

## CBS Ağ Analizi Yöntemleri ile Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesisi Yer Seçimi: Eskişehir Örneği

### Site Selection of Animal Manure Operated Biogas Power Plant with GIS Network Analysis: Eskişehir Case

Hakan Oktay Aydın<sup>1\*</sup>, Hakan Uyguçgil<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir/Türkiye.

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### \*Sorumlu yazar:

Hakan Oktay Aydın  
aydinlihanoktay@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1220098

#### Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.12.2022

Kabul tarihi: 10.07.2023

Basım tarihi: 28.09.2023

#### Özet

Dünya enerji ihtiyacının yüzde 63'ü fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu kaynakların zaman içerisinde azalması ve sıfır karbon emisyonu destekli projelere ilginin artması sonucunda tüm dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle başlıca kaynaklar olarak yer almaktadır. Biyokütle hem kaynak ürün çeşitliliği hem de düşük kurulum maliyetleri açısından mevcut yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında ön plana çıkmaktadır. Biyokütle enerjisi için gerekli ham maddeler arasında temel olarak tarım ve hayvan kaynaklı organik atıklar gösterilebilir. Ham maddelerin farklı konumlardan elde edilerek enerji üretim tesisine transfer edilmesi sırasında Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile nakliye maliyetleri minimuma indirilerek üretim tesisi için en uygun yer seçimi belirlenebilmektedir. Bu kapsamda, pilot proje olarak seçilen Eskişehir ili ve ilçelerindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvanların oluşturduğu organik atık miktarları üzerinden yapılan değerlendirme sonucu ağ analizleri – konum tahsis analizi (location-allocation) yardımı ile biyokütle (biyogaz) santrali için en uygun yer belirleme çalışması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Biyokütle, Eskişehir, Ağ analizleri, Konum tahsis analizi

#### Abstract

Fossil fuel sources meet 63 percent of the world's energy demands. The development and use of renewable energy resources have spread worldwide as a consequence of the decline in fossil fuel sources through time and a growth in interest in projects backed by zero carbon emissions. Solar, wind, geothermal, hydropower, and biomass are the most common renewable energy sources. In terms of supply diversity and inexpensive installation costs, biomass stands out among renewable energy sources. Organic wastes of agricultural and animal origin can be found among the raw materials necessary for biomass energy. Transportation expenses are minimized during the transfer of raw materials from various locations to the production facility by the help of Geographic Information Systems (GIS), and the most appropriate site for the production facility may be determined. In this context, as a result of an evaluation of the quantity of organic waste created by bovine and ovine in Eskişehir province and its districts, the most appropriate location for the biomass (biogas) power plant has been tried to be established using network analysis – location allocation.

**Keywords:** Renewable energy, Biomass, Eskişehir, Network analysis, Location-allocation

## 1. Giriş

Dünyadaki enerji talebinin yüzde altmış üçü kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar tarafından sağlanmaktadır (IEA, 2023). Kanıtlanmış rezervlerin sınırlı olması ve yüksek düzeyde sera gazı üretimi nedeniyle fosil yakıtların kullanımının belli dezavantajları bulunmaktadır. Mevsimsel sıcaklık ortalamalarındaki artış ve iklimdeki dalgalanma, sera gazının potansiyel sonuçları olarak kabul edilmektedir. İklim istikrarsızlığı ve sera gazı üretiminin olumsuz etkileri, hükümetleri fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara geçiş konusunda bir vizyon geliştirmeye sevk etmiştir (Mediavilla, 2013). Paris Anlaşması (Davenport, 2015) ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7 (SDG7) (UN, 2023), ülkeleri yenilenebilir enerji kullanmaya teşvik etmek için tasarlanmış uluslararası anlaşmalardır. Bu bağlamda, enerji güvenliği ve sürdürülebilirliği ile ilgili son dönemde yapılan akademik ve endüstriyel çalışmalara bakıldığında yenilenebilir enerji araştırmaları ön plana çıkmıştır (Kim vd., 2018). Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş, rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik ve jeotermal enerji gösterilmektedir (Takan ve Kandemir, 2020). Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak biyokütle doğrudan yakma yoluyla enerji üretebilen (Stevenson ve Hojati, 2007) veya çeşitli biyoyakıt formlarına dönüştürülerek dolaylı olarak enerji üretebilen tamamen yenilenebilir bir kaynaktır (Bomani vd., 2009). Biyokütle enerjisi düşük karbon salınımı ve çevre dostu özelliği ile yükselen enerji talebini karşılamak üzere iyi bir alternatif enerji kaynağı olarak göze çarpmaktadır. Tarım ve orman ürünleri, hayvan gübreleri, evsel ve endüstriyel organik atıklar biyokütle santralleri için kullanılan ham maddeler olarak öne çıkmaktadır (Kapluhan, 2014). Biyokütle kaynaklarının havasız bir ortamda çeşitli bakteri grupları tarafından parçalanması (oksijensiz çürüme) sonucu havadan hafif, rensiz, kokusuz, büyük miktarda metan ve karbondioksit ihtiva eden ve biyogaz olarak adlandırılan yanıcı gaz ortaya çıkmaktadır (Kılıç, 2007).

Coğrafi olarak oldukça dağınık yayılmış bir enerji türü olan biyogaz, aynı zamanda bazı yakıt ve kimyasalların üretimi için de kullanılmaktadır. Üretilen yakıtların ve kimyasalların toplam üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü (%33-50) ham maddelerin nakliye maliyeti oluşturmaktadır (Kumar vd., 2006). Bu açıdan bakıldığında, ekonomik olarak sürdürülebilir bir biyogaz tesisi kurmak için kaynakların biyogaz tesislerine nakliye maliyetlerinin düşük tutulması ve tedarik zinciri devamlılığının sağlanması işletme maliyetlerini düşürmekte ve işlem süreçlerinde sürekliliği sağlamaktadır (de Jong, 2017). Buna örnek olarak, Şangay'da yapılan çalışmada, atık geri dönüşüm tesisleri için en uygun yer seçimi belirlendiği esnada atıkların tesise taşınması için konum tahsis analizleri kullanmanın servis maliyetlerini azalttığı belirtilmiştir (Wang vd., 2021).

### 1.1 Literatür Özeti

Biyogaz sistemleri tesis kurulumları ile ilgili CBS tabanlı analizler yardımı ile yapılan çalışmalar incelendiğinde ağ analizleri yöntemi kullanılarak farklı kaynak türlerinin (tarımsal, hayvansal, endüstriyel vb.) coğrafi olarak dağılımlarını incelenmiş ve en uygun yer seçimi belirleme çalışmaları yapılmıştır.

Tarımsal üretim kaynaklı çalışmalara bakıldığında, Perpina vd. (2009), Valencia'da yaptığı çalışmada tarımsal atıklar ve orman kalıntılarından oluşan kaynaklar ile kurulması planlanan biyogaz tesisi için zaman, mesafe ve nakliye maliyetleri parametreleri ile sınırlandırılmak üzere ağ analizi metodunu kullanarak en uygun yer seçimi çalışması yapmıştır. Benzer bir çalışmada, Kurka vd. (2012), İskoçya'da orta ölçekli, yerel kullanıma uygun ısı ve enerji üreten birleşik bir biyogaz tesisi kurulumu için hem nakliye kaynaklı düşük CO<sub>2</sub> salınımı hem de düşük nakliye bedelleri açısından optimum yer seçimi için konum tahsis analizini yaparak CBS tabanlı uygulamaların yer seçiminde lojistik bedellerini düşürme adına faydalı bir metot olduğunu göstermiştir. Valenti vd. (2023) tarımsal endüstri zincirini güçlendirerek atıkların endüstriye kazanç olarak geri dönmesi hedefiyle domates atıklarından biyogaz üretebilme adına CBS tabanlı analiz yöntemi ile İtalya'nın Sicilya bölgesinde en uygun yer seçimi çalışması yapmıştır. Nakliye rotalarının belirlenmesi adına Open Street Map veri tabanı kullanılarak 50 km uzunluğunda bir tampon bölge içerisinde var olan kaynak noktalar belirlenerek, en düşük nakliye maliyetleri amaçlanarak yapılan analizde biyogaz tesisi için uygun aday noktalar bulunmuştur. Ferrari vd. (2022) tarafından Kuzey İtalya'da yapılan bir diğer çalışmada, konum tahsis analizi yöntemi kullanılarak geliştirilen senaryolar üzerinden yol ağı, yol geometrisi, kaynak-hedef (Origin-Destination) matrisi tanımlanarak alternatif nakliye çözümleri geliştirilerek 246,8·10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> - 503,6·10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> arası biyogaz üretimi gerçekleştirilerek ekonomiye katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Tarımsal atıkların yanında hayvan kökenli ve endüstriyel atıkların dâhil olduğu çalışmalara bakıldığında, Höhn vd. (2014) tarafından Finlandiya'nın Turku, Salo ve Kymenlaakso bölgelerinde yapılan, geri dönüştürülebilir bitkisel, hayvansal ve tarımsal atıklar ile endüstriyel yan ürünlerin kaynaklar olarak değerlendirildiği çalışmada potansiyel aday noktaları bulabilmek adına ArcGIS Servis Alanı analizi yapılmıştır. Kaynak noktaları ve aday noktalar arası mesafeler ve taşıta özgü kilometre başına nakliye maliyetleri hesaplanarak planlanan tesis için en uygun yer seçimi önerileri verilmiştir. Buna ek olarak, East Midland – İngiltere'de bir biyogaz tesisi kurmak için 3 farklı kaynağın (ev yemek atıkları, hayvansal atıklar ve saman) kaynak noktalarının p-medyan modeli ile mekânsal dağılımı ve bu dağılımın sınırlarının belirlenmesi için konum tahsis analiz modeli kullanıldığı görülmektedir (Comber vd., 2015).

Son dönemde gelişen teknolojik gelişmelere paralel olarak makine öğrenmesi yöntemini kullanan bir çalışmada bulunmaktadır. Bu çalışmada, Sahoo vd. (2018) tarafından Ohio'da saman ve mısır koçanlarının kaynak olarak kullanıldığı biyogaz tesisi için ArcGIS üzerinden konum tahsis analizi yapılarak potansiyel aday noktalar belirlenmiştir. Çalışmada yapay sinir ağları üzerinden toprak erozyonu, toprak durum endeksi ve organik madde faktörü gibi parametreler kullanılarak kaynağın sürekliliği ile ilgili tahminleme çalışması yapılmıştır.

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

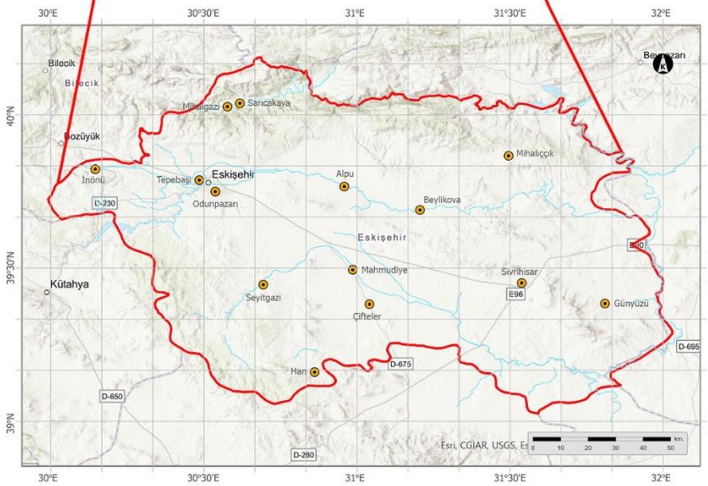
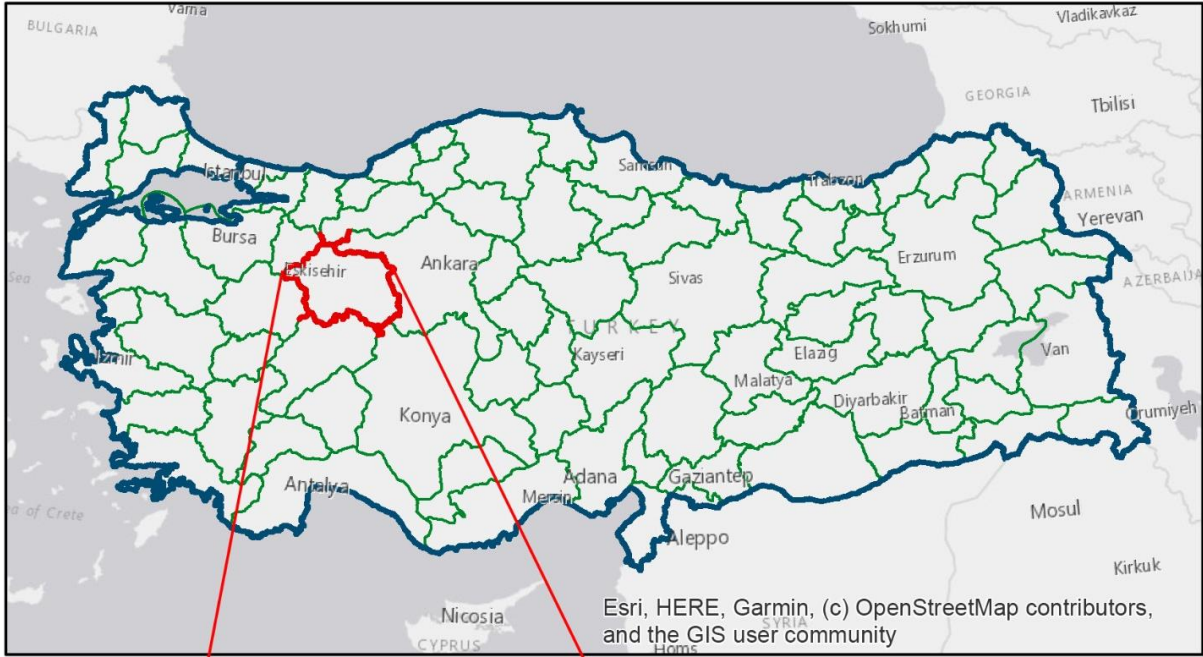
Türkiye genelinde tarım, hayvancılık ve endüstri kökenli atıklar ülke coğrafyası içerisinde geniş bir alana yayılmış durumdadır. Bu atıkların minimum maliyetle toplanması ve tesise ulaştırılması için uygun çözümler geliştirilmelidir. Ülkemizde yenilenebilir enerji alanında CBS kaynaklı uygulamaların kullanıldığı çalışma sayısı kısıtlıdır. Bu çalışmanın amacı, son yıllarda artan enerji gereksinimini karşılamak ve fosil yakıt bağımlılığını azaltmak suretiyle odaklanılan yenilenebilir enerji çözümlerinden birisi olan biyogaz için tesis kurulum süreçlerinde en uygun yer seçimi için CBS tabanlı analizlerden faydalanılmasının öneminin gösterilmesidir.

Geniş düz arazileri ve sulama kaynakları ile tarım ve hayvancılık faaliyetlerine uygun olmasının yanında, ilçe merkezlerinin mahallelere yakınlığı sebebiyle Eskişehir ili bu çalışma için pilot bölge seçilmiştir. Çalışmamız, dağınık bir coğrafyada bulunan hayvan kökenli atıkların CBS tabanlı konum tahsis analizi kullanılarak kaynak ağırlıkları esasına göre alternatif biyogaz tesis yerleri önererek en uygun yer seçimi yapması sebebiyle ülkemizde yapılan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Buna ek olarak, bu çalışmanın sürdürülebilir ve dengeli enerji politikalarına katkı sunacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, Eskişehir ili ve ilçelerindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvanların oluşturduğu yıllık organik atık miktarları üzerinden yapılan değerlendirme sonucu ağ analizleri yardımı ile pilot bir biyogaz tesisi için hazırlanan senaryoya göre en uygun yer belirlenmesine çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Çalışma Alanı

Eskişehir il sınırlarının kapsadığı alan Şekil 1'de gösterildiği gibi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Sakarya Bölümü'nde yer alan bir ilimizdir. Eskişehir kent merkezi ve ilçe nüfusları dâhil edildiğinde, toplam nüfusu 888.828 kişidir. Yüzölçümü ise 13.960 km<sup>2</sup>'dir. Toplamda 14 ilçe sınırı içerisinde 535 mahalle bulunmaktadır (Kaynarca vd., 2021).



**Lejant**  
— Ülke Sınırı  
— İl Sınırı

**Şekil 1.** Çalışma alanı - Eskişehir

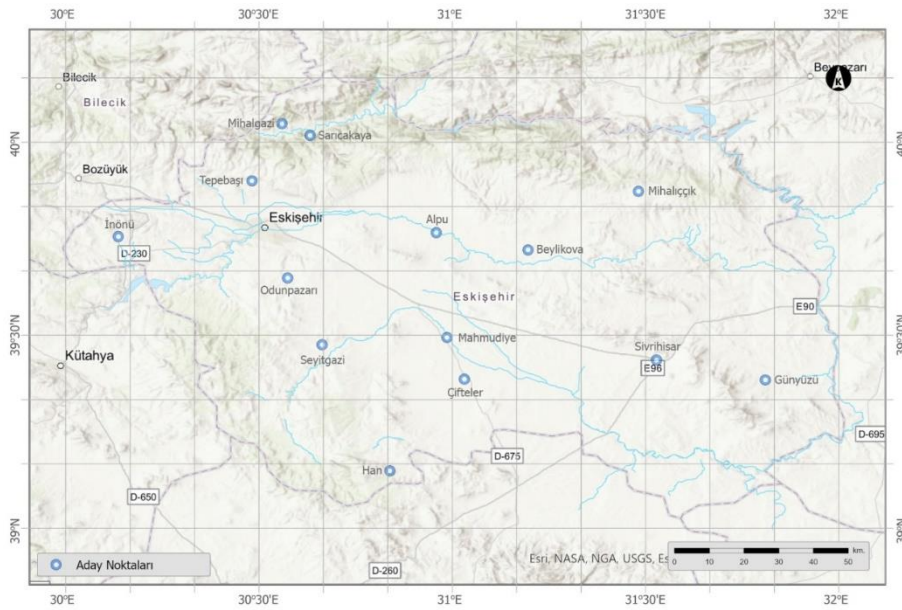
## 2.2 Materyal

Çalışma kapsamında Eskişehir ilinde kurulması planlanan biyogaz tesisi için ilçelerin potansiyellerini öğrenebilmek adına 2021 yılına ait büyükbaş ve küçükbaş hayvan verisi Tarım Orman İl Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında ilçeler bazında büyükbaş ve küçükbaş hayvanların ürettiği gübre miktarlarına bakılarak yıllık toplam potansiyel enerji üretim bilgisi hesaplanmıştır. Hesaplamalara büyükbaş hayvan türleri için sığır ve manda, küçükbaş hayvan türleri için de koyun ve keçi dâhil edilmiştir. Kaynarca vd. (2021)'e göre büyükbaş hayvanların yıllık ürettiği birim metan miktarı  $406,7 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{yıl}$  olarak hesaplanırken, küçükbaş hayvanların ürettiği birim metan miktarı  $6,57 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Çalışma içerisinde hesaplanan değerler üzerinden ilçelere ve mahallelere göre ağırlıklı dağılım yapılarak Tablo 1 içerisinde gösterilmiştir.

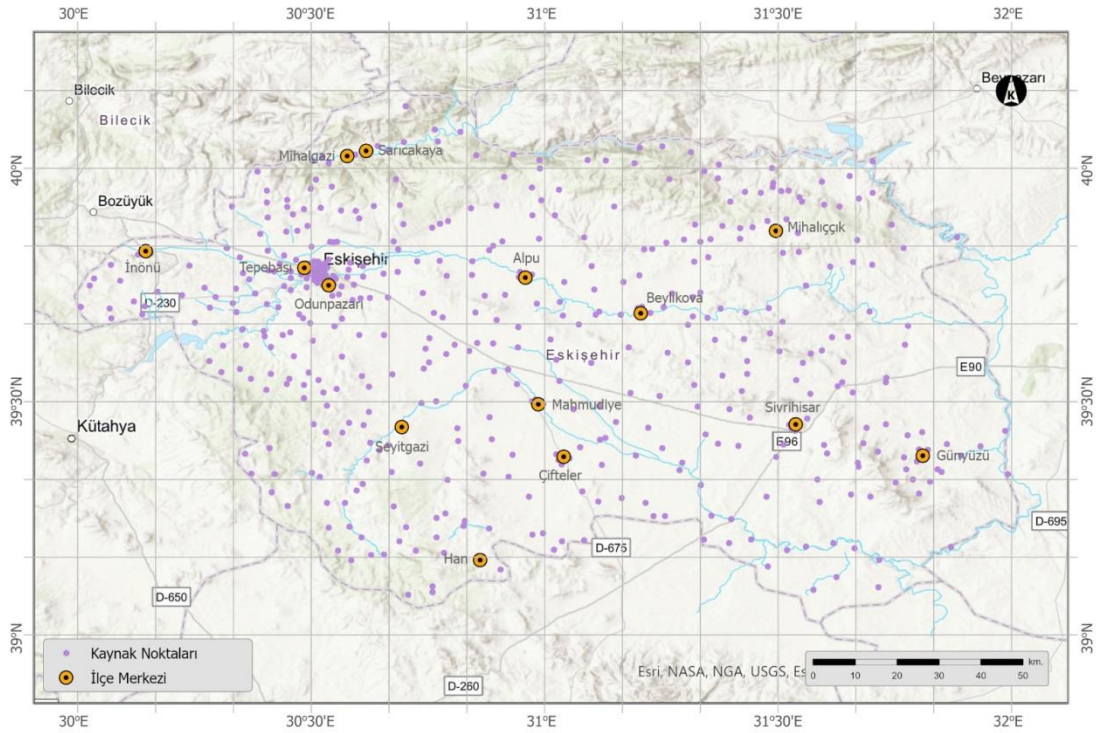
**Tablo 1.** 2021 yılı verilerine göre kaynakların dağılımı

Kaynak Noktaları - 2021					
Numara	İlçeler	Mahalle Sayısı	Büyükbaş	Küçükbaş	Toplam Enerji Potansiyeli (Yıllık Metan - m <sup>3</sup> )
1	ALPU	33	27.506	92.599	11.794.855
2	BEYLİKOVA	25	7.961	58.208	3.627.899
3	ÇİFTELER	28	5.838	113.700	3.121.320
4	GÜNYÜZÜ	22	1.748	55.466	1.075.703
5	HAN	15	1.437	16.425	692.341
6	İNÖNÜ	16	4.554	33.096	2.069.389
7	MAHMUDİYE	19	11.540	46.451	4.997.961
8	MİHALGAZİ	9	828	3.139	357.366
9	MİHALIÇCIK	53	8.983	114.499	4.405.827
10	ODUNPAZARI	85	34.750	76.950	14.637.520
11	SARICAKAYA	14	2.451	11.162	1.069.750
12	SEYİTGAZİ	51	13.991	92.220	6.295.321
13	SİVRİHİSAR	78	12.434	401.416	7.693.855
14	TEPEBAŞI	91	38.507	157.470	16.695.208

Potansiyel kaynak noktalarının sayısal olarak belirlenmesinin ardından, ağ analizlerini yapabilmek adına gerekli haritalar Google Haritalarım yardımı ile oluşturulmuştur. Endüstriyel tesis kurulumu için yer seçimi aşamalarında sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler dikkate alınmaktadır. Bu faktörler işletmenin türüne ve işletmenin hedeflerine göre değişiklik gösterebilmektedir (Çetin, 1994). Pazarlama, ham madde, kamu kurum ve kuruluşlarına olan uzaklık, elektrik ve su ihtiyacı, çevre kirliliği, oluşabilecek kazalar ve rakip tesisler ile olan mesafeleri dikkate alınarak planlama yapılabilmektedir (Somer, 1979; Müftüoğlu, 1989; Dilworth, 1992;). Biyogaz tesisleri ile ilgili yapılan önceki teorik çalışmalar dikkatle incelendiğinde bu alanda yer seçimi için faktörler ile ilgili detay ortaya koymamakla beraber diğer endüstriyel tesis uygulamaları değerlendirilerek teorik bir modelleme yapmak suretiyle ihtiyaç noktaları ve rakip tesisler bilgisi analize dâhil edilmiştir. Oluşturulan haritalar sırasıyla aday noktalar, kaynak noktaları, ihtiyaç noktaları (itfaiye, hastane, atık yönetimi) ve rakip tesis noktalarından oluşmaktadır. Her bir ilçe merkezi potansiyel aday noktası olarak düşünüldüğü için 14 aday noktası Şekil 2'de gösterilmektedir.

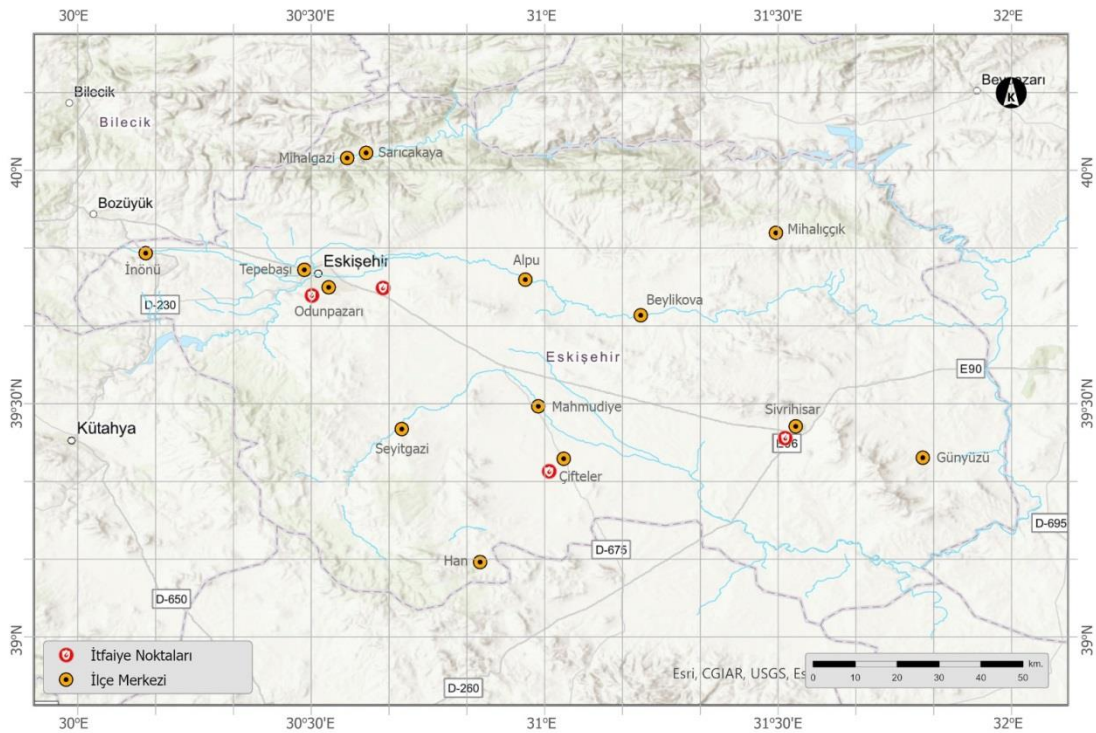
**Şekil 2.** Aday noktalar

Kaynak noktaları mahalle merkezleri dikkate alınarak belirlenmiştir. 535 mahalle merkezi – kaynak noktaları olarak Şekil 3’de sunulmaktadır.



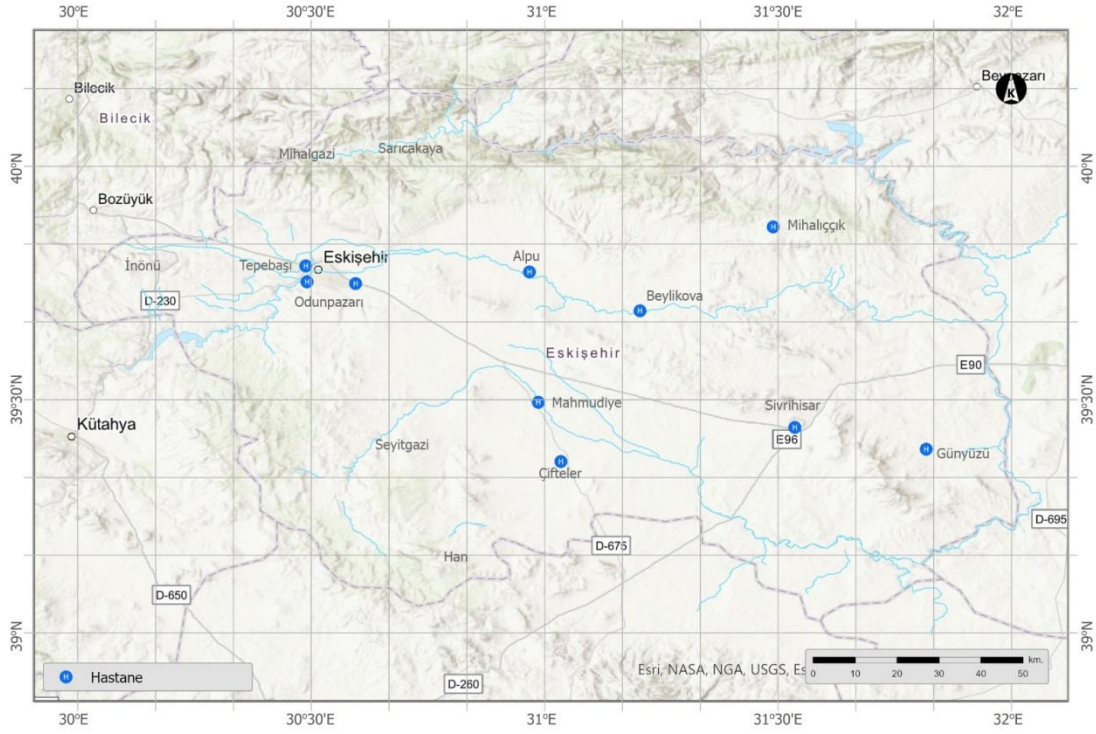
Şekil 3. Kaynak noktaları

İl ve ilçeler genelinde 4 adet itfaiye istasyonu Şekil 4’de gösterilmektedir.



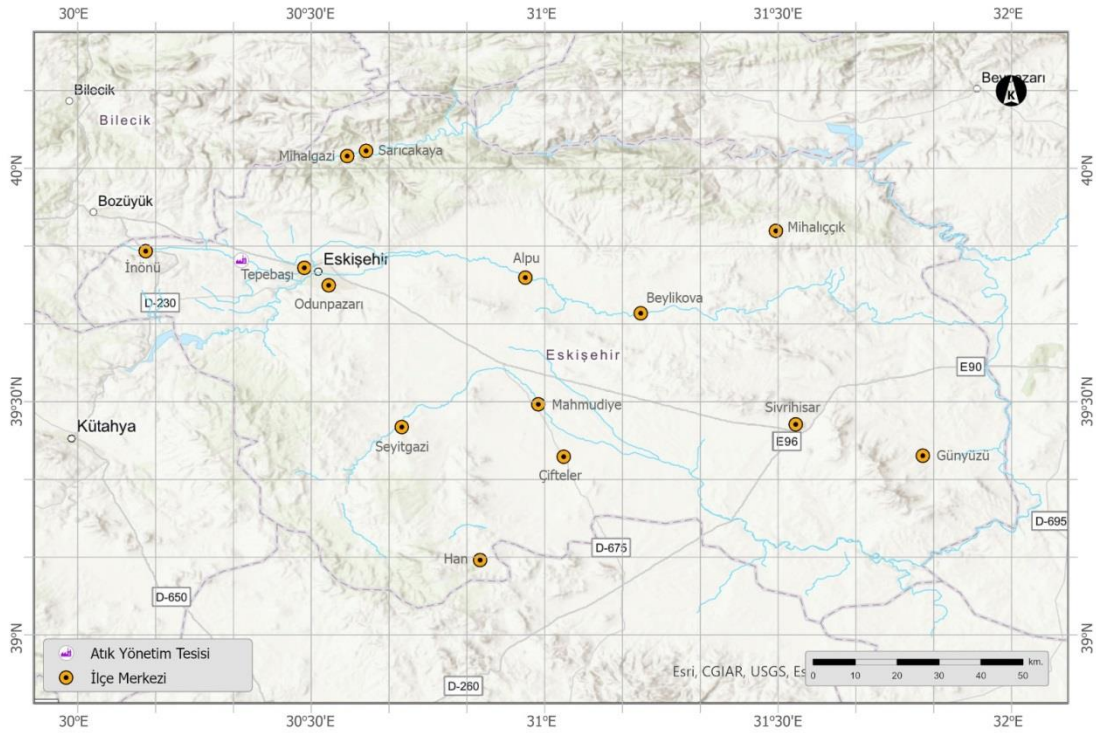
Şekil 4. İtfaiye noktaları

Olası bir iş kazası ve acil yardım gerekliliği olması durumunda il ve ilçeler genelindeki devlet hastaneleri dikkate alınarak 10 hastane seçilmiştir (Şekil 5).



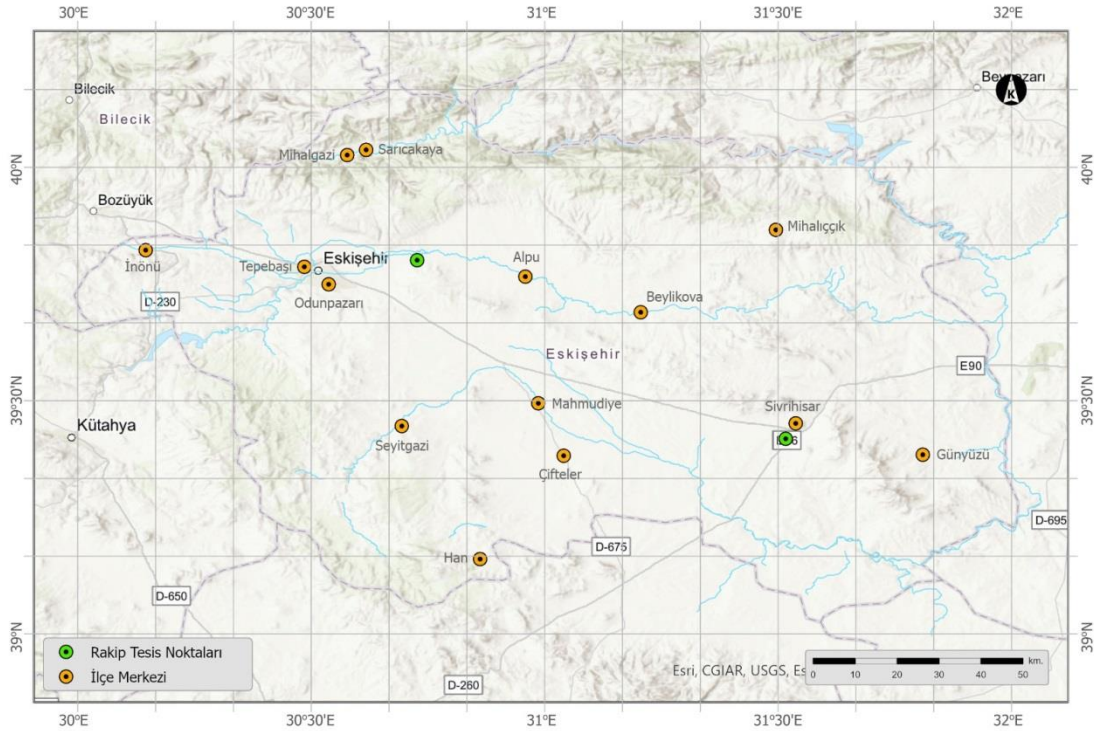
Şekil 5. Hastane noktaları

Atık yönetimi ve bertaraf ihtiyacı olması durumunda, ihtiyacı karşılayabilecek tek bir tesis bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Atık yönetim tesisi

Odunpazarı (Çavlum) ve Sivrihisar'da iki adet alternatif biyogaz tesisi bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Rakip tesis noktaları

### 2.3 Yöntem

Bu çalışmada, konum tahsis analizi kullanılarak Eskişehir ilinde kurulması planlanan biyogaz tesisi için analiz yapılmıştır. Konum tahsis analizi, tesis noktaları ile kaynak noktaları arasındaki ilişkinin kurulmasını hedeflemektedir. Bu ilişkilerin kurulması genel olarak n sayıda uygun konumun, potansiyel kaynak noktaları ile kümelenmesi esasına dayalı olarak geliştirilmektedir. Konum tahsis analizi algoritmaları, mevcut tesis sayısı, maliyetleri ve tesisten bir kaynak noktasına maksimum empedans gibi faktörleri dikkate alarak kaynak noktalarını bir veya daha fazla tesise atayabilir (Scaparra vd., 2001). Konum tahsis analizlerinde kabul gören metod kaynak ağırlıklı mesafedir. p-medyan olarak da bilinen bu yöntemde kaynak ve tesis arasındaki mesafenin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında, Katılımı En Üst Düzeye Çıkarma, Pazar Payını En Üst Düzeye Çıkarma ve Hedef Pazar Payı gibi çeşitli algoritmalara ek olarak var olan problemi belli mesafe sınırları içerisinde çözmek isteyen Maksimum Yer Kaplama (maximal covering location) ve tesis sayısını sınırlayarak kaynak kapsamını optimum olarak dağıtmayı hedefleyen Konum Seti Kapsamı (location set coverage) bulunmaktadır (Comber vd., 2015).

Kurulması planlanan biyogaz tesisi için en uygun yer seçimi çalışmasında konum tahsis analizini oluşturabilmek adına, Google Haritalarım üzerinden hazırlanan haritalar KML formatında dışa aktarılarak ArcGIS Pro'ya yüklenmiştir. ArcGIS Pro üzerinden ağ analizleri çalışması yapmadan önce Aday Noktalar – Facilities, İtfaiye, Hastane, Atık Yönetimi – Required, Rakip Tesis- Competitor ve Kaynak Noktaları – Demand Points olacak şekilde katmanlar oluşturulmuştur. Network Data Seti ArcGIS Pro üzerinden eklenmiştir. Yol ağlarını tanımlamak için Dünya Trafik Seti üzerinden sadece Avrupa seçeneği açık olacak şekilde düzenlenmiştir. Anlık trafik verisi kullanmak için de ağ veri seti uzantısı da aktif hale getirilmiştir. Analiz için eklenen verilerden poligon olarak verilen mahalle verileri nokta şekline dönüştürülmüş ve noktalar mahalle merkezlerini simgelemiştir. Yapılan analizde, kaynak noktaları ve tesisler üzerindeki trafik durumu en yoğun trafik senaryosuna göre planlandığı için analiz yapılan süre trafiğin en yoğun olduğu hafta içi 17.00-18.00 arası olarak seçilmiştir. Valenti vd. (2023)'e göre tampon bölge seçilerek kaynak noktaları ve tesis arası mesafe en fazla 50 km olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Empedans değeri doğrusal (lineer) olarak seçildiği için maliyet değeri 1 olarak kabul edilerek maliyet değerlerinin etkisi analize dahil edilmemiştir. Kaynak tesis arası nakliye süresi (cut-off) 30 dakika ile sınırlandırılmıştır.

Biyogaz tesisinin kurulum ve işletilmesi sürecinde yapılan maliyet analizlerine bakıldığında, tesiste kullanılacak ham maddenin kaynak noktalarından tesise ulaştırılmasının genel giderler içerisinde yüksek maliyet oranına sahip olduğu görülmektedir. Tesis kapasitesi, üretim ihtiyacını tam olarak karşılamak, yüksek verim sağlamak ve süreklilik hedefleri



doğrultusunda var olan kaynakları tedarik zinciri içerisinde tesise ulaşmasını hedeflemektedir. Bu çalışmada, kaynak ağırlıklarına göre hesaplama yapıldığı ve bu senaryo içerisinde rakip tesisler bulunduğu için En Yüksek Pazar Payı (maximize market share) analizi seçilmiştir. En yüksek pazar payının en düşük transfer maliyetleri ile oluşturulmasını sağlayacak yönde analizler yapılmıştır. Analizler yapılmadan önce var olan kaynak noktaları ağırlıklarına göre sınıflandırılmış ve aynı alanda faaliyet göstererek aynı kaynak noktalarını hedefleyen rakip tesislerin bulunması sebebiyle bu analiz yöntemi tercih edilmiştir. Analizler sırasında, kaynağın tesise ulaşması için transfer maliyetlerini düşük tutmak ve transfer esnasında çevre koşulları göz önünde bulundurularak karbon salınımını minimuma indirmek için kaynak- tesis ya da tesis- kaynak arası transfer zamanı minimum olacak şekilde belirlenmiştir.

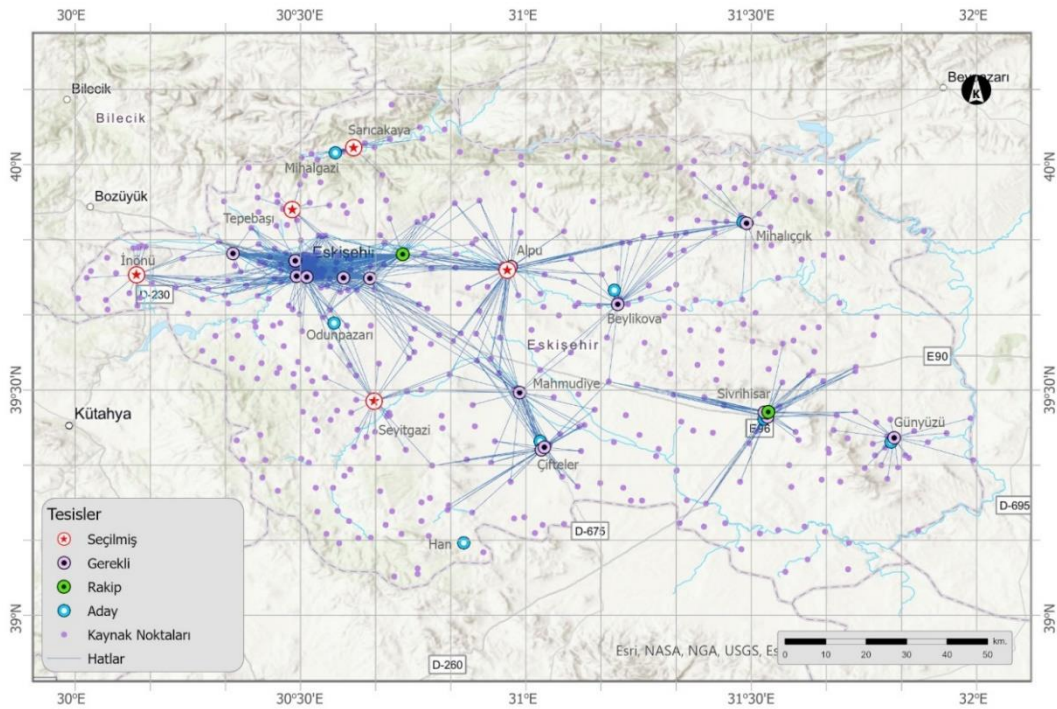
### 3. Bulgular

Eskişehir il sınırları içerisinde hayvan kökenli kaynaklardan elde edilecek organik atıklar ile kurulması planlanan biyogaz tesisi için ağ analizi çalışması yapılmıştır. Analiz sonucuna göre 5 farklı konum, kaynak ağırlıklarının büyüklüklerine göre sıralanmıştır. Konum tahsis analizi sonuçları öz nitelik tablosu üzerinden değerlendirildiğinde ortaya çıkan değerlerin 1 ve üzerinde olanları kaynak noktalarının aday noktaya hizmet verebilme ihtimalini göstermektedir. En çok kaynak noktasının ihtiyacına karşılık verebilecek aday noktalar, aday katmanı üzerinde öz nitelik tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Kaynak noktalarının ağırlıklarına göre seçilmesi muhtemel aday noktaları

Nesne Numarası	Şekil	İsim	Tesis Tipi	Ağırlık	Kapasite	Kaynak Sayısı	Kaynak Ağırlığı
1	Nokta	Seyitgazi	Seçilmiş	1	Belirsiz	26	2333266,36
7	Nokta	Tepebaşı	Seçilmiş	1	Belirsiz	13	1748980,12
8	Nokta	Alpu	Seçilmiş	1	Belirsiz	41	3842603,34
11	Nokta	İnönü	Seçilmiş	1	Belirsiz	21	1793513,53
14	Nokta	Sarıcakaya	Seçilmiş	1	Belirsiz	20	1197884,60

Bu çalışmada Alpu ilçesi 41 farklı kaynak noktasının ortak olarak en uygun seçtiği yer olarak görülmektedir. Kaynak noktalarının oluşturduğu ağırlık üzerinden yapılan değerlendirmeye göre Alpu ilçesinden sonra Seyitgazi 26, İnönü 21, Sarıcakaya 20 ve Tepebaşı 13 kaynak noktasının ihtiyacına karşılık vermektedir. Kaynak noktalarından oluşturulan aday noktaları Şekil 8'de gösterilmektedir.



**Şekil 8.** Konum tahsis (Location - Allocation) Modeline Göre Ağ Analizi Sonuçları

Tablo 1 içerisinde gösterilen kaynak noktalarının ağırlıklı dağılımlarına göre değerlendirilmesi yapıldığında Tepebaşı, Odunpazarı ve Alpu ilçeleri büyükbaş ve küçükbaş hayvanların ürettiği atıklar sonucu toplam potansiyel enerji üretim dereceleri açısından tesis noktaları olma açısından en uygun yerler olarak görülmektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde birçok kaynak noktasının belirlenen tampon alanı dışında kaldığı görülmektedir. Tampon alan değiştirilerek yeni analizler yapılabilir. Alpu ilçesinin, iki büyük merkez ilçe olan Odunpazarı ve Tepebaşı ilçelerinin kaynak yoğunluğunu üzerine aldığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucuna göre 535 mahallesi bulunan Eskişehir ili için 41 mahallenin ihtiyacının tek bir aday noktada toplandığı görülmüştür. Bu sonuca göre, biyogaz enerji tesislerinin yakın mesafelerdeki yerel enerji ihtiyacını karşılamak üzere uygun bir alternatif olduğunda söz edilebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analiz bulgularına göre Odunpazarı ve Sivrihisar'da var olan rakip biyogaz tesisleri, kaynak noktalarının değerlendirilmesi açısından limit oluşturmaktadır. Alpu ilçesi, Tepebaşı ilçesi ve mahallelerine yakınlığı ve var olan rakip tesisler ile aynı kaynak noktalarını paylaşmadığı için bu analiz sonucuna göre en uygun tesis noktası olarak ön plana çıkmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Enerji ihtiyacı, dünya nüfusunun artışı ve sanayideki üretim bolluğu sebebiyle sürekli yükselme eğilimi göstermektedir. Enerjiye olan talebin büyük bir kısmı uzun yıllardır fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Son yıllarda enerjide sürekliliği sağlamak ve sürdürülebilir temiz enerji politikaları oluşturmak adına başta Avrupa ülkeleri olmak üzere bütün dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik eden projeler ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyogaz başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olarak göze çarpmaktadır.

Biyogaz, tarım ve hayvan kaynaklı organik atıkların varlığında ısı ve elektrik enerjisi üretmek esasına dayalı, düşük kurulum maliyetleri olan bir yenilenebilir enerji türüdür. Bölgesel olarak Türkiye'de kurulması teşvik edilen birçok tesis bulunmaktadır. Tarım ve hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı ve organik atıkların yüksek olması sebebiyle İç Anadolu Bölgesi biyogaz tesisleri kurulumu için uygun alt yapıya sahiptir.

Eskişehir, büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları bakımında şehrin ihtiyacı olan enerjinin belirli bir kısmını biyogaz tesisi üzerinden karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bunun yanında, kurulması planlanan biyogaz üretim tesisinde üretilecek atık gübre tekrardan tarımda kullanılması amacıyla çiftçilere dağıtılıp gübre maliyetlerini azaltarak tarımı daha az maliyetli hale getirmektedir.

Biyogaz tesisleri kurulumu girdi maliyetlerine bakıldığında en yüksek oranda paylar kaynağın tesise taşınması ile ilgili nakliye maliyetleridir. Bu maliyetlerin azaltılması amacıyla CBS esasına dayalı geliştirilmiş uygulamalar sayesinde tesis için en uygun yer seçimi yapılabilir. En uygun yer seçimi aşamasında olası riskler ve fırsatlar göz önünde bulundurularak hedeflenen pazar büyüklüğü, rakip tesis varlığı/yokluğu ve ihtiyaç noktaları gibi parametreler dikkate alınarak en uygun yer seçimi yapılabilir. Bu kapsamda yapılan analizler sonucunda rakip tesislerin varlığı göz önünde bulundurulduğunda Eskişehir ili için Alpu ilçesine kurulacak biyogaz tesisi 41 farklı kaynak noktası açısından en uygun yer olarak tespit edilmiştir. Çalışmamız öncesinde ilgili yönetmelikler incelenerek tesislerin kurulumu sürecinde ihtiyaç duyulacak hâkim rüzgâr yönü, yerleşim yerlerine uzaklığı, zemin koşulları gibi kriterler incelenmiş ancak bu çalışma özelinde elde edilen veriler ve kullanılan analiz yöntemi bu faktörleri çalışmaya dâhil etmeye izin vermemiştir. Bu sebeple çalışma belirlenen senaryo kapsamında teorik olarak aday noktaların bulunması şeklinde sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada, kaynak tesis arası mesafenin minimuma indirgenmesi ve bu sayede en fazla kaynak noktasının ihtiyacını karşılayabilecek aday noktaların bulunması esasına göre ağ analizi çalışması yapılmıştır. Yapılan analizlerde en uygun yerler belirlenmiş olup elde edilen bulgulara ek olarak çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak transfer sonucu oluşan karbon salınımı, seçilen konumun jeolojik ve coğrafi açıdan tesis kurmaya uygunluğu ve iş gücünün tesis ihtiyacını karşılaması gibi faktörlerde dâhil edilerek daha detaylı çalışmalar da yapılabilmektedir. Çalışmanın bulguları incelendiğinde, özel sektör ve kamu teşviki ile yapılacak biyogaz tesis yatırımları için CBS tabanlı uygulamalar sayesinde konum tahsis analizleri ile en uygun yer seçimi yapılabilir.

#### Kaynaklar

- Bomani, B. M., Bulzan, D. L., Centeno-Gomez, D. I., & Hendricks, R. C. (2009). Biofuels as an alternative energy source for aviation-a survey (Report No: 215587). Washington, DC: NASA.
- Comber, A., Dickie, J., Jarvis, C., Phillips, M., & Tansey, K. (2015). Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location-allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply. *Applied Energy*, 154, 309-316.
- Çetin, N. (1994). *Endüstride fabrika yer seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Davenport, (2015, Aralık 12). *Nations Approve Landmark Climate Accord in Paris*. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2015/12/13/world/europe/climate-changeaccord-paris.html>.
- de Jong, S., Hoefnagels, R., Wetterlund, E., Pettersson, K., Faaij, A., & Junginger, M. (2017). Cost optimization of biofuel production—The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. *Applied Energy*, 195, 1055-1070.
- Dilworth, J. (1992). *Operation Management, Design Planning and Control for Manufacturing and Service*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Ferrari, G., Marinello, F., Lemmer, A., Ranzato, C., & Pezzuolo, A. (2022). Network analysis for optimal biomethane plant location through a multidisciplinary approach. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134484. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134484.
- Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S., & 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.
- IEA (2023, Şubat 15). *World Energy Balances 2016*. International Energy Agency. Retrieved from <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>.
- Kaynarca, H., Kılıç, T., Açıklık, E., & Kandemir, S. Y. (2021). Eskişehir'in Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 42, 271-282.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.
- Kılıç, F. Ç. (2007). Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. *Renewable Energy World*, 8(6), 94-106.
- Kim, S., Kim, S., & Kiniry, J. R. (2018). Two-phase simulation-based location-allocation optimization of biomass storage distribution. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 86, 155-168.
- Kumar, A., Sokhansanj, S., & Flynn, P. C. (2006). Development of a multicriteria assessment model for ranking biomass feedstock collection and transportation systems. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 129(1), 71-87.
- Kurka, T., Jefferies, C., & Blackwood, D. (2012). GIS-based location suitability of decentralized, medium scale bioenergy developments to estimate transport CO2 emissions and costs. *Biomass and Bioenergy*, 46, 366-379.
- Mediavilla, M., de Castro, C., Capellán, I., Miguel, L. J., Arto, I., & Frechoso, F. (2013). The transition towards renewable energies: Physical limits and temporal conditions. *Energy Policy*, 52, 297-311.
- Müftüoğlu, T. (1989). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesi* (Rapor No: 283). Ankara: Makina Mühendisleri Odası.
- Perpina, C., Alfonso, D., Pérez-Navarro, A., Penalvo, E., Vargas, C. & Cárdenas, R. (2009). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 34(3), 555-565.
- Sahoo, K., Mani, S., Das, L., & Bettinger, P. (2018). GIS-based assessment of sustainable crop residues for optimal siting of biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 110, 63-74.
- Scaparra, P. M., & Scutella, M. G. (2001). *Facilities, Locations, Customers: Building Blocks of Location Models. A Survey*, (Technical Report TR-01-18). Pisa, Italy: Università degli Studi di Pisa.
- Somer, T. G., (1979). *Fabrika kuruluşunda yer seçimi* (Rapor No: 14). Ankara: Makina Mühendisleri Odası.
- Stevenson, W. J. & Hojati, M. (2007). *Operations management*. Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Takan, M. A. V., & Kandemir, S. Y. (2021). Türkiye'deki Jeotermal Enerjinin Birincil Enerji Arzı Yönünden Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 381-385.
- UN. (2023, Mart 5). *Global Sustainable Development Report 2019: Future Is Now - Science for Achieving Sustainable Development*. United Nations (UN). Retrieved from [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR\\_report\\_2019.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf).
- Valenti, F., Parlato, M. C., Pecorino, B., & Selvaggi, R. (2023). Enhancement of sustainable bioenergy production by valorising tomato residues: A GIS-based model. *Science of The Total Environment*, 869, 161766. doi: 10.1016/j.biombioe.2015.10.015.
- Wang, Z., Duan, Y., & Huo, J. (2021). Maximal covering location problem of smart recycling infrastructure for recyclable waste in an uncertain environment. *Waste Management & Research*, 39(2), 396-404.