama Denizli ilindeki biyokütle potansiyelinin değerlendirilmesiyle ilgiliyken, ikinci aşama potansiyel biyokütle tesisleri için uygun yerlerin belirlenmesini amaçlamaktadır. İlk aşamada literatürden yararlanarak belirlenen katsayıların kabulü ile biyokütle potansiyeli hesaplanırken, ikinci aşamada ise Denizli ili genelinde biyokütle tesisleri için uygun yerlerinin seçilmesi esastır. Çalışma alanı Denizli olarak belirlendikten sonra, biyokütle kaynağı olarak hayvansal biyokütle seçilmiştir. Mevcut literatür, yasal düzenlemeler, teknolojik, ekonomik ve sosyal açıdan kısıtlamalar, verilerin mevcudiyeti, Denizli ilinin coğrafi konumu, antropojenik ve jeopolitik durumu ve çevresel faktörleri de dikkate alınarak bazı kriterler belirlenmiştir. Kriterleri belirledikten sonra ÇKKV’de yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan AHP’yi kullanarak kriterlerin göreceli önemi değerlendirilmiştir. Bu kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra, seçilen kriterler arasındaki karar faktörlerinin uygun aralığını belirlemek için Fuzzy bulanık mantık uygulanmıştır. Kriterlerle ilgili bilgiler mekânsal olarak temsil edilmiş ve yer seçimini kolaylaştırmak için uygun bir CBS çerçevesi oluşturulmuştur. Bu çerçeveyi kullanarak, CBS’de yaygın olarak kullanılan bir mekansal analiz tekniği olan Ağırlıklı Çakıştırma Analizi yoluyla tüm il genelinde bu tesisler için uygun yerler belirlenmiştir.

CBS analizleri için seçilen ArcGIS yazılımında World Geodetic System (WGS) 1984 datumu ve Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu Zone 35N koordinat sistemi kullanılmıştır.

Biyokütle tesisi kurulabilecek uygun alanların seçimine yönelik izlenen yöntem genel hatlarıyla aşağıdaki basamakları içermektedir;

Araştırma sınırlarının belirlenmesi: Saha uygunluğu analizi gibi çalışmaların yapılabilmesi için öncelikle araştırma sınırlarının tespit edilmesi gerekmektedir.

Biyokütle kaynağının seçilmesi: Biyokütle tesisi uygun yer seçimine yönelik bir çalışmanın yapılabilmesi için kriterlerin belirlenen biyokütle kaynağına göre seçilmesi gerekir. Biyokütle kaynağı seçimi çalışmanın niteliğini belirleyen önemli bir etkidir.

Kriterlerin belirlenmesi: Biyokütle tesisi için uygun alanların tespit edilebilmesi için; bu işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılması gereken birtakım kriterler

bulunmaktadır. Bu kriterler çalışmaların amaçlarına göre değişiklik gösterebilir ve CBS bazlı çalışmalarda kısa zaman aralıklarında güncellenebilir.

Veritabanı oluşturulması: Veri tabanı oluşturulması süreci, kriterlerin belirlenmesi sonrasında gerçekleştirilen bir işlemdir. Bu evrede, kriterleri ifade eden bilgiler, açık kaynak veritabanlarından herhangi bir koşul gerektirmeden temin edilebileceği gibi, kurum ve kuruluşlardan izin alınarak veya satın alınarak, yerinde ölçümlerle toplanarak veya mevcut diğer kaynaklardan türetilerek elde edilebilir. Veri tabanı oluşturulması aşaması, verilerin bu çeşitliliği nedeniyle, bu tür çalışmaların periyotlarının en yoğun kısmını temsil etmektedir.

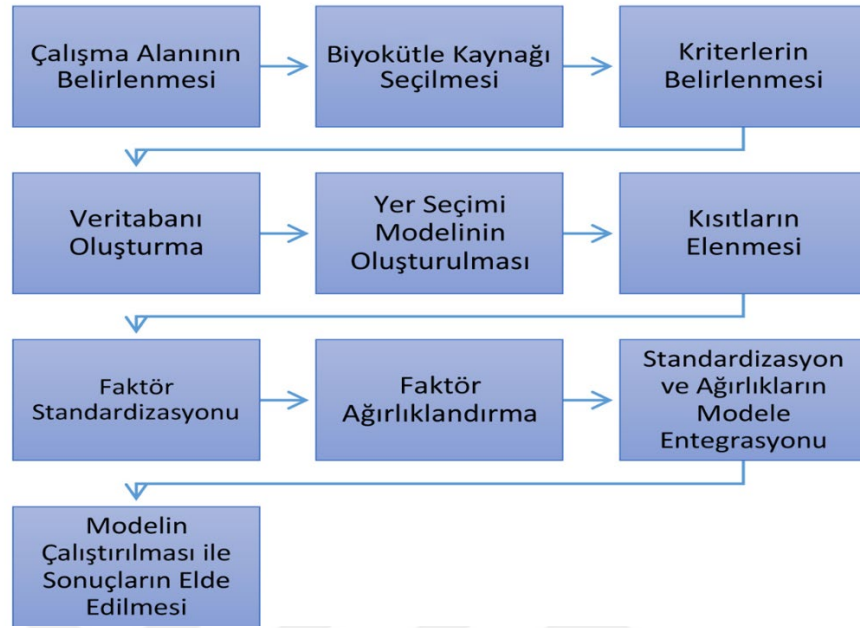
Yer seçimi modelinin oluşturulması: Bu evrede, çalışmada kullanılacak modelin seçimi gerçekleştirilir. Bu aşamada tercih edilen CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı model, çalışmanın sonucunu etkileyen en kritik faktörlerden biridir. Günümüzde birçok yer seçimi çalışmasında CBS tabanlı birçok modelin kullanımı yaygın olarak görülmektedir.

Uygun olmayan kriterlerle çalışma sahasının kısıtlanması: Uygun biyokütle tesis alanının tespit edilmesi için ilk adım, biyokütle tesisi kurulmasına uygun olmayan alanların saptanması ve bu alanları tüm araziden çıkarılmasıdır. Bu aşamada, eğer varsa, yer seçimi için uygun olmayan bu kısıtlamalar çalışma alanından çıkarılır.

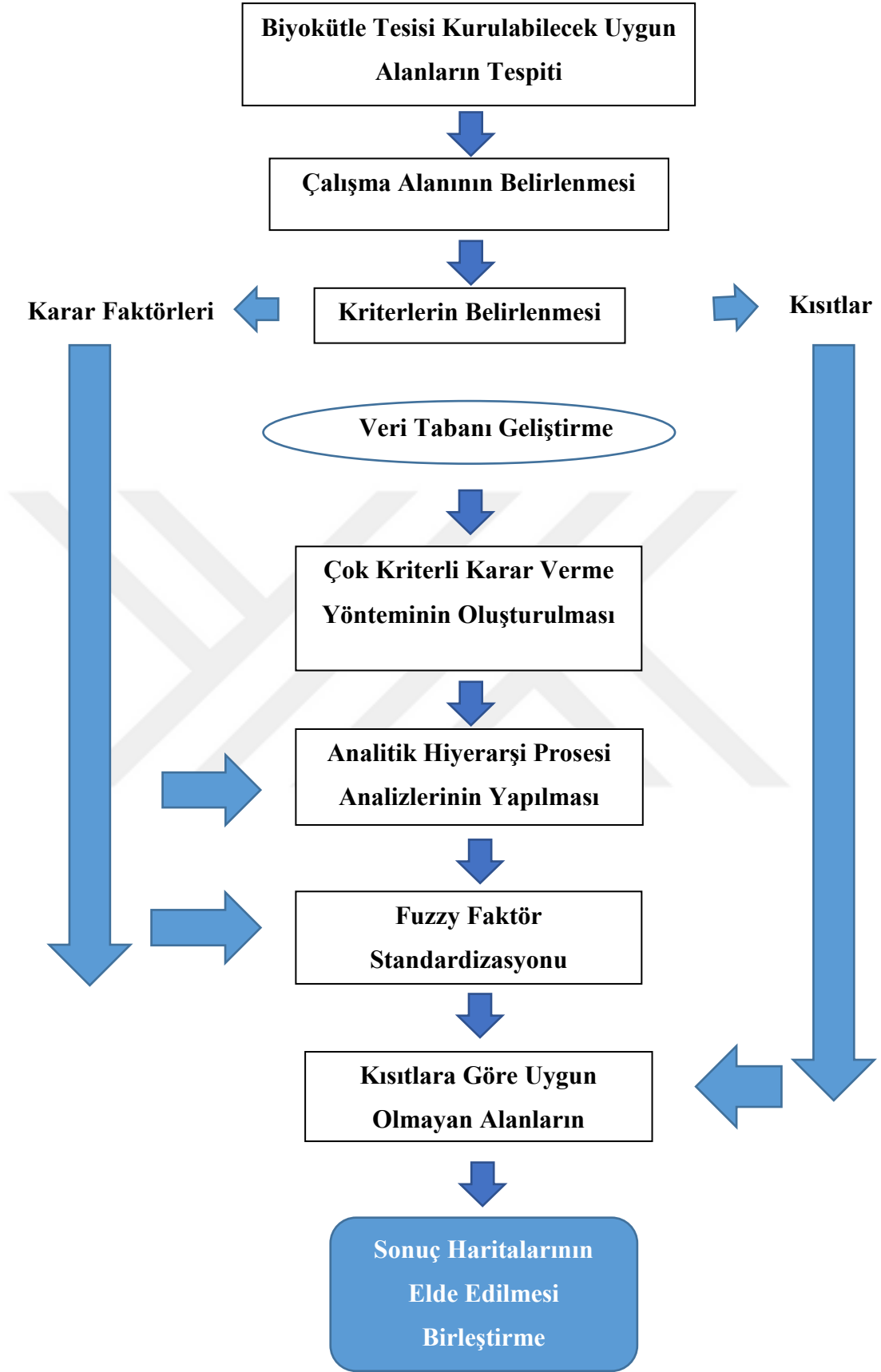
Faktör standardizasyonu: Bazı veriler, Biyokütle Tesisi için uygun değer aralıklarına sahip olabilir (faktörler). Faktör standardizasyonu, faktörün içerdiği tüm değerlerden çalışma için uygun olan aralığı ayırmayı amaçlayan bir süreçtir. Standardizasyon için farklı mantıksal yöntemler kullanılabilir; bu yöntemler klasik mantık veya bulanık mantık gibi farklı yaklaşımları içerebilir.

Faktör ağırlıklandırma: Faktör verilerinin önem derecelerinin belirlenmesi aşaması, çalışmadan çalışmaya farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanabilir. Bu yöntemler arasında AHP, ANP (Analitik Ağ Prosesi) gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler, faktörlerin göreceli önemini belirlemek ve hangi faktörlerin daha etkili olduğunu anlamak için kullanılır. Her bir yöntemin çalışma bağlamına ve hedeflere göre tercih edilmesi mümkündür. Faktörlerin ağırlıklarının doğru bir şekilde belirlenmesi, karar verme sürecinin başarısı için önemlidir.

Burada anlatılan tüm aşamalar Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Ayrıca akım şeması da Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Yer seçimi basamakları.



Şekil 3.2. Akım şeması.

3.1 Çalışma Alanı

Denizli, Türkiye'nin Güneybatısında Ege Bölgesi'nde konumlanmış bir şehirdir ve antik çağlardan bu yana süregelen bir yerleşim ve medeniyet merkezi olmuştur (Şekil 3.3). Denizli şehir merkezine yakın turistik mekanlar olan Pamukkale (Hierapolis) ve Laodikya, eski zamanlarda kullanılan yerleşim alanları olarak tanınır.



Şekil 3.3. Denizli'nin coğrafi konumu.

1428 yılında Osmanlı egemenliğine giren Denizli, 1883'e kadar İzmir'e bağlı bir sancakken, 1910 yılında bağımsız bir sancak haline gelmiş, 1923'te ise il statüsü kazanarak günümüzdeki idari yapısına ulaşmıştır.

Denizli, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin kesiştiği noktada bulunur ve bu üç bölgenin iklimsel ve ekolojik özelliklerini yansıtır. Şehrin tarımsal arazileri, Aşağı Menderes Havzası'ndaki Sarayköy ilçesinde 130 metre yükseklikten başlayıp, Çameli ilçesinde 1700 metreye kadar çıkar, bu durum ürün çeşitliliğine katkıda bulunur. Şehir merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 354 metredir ve en yüksek noktası, 2571 metre ile Honaz Dağı'dır.

Denizli'nin öne çıkan ovaları Baklan Ovası, Hambat Ovası, Merkez-Sarayköy Ovası, Acıpayam Ovası, Tavas Ovası ve Medele Ovası'dır. Ortalama yağış miktarı yılda 557 mm'dir. Denizli İline ait arazi dağılımı Çizelge 3.1 'de verilmiştir [164].

Çizelge 3.1. Denizli ili arazi dağılımı.

Arazi Cinsi	Miktarı (ha)	% Oranı
Tarım Arazisi	376738	31
Çayır Mera Arazisi	21640	2
Orman ve Fundalık Arazi	588672	49
Tarım Dışı ve Yerleşim Alanı	226350	18
Toplam	1213400	100

Tarla ürünleri arasında ekim alanlarına göre sıralanan başlıca ürünler hububat, tütün, çerezlik ayçiçeği, yeşil ot olarak kullanılan fiğ ve kekiktir. Sebze üretiminde domates, karpuz, kavun, salatalık ve havuç başı çeker. Meyve üretiminde ise üzüm, elma, zeytin, nar ve şeftali önde gelirken, son yıllarda kiraz üretiminde de önemli bir artış gözlemlenmektedir. Diğer meyve türleri de üretimde yer almaktadır.

Denizli'de merkez ilçeler de dahil olmak üzere toplam 19 ilçe bulunur ve şehrin toplam nüfusu 1018735 kişidir (Çizelge 3.2) [164].

Çizelge 3.2. Denizli ilçe ve nüfusları.

İlçeler	Toplam
Acıpayam	55384
Babadağ	6495
Baklan	5532
Bekilli	6824
Beyağaç	6549
Bozkurt	12736
Buldan	27248
Çal	19254
Çameli	18111
Çardak	8673
Çivril	60503
Güney	9896
Honaz	33456
Kale	20262
Merkezefendi	295699
Sarayköy	30462
Pamukkale	343290
Serinhisar	14488
Tavas	43873
Toplam	1018735

3.2 Yer Seçimi Kriterlerinin Belirlenmesi

Yapılan çalışma kapsamında; biyogaz tesisi için uygun yer seçiminde kullanılacak kriterlerin belirlenmesinde; mevcut literatür, yasal düzenlemeler, teknolojik, ekonomik ve sosyal açıdan kısıtlamalar ve verilerin mevcudiyeti etkili olmuştur. Bunu yanı sıra Denizli ilinin coğrafi konumu, antropojenik ve jeopolitik durumu ve çevresel faktörleri de dikkate alınarak aşağıdaki kriterler belirlenmiştir. Kriterlerden bazıları karar faktörleri kategorisinde kabul edilerek, faktör standardizasyonu işlemi dahilinde uygun aralıkları ile birlikte değerlendirilmiştir. Kriterlerden bazıları ise kısıt olarak kabul edilerek uygunluk haritasından elenerek çıkartılmıştır.

Kriterler (Kısıtlar ve Faktörler);

- Hammadde mevcudiyeti
- Anayola uzaklık
- Trafo merkezlerine uzaklık
- Eğim
- Tarım alanları
- Orman alanları
- Askeri alanlar, havalimanları
- Üniversite alanları, spor alanları
- Kent içi yeşil alanlar
- Sit Alanları, doğal koruma alanları, ulusal parklar, sulak alanlar, sazlık ve tuzla alanları
- Endüstriyel bölgeler (sanayi alanları, lojistik alanları, serbest bölgeler, organize sanayi bölgeleri gibi)
- Turizm alanları, plajlar, kumullar
- Yerleşim alanları
- Irmaklar ve yüzey suları
- Yollar

Tarım alanları: Özellikle de gıda tarımı yapılacak alanların enerji hammaddesi eldesi için kullanılmasının kısıtlanması, arazi kullanımının iyi değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple tarım alanları elenmesi gereken kısıtlardan biri sayılabilir.

Orman alanları: Orman alanlarını korumak adına bu alanlar da önemli bir kısıt olarak, söz konusu uygunluk haritasından çıkarılmalıdır.

Askeri alanlar, havalimanları, üniversite alanları, spor alanları: Kurum/kuruluşlara ait veya kamuya açık etkinlik alanlarının neredeyse tümü, tesislerin yer seçimi çalışmalarında elenebileceği söylenebilir.

Kent içi yeşil alanlar: Bu bölgeler, kentlerin genişlemesiyle yok olmaya başlamıştır. Bu sebeple bu alanların korunması gerekmektedir.

Sit alanları, doğal koruma alanları, ulusal parklar, sulak alanlar, sazlık ve tuzla alanları: Alandan direkt elenmesi gereken kısıtlardır. Bu alanlar için düşünülmesi gereken,

kültürel miraslara ve önemli ölçüde geniş biyoçeşitliliğe sahip doğal yaşama saygı duyulmasıdır.

Endüstriyel bölgeler (sanayi alanları, lojistik alanları, serbest bölgeler, organize sanayi bölgeleri gibi): Biyokütle tesisi için alandan elenmeleri gerekir.

Turizm alanları, plajlar, kumullar: Bu alanlar da giderek büyüyen yerleşim alanlarından etkilendikleri için bu tip çalışmalarda direkt kısıtlanmalıdır.

Yerleşim alanları: Bu alanlar etrafında tampon oluşturulacak şekilde kısıtlanmalıdır. Tampon oluşumunun nedenlerinden biri de yerleşim alanlarının gün geçtikçe genişlemesidir. Tampon oluşturulması ile gelecekte oluşabilecek yerleşim bölgesi genişlemelerine karşı hazırlıklı olunabilir. Ayrıca söz konusu biyokütle tesisinin hammaddesi hayvansal biyokütle olduğu için etrafa kötü koku yayılması söz konusu olabilir. Bu sebeple de etrafında tampon bölge oluşturulması daha uygun olacaktır.

Irmaklar ve yüzey suları: Su kaynaklarını korumak adına etrafında tampon oluşturularak kısıtlanabilir.

Yollar: Farklı yer seçimi çalışmalarında farklı şekilde muamele görebilir. Yolların da etrafına tampon bölge konulabilir. Ancak bu ulaşılabilirliğin engellenmemesi açısından da fazla geniş tutulmamalıdır.

Dikkate alınması gereken husus, bu kriterlerin yukarıda da bahsedildiği üzere çalışmaların özelliklerine göre farklı değerler alabileceğidir. Yukarıda açıklaması yapılan kriterler kısıtlar (eleyici faktörler) olarak belirlenmiş, biyogaz tesisi yer seçiminde, haritalardaki belirlenen bu kısıtlara ait konumsal haritalardaki yerler biyokütle tesisi kurulumuna uygun olmadığı için söz konusu haritalardan çıkartılmıştır.

Burada bahsedilen verilerin uygunlukları veya bahsedilen tampon bölgelerin büyüklükleri çalışmadan çalışmaya değişebilir. Bu sebeple her çalışma için amaçlara göre güncelleme ve yeniden değerlendirme yapılmalıdır.

Aşağıda maddelenmiş kriterler ise karar faktörleri kategorisinde değerlendirilip, uzman görüşüne başvurularak karar matrisleri oluşturulmuştur. Daha sonra Fuzzy bulanık mantık kapsamında kriter aralıkları belirlenerek, uygunluk haritaları elde edilmiştir.

- Eğitim
- Hammadde mevcudiyeti,
- Anayola uzaklık,
- Trafo merkezlerine uzaklık

Eğitim: Eğimi yüksek kesimlerde biyokütle tesisi kurulamayacağından dolayı %15'in altında kalan yerler uygun olarak görülmüş, %15'den yüksek eğimli olan yerler tesis kurulumu için uygun görülmemiştir.

Hammadde mevcudiyeti: Kurulması planlanacak biyokütle tesisinin hammaddeye yakın olması tesisin sürekliliğinin sağlanması için önemli bir faktördür.

Anayola uzaklık: Biyokütle tesisine gelecek hammaddenin lojistik durumu ve taşıma kolaylığı açısından anayola yakın olması uygulanabilirlik açısından hayati önem taşımaktadır.

Trafo merkezlerine uzaklık: Biyokütle üretilen enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi söz konusu olduğunda, trafo merkezlerine yakın olması, işletmenin işleyişi bakımından önem arz etmektedir.

Yukarıda belirlenen karar faktörlerinin birbirlerine göre önem derecelendirilmesi karar matrisleri oluşturularak yapılmıştır. Bunun için alanında uzman 5 kişiye anket uygulanmıştır.

3.3 Veritabanının Oluşturulması

Yapılan çalışma kapsamında veri tabanı oluşturmak çalışmanın en önemli basamaklarından biridir. Kullanılan ArcGIS programına hem sayısal hem de coğrafi veriler eklenerek bir veri tabanı oluşturulmuştur. Öncelikle elde edilen hayvan sayıları mahalle bazlı olarak programa eklenerek öncelikle bir yoğunluk haritası elde edilmiş, ardından çalışma kapsamında kullanılacak olan altlık haritalar oluşturularak sisteme

eklenmiştir. Ardından elde edilen tüm kriterlere ait coğrafi veriler ArcGIS programı üzerinde çakıştırma işlemi yapılarak nihai harita elde edilmiştir.

3.3.1 Veri temini

Denizli İline ait hayvansal biyokütle hesaplaması için Denizli ilindeki büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanı sayılarına ilişkin tüm veriler Denizli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çizelge 3.3'teki rakamlar yıllara göre hayvan dağılımını gösteren TÜİK'e ait rakamlardır [1]. Fakat çalışma kapsamında Denizli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü'nden 2019 yılına ait mahalle bazlı hayvan sayıları alınmıştır. CBS'de konumsal veriler aracılığı ile haritalama yapılacağı için Denizli iline ait mahalle bazlı verilere sistemlerden tek tek ulaşılarak Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Denizli ili hayvan mevcutları.

Cinsi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Sığır	243163	264099	293034	293655	307093	295800	274864
Koyun	426253	424007	503568	506682	539305	569909	560793
Keçi	179485	192808	200186	192620	201358	169145	180171
Tavuk	5298750	5280330	5768885	5588946	5660385	6145184	6230343

Çizelge 3.4, Denizli ilindeki farklı mahallelerdeki kümes hayvanı popülasyonuna ilişkin veriler sunmaktadır. Kanatlı hayvan popülasyonunu dört farklı türe ayırmaktadır: Köy Kümes Hayvanları, Açık Tabakalı Tavuklar, Kapalı Tabakalı Tavuklar ve Kapalı Kümes Tavukları.

Çizelge 3.4. Denizli ili mahalle bazlı kanatlı sayısı.

	Mahalle	Köy Kanatlı	Açık Yumurtacı Tavuk Sayısı	Kapalı Yumurtacı Tavuk Sayısı	Kapalı Etlik Tavuk Sayısı
1	ACIDERE	269	-	-	-
2	ACIPAYAM MERKEZ	2731	-	-	-
3	ACISU	91	-	-	-
4	ADA	299	-	-	-
5	ADAMHARMANI	350	-	-	-
6	ADIGÜZELLER	28	-	-	-
7	AFŞAR	1336	-	-	-
8	AHILLI	48	--	-	-
9	AHMETLİ	306	-	-	-
10	AKALAN	2128	-	90000	-
12	AKBAŞ	811	-	-	--
13	AKÇAKÖY	190	-	-	102000
14			-	-	-
457	ZÜMRÜT	141	-	-	-

Çizelge 3.4’te görüldüğü gibi toplam 457 mahalleden bazılarında köyde yetişen kanatlı veya yumurta için yetiştirilen tavuk, bazı mahallelerde ise et için yetiştirilen tavuk olduğu görülmektedir [165]. 448 mahallede köyde yetişen kanatlı mevcutken, bu alanda en fazla tavuk sayısı 12000 adet ile il merkezi olmuştur. 25 mahallede açık alanda yumurta için tavuk yetiştirildiği görülmektedir. Girne Mahallesi 10000 tavuk sayısı ile en fazla açık alanda yumurta için tavuk yetiştirilen yer olmuştur. Kapalı alanda yumurta üretilen tavuk sayısı konusunda toplam 8 mahalleden Kocabaş Mahallesi 1289936 tavuk ile en çok kapalı alanda yumurta üreten tavuk sayısına sahip mahalle olmuştur. Son olarak 39 mahallede kapalı etlik tavuk bulunmaktadır. Bu alanda en fazla tavuk sayısı 445000 ile Karayahşiler Mahallesi’ndedir.

Denizli ilinde büyükbaş hayvan çeşidi olarak sığır ve manda yetiştirildiği görülmektedir. Çizelge 3.5'te belirtildiği gibi Denizli ilinde 594 mahallede bulunmaktadır. Toplam 576 mahallede sığır veya manda olarak büyükbaş hayvan yetiştirildiği belirlenmiştir [165]. En fazla büyükbaş hayvan bulunan mahalle Uçarı Mahallesi'dir. Ayrıca Denizli ilinde sadece 11 mahallede manda yetiştiriciliği yapılmaktadır. Manda yetiştiriciliği alanında Emirhisar Mahallesi 87 adet manda ile en çok sayı ile başı çekmektedir. Sığır yetiştiriciliğinin 17 mahallede yapılmadığı görülmektedir. En çok sığır yetiştirilen mahalleler arasında Uçarı Mahallesi 12139 sığır, il merkezi 8657 sığır, Kırılan Mahallesi 5671 sığır ve Gemiş Mahallesi 5406 sığır ile ön sıralarda yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Denizli ili mahalle bazlı büyükbaş sayıları.

	MAHALLE	Sığır	Manda	Büyükbaş
1	1200 EVLER	0	0	0
2	ACIDERE	49	0	49
3	ACISU	18	0	18
4	ADA	975	0	975
5	ADAMHARMANI	201	0	201
6	ADIGÜZELLER	24	0	24
7	AHILLI	363	0	363
8	AHMETLİ	656	0	656
9	AKALAN	2044	0	2044
10	AKALAN-ALİGÖZ	247	3	250
11	AKBAŞ	288	0	288
12	AKÇAKÖY	221	0	221
13	AKÇAPINAR	77	0	77
14	AKÇEŞME	32	0	32
				
594	ZÜMRÜT	2	0	2

Denizli ilindeki toplam 594 mahalleden, 534 mahallede koyun ve keçi olmak üzere küçükbaş hayvan yetiştiriciliği yapılmaktadır (Çizelge 3.6) [165]. Koyun yetiştiriciliğinin 77 mahallede yapılmadığı görülmektedir. Koyun yetiştiriciliğinin en fazla olduğu yer 22475 koyun sayısı ile il merkezi olduğu görülmektedir. Keçi yetiştiriciliğinin 145 mahallede yapılmadığı görülmektedir. Keçi yetiştiriciliğinin en fazla olduğu yer 7881 keçi sayısı ile yine il merkezi olduğu görülmektedir. Bayıralan Mahallesi, Özdemirci Mahallesi ve il merkezi en çok küçükbaş yetiştiriciliği yapılan yerler olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.6. Denizli ili mahalle bazlı küçükbaş hayvan sayıları.

	MAHALLE	Koyun	Keçi	Küçükbaş
1	1200 EVLER	391	194	585
2	ACIDERE	160	6	166
3	ACISU	778	67	845
4	ADA	209	3	212
5	ADAMHARMANI	217	16	233
6	ADIGÜZELLER	27	109	136
7	AHILLI	299	278	577
8	AHMETLİ	181	10	191
9	AKALAN	4742	1413	6155
10	AKALAN-ALİGÖZ	858	102	960
11	AKBAŞ	2344	3279	5623
12	AKÇAKÖY	678	0	678
13	AKÇAPINAR	0	0	0
14	AKÇEŞME	189	2	191
				
594	ZÜMRÜT	18	0	18

Yukarıda verilen büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları dikkate alınarak hayvansal biyokütle hesabı yapılmıştır. Bu aşamada biyokütle potansiyel hesabı yapılırken referans alınan katsayılar aşağıdaki çizelgede verilmiştir [166-170].

Atık miktarı hesaplaması yapılırken, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de sunulan verilerden faydalanılmıştır [166-170]. Hesaplama sırasında; büyükbaş hayvanların canlı ağırlığı 450 kg, küçükbaş hayvanların 50 kg ve tavukların 2 kg olarak alınmıştır. Büyükbaş hayvanlardan günlük olarak 10-20 kg arası yaş atık elde edilebileceği gibi, canlı ağırlığın %5-6'sı da günlük atık miktarına esas alınabilir. Koyun ve keçiler için ise günlük 2 kg yaş atık üretimi ya da canlı ağırlığın %4-5'i oranında günlük atık üretimi kabul edilebilir. Tavuklarda ise günlük atık üretimi yaklaşık 0,08-0,1 kg olarak veya canlı ağırlığın %3-4'ü olarak hesaplanabilir [171].

Çizelge 3.7. Hayvan cinslerine göre atık özellikleri ve biyogaz verimleri.

Hayvan Cinsi	Canlı Ağırlık (kg)	Taze atık Miktarı		TK (%)	UK (%)	Kullanılabilirlik	Biyogaz Verimi l/kgUK
		Ağırlığın Yüzdesi	kg/gün			Ahırda kalma süresi (%)	
Büyükbaş	135-800	5-6	10-20	5-25	75-85	Süt 65 Et 25	200-350
Küçükbaş	30-75	4-5	2	30	20	13	100-310
Kümes Yumurta Et	1,5-2	3-4	0,08-0,1	10-35 50-90	70-75 60-80	99	310-620 550-650

Hayvan cinslerine bağlı elde edilebilecek atık miktarları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Hayvan cinsine bağlı olarak elde edilebilecek atık miktarları.

Hayvan cinsi	Taze atık üretimi (kg/gün.hayvan)	Katı madde oranı (%)	Katı madde atık üretimi (kgKM/gün.hayvan)	Elde edilebilirlik	Toplam elde edilebilir KM atık miktarı (kg/gün.hayvan)
Büyükbaş	27	15	4,05	0,5	2,025
Küçükbaş	2,5	30	0,75	0,13	0,0975
Kümes	0,1	35	0,035	0,99	0,035

İl ilçe sınırları için Harita Genel Müdürlüğü'nün sitesinden yararlanılmıştır [172]. Tüm Türkiye haritası üzerinden Denizli ili için ArcGIS yazılımında geoprocessing

www.earthexplorer.usgs.gov sitesinden data set-digital elevation-SRTM-SRTM 1-Arc Second Global adımları sırasıyla takip edilerek Denizli iline ait DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) verileri SRTM olarak indirilmiştir. Daha sonra ArcGIS üzerinde işlemler yapılarak eğim haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.4) [173].

www.openstreetmap.org sitesinden dışa aktar kısmı seçilerek, geofabrik indirmeler kısmından europe kısmından Türkiye'ye ait yollar, akarsular, göller, kentsel yeşil alanlar ile ilgili veriler mevcuttur. Denizli ile ilgili veriler ArcGIS yazılımı aracılığı ile kesilerek çalışma için uygun hale getirilmiştir [174].

DENİZLİ İLİ EĞİM HARİTASI

GÖSTERİM

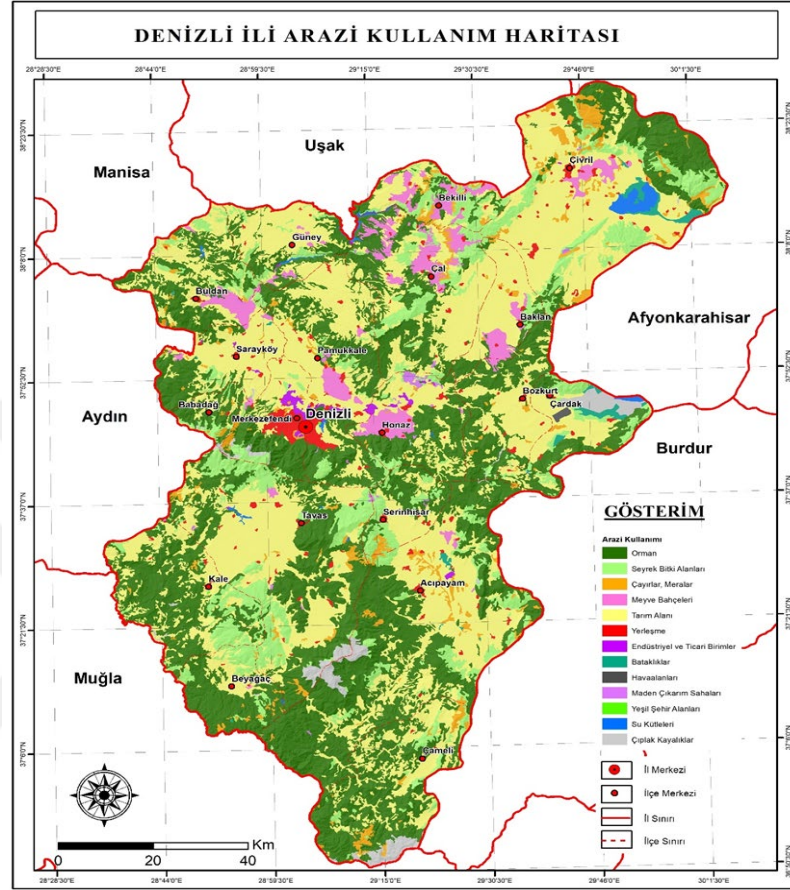
Eğim %	41 +	31 - 40	21 - 30	11 - 20	5,1 - 10	41+
Eyyükselti eğrisi	Elevation contour line					
İl Merkezi	Provincial Capital					
İlçe Merkezi	District Capital					
İl Sınırı	Provincial Boundary					
İlçe Sınırı	District Boundary					
Göl, Baraj	Lake, Dam					
Akarsular	Rivers					

Scale: 0, 20, 40 Km

Compass Rose

76

Aşağıdaki haritaya bakıldığında, koyu yeşil ile gösterilen yerler ormanlık alanları, sarı ile gösterilen yerler ise tarım alanlarını temsil etmektedir. İl geneline bakıldığında en fazla alanı tarım ve orman alanları kapladığı görülmektedir (Şekil 3.5).

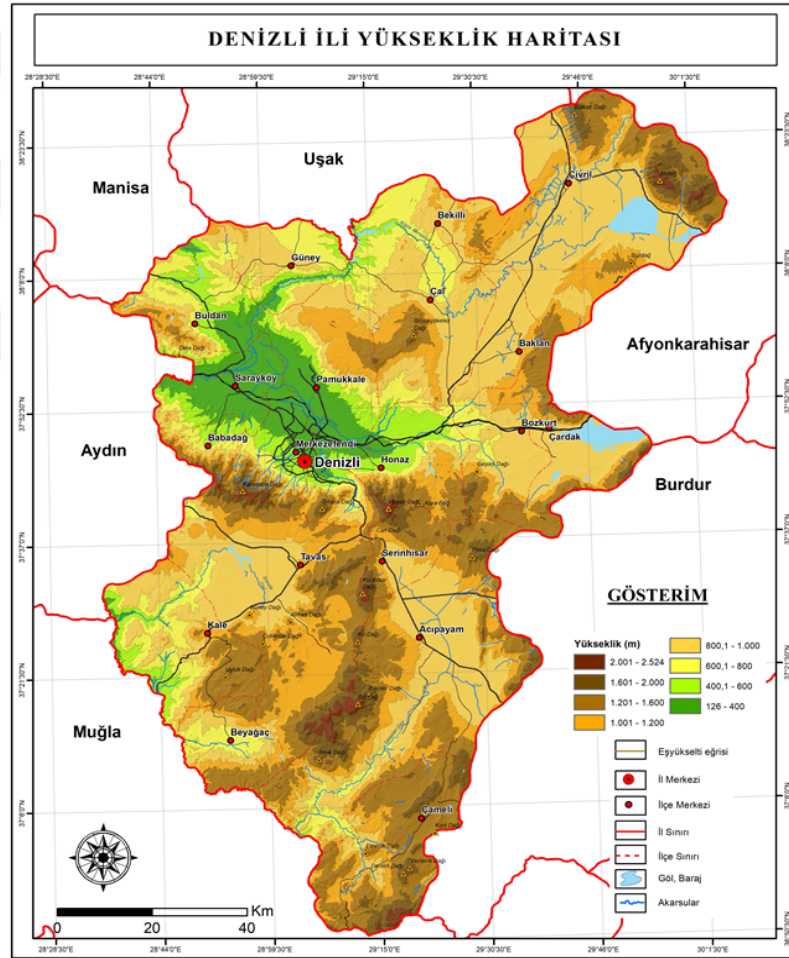


Şekil 3.5. Denizli iline ait arazi kullanım haritası.

Kırmızı ile gösterilen yer şehir merkezi, açık yeşil ile gösterilen yerler ise seyrek bitki alanlarıdır. Haritaya bakıldığında göze çarpan pembe renkli yerler ise meyve bahçeleridir. Denizli meyve yetiştiriciliği konusunda geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Örneğin haritadaki pembe rengin yoğun olduğu ilçeler arasından, Honaz ilçesinde kiraz bahçeleri, Çal ve Bekilli ilçelerinde üzüm bahçeleri, Çivril’de elma ve şeftali bahçeleri, Buldan’da çilek bahçeleri mevcuttur. Haritada gri renk ile gösterilen alan Çardak’taki 1 adet havalimanının bulunduğu bölgedir. Mavi renk ile gösterilen su kütlelerinden en büyüğü Çivril ilçesinde bulunan Işıklı Gölü ve Çardak’ta bulunan Acıgöl’dür. Doğal göl sataüsünde olan bu gölleri Buldan’da Süleymaniye Gölü, Beyağaç’ta Kartal Gölü, Bozkurt’ta Karagöl, Beylerli’de Çaltı Gölü takip etmektedir. Merkezde Gökpınar Gölü, Güney’de Uşak ili ile sınırimızda bulunan Adıgüzel Gölü,

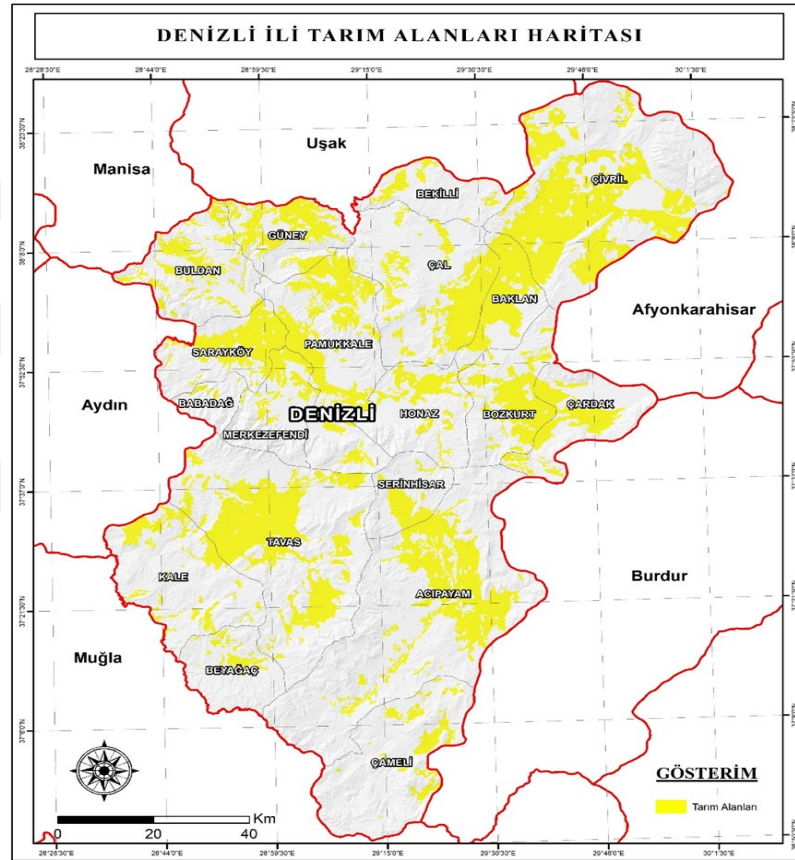
Buldan Derbent Gölü, Tavas'ta bulunan Yenidere Gölü de bölgeye ait başlıca baraj gölleridir.

Şekil 3.6'da gösterilen Denizli iline ait yükseklik haritası, öncelikle DEM verileri elde edilerek hazırlanmıştır. Eğim haritası için izlenen adımlar takip edilerek DEM verisi üzerinden yükseklik haritası hazırlanmıştır. Haritada görüldüğü üzere şehir merkezi ilin yükselti olarak en alçak yerine kurulmuştur. Yeşil renk ile gösterilen alan yükseltisi en az olan yerleri temsil etmektedir. Kahverengi olan alanlar yükseltisi fazla olan dağlık kesimlerdir. Yükselti bakımından hem alçak hem de yüksek arazilerin varlığı ürün çeşitliliğini sağlamaktadır.



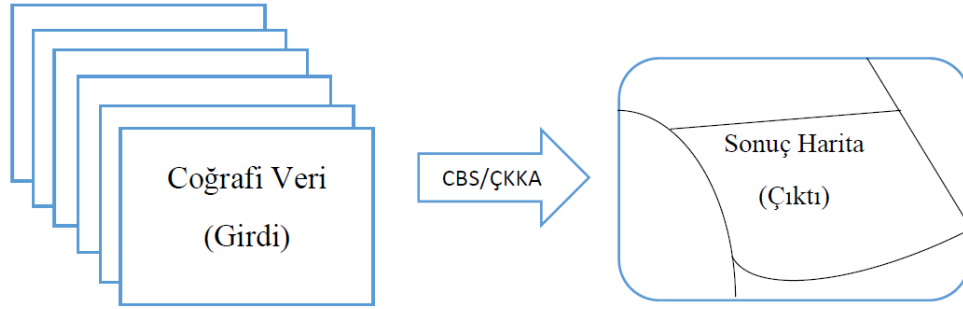
Şekil 3.6. Denizli iline ait yükseklik haritası.

Şekil 3.7’de Denizli iline ait tarım alanları haritası verilmiştir. Şekil 3.8’de orman alanları haritası 2018 yılına ait CORINE arazi sınıfı verilerinden elde edilmiştir. Şekillere bakıldığında Denizli ilinin büyük bir çoğunluğu orman arazileri ile kaplıdır. Orman arazisi olmayan yerlerin çoğunluğu ise tarım arazisi olarak görülmektedir. Şekil 3.6’ ya bakıldığında bu durumun dağlık arazi bulunan yerlerin daha çok orman alanı olduğu görülmektedir. Orman alanı olmayan yerlerin daha çok tarım arazisi olarak değerlendirildiği görülmektedir.



Şekil 3.7. Denizli iline ait tarım alanları haritası.

güçlendirilmesi amacıyla CBS destekli ÇKKV, birçok mekansal sorunun çözümüne katkıda bulunabilir [176]. Her ÇKKV probleminin üç temel elemanı bulunur: kriterler, bu kriterler için belirlenen uygunluk aralıkları ve her bir kriterin göreceli önemini ifade eden ağırlıklar (Şekil 3.9) [177].



Şekil 3.9. ÇKKV yöntemi ve CBS ilişkisi.

Tüm bu özellikleri içeren sağlıklı bir karar verme süreci, aşağıdaki adımları içerecek şekilde yapılandırılmalıdır:

- Yer seçimi alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi;
- Kriterlerin uygunluk aralıklarına göre standardizasyonu;
- Hiyerarşi matrislerinin oluşturulması ve kriterlerin ağırlıklarının (önem derecelerinin) hesaplanması;
- Alternatiflerin değerlendirilmesi ve yer seçimi önerisinde bulunulması.

3.4.1 Saha uygunluk analizi

Tez kapsamında kısıtlar (eleyici faktörler) aşağıdaki maddelerde belirlenmiştir. Biyokütle tesisi yer seçiminde, belirlenen bu kısıtlara ait tematik haritalardaki yerler uygun olmadığı için söz konusu haritalardan çıkartılmıştır.

Kriterler; (Kısıtlar ve Faktörler)

- Hammadde mevcudiyeti
- Anayola uzaklık
- Trafo merkezlerine uzaklık
- Eğim

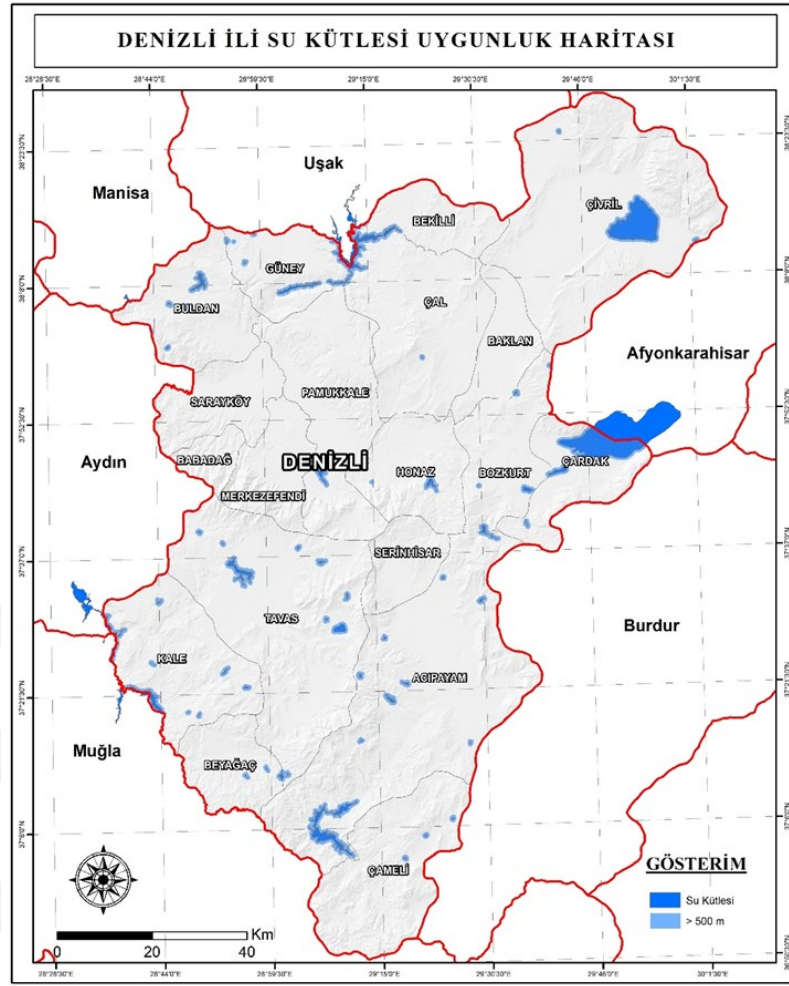
- Tarım alanları
- Orman alanları
- Askeri alanlar, havalimanları
- Üniversite alanları, spor alanları
- Kent içi yeşil alanlar
- Ulusal parklar, sulak alanlar, sazlık ve tuzla alanları, sit alanları, doğal koruma alanları
- Sit alanları, doğal koruma alanları, ulusal parklar, sulak alanlar, sazlık ve tuzla alanları
- Endüstriyel bölgeler (sanayi alanları, lojistik alanları, serbest bölgeler, organize sanayi bölgeleri gibi)
- Turizm alanları, plajlar, kumullar

Tamponlama yapılacak kısıtlar;

- Irmaklar ve yüzey suları (>500m)
- Yollar (>100m)
- Yerleşim alanları (>600m)

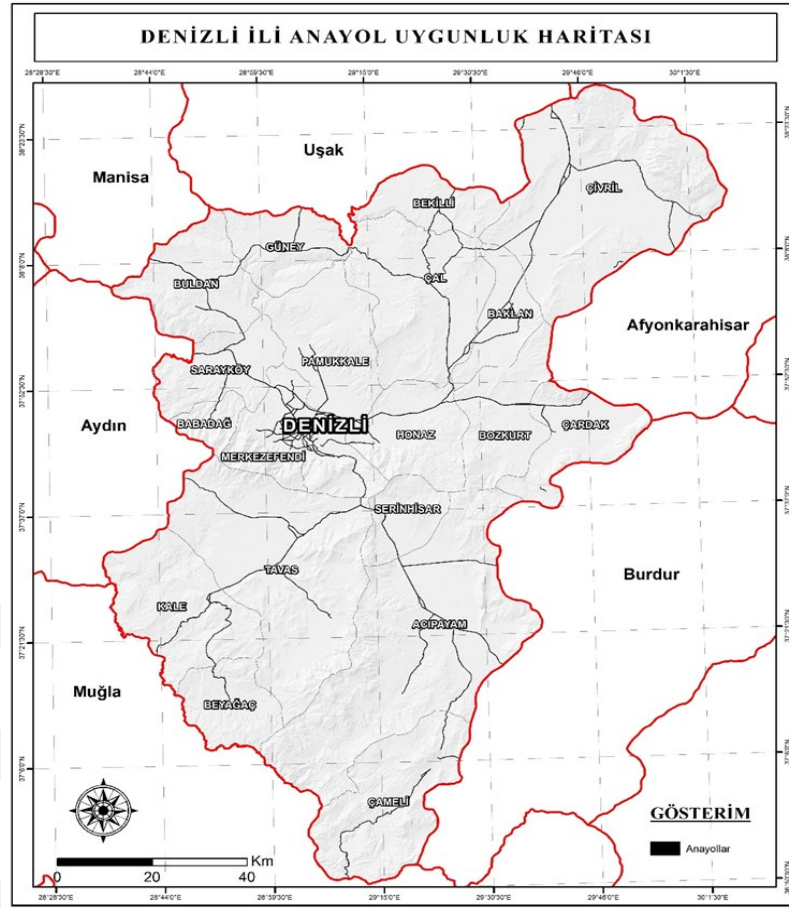
Verilen kısıtlara göre yapılan tamponlamalar, çevresel koruma, planlama ve CBS gibi birçok alanda önemli bir analiz yöntemidir. Irmaklar ve yüzey suları için belirtilen tamponlar, su kaynaklarını koruma amacı güder. Bu alanlar suyun kalitesini ve ekosistem sağlığını korumaya yönelik önemli bir rol oynar. Kirlilik kaynaklarından korunma ve erozyon kontrolü için bu tamponlar kullanılabilir. Bu tamponlar, CBS analizlerinde kullanılırken, coğrafi verileri işlerken, özellikle yüzey suları, ulaşım ve yerleşim alanları ile ilişkili analizlerde kullanılırlar. Tamponlama işlemi, kısıtların belirli bir mesafesini çizerek çevresel, planlama ve analitik amaçlar için kullanışlı bilgiler üretir. Bu, doğal kaynakların korunması, çevresel sürdürülebilirlik ve planlama süreçlerinin iyileştirilmesi gibi bir dizi önemli uygulama alanına sahiptir.

Denizli ili su kütlesi ve tamponlanmış halinin gösterimi Şekil 3.10'da verilmektedir. Tamponlama yapılacak olan alanlardan su kütleleri için belirlenen mesafe 500 m'dir. Aşağıdaki haritada hem su kaynakları hem de 500 metre tamponlanmış hali verilmiştir.



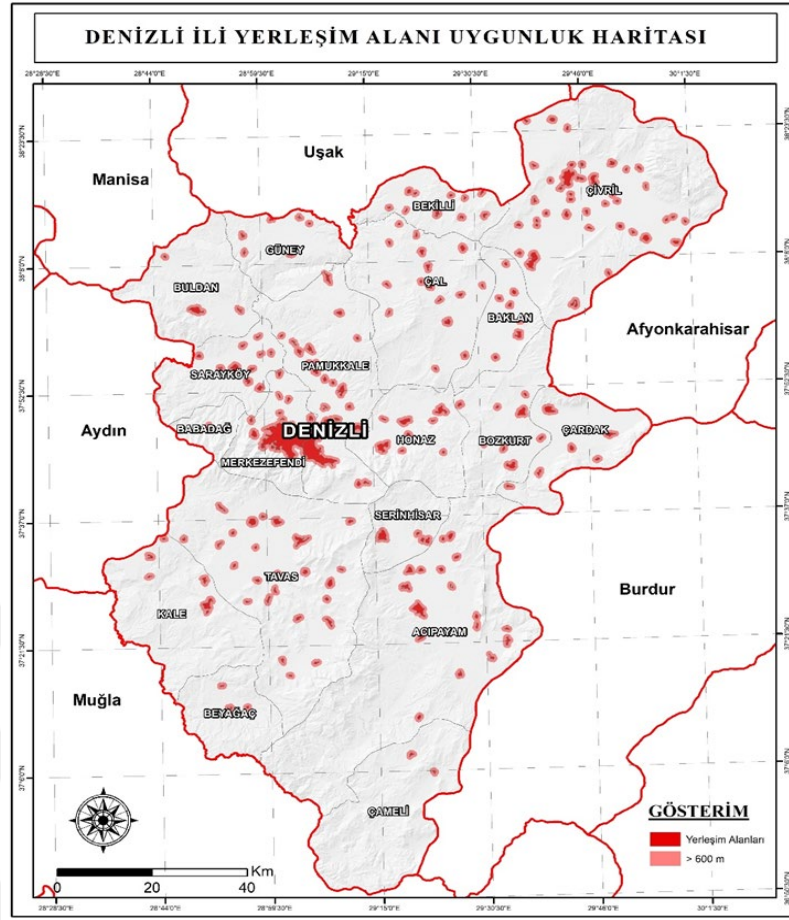
Şekil 3.10. Denizli ili su kütlesi ve tamponlanmış halinin gösterimi.

Denizli ili anayol haritası ve tamponlanmış halinin gösterimi Şekil 3.11’de verilmektedir. Denizli ili anayol için belirlenen mesafe 100 m’dir. Aşağıdaki haritada yol haritası 100 metre tamponlanmış hali ile verilmiştir.



Şekil 3.11. Denizli ili anayol haritası ve tamponlanmış halinin gösterimi.

Denizli ili yerleşim haritasının tamponlanmış hali Şekil 3.12’de verilmektedir. Tamponlama yapılacak olan alanlardan yerleşim alanı için belirlenen mesafe 600 m’dir. Aşağıdaki haritada hem yerleşim alanı haritası hem de 600 metre tamponlanmış hali ile verilmiştir



Şekil 3.12. Denizli ili yerleşim haritasının tamponlanmış hali.

3.4.2 AHP ile faktör ağırlıklandırma

AHP metodu, CBS içinde kullanılan nitel verilerin karar verme süreçlerinde analiz edilmesine olanak tanır. Bu süreçte uzman yorumları, doğru bir karşılaştırmalı analiz için hayati rol oynar. Tez kapsamında; alanında uzman akademisyen 2 kişi, özel sektörden 1 kişi ve kamu kuruluşundan 2 kişiye anket uygulanmış, anketler AHP yöntemine göre ağırlıkları hesaplanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.9’da karar faktörlerinin ağırlıklarının geometrik ortalaması alınmıştır.

Çizelge 3.9. Karar faktörlerinin ağırlıkları ve geometrik ortalaması.

Karar Faktörleri	1. uzman	2. uzman	3. uzman	4. uzman	5. uzman	Geometrik ortalaması
Anayola Yakınlık	0,09	0,08	0,08	0,08	0,52	0,12
Elektrik Şebekesine Yakınlık	0,14	0,24	0,24	0,24	0,17	0,21
Hammaddeye yakınlık	0,69	0,64	0,64	0,54	0,25	0,52
Eğim	0,07	0,04	0,04	0,14	0,06	0,06

Çalışmanın ilk aşamasında, CBS-tabanlı saha uygunluk analizi ile biyokütle tesisi kurulumu için uygun olmayan alanlar (yerleşim alanları, sanayi bölgeler, vb.) elenerek alternatif sahalar belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise AHP yöntemi ile biyokütle tesisi kurulacak alanların değerlendirilmesinde ele alınacak karar faktörlerinin ağırlıkları (önem dereceleri) belirlenmiştir. Denizli ilinde kurulacak biyogaz tesisi yerinin belirlenmesinde etkin karar faktörleri hammaddeye yakınlık, elektrik şebekesine yakınlık, anayola yakınlık ve eğim olarak belirlenmiştir.

Faktör ağırlıkların hesaplanmasında ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırmalar yapılırken göreceli önem ölçeği kullanılmıştır. Ölçekte; kriterlerin birbirlerine göre önemleri, amaca olan etkilerine göre sözel olarak belirlenmiş, 1-9 aralığındaki sayı değerleri kullanılarak değerlendirilmesi yapılmış ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Bu kapsamda AHP yönteminin uygulanması için uzman görüşlerine ihtiyaç duyulmuştur. Çalışmaya destek vermek amacıyla karar faktörleri için aşağıdaki AHP ikili kıyaslama matrisini aşağıdaki Çizelge 3.10'daki gibidir. AHP ikili kıyaslama matrisinin doldurulması ile ilgili esaslar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.10. AHP kapsamında karar faktörleri matrisi.

KARAR FAKTÖRLERİ	Anayola Yakınlık	Elektrik Şebekesine Yakınlık	Hammaddeye Yakınlık	Eğim
Anayola Yakınlık	1	-	-	-
Elektrik Şebekesine		1	-	-
Hammaddeye Yakınlık			1	-
Eğim				1

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan tez çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamasında Denizli ilinde bulunan hayvan sayılarına göre hayvansal biyokütle potansiyeli hesaplanmıştır. İkinci aşamasında ise elde edilen hayvansal biyokütle potansiyeli verileri ile CBS kullanılarak biyokütle potansiyel haritalaması yapılmıştır. Bu aşamada ÇKKV yöntemlerinden AHP kullanılarak faktörlerin öncelikli ağırlıkları belirlenmiş, ardından Fuzzy yöntemi ile uygun aralıklar belirlenmiştir. Son olarak elde edilen Fuzzy standardize haritalar ile kısıt haritası birleştirilerek nihai harita elde edilmiştir.

4.1 Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Eşdeğeri Hesaplamaları

Katı atık miktarlarını belirlemede katı madde oranları temel alınarak, günlük olarak bir hayvandan elde edilecek olan katı atık miktarı büyükbaş için ortalama 2,02 kg, küçükbaş için 0,098 kg ve kümes hayvanları için 0,035 kg olarak tespit edilmiştir. Bu hesaplamalar kullanılarak, Denizli ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyeli değerleri hesaplanmıştır.

Atık ile ilgili değerler;

Büyükbaş hayvan $307034 \times 27 \times 365 / 1000 = 3025820$ ton/yıl yaş atık,

Küçükbaş hayvan $740663 \times 2,5 \times 365 / 1000 = 675855$ ton/yıl yaş atık,

Kanatlı hayvan $5660385 \times 0,10 \times 365 / 1000 = 206604$ ton/yıl yaş atık olarak belirlenmiştir.

Buna göre elde edilebilir katı atık;

Büyükbaş hayvanlardan $3025820 \times 0,15 \times 0,50 = 226936$ ton.KM/yıl,

Küçükbaş hayvanlardan $675855 \times 0,30 \times 0,13 = 26358$ ton.KM/yıl,

Kanatlı hayvanlardan $206604 \times 0,35 \times 0,99 = 71588$ ton.KM/yıl olmuştur.

Biyogaz ile ilgili değerler;

Hesaplamalarda 1 ton katı hayvansal atıktan elde edilen biyogaz miktarı 200 m^3 ve biyogazın da ısı değeri $22,7 \text{ MJ/m}^3$ olarak kabul edilmiştir [102].

Buna göre Denizli ilinde;

Büyükbaş hayvanlardan $226936 \text{ ton.KM/yıl} \times 200 \text{ m}^3 / \text{ton.KM} = 45387200 \text{ m}^3/\text{yıl}$,

Küçükbaş hayvanlardan $26358 \times 200 \text{ m}^3 / \text{yıl} = 5271600 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Kanatlı hayvanlardan $71588 \times 200 \text{ m}^3/\text{yıl} = 14317600 \text{ m}^3/\text{yıl}$ biyogaz potansiyeli söz konusudur.

Söz konusu biyogazın enerji eşdeğeri;

Büyükbaş hayvanlardan $45387200 * 22,7 = 1030389440$ MJ/kg,

Küçükbaş hayvanlardan $5271600 * 22,7 = 119665320$ MJ/kg,

Kanatlı hayvanlardan $14317600 * 22,7 = 325009520$ MJ/kg'dır.

Biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülerek değerlendirildiğinde; % 40 elektrik % 50 ısı verimi ve %10 kayıp enerjiyle çalışan bir kojenerasyon sistemiyle çalışıldığında;

Büyükbaş hayvanlardan $1030289440 * 1000 / 3600 * 0,4 = 114476604$ kWh,

Küçükbaş hayvanlardan $119665320 * 1000 / 3600 * 0,4 = 13296146$ kWh,

Kanatlı hayvanlardan $325009520 * 1000 / 3600 * 0,4 = 36112169$ kWh elektrik enerjisi ve yine

Büyükbaş hayvanlardan $1030289440 * 1000 / 3600 * 0,5 = 143095755$ kWh,

Küçükbaş hayvanlardan $119665320 * 1000 / 3600 * 0,5 = 16620183$ kWh,

Kanatlı hayvanlardan $325009520 * 1000 / 3600 * 0,5 = 45140211$ kWh ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Tüm bu sonuçlar bir özet olarak Denizli İli biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri tahmini Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Denizli ili biyogaz üretim potansiyeli.

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Tahmini Yaş Atık Üretimi (ton/yıl)	Elde Edilebilir Katı Atık (ton.KM/yıl)	Tahmini Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)
Büyükbaş	307034	3025820	226936	45387200
Küçükbaş	740663	675855	26358	5271600
Kanatlı	5660385	206604	71588	14317600

Çizelge 4.1'de farklı hayvan türlerinin nüfusuna dayalı olarak Denizli ilindeki biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değerine ilişkin bir tahmin sunmaktadır:

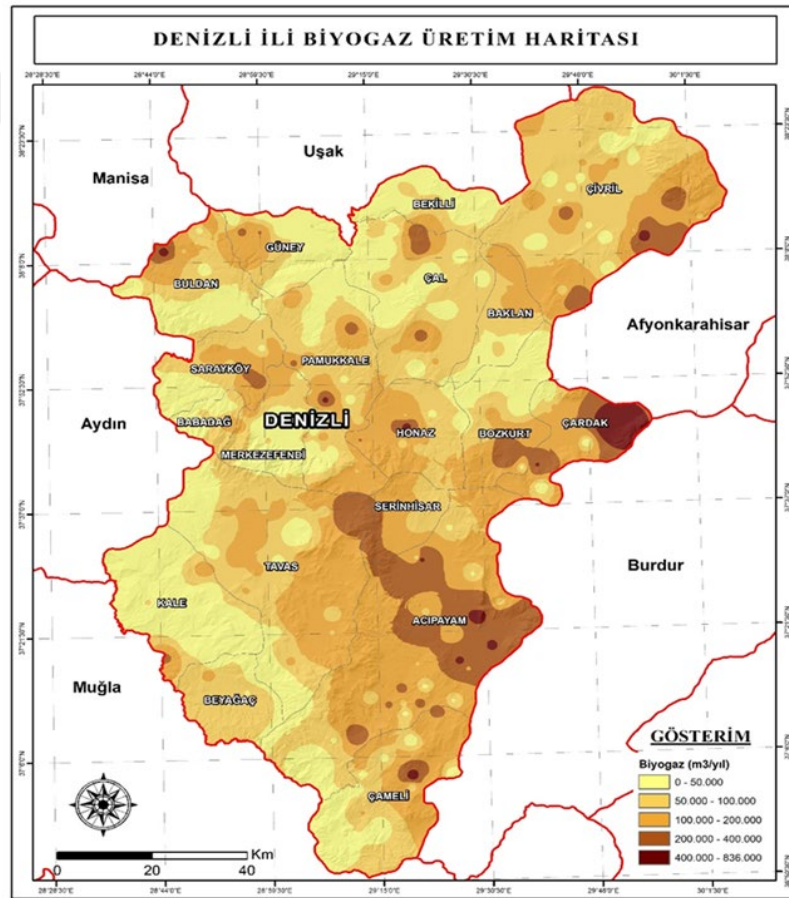
Çizelge 4.1 aynı zamanda Denizli ilinin sığır, koyun, keçi ve kümes hayvanları da dahil olmak üzere önemli bir hayvancılık nüfusuna sahip olduğunu ve bunların birlikte önemli miktarda hayvansal atık ürettiğini göstermektedir. Tahmini biyogaz üretim potansiyeli, yıllık olarak üretilen hayvan atıkları temel alınarak hesaplanmıştır. Biyogaz üretimi yıllık metreküp (m³) cinsinden ölçülmektedir. Sığırlar biyogaz potansiyeline en büyük katkıyı sağlarken, onları kümes hayvanları ve koyun/keçiler

takip etmektedir. Yılda kilometrekare başına ton olarak ölçülen katı atık üretimi, her bir hayvancılık kategorisinin çevresel etkisini ve kaynak potansiyelini göstermektedir.

Aşağıdaki harita; öncelikle elimizde varolan excel ortamındaki mahalle bazlı hayvan verileri, ArcGIS ortamındaki konum verileri ile tek tek eşlenmiştir. Daha sonra yoğunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Biyogaz, çiftlik hayvanlarının atıklarından üretilen değerli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Sağlanan veriler, Denizli ilinin biyogaz üretme ve bunu enerji üretimi için kullanma potansiyelini vurgulamaktadır; bu da çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabilir.

Biyogaz tesislerine yönelik daha fazla analiz ve yatırım, bu potansiyelin ortaya çıkarılmasına yardımcı olabilir ve bölgede sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunabilir.



Şekil 4.1. Denizli ili biyogaz üretim haritası.

Yukarıdaki haritada biyokütle miktarı biyogaz olarak hesaplanmış, Denizli genelinde CBS yardımı ile kategorize edilerek gösterilmiştir. Biyokütle yoğun olan alanlar koyu kahverengi renk ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.2’de, farklı hayvan türleri için toplam enerji (MJ/yıl), elektrik (kWh/yıl) ve ısı enerjisi (kWh/yıl) cinsinden enerji eşdeğerleri de dahil olmak üzere Denizli ilindeki biyogaz üretim potansiyeline ilişkin tahminleri sunmaktadır.

Çizelge 4.2. Denizli ili potansiyel biyogazın enerji eş değeri tahmini.

Hayvan Türü	Hayvan Sayısı	Elde Edilebilecek Enerji Eş Değeri (MJ/yıl)	Elde Edilebilecek Elektrik Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)	Elde Edilebilecek Isı Enerjisi Eş Değeri (kWh/yıl)
Büyükbaş	307034	1030389440	114476604	143095755
Küçükbaş	740663	119665320	13296146	16620183
Kanatlı	5660385	325009520	36112169	45140211

Sığır, enerji eşdeğerlerinin en büyük payına katkıda bulunurken, onu kümes hayvanları ve koyun/keçiler takip etmektedir. Bu durum, büyükbaş hayvan sayısının fazlalığını ve biyogazdan önemli ölçüde enerji üretme potansiyellerini yansıtmaktadır.

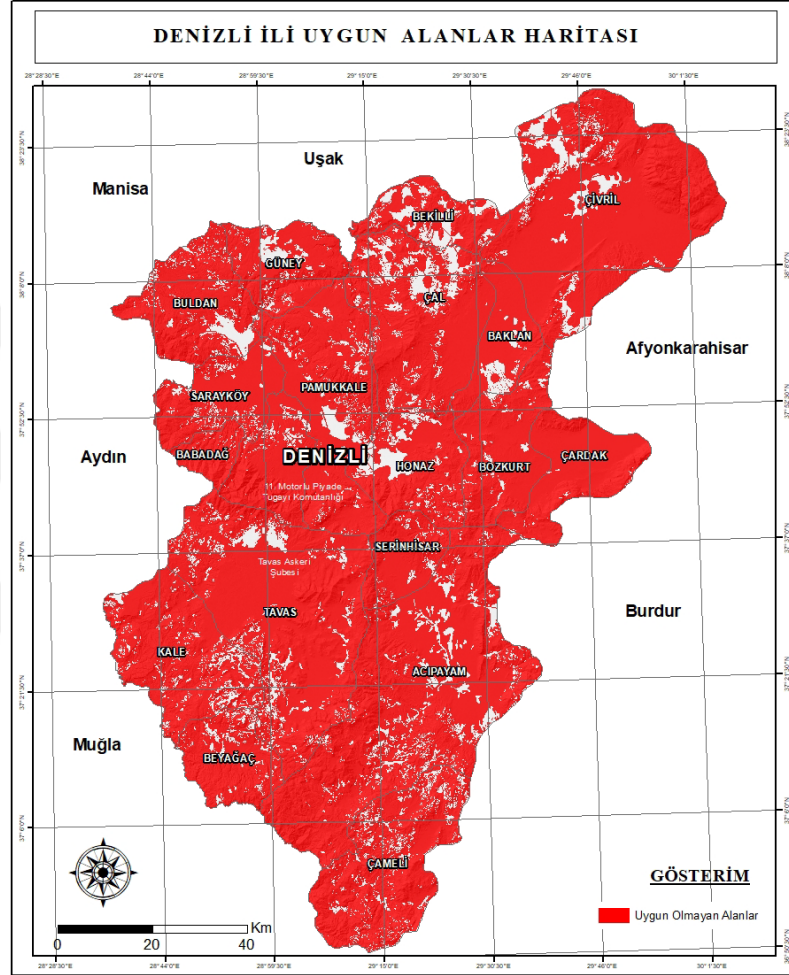
Biyogaz hem elektrik hem de ısı enerjisine dönüştürülebilme potansiyeline sahiptir, bu da onu çok yönlü bir yenilenebilir enerji kaynağı haline getirmektedir.

Bu tahminler, Denizli ilinde hayvan atıklarından biyogazın enerji üretim potansiyelini değerlendirmek için değerlidir. Politika yapıcılar ve enerji planlayıcıları, biyogazın yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına yönelik fırsatları araştırmak için bu bilgileri kullanabilir.

Veriler, hayvancılıkta sürdürülebilir uygulamaların önemini ve tarımsal atıkları yönetirken temiz enerji üretme potansiyelini vurgulamaktadır.

4.2 Uygun Olmayan Alanların Haritadan Çıkartılması

Denizli ili uygun alanlar haritası Şekil 4.2’de verilmektedir. Çalışma aşamasında belirlenen kısıtlar birleştirilerek Denizli ili haritasından çıkarılmıştır. Kırmızı renk ile belirlenen alanlar kurulması öngörülen biyokütle tesisi için uygun olmayan alanlardır.



Şekil 4.2. Denizli ili uygun alanlar haritası.

4.3 Karar Faktörleri ile AHP Karar Matrislerinin Oluşturulması

Yapılan çalışmada, CBS ve ÇKKV yöntemlerinin bir arada kullanımı ele alınmıştır. CBS ve ÇKKV'nin entegrasyonu, mekansal verilere dayalı karar verme süreçlerinde ortaya çıkan zorlukların birden çok çözüm yoluyla aşılabilmesine imkan sağlamakta, aynı zamanda farklı ve bağımsız kriterlerin birlikte incelenmesine olanak tanımaktadır. Uzmanlar, karar alıcılar, yöneticiler ve arazi sahipleri gibi çeşitli ilgi alanlarına sahip kişilerin bu değerlendirme sürecine katılımları mümkündür.

Dolayısıyla, kararların mekansal analizlerle desteklenmesi gereken pek çok mekansal problem, CBS ile desteklenen ÇKKV kullanılarak çözülebilir [73].

AHP, karmaşık karar verme problemlerini analiz etmek ve önceliklendirmek için kullanılan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, özellikle büyük ve karmaşık kararlar alınması gereken durumlarda kullanışlıdır. AHP'nin temel amacı, bir dizi alternatif arasında karar verirken, farklı kriterlerin ve alt kriterlerin göreceli önemini ve etkisini değerlendirmektir. AHP analizi, öncelikle bir karar verme problemi tanımlanarak başlar. Ardından, problemi daha küçük alt problemlere böleriz ve her bir alt problemin önceliklendirilmesi için bir karar matrisi oluştururuz. Bu matrisler, karar verme sürecini nicel bir şekilde değerlendirmemizi sağlar. Öncelikle problemimiz birden fazla kriterimizin olmasıdır. Bu karar faktörlerinin önem derecelerini belirlemek için aşağıdaki karar matrisi oluşturulmuştur. Alanında uzman 5 kişiye anket uygulanmıştır, anketlerin analiz edilerek normalize halleri ve tutarlılık oranları hesaplanarak Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 1. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.

Karar Faktörleri	Anayola Yakınlık	Elektrik Şebekesine Yakınlık	Hammaddeye Yakınlık	Eğim					
Anayola Yakınlık	1,00	1,00	0,11	1,00					
Elektrik Şebekesine Yakınlık	1,00	1,00	0,20	3,00					
Hammaddeye Yakınlık	9,00	5,00	1,00	9,00					
Eğim	1,00	0,33	0,11	1,00					
Normalize Edilmiş Hali									
Karar Faktörleri	Anayola Yakınlık	Elektrik Şebekesine Yakınlık	Hammaddeye Yakınlık	Eğim					
Anayola Yakınlık	0,083	0,136	0,078	0,071					
Elektrik Şebekesine Yakınlık	0,083	0,136	0,141	0,214					
Hammaddeye yakınlık	0,750	0,682	0,703	0,643					
Eğim	0,083	0,045	0,078	0,071					
W	AxW				Toplam	T/W	Ort T/W	CI	RI
0,092	0,092	0,144	0,077	0,070	0,383	4,146	4,116	0,04	0,04
0,144	0,092	0,144	0,139	0,209	0,584	4,063			
0,694	0,831	0,718	0,694	0,626	2,870	4,132			
0,070	0,092	0,048	0,077	0,070	0,287	4,124			

Çizelge 4.4. 2. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.

Karar Faktörleri	Anayola Yakınlık		Elektrik Şebekesine Yakınlık		Hammaddeye Yakınlık		Eğim		
Anayola Yakınlık	1,00		0,33		0,11		3,00		
Elektrik Şebekesine Yakınlık	1,00		1,00		0,14		7,00		
Hammaddeye Yakınlık	9,00		7,00		1,00		9,00		
Eğim	0,33		0,14		0,11		1,00		
Normalize Edilmiş Hali									
Karar Faktörleri	Anayola Yakınlık		Elektrik Şebekesine Yakınlık		Hammaddeye Yakınlık		Eğim		
Anayola Yakınlık	0,088		0,039		0,082		0,150		
Elektrik Şebekesine Yakınlık	0,088		0,118		0,103		0,350		
Hammaddeye Yakınlık	0,794		0,826		0,735		0,450		
Eğim	0,029		0,017		0,081		0,050		
W	AxW				Toplam	T/W	Ort T/W	CI	RI
0,090	0,090	0,054	0,078	0,133	0,355	3,953	4,070	0,03	0,03
0,165	0,090	0,165	0,098	0,309	0,662	4,018			
0,701	0,807	1,153	0,701	0,398	3,060	4,363			
0,044	0,030	0,024	0,077	0,044	0,174	3,948			

Çizelge 4.5. 3. uzmana uygulanan anketin AHP analizinin yapılması ve normalleştirilerek tutarlılık oranının hesaplanması.

Karar Faktörleri	Anayola Yakınlık			Elektrik Şebekesine Yakınlık		Hammaddeye Yakınlık		Eğim	
Anayola Yakınlık	1,00			0,33		0,20		0,33	
Elektrik Şebekesine Yakınlık	3,00			1,00		0,33		3,00	
Hammaddeye Yakınlık	5,00			3,00		1,00		5,00	
Eğim	3,00			0,33		0,20		1,00	
Normalize									
Faktörleri		Anayola Yakınlık			Elektrik Şebekesine Yakınlık		Hammaddeye Yakınlık		Eğim
Anayola Yakınlık		0,083			0,071		0,116		0,035
Elektrik Şebekesine Yakınlık		0,250			0,215		0,191		0,322
Hammaddeye yakınlık		0,417			0,644		0,578		0,536
Eğim		0,250			0,071		0,116		0,107
W	AxW				Toplam	T/W	Ort T/W	CI	RI
0,076	0,076	0,081	0,109	0,045	0,310	4,070	4,197	0,07	0,07
0,244	0,229	0,244	0,179	0,408	1,060	4,341			
0,544	0,381	0,733	0,544	0,680	2,337	4,299			
0,136	0,229	0,081	0,109	0,136	0,554	4,077			

Yukarıdaki çizelgelerde AHP kapsamında karar matrisleri, normalize halleri ve tutarlılık oranı hesaplamaları görülmektedir. Tutarlılık oranlarına bakıldığında hepsinin de sonuçlarının tutarlı olduğu görülmektedir.

4.4 Faktörlerin, Bulanık Mantık Modülü (FUZZY) Standardize Haritaların Hazırlanması

Etkin bir karar verme süreci, aşağıdaki adımları kapsayan bir yapıda tasarlanmalıdır:

- Yer seçimi için kullanılacak kriterlerin seçimi;
- Bu kriterlerin uygunluk aralıkları bazında standartlaştırılması;
- Hiyerarşik matrislerin oluşturulması ve kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi;
- Seçeneklerin değerlendirilmesi ve son yer seçimi kararının alınması [177].

Bu sürecin işlemleri şu şekilde özetlenebilir:

- İlgili faktörlerin "uygunluk aralığı" grafiklerinin oluşturulması;
- Bu grafiklerin FUZZY modülüne dahil edilmesi ve modülün çalıştırılması ile standart haritaların elde edilmesi;
- Standart haritaların, belirlenen kısıtlarla ArcGIS ortamında birleştirilmesi

Elektrik iletim hatlarına yakınlık:

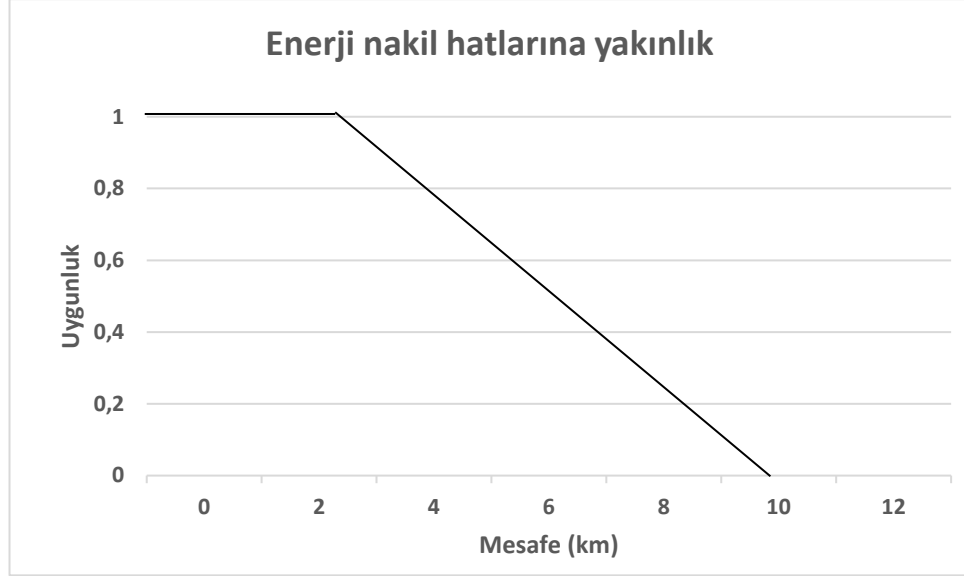
Elektrik iletim hatlarına yakınlık kriteri bir başka deyişle enerji nakil hatlarına uzaklık ya da yakınlık kriteri için literatürden;

Uygunluk değeri:

0-2000 m- için: 1

2000-10000 m- için: 1-0

10000 m- için: 0 değeri baz alınmıştır. Grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Fuzzy bulanık mantık kapsamında enerji nakil hatlarına yakınlık uygunluk aralığı grafiği.

Anayola yakınlık

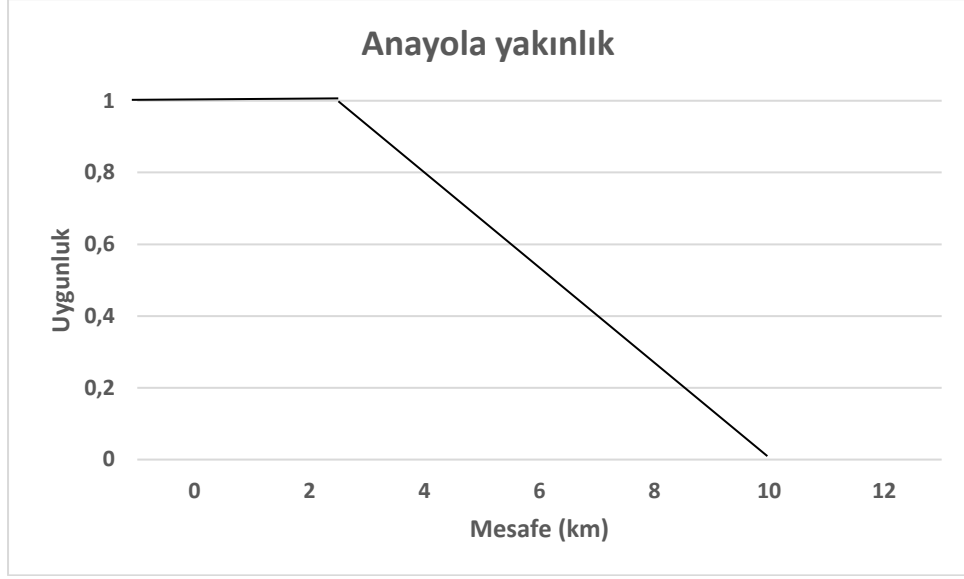
Anayola yakınlık değeri için literatürden;

Uygunluk değeri:

0 km-2km için: 1

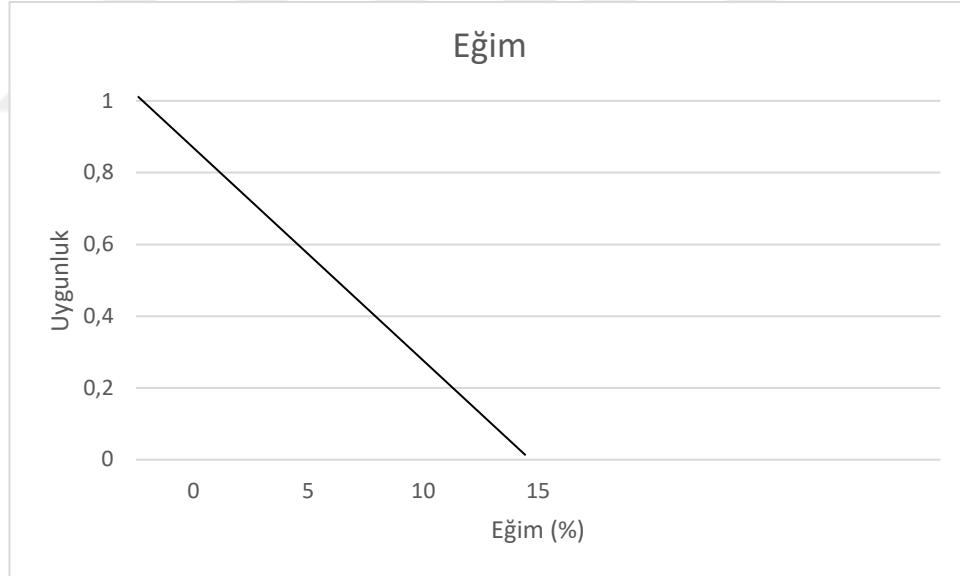
2 km-10 km için: 1-0

10 km için: 0 değeri baz alınmıştır. Grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



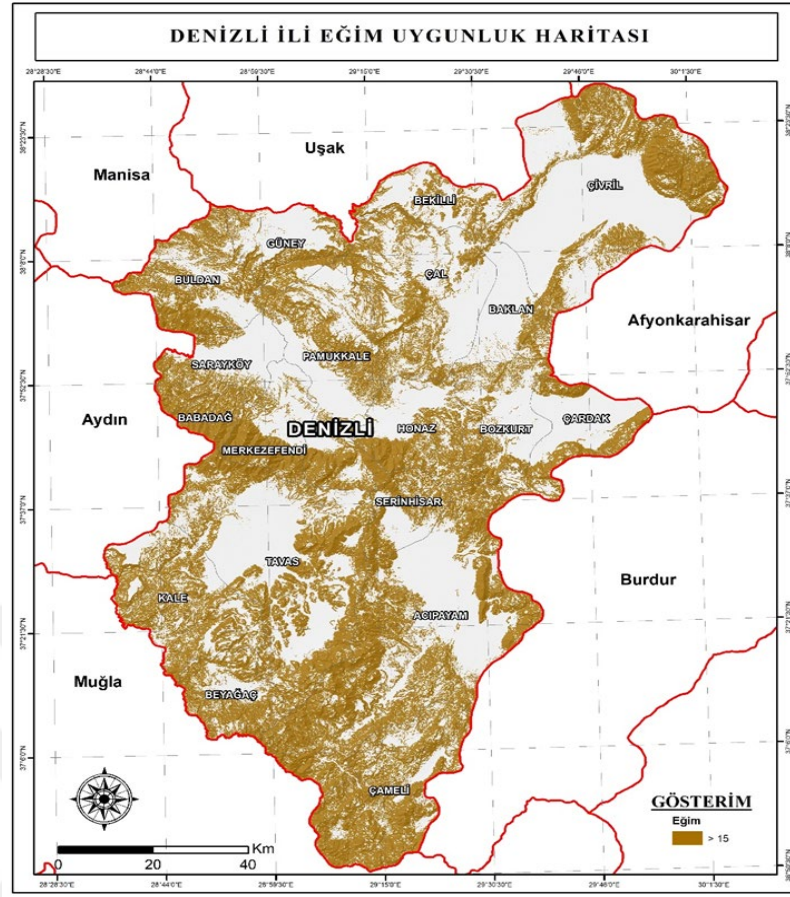
Şekil 4.4. Fuzzy bulanık mantık kapsamında anayola yakınlık uygunluk aralığı grafiği.

Eğim değeri için literatürden faydalanılarak %15'ten küçük değerler uygun öngörülmüştür (Şekil 4.5).



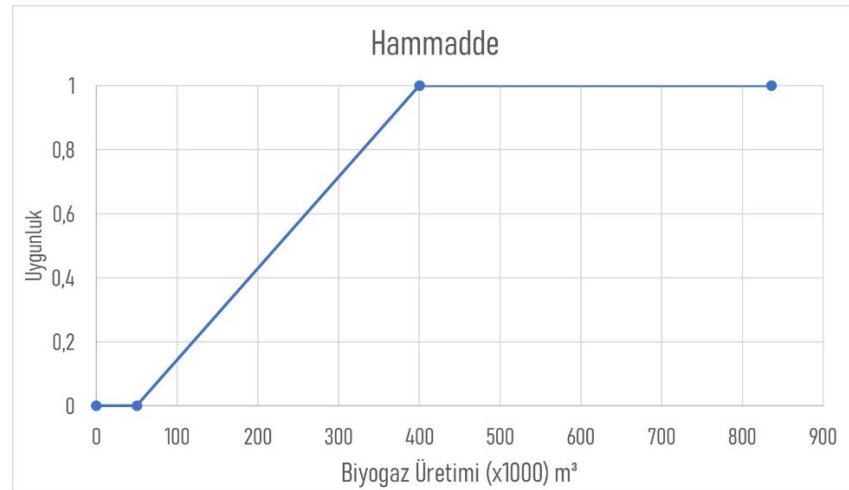
Şekil 4.5. Fuzzy bulanık mantık kapsamında eğim uygunluk aralığı grafiği.

Denizli ili eğim uygunluk haritası Şekil 4.6'da verilmektedir. %15'ten küçük değerler uygun görölüp haritada belirtilmektedir.



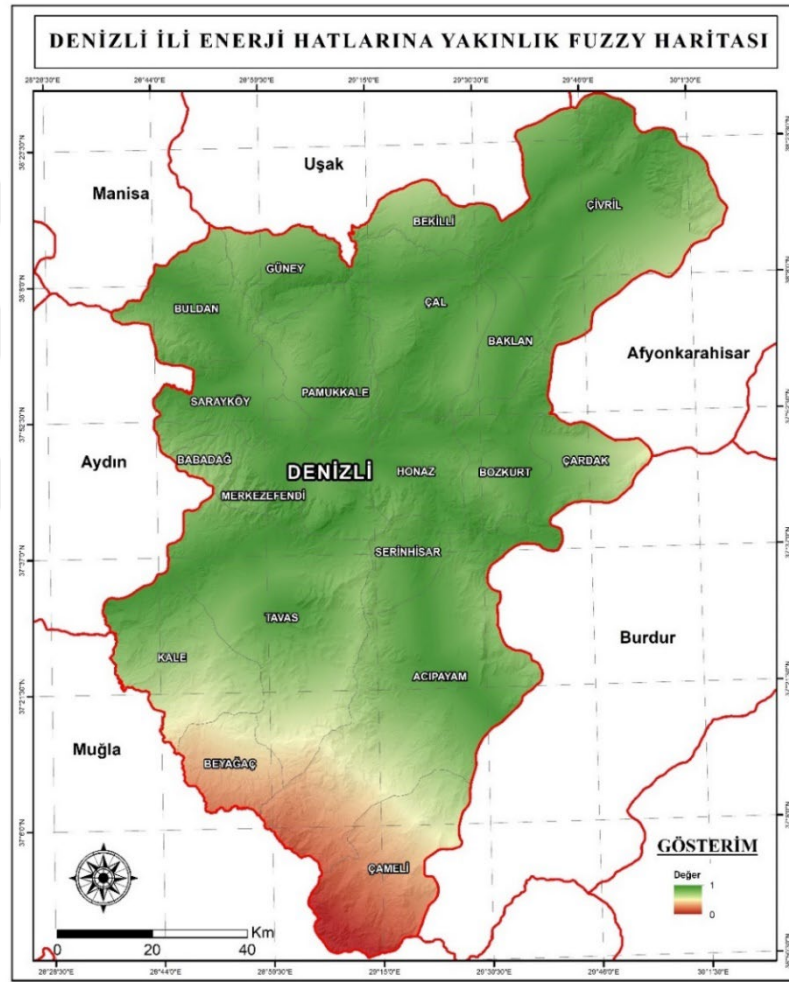
Şekil 4.6. Denizli ili eğim uygunluk haritası.

Bir başka faktör olan hammadde mevcudiyetinin uygunluk aralıkları Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Fuzzy modüle entegre edilen hammadde faktör uygunluğu aralıkları.

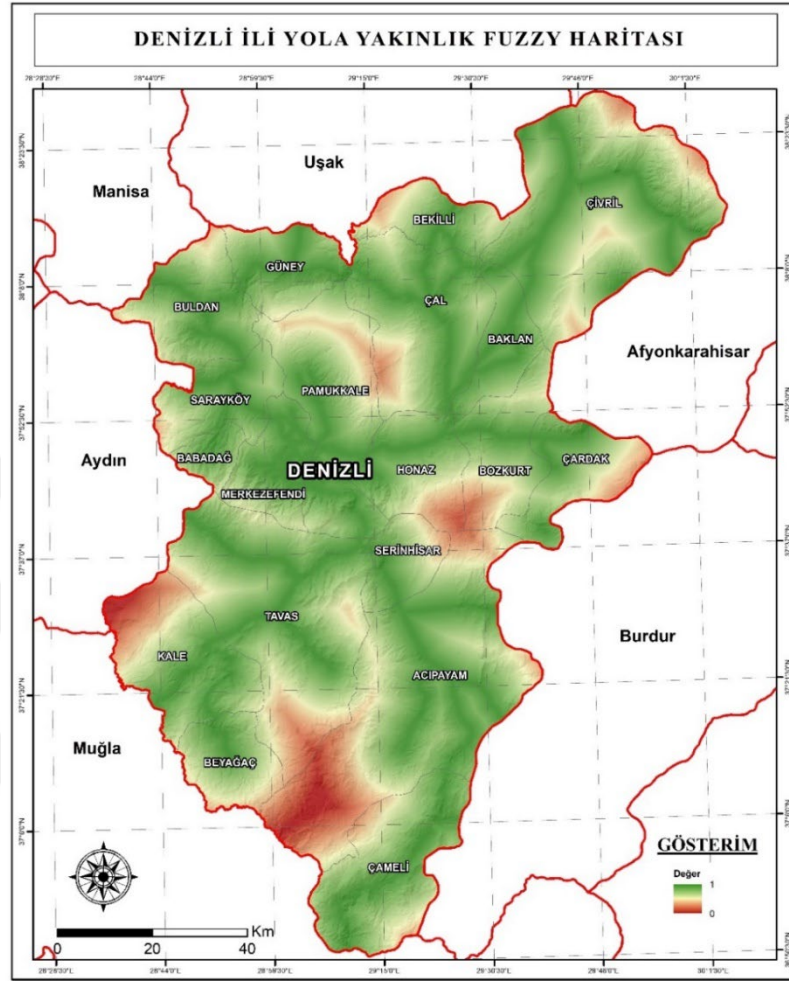
Fuzzy bulanık mantık kapsamında enerji hatlarına yakınlık standardizasyon haritası Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Bu harita, enerji hatlarının yakınlığına göre farklı renk tonları kullanarak gösterilmiştir. Koyu yeşil renkler, enerji hatlarına daha yakın bölgeleri temsil ederken, kırmızı renkler daha uzak bölgeleri temsil etmektedir. Bu harita, enerji hatlarına yakın bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilir ve enerji hatlarına yakın bölgelerin belirlenmesi, söz konusu kurulması planlanan biyokütle tesisi için enerji şirketleri için önemli bir planlama faktörüdür.



Şekil 4.8. Fuzzy bulanık mantık kapsamında enerji hatlarına yakınlık standardizasyon haritası.

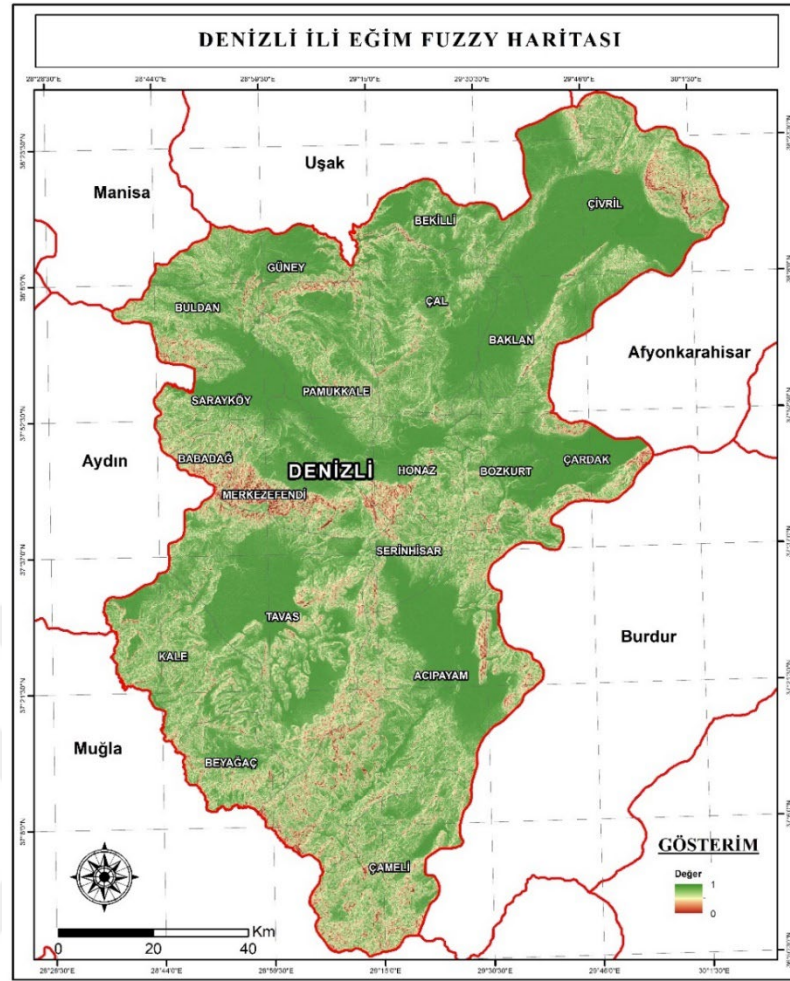
Fuzzy bulanık mantık kapsamında yola yakınlık standardizasyon haritası Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Bu harita, yolların yakınlığına göre farklı renk tonları kullanarak gösterilmiştir. Koyu yeşil renkler, yollara daha yakın bölgeleri temsil ederken, kırmızı renkler daha uzak bölgeleri temsil etmektedir. Bu harita, yollara yakın bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilir ve ulaşım planlaması için önemli bir faktördür. Yine söz

konusu planlanan biyokütle tesisi için hem hammadde sevkiyatı hem de ulaşım için önem teşkil etmektedir.



Şekil 4.9. Fuzzy bulanık mantık kapsamında yola yakınlık standardizasyon haritası.

Fuzzy bulanık mantık kapsamında eğim standardizasyon haritası Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Bu harita, arazinin eğimine göre farklı renk tonları kullanarak gösterilmiştir. Kırmızı renk, daha dik eğimli bölgeleri temsil ederken, yeşil renk daha az eğimli bölgeleri temsil etmektedir.



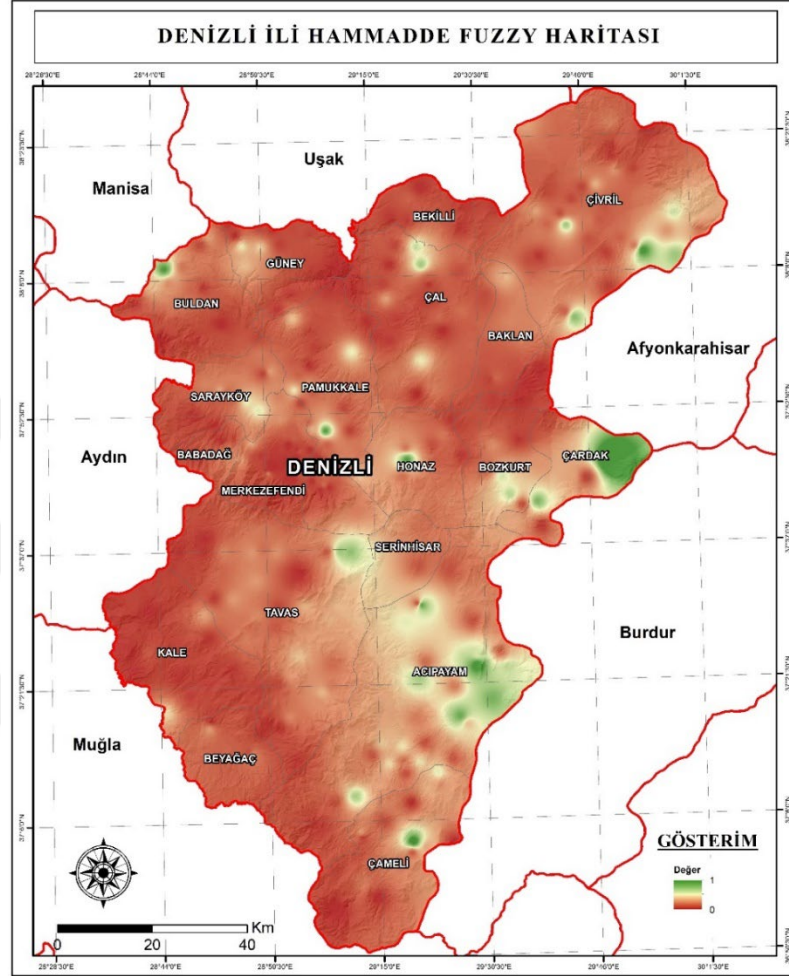
Şekil 4.10. Fuzzy bulanık mantık kapsamında eğim standardizasyon haritası.

Bu harita, söz konusu yapılması planlanan biyokütle tesisi için arazi planlaması ve inşaat projeleri için önemli bir faktördür. Daha dik eğimli bölgelerde, inşaat projeleri daha zorlu hale gelebilir ve daha fazla maliyet gerektirebilir. Ayrıca, daha dik eğimli bölgelerde, toprak kayması ve erozyon gibi doğal afetlerin riski daha yüksektir. Bu nedenle, bu harita, arazi planlaması ve inşaat projeleri için risk analizi yapmak isteyen kişiler ve kurumlar tarafından kullanılabilir.

Ayrıca, bu harita, tarım ve ormancılık gibi sektörlerde de kullanılabilir. Daha az eğimli bölgelerde, tarım ve ormancılık faaliyetleri daha kolay ve verimli hale gelebilir. Bu nedenle, bu harita, tarım ve ormancılık sektörlerindeki planlama ve yönetim kararlarında da kullanılabilir.

Fuzzy bulanık mantık kapsamında hammadde yakınlık standardizasyon haritası Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Bu harita, hammadde kaynaklarına olan yakınlığına göre

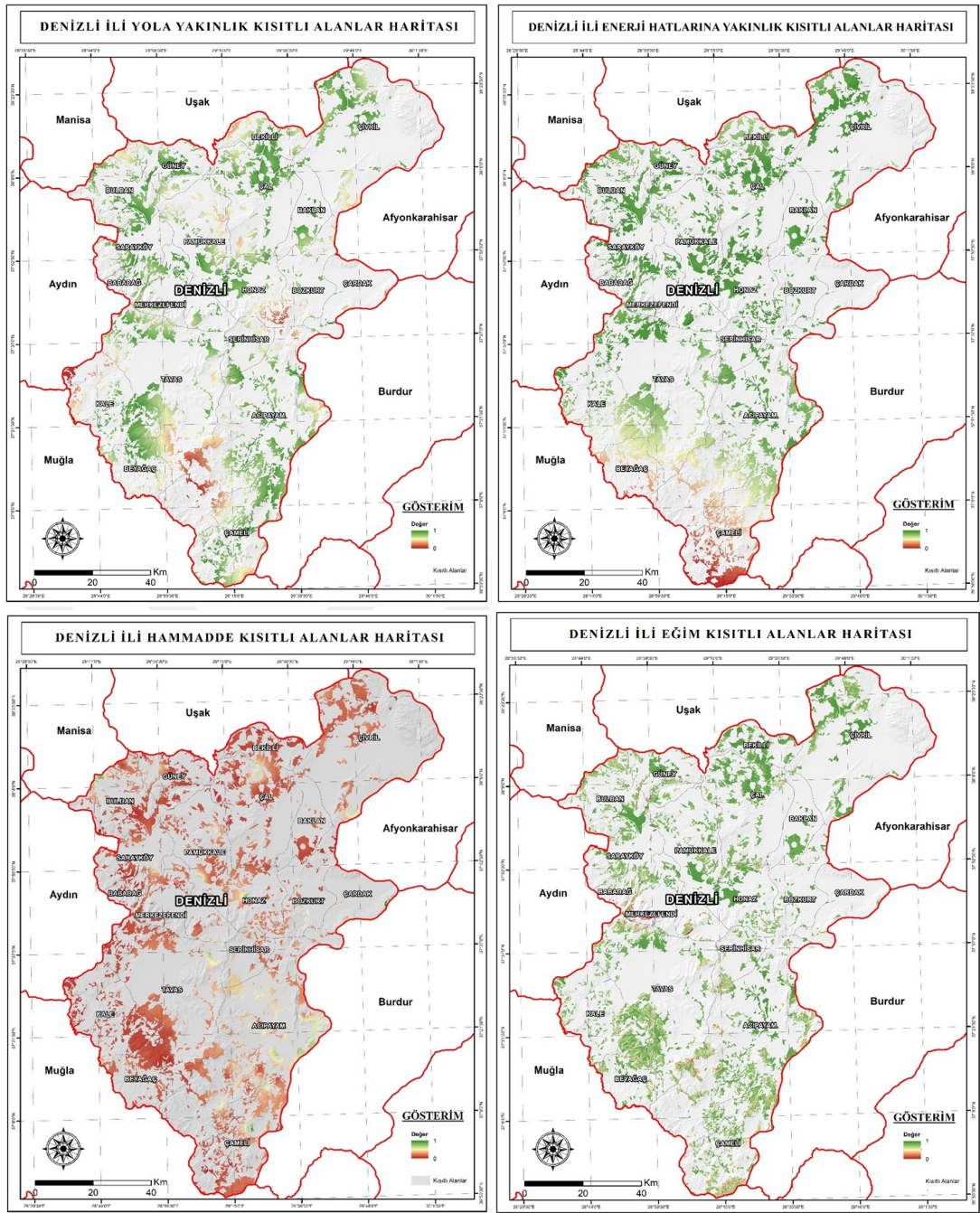
farklı renk tonları kullanarak gösterilmiştir. Yeşil renkler, hammadde kaynaklarına daha yakın bölgeleri temsil ederken, kırmızı renkler daha uzak bölgeleri temsil etmektedir.



Şekil 4.11. Fuzzy bulanık mantık kapsamında hammadde yakınlık standardizasyon haritası.

Bu harita, kurulması planlanan biyokütle tesisleri için önemli bir faktördür. Hammadde kaynaklarına yakın bölgelerde, yol masrafları daha az maliyet gerektirebilir. Ayrıca, bu harita, hammadde kaynaklarına olan yakınlığına göre farklı planlama kararları almak isteyen diğer kurumlar ve kişiler tarafından da kullanılabilir.

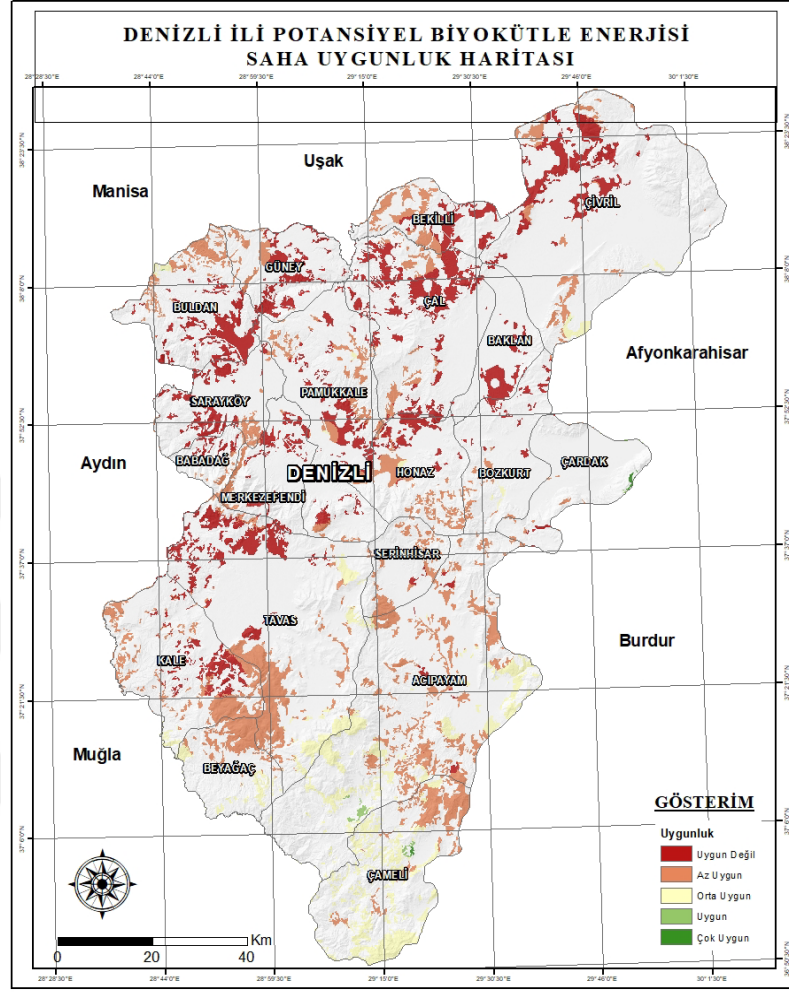
Aşağıdaki 4 haritada ise fuzzy haritaları ile kısıtlı haritalar birleştirilerek elde edilmiştir (Şekil 4.12). 0-1 aralığında olan değerlerde 0 rengi kırmızı ile gösterilirken olması istenmeyen bölgeleri temsil etmektedir. Yeşil renk ise olması istenen alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.12. Fuzzy ve kısıt haritası çıkarılması sonucu uygunluk haritaları.

4.5 Ağırlıklı Çakıştırma ile Nihai Haritanın Elde Edilmesi

Denizli ili, Türkiye'nin batısında yer alan ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü bir bölgedir. Bu nedenle, biyokütle enerjisi üretimi için potansiyel sahaların belirlenmesi bu bölgede enerji üretimi ve sürdürülebilir kalkınma açısından büyük öneme sahiptir. Potansiyel biyokütle enerjisi saha uygunluk haritası, potansiyel enerji üretim bölgelerini belirlemek için stratejik bir araçtır. Denizli ili, iklim koşulları ve tarım alanları açısından biyokütle enerjisi üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. İlin sıcak yazları ve ılıman kışları, tarım ürünlerinin yetiştirilmesi için elverişli bir ortam sağlar. Bu, tarım atıkları, bitkisel atıklar ve hayvansal atıkların biyokütle enerjisi üretimi için ideal bir kaynak oluşturduğu anlamına gelir. Şekil 4.13'teki haritada biyokütle alanları uygun alanlar gösterilmektedir. Biyokütle değerleri kategorize edilmiştir. Kurulması planlanan biyokütle tesisi için uygun alanlar için yeşil bölgelerin daha uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. Denizli ili nihai uygunluk haritası.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Denizli ili biyokütle enerji potansiyeli çalışması, yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel düzeyde nasıl değerlendirilebileceğine dair önemli bir örnek teşkil etmektedir. Çalışma sonuçları, yerel atık kaynaklarının enerjiye dönüşümünün ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemini vurgulamakta; aynı zamanda, bu kaynakların enerji güvenliği için stratejik bir değer taşıdığını ortaya koymaktadır. Enerji sektöründe sürdürülebilir ve verimli uygulamaları teşvik etme yolunda, Denizli ili biyokütle enerji potansiyelinin incelenmesi, enerji üretimindeki çeşitliliğin artırılması ve yenilenebilir kaynaklara geçişin hızlandırılması için bir rehber niteliğinde olabilir. Bu çalışmanın getirdiği anlayış, özellikle biyokütle kaynaklarının yönetimi ve enerji üretimine entegrasyonu konularında politika yapıcılar ve enerji sektörü paydaşları için önemli stratejik bilgiler sunmaktadır.

Türkiye'nin enerji tüketiminde dışa bağımlılığı, özellikle fosil yakıtların ithalatı konusunda belirgin bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, yerli enerji kaynaklarının kullanımını artırma ve enerji çeşitliliğini güçlendirme ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Biyokütle enerjisinin potansiyeli ve kullanımı, sadece Türkiye özelinde değil, dünya genelinde de geniş çapta incelenmekte ve bu alanda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Dünyanın farklı ülkelerinde yapılan bazı araştırmalarda biyokütle üzerine çalışılmıştır [106,143]. Bu da biyokütle enerjisinin, enerji dönüşümünde çevresel sürdürülebilirliği sağlama ve enerji güvenliğini artırma potansiyeline işaret etmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji stratejilerini biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklar üzerine inşa etmesi hem enerji arz güvenliğini sağlama hem de çevre dostu bir enerji politikası geliştirme açısından önem taşımaktadır.

Denizli'deki biyokütle potansiyelinin kullanımı hem yerel ekonomiye katkı sağlama hem de ulusal enerji stratejilerine uyumlu çözümler üretme potansiyeline sahiptir. Bu çalışmanın sağladığı bilimsel veriler, özellikle kırsal kalkınma ve atık yönetimi uygulamalarında kullanılabilir. Kapsamlı veri analizi ve önerilen yöntemler, diğer bölgelerdeki benzer çalışmalar için model oluşturabilir ve bu alanda ulusal düzeyde politika ve stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Yapılan tez çalışması, Denizli ili özelinde biyokütle kaynakları potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin sürdürülebilir enerji kaynakları olarak kullanımı konusundaki bilimsel literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Yapılan analizler, bölgenin biyokütle potansiyelini değerlendirmekte ve yenilenebilir enerji alanındaki bilgi boşluğunu doldurmaktadır. Çalışma iki ana aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada, bölgesel hayvan sayılarına dayalı biyokütle potansiyeli hesaplanmış, ikinci aşamada ise bu potansiyelin haritalandırılması için CBS ve ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır.

İlk aşamada, bölgedeki hayvan popülasyonlarından kaynaklanan biyokütle miktarları, mevcut literatürdeki metodolojiler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, atık yönetimi ve enerji üretimi açısından mevcut ve potansiyel kaynakların bir envanterini oluşturmuştur. Bu envanter, sürdürülebilir kalkınma için önemli bir girdi sağlamakta ve biyokütle kaynaklarının enerji dönüşüm süreçlerine entegrasyonu konusunda stratejik bir planlama aracı olarak hizmet etmektedir.

İkinci aşamada kullanılan CBS ve ÇKKV yöntemleri, biyokütle potansiyelinin bölgesel dağılımını görselleştirmede hayati bir rol oynamıştır. AHP ve Fuzzy Mantık yöntemleri, çeşitli faktörlerin ağırlıklandırılmasında ve biyokütle potansiyelinin haritalanmasında kullanılmıştır. Bu yaklaşımların seçimi, bölgenin topografyası, mevcut altyapı ve erişilebilirlik gibi çok sayıda değişkeni hesaba katma esnekliği sunmuştur.

AHP ve Fuzzy Mantık gibi ileri düzey analiz teknikleri, biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesinde önemli rol oynamıştır. Bu yöntemlerin seçilmesi, belirsizliklerin ve subjektif yargıların entegre edilmesine olanak tanıdığı için yapılmıştır. Yöntemlerin uygulanabilirliği ve esnekliği, Denizli ili örneğindeki biyokütle potansiyelinin belirlenmesinde ve haritalanmasında etkili olmuştur.

Denizli'nin biyokütle kaynak potansiyelinin değerlendirilmesi sürecinde, AHP kullanılarak belirlenen kriterlerin göreceli önemleri, farklı faktörlerin biyokütle kaynak potansiyeline olan katkısını tartmak için kullanılmıştır. AHP, karmaşık karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıda ele alarak, çeşitli kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri mantıklı ve ölçülebilir bir biçimde değerlendirmeye olanak tanır. Bu süreç, biyokütle enerji tesislerinin yerleşim yerleri için stratejik planlama yaparken,

çevresel koruma, ekonomik verimlilik ve toplumsal kabul gibi çeşitli boyutları dengeli bir şekilde göz önünde bulundurmayı mümkün kılar.

Bulgular, bölgesel biyokütle kaynaklarının enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Hayvan atıklarından elde edilen biyokütle, bölgesel sürdürülebilir enerji politikaları için stratejik bir kaynak olarak ön plana çıkmaktadır. CBS ve ÇKKV yöntemi kullanılarak oluşturulan uygunluk haritaları, bu kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi için gerekli stratejik planlamanın temelini atmaktadır. Bu çalışma, biyokütle potansiyelinin enerji üretimi bağlamında kullanımının, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma ve karbon emisyonlarını düşürme hedeflerine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Araştırma sonuçları, biyokütle enerjisi planlaması ve kaynak yönetimi açısından yol gösterici olabilir. Denizli'nin biyokütle kaynaklarını etkin kullanması, çevresel sürdürülebilirliği artırırken yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Özellikle kümes hayvanı atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, yerel düzeyde atık yönetimini iyileştirebilir ve enerji güvenliğine katkıda bulunabilir. Bu çalışmanın getirdiği içgörüler, bölgesel kalkınma stratejilerinde ve politika oluşturmada önemli bir referans noktası oluşturabilir.

Türkiye'nin enerji alanında dışa bağımlılığının yüksek seviyelerde olduğu ve yerli kaynaklarla yalnızca petrol tüketiminin küçük bir kısmını ve doğalgaz ihtiyacının çok daha düşük bir oranını karşılayabildiği bilinmektedir. Bu enerji profili, enerji güvenliği konusunda risk oluşturmakta ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin enerji arzını güvence altına almak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımları hızlandırması önem taşımaktadır. Bu geçiş, hem fosil yakıtların tükenme riskini azaltacak hem de çevresel etkileri minimize ederek sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkı sağlayabilecektir.

Bulgular ayrıca, biyokütle enerji tesislerinin yer seçimi ve kapasite planlaması için bir temel sağlamaktadır. Haritalama sonuçları, tesislerin konumlandırılması için uygun alanların belirlenmesinde ve bölgesel enerji altyapısının entegrasyonunda kritik öneme sahiptir. Bu bilgiler, yerel yönetimler ve politika yapıcılar için, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji güvenliğinin artırılması konusunda stratejik kararlar almak için kullanılabilir. Denizli'nin biyokütle kaynaklarını etkin kullanması, çevresel

sürdürülebilirliği artırırken yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir. Özellikle kümes hayvanı atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, yerel düzeyde atık yönetimini iyileştirebilir ve enerji güvenliğine katkıda bulunabilir. Bu çalışmanın getirdiği içgörüler, bölgesel kalkınma stratejilerinde ve politika oluşturmada önemli bir referans noktası oluşturabilir.

Biyokütle kaynaklarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, küresel ölçekte yenilenebilir enerji üretimindeki payını artırmak ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamak için stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, Denizli ilinde biyokütle potansiyelinin belirlenmesine odaklanarak, bu alandaki mevcut bilgiyi genişletmekte ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik bir çerçeve sunmaktadır.

Bu çalışmada Denizli ilinin biyokütle potansiyeli, bölgesel hayvan popülasyonlarının büyük bir veri seti kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan bazı çalışmalardan başlıca Iğdır ili ve ilçelerinde 2010 yılı TÜİK verileri dikkate alınarak [125]; başka bir çalışmada ise Çanakkale ilindeki [138]; bir diğer çalışmada Tokat ilindeki [137] ve son olarak da Doğu Anadolu Bölgesinin illerindeki [115] hayvan tür ve sayılarına göre elde edilebilecek atık miktarları hesaplanmıştır. Büyükbaş hayvan atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır. Benzer bir diğer çalışmada ise Denizli ili merkez ve ilçelerinde hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır [109]. Hesaplanan biyogaz miktarının enerji karşılığı olan motorin ve elektrik enerjisi miktarları ve ekonomik eşdeğerleri karşılaştırılmıştır. Fakat herhangi bir haritalama yaparak tesis konumu belirlenmemiştir.

Bu hesaplamalar atık yönetimi ve enerji üretimi açısından mevcut ve potansiyel kaynakların bir envanterini oluşturmaktadır [135]. Benzer şekilde, bu çalışmanın bulguları, bazı araştırmacılar tarafından önerilen metotlarla paralellik göstermektedir ve bu da metodolojimizin güvenilirliğini pekiştirmektedir [139].

CBS ve ÇKKV yöntemleri, bazı araştırmacılar tarafından da biyokütle potansiyelinin haritalanmasında kullanılmıştır [146, 149]. AHP ve Fuzzy Mantık uygulamaları, bu karmaşık sürecin yönetilmesinde etkili araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada bütünleşik CBS-AHP-bulanık ağırlıklı örtüşme baskınlığı metodolojisi kullanılarak Danimarka'da biyogaz tesisi için en uygun yerin seçimi üzerine

alışılmıştır [154]. Modelde ekonomik, çevresel, sosyal ve politik boyutlar için en uygun kriterleri dikkate alınarak, biyogaz tesisleri için en uygun yerin seçilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, mevcut literatürdeki bulgularla uyumlu olup, bu yöntemlerin bölgesel ölçekte uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini doğrulamaktadır

Bulgularımız, biyokütle kaynaklarının yönetimi ve kullanımı konusunda politika yapıcılar için önemli irler sağlamaktadır. Ankara ve Tokat'ta yapılan tez çalışmalarında vurgulanıldığı gibi, yerel enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji güvenliğinin artırılması, enerji politikalarının temel taşlarından biridir [102, 151]. Bu alışma, Denizli ili için benzer stratejilerin geliştirilmesine yönelik somut veriler sunmaktadır.

Ancak, bu çalışmanın sınırlılıkları da mevcuttur. Örneğin, biyokütle potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan hayvan sayısı verilerinin güncelliği ve doğruluğu, sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Ayrıca, AHP ve Fuzzy Mantık yöntemlerinin subjektif yargıları içermesi, sonuçların nesnellik derecesini etkileyebilir.

Gelecek alışmalar için, biyokütle potansiyelinin daha detaylı bir şekilde sınıflandırılması, farklı biyokütle türlerinin enerji üretim kapasitelerinin belirlenmesi ve bu kaynakların ekonomik analizlerinin yapılması önerilebilir. Ayrıca, biyokütle tesislerinin çevresel ve sosyoekonomik etkilerinin değerlendirilmesi, bu konudaki bilgi boşluğunu doldurabilir. Bu tür çalışmalar, biyokütle kullanımının sürdürülebilirliğini artırabilir ve enerji planlamasında daha bilinçli kararlar alınmasına katkıda bulunabilir.

Sonuç olarak, yapılan çalışma, biyokütle kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve bu kaynakların enerji üretimi için kullanılması konusunda önemli bir adım oluşturmaktadır. Çalışma hem bilimsel topluluğa hem de politika yapıcılarına, Denizli ili ve benzer bölgeler için sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi konusunda rehberlik edebilir. Bu bağlamda, Denizli ili rneği, biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesi ve yönetimi konusunda gelecekteki çalışmalar için yol gösterici bir model olarak hizmet edebilir.

Bu araştırma, CBS ve ÇKKV metodolojilerinin uygulanması yoluyla Türkiye'nin Denizli ilindeki biyokütle kaynak potansiyelinin değerlendirmesini sağlamaya çalışmıştır. Çalışma, biyokütle kaynaklarının mevcudiyetini etkileyen çeşitli faktörleri dikkate alarak bölgedeki sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütleyle yönelik kritik ihtiyacı karşılamayı amaçlamıştır.

Çalışmanın ilk aşaması, biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesi için kriterlerin belirlenmesini ve AHP kullanılarak bunların göreceli önemlerinin tespit edilmesini içeriyordu.

İkinci aşamada ise, potansiyel biyokütle tesisi konumları için uygunluk haritaları üretmek üzere CBS çerçevesinde ağırlıklı çakıştırma analizi kullanılmıştır. Bu haritalar, Denizli ili içinde biyokütle tesislerinin kurulması için en elverişli alanların görsel bir temsili olarak hizmet etmiştir. Ağırlıklı kriterleri entegre ederek, biyokütle kaynak kullanımının en üst düzeye çıkarılabileceği bölgeler belirlenmiştir.

Çalışma ayrıca Denizli ilinde kümes hayvanı atıklarından elde edilebilecek teorik ve teknik biyogaz potansiyeline ilişkin tahminler de sunmuştur. Broiler ve yumurta tavuğu sayıları göz önünde bulundurularak, ilin özellikle kanatlı atıklarından biyogaz üretim kapasitesi hakkında fikir bildirmektedir.

Sonuç olarak bu araştırma, sürdürülebilir enerji çözümlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilecek olan Denizli ilinin biyokütle kaynak potansiyeline ilişkin değerli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, bölgede gelecekteki biyokütle enerjisi planlaması, politika formülasyonu ve kaynak yönetimi için bir temel oluşturabilir. Denizli ili, mevcut biyokütle kaynaklarını verimli bir şekilde kullanarak, çevresel sürdürülebilirliği ve ekonomik kalkınmayı teşvik ederken yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmaya daha da yaklaşabilir.

KAYNAKLAR

1. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2018. Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080. URL Adres: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567> Erişim tarihi: 12.12.2023.
2. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022. Türkiye Ulusal Enerji Planı. URL Adres: https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf Erişim Tarihi: 12.12.2023.
3. URL-1 <<https://yesilekonomi.com/kurulu-guc-104-mwi-asti/>> Erişim Tarihi: 12.12.2023.
4. Avcıoğlu, A. O., Türker, U., Atasoy, Z. D. ve Koçtürk, D., 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar, Nobel Yayıncılık, Ankara.
5. Appels, L., Lauwers, J., Degreé, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impe, J. W. ve Dewil, R., 2011. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 9, 4295-4301.
6. Tolay, M., Karadeniz, H. Y., Yardımcı, S. ve Reiter, R., 2008. Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'2008), İstanbul. URL Adres: https://www.researchgate.net/publication/337992580_Hayvansal_Atiklardan_Biyogaz_Uretimi
7. Karaman, S., 2006. Hayvansal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm olanakları, Journal of Science and Engineering, 9, 2, 133-139.
8. Çay, T., Nas, B., Berktaş, A. ve İşcan, F., 2007. Katı atık deponi alanlarının yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulaması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon. URL Adres: https://web.itu.edu.tr/tahsin/CBS2007/bildiri/S_70.pdf Erişim Tarihi: 12.12.2023.
9. Mohtasham, J., 2015. Renewable energies. Energy Procedia, 74, 1289-1297.
10. Bull, S. R., 2001. Renewable energy today and tomorrow. Proceedings of the IEEE, 89, 8, 1216-1226.
11. Zhang, Y., Wang, Y. ve Wang, X., 2011. Greenware: Greening cloud-scale data centers to maximize the use of renewable energy. In Middleware 2011: ACM/IFIP/USENIX 12th International Middleware Conference, Lisbon, Portugal, Proceedings 12, Springer Berlin Heidelberg, p. 143-164.
12. Ganiyu, S. O. ve Martinez-Huitle, C. A., 2020. The use of renewable energies driving electrochemical technologies for environmental applications, Current Opinion in Electrochemistry, 22, 211-220.
13. Shahzad, U., 2012. The need for renewable energy sources, Energy, 2, 16-18.

14. Ringel, M., 2006. Fostering the use of renewable energies in the European Union: the race between feed-in tariffs and green certificates, *Renew. Energ.*, 31, 1, 1-17.
15. Muster-Slawitsch, B., Weiss, W., Schnitzer, H. ve Brunner, C., 2011. The green brewery concept–energy efficiency and the use of renewable energy sources in breweries, *Applied Thermal Engineering*, 31, 13, 2123-2134.
16. Krozer, Y., 2013. Cost and benefit of renewable energy in the European Union. *Renewable Energy*, 50, 68-73.
17. Twidell, J., 2021. *Renewable energy resources*, Fourth Edition, Routledge, New York, USA.
18. Stötzer, M., Hauer, I., Richter, M. ve Styczynski, Z. A., 2015. Potential of demand side integration to maximize use of renewable energy sources in Germany, *Applied Energy*, 146, 344-352.
19. Himri, Y., Malik, A. S., Stambouli, A. B., Himri, S. ve Draoui, B., 2009. Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 13, 6-7, 1584-1591.
20. Finn, P. ve Fitzpatrick, C., 2014. Demand side management of industrial electricity consumption: Promoting the use of renewable energy through real-time pricing, *Applied Energy*, 113, 11-21.
21. Kaygusuz, K., 2002. Renewable and sustainable energy use in Turkey: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 4, 339-366.
22. Çapik, M., Yılmaz, A. O. ve Çavuşoğlu, İ., 2012. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, *Renewable Energy*, 46, 1-13.
23. Toklu, E., 2013. Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey, *Renewable Energy*, 50, 456-463.
24. Balat, M. ve Ayar, G., 2005. Biomass energy in the world, use of biomass and potential trends, *Energy Sources*, 27, 10, 931-940.
25. Karekezi, S., Lata, K. ve Coelho, S. T., 2006. Traditional biomass energy: Improving its use and moving to modern energy use, *Renewable Energy—A Global Review of Technologies, Policies and Markets*, 1, 231-261.
26. Rosillo-Calle, F., 2016. A review of biomass energy–shortcomings and concerns, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 91, 7, 1933-1945.
27. Mugo, F. ve Gathui, T., 2010. Biomass energy use in Kenya. A background paper prepared for the International Institute for Environment and Development (IIED) for an international ESPA workshop on biomass energy, Edinburgh. Practical Action, Nairobi, Kenya. URL Adres: <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G02985.pdf> Erişim Tarihi: 12.12.2023.

28. Sümer, S. K., Kavdır, Y. ve Çiçek, G., 2016. Türkiye’de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 19, 4, 379-387.
29. Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H. ve Obersteiner, M., 2014. Woody biomass energy potential in 2050, Energy Policy, 66, 19-31.
30. Ekpeni, L. E. N., Benyounis, K. Y., Ekpeni, F. N., Stokes, J. ve Olabi, A. G., 2014. Energy diversity through renewable energy source (RES): A case study of biomass, Energy Procedia, 61, 1740-1747.
31. Demirbas, A., 2008. Importance of biomass energy sources for Turkey, Energy Policy, 36, 2, 834-842.
32. Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B. ve Sunan, E., 2009. Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey, Energy Policy, 37, 2, 424-431.
33. Toklu, E., 2017. Biomass energy potential and utilization in Turkey, Renewable Energy, 107, 235-244.
34. Kaygusuz, K., 2002. Sustainable development of hydropower and biomass energy in Turkey, Energy Conversion and Management, 43, 8, 1099-1120.
35. Kaygusuz, K. ve Sekerci, T., 2016. Biomass for efficiency and sustainability energy utilization in Turkey, Journal of Engineering Research and Applied Science, 5, 1, 332-341.
36. Taner, F., Ardic, I., Halisdemir, B. ve Pehlivan, E., 2004. Biomass use and potential in Turkey, Biomass and Agriculture, Organisation for Economic Co-Operation and Development Report, 439-453.
37. Avcioğlu, A. O., Dayioğlu, M. A. ve Türker, U. J. R. E., 2019. Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey, Renewable Energy, 138, 610-619.
38. Yelmen, B. ve Çakir, M. T., 2016. Biomass potential of Turkey and energy production applications, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 11, 5, 428-435.
39. Ozcan, M., Öztürk, S. ve Oguz, Y., 2015. Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey, Engineering Science and Technology, an International Journal, 18, 2, 178-184.
40. Guresci, E., 2020. A general view of the biomass energy potential and its use in Turkey, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy, 173, 4, 141-149.

41. Çömert, R., 2018. Coğrafi bilgi sistemleri çalışmaları için temel kartografik bilgiler, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir. URL Adres: <https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/CBS104U/ebook/CBS104U-15V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf> Erişim Tarihi:12.12.2023.
42. Yomralıoğlu, T., 2009. Coğrafi bilgi sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamaları, 5. Baskı, Akademi Kitabevi, Trabzon.
43. Erşen, E., 2013. Karar problemlerinin çözümü için oyun teorisi ve coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bütünleşik bir yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
44. Wilcox, M., 2012. Maps and legends. URL Adres: <http://waste360.com/geographic-informationsystems-gis/maps-and-legends> Erişim tarihi: 11.12.2023.
45. Töreayen, G., Özdemir, İ. ve Kurt, T., 2010. ArcGIS 10 uygulama dokümanı, 1. Baskı, Ankara. URL Adres: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_e0cf3.pdf Erişim tarihi: 11.12.2023.
46. Supriadi, A. ve Oswari, T. 2020. Analysis of geographical information system (GIS) design aplication in the fire department of Depok City. Technium Social Sciences Journal, 8, 1-7.
47. Adimalla, N. ve Taloor, A. K., 2020. Hydrogeochemical investigation of groundwater quality in the hard rock terrain of South India using geographic information system (GIS) and groundwater quality index (GWQI) techniques, Groundwater for Sustainable Development, 10, 100288.
48. Ding, Z., Niu, J., Liu, S., Wu, H. ve Zuo, J., 2020. An approach integrating geographic information system and building information modelling to assess the building health of commercial buildings, Journal of Cleaner Production, 257, 120532.
49. Mohammed, S., Alsafadi, K., Ali, H., Mousavi, S. M. N., Kiwan, S., Hennawi, S., Harsanyie, E., Pham, Q. B., Linh, N. T. T., Ali, R., Anh, D. T. ve Thai, V. N., 2022. Assessment of land suitability potentials for winter wheat cultivation by using a multi criteria decision support-geographic information system (MCDS-GIS) approach in Al-Yarmouk Basin (Syria), Geocarto International, 37, 6, 1645-1663.
50. Erdi, A., Durduran, S. ve Özkan G., 2004. Türkiye’de coğrafi bilgi sistemi çalışmalarında kurumsal politikalar ve bir öneri, 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Ankara.
51. URL-2 <<http://www.netcad.com/tr/sektor-ve-cozumler/tarim>>, Erişim tarihi: 11.12.2023.

52. Çoruhlu, Y. E. ve Demir, O., 2009. Türkiye’de sürdürülebilir arazi yönetiminde coğrafi bilgi sisteminin (CBS) önemi: Vakıflar Genel Müdürlüğü (VGM) CBS örneği, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
53. Coşar, G. Ö. ve Engindeniz, S., 2011. Tarım arazilerinin değerlemesinde coğrafi bilgi sisteminden yararlanma olanakları, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 48, 3, 283-290.
54. Burrough, P. A. ve Frank, A., 2020. Geographic objects with indeterminate boundaries, CRC Press, London.
55. Akar, İ., 2015. Uzaktan algılama-CBS sitesi. URL Adres: http://www.irfanakar.com/turkish/genelbilgilercbs.html#cbs_uygulama_alanları Erişim tarihi: 11.12.2023.
56. Manson, S. M., Schroeder, J., Riper, D. V., Kugler, T. ve Ruggles, S., 2020. IPUMS national historical geographic information system: version 15.0. [Database]. URL Adres: <https://www.ipums.org/projects/ipums-nhgis/d050.v15.0> Erişim tarihi: 11.12.2023.
57. Chang, K. T., 2017. Geographic information system, International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology, Wiley-Blackwell, Hoboken, USA.
58. Bernhardsen, T., 2002. Geographic information systems: an introduction, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, USA.
59. Longley, P., 2005. Geographic information systems and science, Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester, England.
60. Chang, K. T., 2008. Introduction to geographic information systems, Mcgraw-hill, Boston, USA.
61. DeMers, M. N., 2008. Fundamentals of geographic information systems, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, USA.
62. Maliene, V., Grigonis, V., Palevičius, V. ve Griffiths, S., 2011. Geographic information system: Old principles with new capabilities, Urban Design International, 16, 1-6.
63. Obermeyer, N. J. ve Pinto, J. K., 2007. Managing geographic information systems, Second Edition, Guilford Press, New York, USA.
64. Hess, R. L., Rubin, R. S. ve West, L. A., 2004. Geographic information systems as a marketing information system technology, Decision Support Systems, 38, 2, 197-212.
65. Burrough, P. A., McDonnell, R. A. ve Lloyd, C. D., 2015. Principles of geographical information systems, Third Edition, Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.

66. Asadi, M. ve PourHossein, K., 2019. Wind and solar farms site selection using geographical information system (GIS), based on multi criteria decision making (MCDM) methods: A case-study for East-Azerbaijan, Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG), Tehran, Iran, Bildiriler Kitabı, 1-6.
67. URL-3 <<https://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/2/files/program/arcgis.pdf>>, Erişim tarihi: 08.12.2023.
68. Hamurcu, M. ve Eren, T., 2015. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile monoray güzergah seçimi, Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul.
69. Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. ve Dağ. O., 2015. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 33, 215-228.
70. Paksoy, S., 2017. Çok kriterli karar vermede güncel yaklaşımlar, Karahan Kitabevi, Adana.
71. Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama, Yüksek Lisans Tezi, PAÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
72. Menteş, A., 2000. Manevra ve sevk sistemi seçiminde bulanık çok kriterli karar verme. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
73. Saaty, T. L., 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation, pp. 281, McGraw, New York, USA.
74. Ömürbek, N., Üstündağ, S. ve Helvacıoğlu, Ö. C., 2013, Kuruluş yeri seçiminde analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanımı: Isparta Bölgesi'nde bir uygulama, Yönetim Bilimleri Dergisi, 11, 21, 101-116.
75. Saaty, T. L. ve Kearns, K. P., 1985. Analytical planning: The organization of system, Pergamon Press, Great Britain.
76. Vaidya, O. S. ve Kumar, S., 2006. Analytic hierarchy process: an overview of applications, European Journal of Operational Research, 169, 1-29.
77. Eleren, A., 2007. Markaların tüketici tercih kriterlerine göre Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile değerlendirilmesi: Beyaz eşya sektöründe bir uygulama, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 14, 2, 47-64.
78. Aydın, Ö., Öznehir, S. ve Akçalı, E., 2009. Ankara için optimal hastane yeri seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14, 2, 69-86.
79. Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) yöresinin heyelan duyarlılığı açısından irdelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

80. Hatefi Ardakani, A. ve Ekhtesasi, M., 2016. Groundwater potentiality through analytic hierarchy process (AHP) using remote sensing and geographic information system (GIS), *Geopersia*, 6, 1, 75-88.
81. Hoang, H. T. T., Truong, Q. H., Nguyen, A. T. ve Hens, L., 2018. Multicriteria evaluation of tourism potential in the central highlands of vietnam: Combining geographic information system (GIS), analytic hierarchy process (AHP) and principal component analysis (PCA), *Sustainability*, 10, 9, 3097.
82. Girard, L. F., Cerreta, M. ve De Toro, P., 2012. Analytic hierarchy process (AHP) and geographical information systems (GIS): An integrated spatial assessment for planning strategic choices, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 4, 1, 4-26.
83. Al-Hanbali, A., Alsaaideh, B. ve Kondoh, A., 2011. Using GIS-based weighted linear combination analysis and remote sensing techniques to select optimum solid waste disposal sites within Mafraq City, Jordan, *Journal of Geographic Information System*, 3, 4, 267-278.
84. Aydın, N., Kentel, E. ve Düzgün, S., 2013. GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey, *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106.
85. Uyan, M., 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
86. Asakereh, A., Omid, M., Alimardani, R. ve Sarmadian, F., 2014. Developing a GIS-based Fuzzy AHP model for selecting solar energy sites in Shodirwan Region in Iran, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 68, 37-48.
87. Pareta, K., 2013. Remote sensing and GIS based site suitability analysis for tourism development, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 2, 5, 43-58.
88. Wang, Q., M'ikiugu, M. M. ve Kinoshita I., 2014. A GIS-based approach in support of spatial planning for renewable energy: A case study of Fukushima, Japan, *Sustainability*, 6, 4, 2087-2117.
89. Maxson, M. L., 2007. Fuzzy logic techniques applied to a switchgrass ecological site suitability model for the state of Mississippi, Dissertation, Faculty of Mississippi State University, Mississippi.
90. Cengiz, T. ve Akbulak, C., 2009. Application of analytical hierarchy process and geographic information systems in land-use suitability evaluation: A case study of Dümrek village (Çanakkale, Turkey), *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 16, 4, 286-294.

91. Mohammadi-Behzad, H. R., Charchi, A., Kalantari, N., Nejad, A. M. ve Vardanjani, H. K., 2019. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques: A case study in the Leylia–Keynow watershed, southwest of Iran, Carbonates and Evaporites, 34, 4, 1307-1319.
92. Yılmaz, S., 2006. Bulanık mantık ve mühendislik uygulamaları ders notları, KOÜ, Kocaeli.
93. Şen, Z., 2002. Bulanık (Fuzzy) mantık ve modelleme ilkeleri, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul.
94. Dağdelen, U., 1996. Bulanık mantık ile adım motor kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
95. URL-4 <<http://www.bilisimdergi.com/Bulanik-Mantik-2-2.html>>, Erişim tarihi: 11.12.2023.
96. Derviş, R., 2015. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok nitelikli karar verme (ÇNKV) yöntemi ile lojistik tesislerin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
97. Aydın, A. ve Eker, R., 2011. CBS tabanlı bulanık üyelik modeliyle eğitim haritalarının hazırlanması ve klasik yöntemle karşılaştırılması: Çığ risk değerlendirme uygulaması, 1. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, Bildiriler Kitabı, 206-212.
98. Ural, Ş., 2004. Puslu (Fuzzy) mantık, Mantık, Matematik ve Felsefe 1. Ulusal Sempozyumu, Assos-Çanakkale, Bildiriler Kitabı, 43-60.
99. Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338-353.
100. Zadeh, L. A., 1995. Discussion: Probability theory and Fuzzy logic are complementary rather than competitive, Technometrics, 37, 3, 271-276.
101. Topal, M. ve Topal, E. I. A., 2012. Ürün bitkilerinden yenilenebilir enerji kaynağı biyokütle enerjisi potansiyelinin belirlenmesi: Afyonkarahisar ili örneği (2006-2010), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 2, 1-11.
102. Yokuş, İ., 2011. Sivas ilindeki hayvansal atıklardan biyogaz potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
103. Eryılmaz, T., Yesilyurt, M. K., Gokdogan. O. ve Yumak, B., 2012. Determination of biogas potential from animal waste in Turkey: A case study for Yozgat province, 2, 4, 106-111.
104. Yapraklı, S. ve Bayramoğlu, T., 2014. Biyokütle enerjisi potansiyeli ve ekonomik etkileri: TRA1 bölgesi üzerine bir saha araştırması, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 18, 2, 319-336.

105. Avcioğlu, A. O. ve Türker, U., 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3, 1557-1561.
106. Shi, Y., Ge, Y., Chang, J., Shao, H. ve Tang, Y., 2013. Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: Potential, challenges and development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 432-437.
107. Özer, B., 2017. Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey, *Energy*, 139, 1144-1152.
108. Şenol, H., Elibol, E. A., Açikel, Ü. ve Şenol, M., 2017. Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynakları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 2, 15-28.
109. Doruk, İ. ve Bozdeveci, A., 2017. Denizli ilinin kırsal kesimlerinde hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 3, 181-186.
110. Nacar Koçer, N. ve Kurt, G., 2013. Malatya'da hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi, *SAÜ. Fen Bil. Der.*, 17, 1, 1-8.
111. Avcioğlu, A. O., Çolak, A. ve Türker, U., 2013. Türkiye'nin tavuk atıklarından biyogaz potansiyeli, *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10, 1, 21-28.
112. Çağlayan G. H. ve Koçer N. N., 2014. Muş ilinde hayvan potansiyelinin değerlendirilerek biyogaz üretiminin araştırılması, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 1, 215-220.
113. Gülşen, H. ve Çiftçi, C., 2017. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yenilenebilir enerji kaynakları bakımından potansiyelinin araştırılması, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 3 48-56.
114. Peerapong, P. ve Limmeechokchai, B., 2017. Biogas-based electricity generation in swine farm in Thailand: Economic and CO 2 reduction aspects, *Energy Procedia*, 138, 657-661.
115. Karakuzulu, Z., Arıcı, F. ve Dumansızoğlu, M., 2017. Doğu Anadolu Bölgesi'nin biyogaz enerji potansiyeli, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5, 39, 541-554.
116. Karagöz, M., Çiftçi, B., Deniz, E. ve Binark, A. K., 2018. Karabük ilinde hayvansal atıktan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi ve örnek biyogaz tesisi kurulumu, *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*, Karabük, Bildiriler Kitabı, 629-634.
117. Tunçez, F. D., 2018. Ereğli ilçesinin biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1, 1, 1-7.

118. Bilandzija, N., Voca, N., Jelcic, B., Jurisic, V., Matin, A., Grubor, M., ve Kricka, T., 2018. Evaluation of Croatian agricultural solid biomass energy potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 225-230.
119. Gao, M., Wang, D., Wang, H., Wang, X. ve Feng, Y., 2019. Biogas potential, utilization and countermeasures in agricultural provinces: A case study of biogas development in Henan province, China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 191-200.
120. Salihoğlu, N. K., Teksoy, A. ve Altan, K., Büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Balıkesir ili örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 1, 31-47.
121. Koçer, N. ve Ünlü, A., 2007. Doğu Anadolu Bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 5, 2, 175-181.
122. Gümüştü, M. ve Uyanık, S., 2010. Güneydoğu Anadolu Bölgesi hayvansal atıklarından biyogaz ve biyogübre eldesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 16, 118, 59-65.
123. Kurt, G. ve Koçer, N. N., 2010. Malatya ilinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26, 3, 240-247.
124. Karaj, S., Rehl, T., Leis, H. ve Müller, J., 2010. Analysis of biomass residues potential for electrical energy generation in Albania, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1, 493-499.
125. Altıkat, S. ve Çelik, A., 2012. Iğdır ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 1, 61-66.
126. Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş. ve Bayrakçı, A. G., 2013. Biyokütle enerjisine sektörel yaklaşım: İzmir örneği, *Mühendis ve Makine*, 54, 639, 78-85.
127. Dalkılıç, K. ve Uğurlu, A., 2013. Tavuk gübresinden biyogaz üretimi, *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10, 14-19.
128. Baran, B., Alagöz, B. B., Kaygusuz, A. ve Akcin, M., 2013. Geleceğin akıllı şebekelerinde kentsel katı atık tabanlı dağıtık elektrik üretimi, *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara.
129. Tekeli, M., 2014. Türkiye biyogaz potansiyelinin belirlenerek ısı ve elektrik enerjisi üretimine uygulanabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
130. Aybek, A., Üçok, S., İspir, M. A. ve Bilgili, M. E., 2015. Türkiye’de kullanılabilir hayvansal gübre ve tahıl sap atıklarının biyogaz ve enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması, *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12, 3, 109-120.

131. Aybek, A., Üçok, S., Bilgili, M. E. ve İspir, M. A., 2015. Kahramanmaraş İlinde bazı tarımsal atıkların biyogaz enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29, 2, 25-37.
132. Demir, B., Kuş, Z. A., İrik, H. A. ve Çetin, N., 2015. Mersin ili tarımsal biyokütle enerji eşdeğer potansiyeli, Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi, 29, 2, 12-18.
133. Kumar, A., Kumar, N., Baredar, P. ve Shukla, A. A., 2015. Review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 530-539.
134. Lourinho, G. ve Brito, P., 2015. Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo), Energy, 81, 189-201.
135. Alibaş, İ., Özsoy, G. ve Eliçin, A. K., 2015. Diyarbakır ili tarımsal kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Tarım Makineleri Dergisi, 11, 1, 75-87.
136. Ulusoy, Y., Arslan, R., Ulukardeşler, A. H., Kaplan, C., Kul, B. ve Arslan, R., 2015. Bursa ili tarımsal organik atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve biyogazın dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29, 2, 39-45.
137. Karaman, S., Avan, H. ve Gökalp, Z., 2015. Tokat ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz enerjisi potansiyeli ve uygulanabilirliği, Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi, 4, 2, 11-19.
138. Ilgar, R., 2016. Hayvan varlığına göre Çanakkale biyogaz potansiyelinin tespitine yönelik bir çalışma, Doğu Coğrafya Dergisi, 21, 35, 89-106.
139. Karaca, C., 2017. Hatay ilinin hayvansal gübre kaynağından üretilebilir biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University, 22, 1, 34-39.
140. Demir, M., 2017. Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli ve kullanılabilirliği, Türk Coğrafya Dergisi, 68, 31-41.
141. Köse, E. T., 2018. Trakya bölgesinde hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi ve sayısal haritaların oluşturulması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 6, 762-772.
142. Voivontas, D., Assimacopoulos, D. ve Koukios, E. G., 2001. Assessment of biomass potential for power production: A GIS based method, Biomass Bioenergy, 20, 2, 101-112.
143. Beccali, M., Columba, P., D'Alberti, V. ve Franzitta, V., 2009. Assessment of bioenergy potential in Sicily: A GIS-based support methodology, Biomass Bioenergy, 33, 79-87.

144. Tavares, G., Zsigraiová, Z. ve Semiao, V., 2011. Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste, *Waste Management*, 31, 9-10, 1960-1972.
145. Sliz-Szkliniarz, B. ve Vogt, J., 2012. A GIS-based approach for evaluating the potential of biogas production from livestock manure and crops at a regional scale: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1, 752-763.
146. Sultana, A. ve Kumar, A., 2012. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system, *Applied Energy*, 94, 192-201.
147. Van Dael, M., Van Passel, S., Pelkmans, L., Guisson, R., Swinnen, G. ve Schreurs, E., 2012. Determining potential locations for biomass valorization using a macro screening approach, *Biomass and Bioenergy*, 45, 175-186.
148. Thomas, A., Bond, A. ve Hiscock, K., 2013. A GIS based assessment of bioenergy potential in England within existing energy systems, *Biomass Bioenergy*, 55, Suppl. C., 107-121.
149. Perpina, C., Martínez-Llario, J. C. ve Perez-Navarro, Á., 2013. Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants, *Land Use Policy*, 31, 326-335.
150. Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S. ve Rintala, J., 2014. A geographical information system (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland, *Applied Energy*, 113, 1-10.
151. Avan, H., 2014. Tokat ilindeki hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
152. Silva, S., Alçada-Almeida, L. ve Dias, L. C., 2014. Biogas plants site selection integrating multicriteria decision aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region, *Biomass and Bioenergy*, 71, 58-68.
153. Yürük, F. ve Erdoğan, P., 2015. Düzce ilinin hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz potansiyeli ve K-Means Kümeleme ile optimum tesis konumunun belirlenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4, 1, 47-56.
154. Franco, C., Bojesen, M., Hougaard, J. L. ve Nielsen, K., 2015. A fuzzy approach to a multiple criteria and geographical information system for decision support on suitable locations for biogas plants, *Applied Energy*, 140, 304-315.
155. Cebi, S., Ilbahar, E. ve Atasoy, A., 2016. A fuzzy information axiom based method to determine the optimal location for a biomass power plant: A case study in Aegean Region of Turkey, *Energy*, 116, 894-907.

156. Venier, F. ve Yabar, H., 2017. Renewable energy recovery potential towards sustainable cattle manure management in Buenos Aires Province: Site selection based on GIS spatial analysis and statistics, *Journal of Cleaner Production*, 162, 1317-1333.
157. Derse, O., 2018. Biyogaz enerji tesisi için hedef programlama ile yer seçimi problemi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 121-126.
158. Zareei, S., 2018. Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran, *Renewable Energy*, 118, 351-356.
159. Yokuş, İ., 2019. Sivas ili hayvansal atık kaynaklı sürdürülebilir biyogaz üretimi için optimum tesis lokasyonlarının belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
160. Bölek, A. M., 2019. Biyokütle tedarik zinciri ağ yapısı tasarımı- biyogaz tesis yeri seçimi için bir modelleme yaklaşımı, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
161. Kheybari, S., Kazemi, M. ve Rezaei, J., 2019. Bioethanol facility location selection using best-worst method, *Applied Energy*, 242, 612-623.
162. Yalcinkaya, S., 2020. A spatial modeling approach for siting, sizing and economic assessment of centralized biogas plants in organic waste management, *Journal of Cleaner Production*, 255, 120040.
163. Ferrari, G., Pezzuolo, A., Nizami, A.-S. ve Marinello, F., 2020. Bibliometric analysis of trends in biomass for bioenergy research, *Energies*, 13, 14, 3714.
164. Denizli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, 2023. Denizli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü brifing raporları, Denizli.
165. Denizli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, 2020. Denizli Tarım ve Orman İl Müdürlüğü TÜRKVET verileri, Denizli.
166. Omer, A. M. ve Fadalla, Y., 2003. Biogas energy technology in Sudan, *Renewable Energy*, 28, 499-507.
167. Köttner, M., 2003. Dry fermentation- a new method for biological treatment in ecological sanitation systems (ecosan) for biogas and fertilizer production from stackable biomass suitable for semiarid climates. URL Adres: <https://www.scribd.com/document/169894066/Dry-Fermentation-a-New-Method-for-Biological-Treatment-and-Biogas-Production-in-Semiarid-Climates-2002> Erişim Tarihi: 10.10.2023.
168. Nacar Koçer, N., Öner, C. ve Sugözü, İ., 2006. Türkiye’de hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.

169. Başçetinçelik, A., Öztürk, H. ve Karaca, C., 2007. Türkiye’de tarımsal biyokütleden enerji üretim olanakları. URL Adres: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/32590c74a229a9f_ek.pdf Erişim Tarihi:04.01.2019.
170. Eryaşar, A., 2007. Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, testi ve performansına etki eden parametrelerin araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
171. Onurbaş, A. ve Eliçin, A. K., 2010. Ankara'nın hayvansal atıklardan biyogaz potansiyeli ve uygun reaktör büyüklüğünün belirlenmesi, 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Hatay, Bildiriler Kitabı, 356-362.
172. T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, 2023. URL Adres: <https://harita.gov.tr> Erişim tarihi: 12.12.2023.
173. URL-5 <<https://usgs.gov>>, Erişim tarihi: 12.12.2023.
174. URL-6 <<https://openstreetmap.org>>, Erişim tarihi: 12.12.2023.
175. URL-7 <<https://land.copernicus.eu>>, Erişim tarihi: 12.12.2023.
176. Şahin, E. K., 2012, CBS tabanlı çok kriterli karar analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Trabzon ili örneği, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen bilimleri Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
177. Erden, T. ve Coskun, M. Z., 2011. Coğrafi bilgi sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi yardımıyla itfaiye istasyon yer seçimi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.