

FOTOVOLTAİK VE BİYOGAZ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ VE ÇEVRESEL POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: SÜT SİĞİRİ ÇİFTLİĞİ ÖRNEĞİ

Beyza KORKMAZ*^{ID}

Saadet HACISALİHOĞLU^{ID}

Geliş: 10.02.2024; düzeltme: 19.03.2024; kabul: 20.03.2024

Öz: Doğal kaynaklardan enerji kazanımları dünya genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde de sık duyduğumuz güneş ve biyogaz enerji sistemleri yatırımcıların da ilgisini çekmektedir. Uygun bölgede uygun yatırımlar ile büyük kazançlar elde edilmesi hem enerjiyi daha çevreci hem de yatırımcıyı daha karlı duruma getirmiştir. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bir süt sığırcı çiftliğine güneş veya biyogaz enerji sistemlerinin kurulumu için enerji ve çevresel açıdan potansiyelleri incelenerek iki enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılmıştır. Güneş enerji sistemi için RETScreen programı kullanılarak süt sığırcı çiftliğinin toplamda 1.026.597 kWh/yıl'lık elektrik üreteceği ve sistemin toplamda 345 tCO₂/yıl sera gazı emisyonu azaltılabileceği tespit edilmiştir. Biyogaz sistemi için 2023 yılının sonunda çiftlikten üretilen toplam elektrik üretim potansiyeli 1.012.158 kWh/yıl olduğu ve toplamda 692,316 ton/yıl CO₂ emisyonunun engellenebileceği belirlenmiştir. Çiftliğin yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 885.855 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. İki enerji sistemi ile de çiftliğin elektrik enerji miktarının karşılanacağı fakat biyogaz tesisinin sera gazı emisyonunu daha fazla engelleyeceği sonucuna varılmıştır. Ancak, biyogaz tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin fazla olması ve yıllara göre hayvan miktarlarında düşümlere bağlı olarak atık miktarlarında azalmaların meydana gelmesi ve bu durumun tesisin verimliliğini olumsuz etkilemesi gibi durumlar nedeniyle süt sığırcı çiftliğine güneş panellerinin kurulmasına karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, RETScreen, fotovoltaik, elektrik enerjisi, sera gazı, çiftlik

Examination of Energy and Environmental Potentials of Photovoltaic and Biogas Energy Systems: The Case of a Dairy Cattle Farm

Abstract: Energy gains from natural sources have become widespread around the world. Solar and biogas energy systems, which we hear frequently today, also attract the attention of investors. Obtaining large gains with appropriate investments in the appropriate region has made both energy more environmentally friendly and more profitable for the investor. In this study, the energy and environmental potentials for the installation of solar or biogas energy systems on a dairy farm in Karacabey district of Bursa were examined and a comparison was made between the two energy systems. Using the RETScreen program for the solar energy system, it was determined that the dairy farm would generate a total of 1.026.597 kWh/year of electricity and the system could reduce greenhouse gas emissions by 345 tCO₂/year. For the biogas system, it was determined that the total electricity generation potential to be produced from the farm at the end of 2023 is 1.012.158 kWh/year and a total of 692,316 tons/year of CO₂ emissions can be prevented. It was determined that the annual electricity consumption of the farm was 885.855 kWh/year. It is concluded that both energy systems will meet the electricity energy amount of the farm, but the biogas plant will prevent greenhouse gas emissions more. However, it was decided to install solar panels on the dairy cattle farm due to the high initial investment and operating costs of the biogas plant and the decrease in the amount of waste due to the decrease in the amount of animals over the years and this situation negatively affects the efficiency of the plant.

Keywords: Biogas, RETScreen, photovoltaic, electrical energy, greenhouse gases, farm

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldırım/Bursa
*İletişim Yazarı: Dr. Öğr. Üyesi Saadet HACISALİHOĞLU (saadet.hacisalihoglu@btu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan nüfus, sanayileşme ve gelişmekte olan teknolojiler ile birlikte dünyanın enerjiye olan ihtiyacı da artmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar dünyada yaygın halde kullanılmaktadır ve bu yakıtların kullanımı ile dünyanın büyük orandaki enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Ancak nüfusun hızlı bir şekilde artması ile dünyada sınırlı miktarda bulunan fosil yakıt miktarında azalma görülmektedir. Evsel ısıtmalarda, fabrikalarda vb. yerlerde fosil yakıtların kullanılması ve ulaşımda petrole dayalı olan yakıtların kullanılması atmosferdeki CO₂ miktarı ve diğer sera gazı emisyonlarını arttırarak küresel ısınma, iklim değişikliği ve asit yağmurlarının oluşmalarına neden olmaktadır. Nüfusun hızlı bir şekilde artması ile gıdaların miktarında da azalma görülmektedir (Alma, 2022). Bu nedenle de gıda ihtiyacında artış durumu söz konusu olacaktır. Hayvansal üretimin arttırılması ile de gıda ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Hayvansal üretimler sonucunda oluşan hayvansal atıklar önemli bir değere sahip olmakla birlikte ayrıca gübre görevi de taşımaktadır (Hacısalihoğlu, 2023). Gübrelerin tarımda kullanılması bitkilerin daha kaliteli ve verimli olmasını sağlamaktadır. Ülke ekonomisine katkısının çok fazla olduğu tarım sektörü için gübre, çok önemli bir değere sahiptir. Organik madde içeriği bakımından çok zengin değerlere sahip olan gübre, toprağın daha verimli olmasını sağlayacak ve ülkenin ekonomik kalkınmasına yardımcı olacaktır. Böyle önemli bir konuda hayvansal atıklar atık olmaktan ziyade ülkenin ekonomisine fayda sağlayan değer olarak görülmelidir. Dünyada ve Türkiye'de hayvansal atıkların düzenli olarak depolanmaması bir takım olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Atıkların düzensiz olarak depolanması nedeniyle; mikroorganizmaların çoğalmasına, su kaynakları ile temas halinde su kirliliğine, kötü koku oluşumuna, atıkların içerisinde bulunan organik maddelerin (azot, fosfor) yüzeysel sularda ötrofikasyona neden olmasına, görüntü kirliliğine, doğrudan tarım arazilerine verilmesiyle bitkilerin ürün kalitesinin düşmesine, sera gazı emisyon artışına neden olmaktadır (Tırınk, 2023). Bu nedenle atıkların uygun işlemlere tabi tutularak gübreye dönüştürülmesiyle olası çevresel problemlerin önüne geçilmiş olacaktır.

Tarımsal üretim tüm ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de önemli bir değere sahiptir ve bu üretimin en önemli ihtiyacı enerjidir. Tarımsal işletmelerde üretilen ürünlerin maliyetine etki eden en önemli unsurlardan biri enerji maliyetidir. İşletmelerde kar payını arttırmak için enerji maliyetini en aza indirmek işletmelere fayda sağlayacaktır. Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler; sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulması, aydınlatma ile hayvancılık işletmelerindeki süt sağım üniteleridir. Teknolojinin en çok kullanıldığı ve en fazla enerji kullanımının gerçekleştiği sektör süt hayvancılığıdır. Yılın her günü ve günde iki üç sağım yapılır. Süt hayvancılığında harcanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu süt sağım pompalarından kaynaklanmaktadır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılır. Bu fosil yakıtların kullanımı neticesinde oluşan çevre sorunlarının önlenmesi için fosil yakıtların yerine çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı faydalı olacaktır (Güler, 2014). Güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi vb. gibi kaynaklar kendini yenilediği, çevre dostu ve tükenmeyen enerji kaynakları oldukları için yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılırlar. Bu kaynakların avantajları arasında da fosil yakıt kullanımını azaltarak karbondioksit emisyon miktarını azaltma, yerli kaynak oldukları için enerjide dışa bağımlılığı azaltma, çevre dostu enerji tüketimi sağlama gibi birçok faydaları vardır (Alma, 2022).Yenilenebilir enerji kaynakları tüm sektörlerde kullanılabilirdiği gibi hayvancılık ve tarım sektörlerinde kullanılması ile de sektörlerin kendi enerji tüketimlerini karşılayarak dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltmaktadır. İklim ve çevre koşulları, tarım ve hayvancılık sektöründe enerji kaynaklarının kullanımı ve ekonomikliği açısından son derece önemlidir. Tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılan başlıca yenilenebilir enerji sistemleri; biyokütle, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji sistemleridir (Emiroğlu ve diğ., 2021).

Bu çalışma kapsamında Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırı çiftliğine güneş veya biyogaz enerji sistemlerinin kurulumu için enerji ve çevresel potansiyelleri incelenerek iki

enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılacaktır. Güneş enerjisi sistemi için RETScreen yazılımı kullanılarak kurulması düşünülen fotovoltaik sistem için fizibilite çalışması yapılacaktır. Yazılımda sistemin aylık veya yıllık ne kadar enerji üreteceği ve bu enerji ile yıllık ne kadar sera gazı emisyonu azaltımının sağlanacağı ve maliyetler belirlenecektir. Biyogaz tesisi için yapılacak olan hesaplamalar hayvan gübresinden biyogaz eldesinin teorik olarak hesaplanması ile belirlenecektir. Büyükbaş hayvan sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre potansiyelleri, gübrelerin teorik biyogaz miktarları, elektrik üretim potansiyelleri ve engellenen CO₂ salınım değerleri karşılaştırılarak hangi enerji sisteminin gerçekleştirileceğine karar verilecektir.

1.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, üretim teşvikleri nedeniyle son yıllarda kullanımı giderek artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyogaz üretimi için ana bileşen olarak protein, karbonhidrat, hemiselüloz ve selüloz içeren her türlü biyokütle, biyogaz üretiminde kullanılabilir (Yağlı ve Koç, 2019). Biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen yakıtlardan biri olan biyogaz, bitkisel ve hayvansal kökenli organik atıkların (biyokütle), havasız (anaerobik) ortamda mikroorganizmaların yardımı ile bozunması sonucunda oluşan nihai gaz ürünüdür (Anonim, 2020). Biyogaz, havadan hafif, renksiz, kokusuz ve mavi renkli alevle yanan bir karışımdır. Bileşiminin içerisinde % 50-75 metan (CH₄), % 25-50 karbondioksit (CO₂), % 5-6 su ve az miktarlarda hidrojen sülfür (H₂S), oksijen (O₂), hidrojen (H₂), karbon monoksit (CO) ve nitrojen (N₂) bulunmaktadır (Yapılcan, 2021). Biyogazın en temel bileşeni organik maddedir. Hayvansal ve tarımsal atıklar organik maddelerin en önemli kaynaklarıdır. Bunlar genellikle tarımsal atıklar, evsel atıklar, atık su arıtma tesisi atıkları, hayvansal atıklar (tavuk, hindi, inek, koyun vs.), gıda atıkları, sıvı atıklar, mısır silajı, endüstriyel atıklar örnek olarak verilebilir (Ay ve Kaya, 2020). Organik maddenin miktarı, atık türü (hayvansal, bitkisel), yeterli miktarda mikroorganizma, C/N oranı ve reaktör sıcaklığı biyogazın verimli bir şekilde üretimi için önemli parametrelerdir.

Biyogazın enerji verimliliği pH, sıcaklık ve reaktör karışımının uygunluğu gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Biyogaz tesislerinin işletilebilmesi için bu parametreler dikkate alınmalıdır (Hacısalıhoğlu, 2022; Tırınk, 2022). Biyogaz çeşitli çiftlik hayvanlarının atıklarından üretilebilir. Ancak dünyada en yaygın kullanılanlar sığır, koyun, keçi, domuz ve kümes hayvanlarıdır. Biyoparçalanabilen organik madde diğer hayvan gübrelerine oranla kümes hayvanlarında daha fazla miktarda bulunur. Tavuk başına günde 0,08 ile 0,125 kg arasında ıslak gübre üretilir. Bu katının çoğu uçucu katılardır. Bu durum kanatlı hayvan gübresinin önemli bir biyogaz kaynağı olduğunu göstermektedir. Gübrenin içeriğine bakıldığında azot içeriği fazla miktarda bulunur ve bu da biyogaz oluşumu sırasında amonyak birikimine neden olur. Biyogaz üretim aşamasında amonyak tesis veriminin azalmasına neden olmaktadır. Biyogaz üretiminde dünyada en çok inek, sığır gibi büyükbaş hayvan gübreleri kullanılmaktadır. Bunun temel nedeni günlük gübre miktarının diğer hayvanlara göre daha fazla olmasıdır (Yağlı ve Koç, 2019).

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, yaşamın kaynağı olan güneşten elde edilen bir yenilenebilir enerji türüdür. Güneşten gelen ışınlar güneş panellerine gelerek burada ısı veya elektriğe dönüştürülerek kullanılmaktadır. Elektriğe dönüşümünü sağlayan fotovoltaik enerji sistemleri doğrudan güneş ışığından aldığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Fotovoltaik güneş enerji sistemleri, doğru akımın (DA) üretildiği fotovoltaik paneller (PV), üretildiği doğru akımın alternatif akıma (AA) dönüştürüldüğü invertörler, üretilen elektriğin depolandığı akü, akülerin daha sağlıklı elektrik depolayabilmesi için şarj kontrol cihazları ve elektrik sayaçlarından oluşmaktadır. Sistemlerin en çok bilinen çeşitleri şebekeye bağlantısı olmayan (off grid) sistemler ile bulunduğu bölgenin elektrik şebekesine bağlı (on grid) olan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. On Grid Sistemler, fotovoltaik enerji sisteminden üretilen elektrik invertörler yardımı ile alternatif akıma

dönüştürüldükten sonra çift yönlü elektrik sayacına ulaşarak daha sonra şebekelere verilir. PV sisteminde elektrik yetersiz kaldığı durumunda tekrardan şebekeden elektriği geri çekmek mümkündür. Bu sistemler evsel amaçlı kullanımlarda ve yüksek güçte santral sistemlerinde kullanılır (URL-1; URL-4). Off Grid Sistemler, fotovoltaiik enerji sisteminde üretilen elektrik şarj kontrol cihazına gelerek düzenlenir daha sonra akülere verilerek orada depolanır. Akülere gelen elektrik doğru akım olduğu için akülerden sonra invertörlere gelen elektrikler burada alternatif akıma dönüştürülerek evler (dağ evi, bağ evi), karavanlar, yatlar gibi yerlerde kullanılabilir. Fotovoltaiik sistemlerin arazi üzerine kurulumu ilk zamanlarda daha fazla yaygın iken son dönemlerde çatı üstüne fotovoltaiik sistemler daha fazla tercih edilmektedir (URL-7). Fotovoltaiik sistemlerin verimini belirleyen en önemli etkenler coğrafi konum, günün zamanı, mevsim, yerel hava durumu (bulutluluk, kar vs.)'dur. Bu etkenler fotovoltaiik enerji sistemlerinin verimini önemli derecede etkilemektedir. Bu faktörler ile işletmelerin elektrik üretiminin nasıl etkileneceğinin önceden belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle kurulum yapılmadan önce bir firmanın proje tasarımında en iyi performansın hangi koşullar altında elde edilebileceğinin belirlenmesi için bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu noktada işletmenizin elektrik üretimini önceden belirleyecek bir yazılımın kullanılması mantıklı olacaktır (Öztürk, 2022).

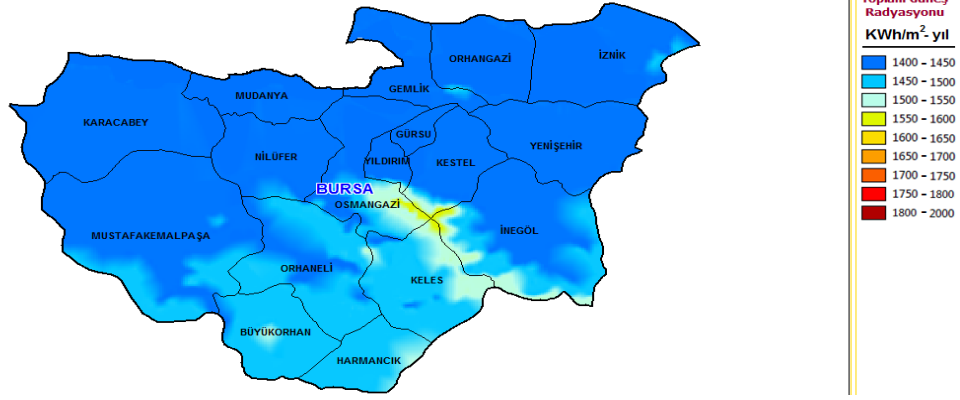
2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

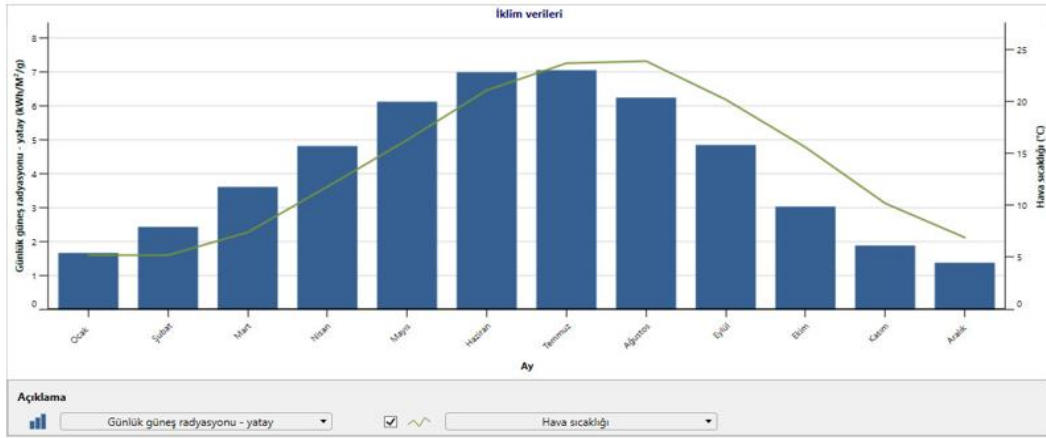
Bir süt sığırı çiftliğine güneş veya biyogaz enerji sistemlerinin kurulumu için enerji ve çevresel potansiyelleri incelenerek iki enerji sistemi arasında karşılaştırma yapılacaktır. Bu amaçla çalışma Bursa'nın Karacabey ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan hayvansal atıkların gübre ve biyogaz değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada biyogaz tesisi için yapılan tüm hesaplamalarda 2023 yılı sağmal hayvan ve genç hayvan sayıları için çiftlik bilgileri esas alınmıştır. Çiftlikte mevcut olan hayvan türleri, sayıları ve 2023 yılına göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Fotovoltaiik enerji sistemi için RETScreen analiz programı kullanılarak Karacabey'in günlük güneş radyasyonunun 4,18 kWh/M²/g olduğu lokasyona kurulması düşünölen sistem için fizibilite çalışması yapılmıştır (URL-5). İki sistem enerji ve çevresel açılardan değerlendirilmiştir.

2.2. Çalışma Alanı

Bursa, Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde, 40° batı boylam ve 29° kuzey enlem dairelerinde yer almaktadır. Türkiye'nin dördüncü en kalabalık şehri olup, 17 ilçesi bulunmaktadır (URL-10). Karacabey ilçesi, Bursa'nın 70 km batısında yer alıp, nüfus bakımından Bursa'nın 9. en büyük ilçesidir. İlçede hayvancılık ileri düzeyde yapılmaktadır. Hayvancılık faaliyetleri halka büyük gelir sağlamakta ve önemli geçim kaynağını oluşturmaktadır (URL-6). Bursa iline ait güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA) Şekil 1'de verilmiştir (URL-8). Şekil 2'de Bursa için aylık ve günlük güneş radyasyonu ile ortalama sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Güneş ışınımının Aralık ve Şubat aylarında minimum değer gösterdiği, Ağustos ayında ise maksimum değere ulaştığı görölmüştür. Sıcaklık değeri 5,2 °C ile 23,9°C arasında değişirken, günlük güneş radyasyonu 1,37 ile 7.06 kWh/M²/g değerleri arasında değişmektedir (URL-5).



Şekil 1:
2024 yılı güneş enerji potansiyeli atlası Bursa ili örneği (URL-8)



Şekil 2:
2024 yılı güneş radyasyonu ile ortalama sıcaklık değerlerinin günlük ve aylık değerleri (URL-5)

Çalışmanın gerçekleştirileceği işletme, 2013 yılında Bursa'nın Karacabey ilçesine bağlı Fevzipaşa Köyünde, toplamda 300.000 m² arazi içerisinde kurulmuştur. Süt üretimi, damızlık düve yetiştiriciliği ve besicilik faaliyet alanlarıyla üretim yapan işletme 1000 baş sağmal olmak üzere toplamda 3500 büyükbaş hayvan kapasitesine sahiptir. Şu an çiftlikte 1100 adet sağmal hayvan, 900 adet genç hayvan bulunmaktadır. Çiftliğin sağmal ahırlarında süt sağım pompaları, aydınlatma, havalandırma, ısıtma üniteleri gibi ekipmanların bulunmasından dolayı enerji tüketimleri diğer ahırlara göre daha fazladır. İşletme ile görüşme gerçekleştirildiğinde On Grid güneş enerjisi sistemlerinin, sağmal ahır çatısına kurulması uygun görülmüştür. Ahırın çatı alanı ise 4500 m² (150m-30m)'dir. Çalışmada incelenen ve enerji sisteminin uygulanacağı süt sığırı işletmesinin üstten görünüşü Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3:
Çalışmanın uygulanacağı yerin üstten görüntüsü (URL-5)

2.3. Metot

2.3.1. Biyogaz Potansiyelinin ve Engellenen CO₂ Emisyonunun Belirlenmesi

Kaliteli gübre üretimi için hayvan türleri, beslenme türleri, günlük su içme sıklıkları, hayvanların ağırlıkları önemli bir durumdur. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırı çiftliği için 2023 yıllarında mevcut olan hayvan sayıları değerlendirilmiş ve bu veriler yardımıyla gübre miktarları, yıllık biyogaz miktarları ve biyogazdan üretilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır. Hayvansal atıklardan oluşacak gübrenin hesaplanmasında hayvan türüne göre birim yükün bireysel olarak ölçülebilirliği söz konusu olmadığından literatürde öngörülen bazı kabullerin kullanılması gereklidir. Buna göre bu kabuller Tablo 1'de, hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler ise Tablo 2'de verilmiştir (Hacısalihoğlu, 2023; Tırink, 2022). Hesaplamalar Tablo 1'de verilen en büyük ve en küçük değer aralıkları baz alınarak yapılmış, bu değerler dışına çıkmamıştır.

Tablo 1. Hayvan türlerine göre literatür katsayı değerleri (Hacısalihoğlu, 2023)

Simge	Katsayı/Birim	Büyükbaş Hayvan (BBH)	Küçükbaş Hayvan (KBH)	Kanath Hayvan (KH)
A _{CH}	Canlı Hayvan Ağırlığı (kg)	135-800	30-75	1,5-12
T _{YGM}	Toplam Yaş Gübre Miktarı (kg/gün)	6-48	1,2-3,75	0,045-0,48
Y _{KG}	Kullanılabilir Gübre (%)	65	13	99
M _B	1 Ton Yaş Gübreden Elde Edilen Biyogaz Oranı (m ³ /ton)	33	58	78
E _B	Biyogaz Isıl Değeri (MJ/ m ³)	20-27	20-27	20-27

Tablo 1 incelendiğinde A_{CH} (kg) hayvan türüne göre hayvanların ağırlıklarını ifade etmektedir. Çiftlikte 1100 adet sağmal hayvan ve 900 adet genç hayvan bulunmaktadır. Hesaplamalarda bu değer sağmal hayvan için 550 kg, genç hayvan için 200 kg olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde Tablo 1'deki aralık değerleri dikkate alınarak üretilen toplam yaş gübre miktarları (T_{YGM}; kg/gün) sağmal hayvan için 43 kg/gün, genç hayvan için 2,48 kg/gün (Yağlı ve Koç, 2019; Görmüş, 2018) olarak kabul edilmiştir. Buzağı, genç hayvan olarak kabul edilecektir. Y_{KG} (%) değeri hayvanların türlerine göre oluşan gübrenin kullanılabilirlik oranını ifade etmektedir. Hayvan türlerinin ahırda veya kümeste kalma süreleri dikkate alınarak, oluşan atığın

kullanılabilirliğini ifade eden bu değer, hayvan türüne göre BBH için 0,65 olacak şekilde alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan N_{CH} değeri canlı hayvan sayısını ifade etmektedir.

Biyogazın üretim miktarı hayvan türü ve atık özelliğine göre farklılıklar gösterebilmektedir. 1 ton yaş gübreden elde edilen biyogaz miktarı M_B (m^3/ton) ile ifade edilmekte olup, bu değer hayvan türüne göre BBH için $33 m^3/ton$ olarak alınmıştır (Tırınk, 2022; Ay ve Kaya, 2020). Hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz enerjisinin ısısal değerinin hesaplanabilmesi için, birim biyogazın ısısal değerinden (E_B ; MJ/m^3) faydalanılır. Oluşacak biyogazın içerdiği metan miktarına göre biyogaz ısısal değeri $20-27 MJ/m^3$ aralığında değişim göstermektedir (Ayhan, 2015). Çalışmada bu değer $23,5 MJ/m^3$ olarak alınmıştır. Biyogazın $23,5 MJ$ 'lük ısısal değerinin elektrik enerjisi eşdeğeri $6,53 kWh$ 'e eşdeğerdir ($1 kWh$ elektrik enerji değeri $3,6 MJ$ 'e eşittir) (Tırınk, 2022; Salihoğlu ve diğ., 2019). Biyogazdan elektrik enerjisi üretiminin gerçekleşmesi için kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır. Kojenerasyon, enerjinin etkin kullanımı için elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojidir. Bu sistemlerde gaz yakılarak mekanik enerjiye dönüştürülür. Kombine ısı ve güç sistemlerinin elektriksel verimliliği %35-40 arasında değişmektedir. Hesaplamalarda bu değer %40 olarak kabul edilmiştir ve bu oranla çalışan kojenerasyon sistemi için $1 m^3$ biyogazın elektriksel eşdeğeri $2,61 kWh$ olarak kabul edilmiştir. Toz kömürün yakılmasıyla $1 kWh$ elektrik üretimi için ortalama sera gazı emisyonu $710 gCO_2$ olurken, biyogazın yakılması için bu değer ortalama $26 gCO_2$ 'dir (Tırınk, 2022). Yılda ne kadar CO_2 salınımının engellenebileceğini hesaplamak için bu iki değer arasındaki fark alınmıştır ve işlemlerde $684 g kWh^{-1}$ katsayısı kullanılmıştır.

Tablo 2. Hayvansal atık kaynaklı gübre ve biyogaz potansiyeli hesaplamasında kullanılan eşitlikler (Hacısalıhoğlu, 2023)

Eşitlik Adı	Birim	Formülasyon
Toplam Kullanılabilir Yaş Gübre Miktarı (1)	kg/gün	$T_{KYGM} = T_{YGM} * Y_{KG}$
Yıllık Toplam Yaş Gübre Potansiyeli (2)	ton/yıl	$T_{YGP} = T_{KYGM} * N_{CH} * 365/1000$
Yıllık Biyogaz Miktarı (3)	$m^3/yıl$	$T_{biyogaz} = T_{YGP} * M_B$
Biyogazdan Üretililecek Enerji Miktarı (4)	$MJ/yıl$	$E_{ısı} = T_{biyogaz} * E_B$

Tablo 2'de sunulan Eşitlik 1'de T_{KYGM} toplam kullanılabilir yaş gübre miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için toplam yaş gübre miktarı ile oluşan gübrenin kullanılabilirlik oranı çarpılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2'de T_{YGP} yıllık toplam yaş gübre potansiyelini ifade etmektedir ve bu potansiyeli bulmak için toplam kullanılabilir yaş gübre miktarı ile hayvan türlerine göre hayvan sayıları çarpılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 3'te $T_{biyogaz}$ hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için toplam yaş gübre miktarı ile 1 ton yaş gübreden elde edilebilecek biyogaz oranı çarpılarak hesaplanmaktadır. Son olarak Eşitlik 4'te $E_{ısı}$ biyogazdan üretililecek enerji miktarını ifade etmektedir ve bu miktarı bulmak için yıllık üretilen biyogaz miktarı ile biyogazın ısısal değeri çarpılarak hesaplanmaktadır.

2.3.2. RETScreen Analiz Programı

RETScreen, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kojenerasyon proje fizibilite çalışmaları ve devam eden enerji verimliliği analizlerine yönelik temiz bir enerji yönetim yazılımı sistemidir (URL-5). RETScreen, Microsoft Excel program altyapısı ile birlikte çalışır. Programı çalıştırdığımızda karşınıza çıkan sayfada projenin kapsamına ilişkin kapak bilgilerini girebileceğiniz bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölümün hemen altında ise analiziniz için gerekli temel girişleri girebileceğiniz bir bölüm bulunmaktadır. Gireceğiniz veriler seçtiğiniz proje türüne bağlıdır. Bu program basit veya ayrıntılı analiz yapma olanağı sağlar. Program, "Başlat" sayfasında girilen alan referans girişi ve online veri tabanına entegre edilen iklim veri tabanı sayesinde otomatik olarak çalışabilmektedir. RETScreen iklim veri tabanı enlem, boylam

ve rakım değerlerini, aylık sıcaklıkları, bağıl nemi, güneş radyasyonunu, barometrik basıncı, rüzgar hızını, yüzey sıcaklığını, ısıtma ve soğutma talebi değerlerini görüntülemenize olanak sağlar (Doğan ve diğ., 2012).

2.3.3. RETScreen Enerji Menüsü

Çalışma alanında yer alan ve hayvanların barındığı ahırın çatısına kurulacak olan güneş enerji santralinin (GES) kurulu gücü 864 kW'tır. Ahırın toplam çatı alanı 4500 m²'dir. Toplam 4500 m² çatı alanına sahip ahır için çatının her iki kısmına 800 adet olacak şekilde toplamda 1600 adet panel kullanılacaktır. Panel tipi olarak daha yüksek verim ve dolaylı olarak daha fazla elektrik enerjisi vermesinden dolayı RETScreen programına mono-si panel tipi girilmiştir (Gültuna, 2015). Panel markası Jinko solar ve her bir panelin gücü ise 540 W kapasitesine sahip olacak şekilde seçilmiş, panel eğimi 30°, azimut açısı -72° olacak şekilde kabul edilmiştir. İnverter sayısı 6 adet olacak şekilde planlanmış ve her bir inverterin verimlilik değeri %98, kapasiteleri 100 kW olacak şekilde RETScreen programına girilmiştir (Diken ve Kayışoğlu, 2022). Yıllık elektrik ihracat fiyatı RETScreen programında 0,10 \$/kWh olarak kabul edilmiştir ve bu değerler Şekil 4'te gösterilmiştir.

Fotovoltaik		
Tip	mono-Si	
Güç kapasitesi	kW	864
İmalatçı	Jinko Solar	
Model	mono-Si - JKM540M-72HL4-BDVP 540W	
Ünite sayısı		1.600
Verimlilik	%	20,94%
Nominal çalışma hücresi sıcaklığı	°C	45
Sıcaklık katsayısı	% / °C	0,4%
Güneş kollektörü alanı	M ²	4.126
İki yüzeyli hücre ayarlama faktörü	%	0%
Çeşitli kayıplar	%	15%
İnverter		
Verimlilik	%	98%
Kapasite	kW	600
Çeşitli kayıplar	%	1%
Özet		
Kapasite faktörü	%	13,6%
İlk maliyetler	\$/kW	1.600
	\$	1.382.400
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	\$/kW-yıl	19
	\$	16.416
Elektrik ihracat fiyatı		Elektrik ihracat fiyatı - yıllık
	\$/kWh	0,10
Şebekeye verilen elektrik	MWh	1.027
Elektrik ihrac geliri	\$	102.660

Şekil 4:

RETScreen programında kabul edilen fotovoltaik panel parametreleri (URL-5)

2.3.4. RETScreen Maliyet Menüsü

İlk maliyetler bölümünde, etüt - proje giderleri ve geliştirme kısmına, birim maliyet 2400 \$ olacak şekilde kabul edilmiştir (Durgun ve diğ., 2021). Mühendislik, birim maliyeti 28800 \$, konstrüksiyon birim maliyeti 43200 \$ (URL-2), inverter miktarı 6 adet, birim maliyeti 2250 \$ (URL-3), işçilik, birim maliyeti 28800 \$, Dc-Ac kablo için Dc kablunun metresi 0,85 \$, Ac kablunun metresi 17 \$ Çaçan (2018) olacak şekilde kabul edilmiştir. Dc kablo için 2400 m, Ac kablo için 1200 m kablo uzunluğu kabul edilmiştir. Elektrik sistemi kısmında GES kurulu gücü olan 864 kW'a panel birim maliyet 500 \$ (URL-2) olacak şekilde kabul edilmiştir ve bu değerler Şekil 5'de gösterilmiştir.

İlk maliyetler (krediler)	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar	Nisbi maliyetler
Fizibilite etüdü					
- Fizibilite etüdü	maliyet	1	\$ 2.400	\$ 2.400	
Ara Toplam:			\$ 2.400	\$ 2.400	0,4%
Geliştirme					
- Geliştirme	maliyet	1	\$ 2.400	\$ 2.400	
Ara Toplam:			\$ 2.400	\$ 2.400	0,4%
Mühendislik					
- Mühendislik	maliyet	1	\$ 28.800	\$ 28.800	
- inşaat	maliyet	1	\$ 43.200	\$ 43.200	
- inverter	maliyet	6	\$ 2.250	\$ 13.500	
- işçilik	maliyet	1	\$ 28.800	\$ 28.800	
- ac-dc kablo	maliyet	1	\$ 22.000	\$ 22.000	
Ara Toplam:			\$ 136.300	\$ 136.300	23,8%
Elektrik sistemi					
Fotovoltaik - 1000 kW	kW	864	\$ 500	\$ 432.000	
Yol yapımı	km		\$	\$ -	
İletim hattı	km		\$	\$ -	
Trafo Merkezi	proje		\$	\$ -	
Enerji verimliliği önlemleri			\$	\$ -	
- Kullanıcı tanımı	maliyet		\$	\$ -	
Ara Toplam:			\$ 432.000	\$ 432.000	75,4%

Şekil 5: RETScreen maliyet analizi ekranı (URL-5)

2.3.5. RETScreen Emisyon Menüsü

Emisyon analizi için ülkemizde kullanılan yakıt türleri araştırılmıştır. Kullanılan yakıt türleri T.C Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı sitesinden alınmıştır (URL-9). Sera gazı azaltma kredi oranı 15 \$/tCO₂ olarak kabul edilmiştir (Diken ve Kayışoğlu, 2022). Emisyon analizi için kabul edilen değerler Şekil 6’da gösterilmiştir.

Baz durum elektrik sistemi (Temel)							
Yakıt türü	Yakıt karışımı %	CO ₂ emisyon faktörü kg/GJ	CH ₄ emisyon faktörü kg/GJ	N ₂ O emisyon faktörü kg/GJ	Elektrik üretim verimliliği %	İ&D kayıpları %	Seragazi emisyo faktörü tCO ₂ /MWh
Doğal gaz	23,9%	49,6	0,0010	0,0009	40,8%	7,0%	0,473
Fuel oil (#6)	0,2%	74,1	0,0029	0,0019	28,6%	7,0%	1,012
Kömür	20,5%	92,7	0,0145	0,0029	33,8%	7,0%	1,073
Güneş	10,6%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
Rüzgar	11,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
Jeotermal	1,6%	0,0	0,0000	0,0000	30,0%	7,0%	0,000
Hidro	29,6%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	7,0%	0,000
Biyokütle	2,4%	0,0	0,0299	0,0037	23,3%	7,0%	0,030
Elektrik karışımı	100,0%	92,1	0,0134	0,0029		7,0%	0,336

SG azaltım geliri	
Seragazi azaltım kredi oranı	\$/tCO ₂ 15

Şekil 6: Emisyon analiz kabulleri (URL-5)

2.3.6. RETScreen Finansman Menüsü

Enflasyon oranı %10, iskonto ve yeniden yatırım oranı %9 (Diken ve Kayışoğlu, 2022), proje ömrü ise 25 yıl olacak şekilde kabul edilmiştir. Borç oranı %70, borç faiz oranı %10 ve borç vadesi 10 yıl (İzmirli 2019), elektrik ihracatı eskalasyon oranı %3, temiz enerji (TE) üretim kredi oranı 0,007 \$/tCO₂, TE üretim kredi eskalasyon oranı %2 olarak kabul edilmiştir (Eremkere ve Aktaş, 2020). Finansal analiz için kabul edilen değerler Şekil 7’de gösterilmiştir.

Finansal parametreler	
Genel	
Yakıt maliyeti eskalasyon oranı	2%
Enflasyon oranı	% 10%
İskonto oranı	% 9%
Yeniden yatırım oranı	% 9%
Proje ömrü	yıl 25
Finansman	
Teşvikler ve hibeler	\$
Borç oranı	% 70%
Borç	\$ 401.170
Öz varlık	\$ 171.930
Borç faiz oranı	% 10%
Borç vadesi	yıl 10
Borç ödemeleri	\$/yıl 65.289

Yıllık ciro	
Elektrik ihraç geliri	
Şebekeye verilen elektrik	kWh 1.026.597
Elektrik ihraçat fiyatı	\$/kWh 0,10
Elektrik ihraç geliri	\$ 102.660
Elektrik ihraçatı eskalasyon oranı	% 3%
SG azaltım geliri	
Net seragazı azaltımı	tCO ₂ /yıl 345
Net seragazı azaltımı - 25 yıl	tCO ₂ 8.623
Seragazı azaltma kredi oranı	\$/tCO ₂ 15
SG azaltım geliri	\$ 5.174
Seragazı azaltma kredi süresi	yıl
Net seragazı azaltımı - yıl	tCO ₂
Seragazı azaltma kredi eskalasyon oranı	%
Diğer gelir (maliyet)	
<input type="checkbox"/>	
Temiz Enerji (TE) üretim geliri	
<input checked="" type="checkbox"/>	
TE üretimi	MWh 1.027
TE üretim kredi oranı	\$/kWh 0,007
TE üretim geliri	\$ 7.186
TE üretim kredi süresi	yıl
TE üretim kredi eskalasyon oranı	% 2,0%
Şebekeye verilen elektrik	
MWh	1.027
Temiz enerji	<input checked="" type="checkbox"/>
Yakıt türü	Güneş

Şekil 7: Finansal analiz kabulleri (URL-5)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yıllık Biyogaz Miktarı ve Engellenen CO₂ Salınım Bulguları

Bursa'nın Karacabey ilçesi bir süt sığırı çiftliğinde hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların gübre ve biyogaz potansiyelleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, çiftlikte 2023 yılında mevcut olan hayvan sayıları işletmeden temin edilmiştir. Hayvan türlerine ve 2023 yılına göre oluşabilecek gübre miktarları belirlenerek, bu gübrelerden elde edilebilecek biyogaz içerikleri hesaplanmıştır. Tablo 3'te çiftliğin 2023 yılı ve türlerine göre hayvan sayıları verilmiştir. Bu veriler yardımı ile hesaplanan yıllık yaş gübre potansiyeli ve yıllık üretilen biyogaz miktarları da Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Süt Sığırı Çiftliğinin yıllara ve hayvan türlerine göre elde edilen gübre ve biyogaz miktarları

ÇİFTLİK	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (adet)	Yıllık Yaş Gübre Potansiyeli (T _{YGP} ; ton/yıl)	Yıllık Biyogaz Miktarı (T _{Biyogaz} m ³ /yıl)
2023 TOPLAM	Sağmal hayvan	1.100	11.222	370.326
	Genç hayvan	900	529,5	17.474
	Toplam (Sağmal + Genç Hayvan)	2000	11.752	387.800

Tablo 3 incelendiğinde, hayvan türüne göre en fazla sayıya sahip olan türün sağmal hayvan olduğu görölmektedir. Elde edilen yıllık yaş gübre potansiyeli incelendiğinde, sağmal hayvan sayısı yüksek olduğundan yıllık en yüksek yaş gübre potansiyeline (11.222 ton/yıl) sahip olduğu görölmektedir. Hayvansal atıklardan elde edilen yıllık biyogaz üretim miktarı incelendiğinde en düşük biyogaz üretiminin genç hayvan kaynaklı olduğu (17.474 m³/yıl) tespit edilmiştir. Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi ve engellenen CO₂ salınım değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi ve engellenen CO₂ salınım değerleri

ÇİFTLİK	Hayvan Türü	Hayvan Sayısı (adet)	Biyogazdan Üretilen Enerji Miktarı (Eısı; MJ/yıl)	Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh/yıl)	Engellenen CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
2023	Sağmal Hayvan	1.100	8.702.661	966.551	661,121
	Genç Hayvan	900	410.639	45.607	31,195
TOPLAM	Toplam (Sağmal + Genç Hayvan)	2000	9.113.300	1.012.158	692,316

Tablo 4 incelendiğinde, biyogazdan üretilen enerji miktarının en yüksek olduğu (8.702.661 MJ/yıl) hayvan türü sağmal hayvan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler hayvan sayıları ve oluşan gübrenin kullanılabilirliği ile ilişkilidir. Biyogaz enerjisinin elektrik enerjisi eşdeğeri de benzer şekilde değişim göstermektedir. En yüksek elektrik enerjisi miktarı (966.551 kWh/yıl) sağmal hayvan atıklarından, en düşük elektrik enerjisi miktarı (45.607 kWh/yıl) ise genç hayvan atıklarından elde edilmiştir. Engellenen CO₂ salınım değerine bakıldığı zaman 2023 yılında toplamda 692,316 ton/yıl CO₂ emisyonunun engellendiği tespit edilmiştir. Çalışmada 2023 yılında çiftlikten üretilen toplam elektrik üretim potansiyeli (sağmal hayvan + genç hayvan) 1.012.158 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Çiftliğin elektrik faturalarından 2023 yılında yıllık tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarının 885.855 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir ve böylece çiftliğe biyogaz tesisi kurulumu tercih edilirse çiftliğin elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanmış olacaktır.

Benzer bir çalışma, Tırınk (2022) tarafından yapılmıştır. Araştırmada, 2020 yılında Iğdır ve ilçelerinde oluşan hayvansal atıkların miktarları esas alınmıştır. Bu yıla ait toplam hayvan sayıları 157.426 adet büyükbaş, 1.279.203 adet küçükbaş ve 1.279.203 adet kümes hayvanı bulunduğu belirlenmiştir. Hayvan gübresinden yıllık üretilebilecek biyogaz potansiyeli 43.952.304 m³, ısı enerjisi miktarı 1.032.879 GJ ve elektrik enerjisi miktarı 114.716 MWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık elektrik üretim potansiyeli en yüksek olan Iğdır İli Merkez İlçesi'nde 55.367 MWh, en düşük elektrik üretimine sahip olan Karakoyunlu İlçesi'nde ise 15.366 MWh elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır. Ayrıca fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogaz enerjisinin kullanılmasıyla Iğdır bölgesinin tamamında karbon tasarrufu sağlanarak yılda 78.465 ton karbondioksit emisyonunun önüne geçilebileceği bulunmuştur.

3.2. RETScreen Enerji Analizi Bulguları

Kullanılan panel özellikleri ve hava koşulları RETScreen programına girildikten sonra aylık ve yıllık toplam enerji üretimi belirlenmiştir. Şekil 8' deki aylık sonuçlara göre; en düşük elektrik üretimine 34,303 MWh ile Aralık ayında, en yüksek elektrik üretimine ise 134,633 MWh ile Temmuz ayında ulaşılmıştır. Yazılım ile elde edilen sonuçta yıllık toplam 1.026,597 MWh'lik elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Fotovoltaik enerji sistemleri kurulmasının gerçekleşmesi ile çiftliğin elektrik enerjisi karşılanmış olacaktır.

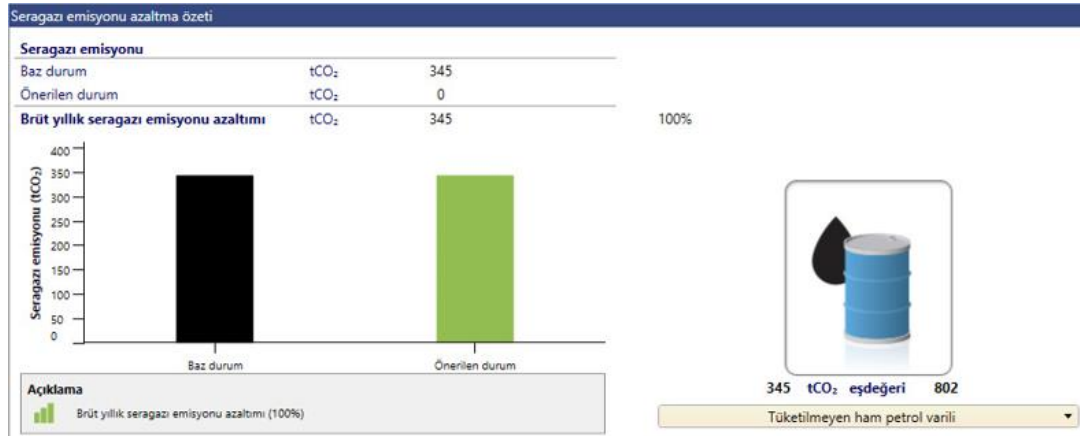
Ay	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M ² /g	Günlük güneş radyasyonu - eğimli kWh/M ² /g	Elektrik ihracat fiyatı \$/kWh	Şebekeye verilen elektrik MWh
Ocak	1,66	1,85	0,10	41,584
Şubat	2,43	2,56	0,10	51,741
Mart	3,61	3,68	0,10	80,869
Nisan	4,82	4,76	0,10	98,947
Mayıs	6,13	5,84	0,10	122,515
Haziran	7,00	6,56	0,10	130,049
Temmuz	7,06	6,67	0,10	134,633
Ağustos	6,25	6,12	0,10	123,325
Eylül	4,85	4,90	0,10	97,660
Ekim	3,03	3,14	0,10	66,894
Kasım	1,88	2,07	0,10	44,077
Aralık	1,37	1,53	0,10	34,303
Yıllık	4,18	4,15	0,10	1.026,597
Yıllık güneş radyasyonu - yatay	MWh/M ²		1,53	
Yıllık güneş radyasyonu - eğimli	MWh/M ²		1,51	

Şekil 8:

Aylık ve yıllık olarak panellerin enerji üretim miktarları (URL-5)

3.3.RETSscreen Emisyon Analizi Bulguları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sosyal maliyetlere etkisi oldukça önemlidir. Emisyonların azaltılması sayesinde hem çevreye hem de insanlığa katkısı büyüktür. Yapılan emisyon analizi hesaplamaları sonucunda toplam 345 tCO₂ yıllık sera gazı emisyon azaltımı sağlanmaktadır. Elde edilen sonuç, ülkemizde bulunmakta olan yakıt türleri değerlerinin sisteme girilmesi ile bulunmaktadır. Sistemden elde edilen sonuçlara bakılacak olursa 345 tCO₂ yıllık sera gazı, 119 ton geri kazanılmış atığa, 63,2 kullanılmamış araba ve kamyonete, tüketilmeyen 802 ham petrol variline eşdeğerdir. Sera gazı emisyon azaltımı sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Sera gazı emisyon azaltım sonuçları (URL-5)

3.4.RETSscreen Ekonomik Analiz Bulguları

Programın ekonomik analiz kısmı beş bölümden oluşmaktadır: Finansal Parametreler, Yıllık Gelirler, Proje Maliyet ve Gelir Özeti, Finansal Sürdürülebilirlik ve Yıllık Nakit Akışları. "Proje Maliyet ve Gelirlerinin Özeti" ve "Yıllık Gelirler" bölümleri; enerji modelinin, maliyet analizinin ve emisyon analizinin bir özetidir.

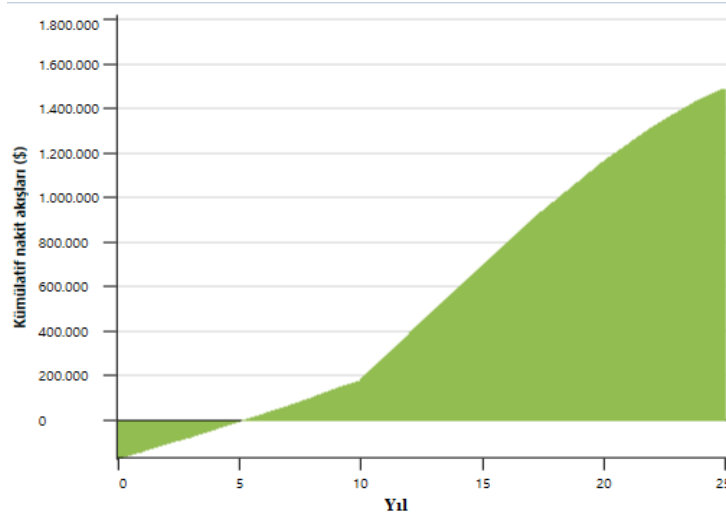
"Finansal parametreler" bölümünde kullanıcı tarafından girilen bilgilere göre projenin finansal göstergelerini oluşturan bölüm "Finansal Sürdürülebilirlik" bölümüdür. Kullanıcıların vergi öncesi nakit akışını, vergi sonrası nakit akışını ve toplam nakit akışını görebildiği bölüm yıllık nakit akışı bölümüdür. Bir projenin kümülatif nakit akışı genellikle negatif bir değer olarak başlar ve yıllar geçtikçe pozitif değere doğru artar. Kümülatif nakit akışının 0 olması projenin başa baş noktasını gösterir (Şanlı ve Günöz, 2018). Bu çalışmada yukarıdaki veriler doğrultusunda ilk kurulum maliyetleri için ihtiyaç duyulan miktarın 573.100 \$, yıllık maliyetler ve borç ödemelerinin 81.705 \$, yıllık tasarruflar ve gelirin 115.019 \$ olduğu saptanmıştır. Tablo 5'te maliyet analizi tablosu gösterilmektedir.

Tablo 5. Maliyet analizi tablosu (URL-5)

Maliyetler Tasarruflar Hasılat			
İlk maliyetler			
Fizibilite etüdü	0,42%	\$	2.400
Geliştirme	0,42%	\$	2.400
Mühendislik	23,8%	\$	136.300
Elektrik sistemi	75,4%	\$	432.000
Toplam ilk maliyetler	100%	\$	573.100
Yıllık nakit akışı - Yıl 1			
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
İşletme ve bakım		\$	16.416
Borç ödemeleri - 10 yıl		\$	65.289
Toplam yıllık maliyetler		\$	81.705
Yıllık tasarruflar ve gelir			
Elektrik ihraç geliri		\$	102.660
SG azaltım geliri - yıl		\$	5.174
Diğer gelir (maliyet)		\$	0
TE üretim geliri		\$	7.186
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir		\$	115.019
Net yıllık nakit akışı - Yıl 1		\$	33.315

Yıllık nakit akışı		
Yıl	Vergi öncesi	Kümülatif
#	\$	\$
0	-171.930	-171.930
1	29.723	-142.207
2	31.236	-110.970
3	32.667	-78.304
4	34.000	-44.304
5	35.218	-9.086
6	36.303	27.218
7	37.234	64.452
8	37.988	102.440
9	38.539	140.980
10	38.859	179.838
11	104.203	284.042
12	103.962	388.003
13	103.383	491.386
14	102.424	593.810
15	101.038	694.849
16	99.173	794.022
17	96.769	890.791
18	93.763	984.554
19	90.085	1.074.639
20	85.655	1.160.293
21	80.387	1.240.680
22	74.186	1.314.866
23	66.946	1.381.812
24	58.551	1.440.363
25	48.874	1.489.237

401.170 \$ tutarındaki kredi borcu ödemesi (Şekil 7) 10 yıl boyunca nakit akışında belirgin şekilde fark edilmektedir. Çatıya, panellerin kurulumundan itibaren 10 yıllık süre tamamlandıktan sonra kredi borçları bittiği için yatırımın getirisi artık önemli ölçüde artmaktadır. Çiftliğin çatısı için kurulması planlanan 1600 adet güneş panelinin kümülatif nakit akışları değerlendirildiğinde söz konusu panel sayılarına ait projenin geri ödeme süresinin 5,3 yıl olduğu 25 yılın sonunda elde edilecek paranın ise 1.489.237 \$ olacağı tespit edilmiştir. GES kurulu gücü 864 kW için nakit akış grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir. Benzer bir çalışma, Diken ve Kayışoğlu (2022) tarafından yapılmıştır. Namık Kemal Üniversitesi Ziraatbiyotek binasına 14 kW'lık PV sistemi kurulumu yapılmadan önce RETScreen programı ile sistemin uygunluğunun analiz edilmesi (çevresel, finansal, enerji, gölge analizleri) ve performansının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Program tasarlanırken panel konumu, eğim açısı, gölgeleme ve panel tipi gibi güneş enerjisi sistemini etkileyen faktörler dikkate alınmıştır. Ziraatbiyotek laboratuvar binasındaki güneş enerjisi santrali için 405 m² alana sahip 60 adet panel kullanılmıştır. Seçilen panel markası Astronergy Solar olup her panelin gücü 240 W'tır. Gölge analizi Helioscope programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre güneş santralinden yıllık toplam 20.1 MWh enerji üretilmiştir. Ziraatbiyotek binasının yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %40'ının güneş enerjisinden karşılanabileceği, güneş enerjisi sisteminden elde edilen 20.1 MWh enerji ile de sera gazı emisyonlarının 9.5 tCO₂/yıl azaltılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 10:

GES kurulu gücü 864 kW için nakit akış grafiği (URL-5)

4. 4. SONUÇ

Doğal kaynaklardan su, rüzgar, güneş, biyogaz birer enerji kaynağıdır. Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacının karşılanması için son zamanlarda yenilenebilir enerji sistemlerine yatırımlar artmaktadır. Bu yatırımlardan biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş ışığı potansiyelinin fazla olduğu bölgelerde kurulması ile yatırımcıya büyük kar sağlar. Yatırımcıların bu durumu değerlendirebilmeleri için RETScreen gibi yazılım programları ile fizibilite analizleri yaparak uygunluğu belirlemeleri gereklidir. Böylece bölgenin uygun olması ile hem bölgedeki insanlar hem de yatırımcılar büyük kazanç sağlayabilir. Fizibilite analizleri ile bölgede kurulması planlanan yenilenebilir enerji sistemlerinin ekonomik ve emisyon değerleri elde edilerek gerekli kararlar verilir. Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey ilçesinde bulunan bir süt sığırı çiftliğinde kurulması planlanan güneş enerji sistemi için RETScreen programı kullanılarak 864 kW güçte 1600 adet güneş paneli yatırımının fizibilite analizi yapılmıştır. Karacabey'in ortalama günlük güneş radyasyonu 4,18 kWh/M²/g ve yıllık toplam da 1.026.597 kWh 'lık elektrik üreteceği sonucuna varılmıştır. 1600 adet güneş paneli için ilk yatırım maliyeti 573.100 \$ olarak analiz edilmiştir. Süt sığırı çiftliğinde kurulması planlanan bu tesis için geri ödeme süresinin 5,3 yıl olduğu, 25 yıl yatırım ömrü sonunda kazancın 1.489.237 \$ olacağı ve toplam da 345 tCO₂ yıllık sera gazı emisyon azaltımı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Böylece çiftliğin yatırım açısından uygun olabileceği, 15 yıldan fazla kar sağlayacağı öngörülmüştür. Diğer önemli yatırımlardan biri de biyogaz enerjisidir. Çalışmanın yapıldığı süt sığırı çiftliğinde 2023 yılında mevcut, sağmal hayvan ve genç hayvan sayıları esas alınarak, hayvansal kaynaklı atıkların gübre potansiyelleri belirlenmiştir. Ayrıca, oluşan gübrelerin teorik biyogaz miktarları ve elektrik üretim potansiyeli hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, 2023 yılının sonunda 11.752 ton/yıl yaş gübre oluşma potansiyeli ve 387.800 m³/yıl biyogaz potansiyelinin elde edilebileceği belirlenmiştir. Oluşan biyogazın 9.113.300 MJ/yıl enerji potansiyeline sahip olduğu ve buna bağlı olarak çiftlikten üretilecek toplam elektrik üretim potansiyeli 1.012.158 kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Hayvansal atıklardan biyogaz elde edilmesi ile 2023 yılında toplamda 692,316 ton/yıl CO₂ salınımının engellenebileceği belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında biyogaz enerjisi için yapılan hesaplamalar hayvansal atıktan biyogaz eldesinin teorik olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak biyogaz

tesisinin hayata geçirilmesinde hayvansal atığın katı madde içeriği, toplanması, taşınması, biyogaz enerji tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri, hayvan miktarlarındaki değişimler vb. konularda göz önünde tutularak tesisin hayata geçirilmesi önerilmektedir. Süt sığırı çiftliğine kurulması planlanan güneş panelleri veya biyogaz tesisi için enerji ve çevresel potansiyelleri açısından karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta, çiftliğin yıllık tüketilen elektrik enerjisi miktarının 885.855 kWh/yıl olduğu tespit edilmiştir. İki enerji sistemi ile de çiftliğin elektrik enerji miktarının karşılanacağı fakat biyogaz tesisinin sera gazı emisyonunu daha fazla engelleyeceği sonucuna varılmıştır. Biyogaz tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin fazla olması, toplanması ve taşınması için gerekli maliyetler (mazot vs.), yıllara göre hayvan miktarlarında düşüşlerin olabilmesi ve buna bağlı olarak atık miktarlarında azalmaların meydana gelmesi, herhangi bir ekipmanda arıza olması durumunda yeni ekipmanın temininde aksaklıkların oluşabilmesi gibi risklerin tesis verimliliğini olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurularak, süt sığırı çiftliğine biyogaz tesisi yerine güneş panellerinin kurulmasına karar verilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışmasının bulunmadığını onaylarız.

YAZAR KATKISI

Beyza KORKMAZ, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, Saadet HACISALİHOĞLU, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Ayhan, A. (2015) Biogas Production Potential from Animal Manure of Bursa Province, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(2), 47-53.
2. Anonim, (2020) Ardahan İli Biyogaz Tesisi Ön Fizibilite Raporu, Serhat Kalkınma Ajansı, Ardahan.
3. Ay, Ö. F. ve Kaya, A. (2020) Kahramanmaraş İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(4), 2822-2830. doi: 10.21597/jist.660101
4. Alma, M. H. (2022) TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu. Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
5. Çağan, F. (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Kurulum ve Maliyet Analizinin Örnek Bir Otele Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
6. Doğan, B. T., Çolakoğlu, A. ve Kıncay, O. (2012) RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi, Tesisat Mühendisliği, 15-26.
7. Durgun, İ. S., Arslan, M. ve Kalkışım, Ö. (2021). Gümüşhane OSB'de Çatı Tip Ges Kurulumu Ön Fizibilite Raporu, Gümüşhane Ticaret Ve Sanayi Odası, Gümüşhane.
8. Diken, B. ve Kayışoğlu, B. (2022) RETScreen Programı Kullanılarak Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraatbiyotek Binasına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımın Fizibilite Analizi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(3), 656-667. doi: 10.33462/jotaf.1058491
9. Eremkere, M. ve Aktaş, T. (2020) Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 275-294. doi: 10.31202/ecjse.636966

10. Emiroğlu, F. M., Aybek, A. ve Kuzu, H. (2021) İki Farklı Fotovoltaik (PV) Enerji Sisteminin Farklı Hayvancılık İşletmelerinde Kullanımının Değerlendirilmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26(3), 808-820. doi: 10.37908/mkutbd.957647
11. Güler, S. (2014) Orta Ölçekli Hayvancılık İşletmelerinde Yenilenebilir Enerji Kullanım Olanakları Ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
12. Gültuna, K. M. (2015) Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralinin Simülasyonu; Teknoekonomik Ve Çevresel Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
13. Görmüş, C. (2018) Türkiye' deki Hayvan Gübrelerinin Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
14. Hatice, E. Y. (2021) Aksaray İli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Aksaray.
15. Hacısalihoglu, S. (2022). Hayvansal Kaynaklı Yayılı Kirlilik Yükleri Hesabı, Bursa Örneği, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 27 (1), 361-374. doi.org/10.17482/uumfd.1059035.
16. Hacısalihoglu, S. (2023) Hayvansal Atıkların Yönetimi,Bursa-Karacabey Örneği, BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(2), 403-415. doi: 10.25092/baunfbed.1145589
17. <https://www.greensolarnetwork.org>, Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2021, Konu: Güneş Enerji Sistemi Nedir? Sistem Bileşenleri Nelerdir? (URL-1).
18. <https://www.solarenerjin.com>, Erişim Tarihi: 29 Ocak 2022, Konu: 2023 yılı 100 kW Güneş Enerjisi Kurulum Maliyeti, (URL-2).
19. <https://www.keremcilli.com>, Erişim Tarihi: 06 Ocak 2023, Konu: Güneş Enerjisi Kurulum Maliyeti 2023, (URL-3).
20. <https://muhendistan.com>, Erişim Tarihi: 07 Ocak 2023, Konu: şebeke Bağlantılı (On Grid) Solar Sistem Tasarımı, (URL-4).
21. <http://www.retscreen.net>, Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024, Konu: RETScreen, (URL-5)
22. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Karacabey>, Erişim Tarihi: 27 Aralık 2023, Konu: Karacabey, (URL-6).
23. <https://www.incitas.com.tr>, Erişim Tarihi: 2023, Konu: Off Grid Sistem Nedir? Nasıl Kurulur ve Nerede Kullanılır? (URL-7).
24. <https://gepa.enerji.gov.tr>, Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024, Konu: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), (URL-8).
25. <https://enerji.gov.tr>, Erişim Tarihi: 2023, Konu: Elektrik, (URL-9).
26. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa>, Erişim Tarihi: 28.01.2024, Konu: Bursa, (URL-10).
27. İzmirli, A. C. (2022) 200 Kw'lık Pv Güneş Enerji Güç Sisteminin RETScreen Programı Kullanılarak Amortisman Ve Enerji Analizlerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay.
28. Öztürk, S. (2022) Güneş Enerjisinden Isı ve Elektrik Üretimi, Bursa Teknik Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ders Notları, Bursa.
29. Salihoglu, N. K., Teksoy, A. ve Altan, K. (2019) Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Atıklarından Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Balıkesir İli Örneği, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 31-47. doi: 10.28948/ngumuh.516798
30. şanlı, B. ve Günöz, A. (2018) Mersin İlinin Farklı İlçelerinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrallerinin RETScreen Programı ile Fizibilite Analizleri ve Karşılaştırmaları. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 478-487. doi: 10.18185/erzifbed.420365

31. Tırınk, S. (2022) Calculation of Biogas Production Potential of Animal Wastes: Example of Iğdır Province, Journal of the Institute of Science and Technology, 12(1), 152-163. doi: 10.21597/jist.1026987
32. Yağlı, H. ve Koç, Y. (2019) Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 35-48. doi.org/10.21605/cukurovaummfd.637603

