



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

**SIFIR ENERJİ TÜKETİMLİ KAMPÜS
HEDEFİNDE ELEKTRİK TALEBİNİN
KARŞILANMASI AMACI İLE
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİNİN
OPTİMUM TASARIMI: SELÇUK
ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ**

Cansu OĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2023
KONYA**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Cansu OĞUZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SIFIR ENERJİ TÜKETİMLİ KAMPÜS HEDEFİNDE ELEKTRİK TALEBİNİN KARŞILANMASI AMACI İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMİNİN OPTİMUM TASARIMI: SELÇUK ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Cansu OĞUZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

2023, 64 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK

Fosil yakıtları aşırı kullanımı sonucunda oluşan iklim değişikliği ve küresel ısınma dünyanın şu anda karşı karşıya kaldığı ve yenilenebilir enerji sistemlerinin en etkili çözüm olduğu sorunlar arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmez olmaları gibi avantajlarının yanı sıra, birincil dezavantajı sürekli olmamasıdır. Bu sebeple sürekli olmayan (Rüzgâr, Güneş) kaynaklar sürekli yenilenebilir kaynaklar ile (jeotermal, biyokütle) birlikte kullanılarak hibrit sistemler geliştirilmektedir.

Konya, Türkiye'nin ortasında yer almakta olup güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjisi açısından yeterli yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline rağmen Konya'da sıfır enerji tüketimli binaların kullanımı ve fizibilitesi henüz yeterince araştırılmamıştır. Türkiye'de bina sayısının hızla artması ve inşaat sektöründeki büyümeye paralel olarak, binalarda tüketilen enerji miktarı ve buna bağlı sera gazı emisyonu da artmaktadır. Yükseköğretim kurumları, özellikleri ve nüfusları bakımından küçük şehirleri temsil etmektedir. Bina topluluklarında, bina seviyesi verilerinin mevcudiyeti, literatürde bir boşluktur. Yapılan çalışmalarda tüm şehir veya kampüs için tek bir model geliştirilmiştir. Bu durum modellerin yük profiline göre kategorize edilmesine imkân sağlamamaktadır. Fakat, yük profiline göre hibrit sistemlerin optimum tasarımı önemli değişiklikler göstermektedir.

Bu çalışmada optimum sıfır enerji tüketimli kampüs (SETK) modeli geliştirmek için Selçuk Üniversitesi'ndeki 34 binanın saatlik elektrik tüketimi ölçülmüştür. Bilgimiz dâhilinde, Türkiye'de bu tür ilk veri setidir. Aynı zamanda yapılan çalışma bina seviyesinde SETK modeli geliştiren ilk çalışmadır. Şimdiye kadar geliştirilen SETK modelleri tüm kampüsün yük profili kullanılmıştır. Bu çalışmada, kampüs ve bina düzeyinde SETK modelleri PV/Rüzgâr/Biyokütle kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, biyokütle, yüksek yıllık elektrik tüketimi (YET) olan binalar için iyi bir seçenek olarak bulunurken, düşük YET'li binalar için ikiden fazla yenilenebilir kaynak kullanmak daha uygun bulunmuştur.

Kampüs düzeyinde yapılan tasarımda yıllık bazda tüketilen elektrik kadar elektrik üreten yenilenebilir sistemin kapasitesinin, bina düzeyindeki tasarıma kıyasla daha küçük olduğu bulunmuştur. Fakat yenilenebilir faktör, bina seviyesinde tasarımda daha yüksek çıkmıştır. Çünkü tasarım binaya özel geliştirilmiştir. Yenilenebilir oranın yüksek çıkması şebekeden alınan elektriğin azalmasına ve elektrik maliyetinin de azalmasına sebep olmuştur. Böylece bina seviyesinde yapılan tasarımda, toplam sistem kapasitesi daha fazla olsa da şebekeden alınan elektriğin azalmasından dolayı elektrik maliyeti de azalmıştır. Bu nedenle, sıfır enerji tüketimli kampüs veya toplulukların ana sınırlaması elektrik satış fiyatı olarak bulunmuştur. Şebekeye elektrik satış veya şebekeden elektrik alış fiyatı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin teşvikinde birincil etken olarak hesaplanmıştır. Eğer elektrik satış fiyatı satın alma fiyatıyla aynı veya daha fazla olsaydı, bina toplulukları için topluca tek bir yenilenebilir enerji sistemi kurulması

daha uygun maliyetli olacaktı. Fakat şebekeye elektrik satışının alışından düşük olduğu günümüz koşullarında, her binaya özel sistem kurmanın elektrik maliyetinin daha uygun olduğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: biyokütle enerji santrali, fotovoltaiik, hibrit yenilenebilir enerji sistemleri, mikro şebeke, rüzgâr türbini, sıfır enerji tüketimli bina topluluğu



ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMUM DESIGN OF THE RENEWABLE ENERGY SYSTEM TO MEET THE ELECTRICITY DEMAND IN THE ZERO ENERGY CONSUMPTION CAMPUS TARGET: A CASE STUDY OF SELÇUK UNIVERSITY

Cansu OĞUZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL ELECTRONICS
ENGINEERING ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

2023, 64 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

Assoc. Prof. Dr. Mehmet DAŞ

Assist. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÇEVİK

Climate change and global warming caused from excessive use of fossil fuels are among the problems that the world is currently facing and renewable energy systems are the most effective solutions. In addition to the advantages of renewable energy sources such as being inexhaustible, the primary disadvantage is being non-continuous. For this reason, hybrid systems are developed by using non-continuous (wind, sun) resources together with continuous resources (geothermal, biomass).

Konya is located in the middle of Turkey and has sufficient renewable energy potential in terms of solar, wind and biomass energy. Despite the high renewable energy potential, the use and feasibility of zero-energy buildings in Konya has not been sufficiently investigated yet. In parallel with the rapid increase in the number of buildings and the growth in the construction sector in Turkey, the amount of energy consumed in buildings and the associated greenhouse gas emissions are also increasing. Higher education institutions represent small cities in terms of characteristics and population. Availability of building level data in building ensembles is a gap in the literature. In the studies conducted until now, a single model has been developed for the entire city or campus. This situation does not allow the models to be categorized according to the load profile. However, the optimum design of hybrid systems varies considerably according to the load profile.

In this study, hourly electricity consumption of 34 buildings in Selçuk University was measured to develop an optimum Zero energy campus (ZEC) model. To the best of our knowledge, this is the first such data set in Turkey. Also, this is the first study to develop a ZEC model using building level data. The ZEC models developed so far have used the load profile of the entire campus. In this study, ZEC models at campus and building level were compared using PV/Wind/Biomass.

As a result of the study, while biomass is found to be a good option for buildings with high annual electricity consumption (AEC), utilizing more than two renewable sources was found more effective for low AEC buildings.

The required renewable system capacity to produce electricity as much as it consumes on annual basis is found smaller for campus level design compared to building level. However, the renewable factor was higher at building level design. Because the design has been developed special to the building. The high rate of renewable usage has led to a decrease in the electricity purchased from the grid and cost of electricity. Thus, the cost of electricity reduced due to the decrease in the electricity purchased from the grid in building level design, although the total system capacity was higher. Therefore, the main limitation

of zero-energy campuses or communities has been found to be the electricity sell price. The electricity sell or purchase price has been found as the primary factor in promoting hybrid renewable energy systems. In case of the electricity sell price the same or more than the purchase price, installing a single renewable energy system for building communities would be more cost-effective. However, in today's conditions, where the sell price to the grid is lower than the purchase, the electricity cost of installing a special system for each building is found to be more appropriate.

Keywords: biomass power plant, photovoltaic, hybrid renewable energy systems, microgrid, wind turbine, zero energy consumption building community



ÖNSÖZ

Tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda, ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden her daim yararlandığım değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL'e, teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, huzur ve güven veren sevgili ablalarım, abime, çok değerli babam Ömer Oğuz'a ve annem Gürsel Oğuz'a bana gösterdikleri sevgi, hoşgörü ve destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Selçuk Üniversitesi yerleşkesinin elektrik yükü talebinin ölçüldüğü “Selçuk Üniversitesi Akıllı ve Yeşil Kampüs Uygulaması” projesine (Grant ID: 2021D00-168821-168822) destek veren Selçuk Üniversitesi ve Türkiye Konya Ovası Kalkınma Ajansı'na (KOP) teşekkürlerimi sunarım.

Cansu OĞUZ
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Mevcut Sorun	2
1.2 Tezin Amaç ve Hedefleri	3
1.3 Tezin Kapsam ve yapısı	4
2 YENİLENEBİLİR ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI	6
2.1 HOMER Pro.....	6
2.2 Yenilenebilir Enerji Sistemi Modelleme Yazılımları	6
3 LİTERATÜR ÖZETİ.....	8
4 MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
4.1 Model Kampüsün Özellikleri	12
4.1.1 Coğrafi özellikleri	13
4.1.2 Bina stoğu	14
4.1.3 Yenilenebilir enerji potansiyeli	16
4.2 Çalışmada Kullanılan Veriler.....	18
4.2.1 İklim verisi	19
4.2.2 Elektrik tüketim verisi	20
4.2.3 Yenilenebilir sistemlere ait veriler.....	22
4.2.4 Ekonomik analiz verileri.....	24
4.2.5 Sera gazı emisyon faktörü verileri	26
4.3 Sıfır Enerji Tüketimli Kampüs Modelinin Oluşturulması	26
4.3.1 Konum ve iklim verilerinin eklenmesi	26
4.3.2 Elektrik tüketim verisinin eklenmesi	28
4.3.3 HOMER yazılımında iklim verilerinin eklenmesi.....	30
4.3.4 Yenilenebilir enerji sistemlerinin eklenmesi	33
4.3.5 Şebeke bağlantısının gerçekleştirilmesi.....	39
4.3.6 Optimizasyon sınırlandırmalarının belirlenmesi	40
4.3.7 Enerji yönetimi stratejisi	43
4.4 Yenilenebilir Enerji Sistemi Senaryolarının Uygulanması	44
4.5 Ekonomik Analiz	45

5	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47
5.1	HOMER İle Kampüsün Modellenmesi	47
5.2	Senaryo Sonuçlarının Analizi	49
5.2.1	Sistem kapasitesi	49
5.2.2	LCOE	52
5.2.3	Yenilenebilir oran	54
5.2.4	Bina seviyesi vs. kampüs seviyesi SETK	57
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
6.1	Genel Sonuçlar	59
6.2	Öneriler	60
	KAYNAKLAR	61
	ÖZGEÇMİŞ	64

KISALTMALAR

AC	:	Alternatif akım
COE	:	Enerji maliyeti (Cost of Energy)
GHI	:	Yatay yüzeye düşen toplam ışıınım
HOMER:		Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
HYES	:	Hibrit yenilenebilir enerji sistemi
IRENA:		International Renewable Energy Agency
LCOE	:	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelised cost of Energy)
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
NŞM	:	Net şimdiki maliyet
NREL	:	National Renewable Energy Laboratory
PV	:	Fotovoltaik
RT	:	Rüzgâr türbini
YES	:	Yenilenebilir enerji sistemleri
IRENA:		Uluslararası yenilenebilir enerji ajansı
SETB	:	Sıfır enerji tüketimli bina
SETK	:	Sıfır enerji tüketimli kampüs
KKTC	:	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
YO	:	Yenilenebilir oran
YET	:	Yıllık elektrik tüketimi
GÖS	:	Geri ödeme süresi
SÜ	:	Selçuk Üniversitesi
BS	:	Bina sayısı
B.N.	:	Bina adı
TMY	:	Tipik meteorolojik yıl

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. YES modelleme yazılımları	7
Çizelge 3.1. Literatür incelemesi	10
Çizelge 4.1. Bina kategorileri	14
Çizelge 4.2. SÜ yerleşkesinde enerji analizörleri ile donatılmış ve doğru şekilde ölçülen binalar	15
Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan PV'nin teknik özellikleri (TrinaSolar, 2018).....	23
Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan RT'nin teknik özellikleri (Bergey, 2013)	23
Çizelge 4.5. Çalışmada kullanılan biyokütle sisteminin teknik özellikleri	23
Çizelge 4.6. HYES bileşenlerinin maliyeti.....	25
Çizelge 4.7. Satın alınan ve satılan elektriğin maliyeti	25
Çizelge 4.8. Aylık netlik endeksi ve günlük radyasyon ortalaması değerleri	31
Çizelge 4.9. Günlük direk normal radyasyon ortalaması değerleri	32
Çizelge 4.10. Karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve kısıtlamalar	42
Çizelge 4.11. Senaryo listesi.....	45
Çizelge 5.1. Her senaryo için ihtiyaç duyulan sistem kapasitesi.....	50
Çizelge 5.2. Her senaryo için LCOE değeri	53
Çizelge 5.3. Her senaryo için YO değeri.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1. Çalışmanın akış şeması	12
Şekil 4.2. 1 MW'lık PV santrali (A.1) ve SÜ yerleşkesindeki kullanılabilir alanlar (A.2)	13
Şekil 4.3. SÜ kampüsündeki binaların kategorilerinin toplam YET'i	15
Şekil 4.4. Konya için ortalama küresel güneş radyasyonu, kWh/m ² -yıl (T. C. Ç. ş. v. i. d. b. m. g. müdürlüğü, 2022)	17
Şekil 4.5. Konya ili 50 m yükseklikte rüzgâr hızı haritası (Altay, 2023)	17
Şekil 4.6. Konya'da günlük küresel radyasyon, günlük ortalama sıcaklık ve 10 metrede günlük ortalama rüzgâr hızı (m/s-gün)	19
Şekil 4.7. Günlük toplam direk ve difüz radyasyon, kWh/m ² -gün	20
Şekil 4.8. Atmosferik basınç, Pascal-gün	20
Şekil 4.9. 34 binanın elektrik yükünün toplamının box whisker grafiği	21
Şekil 4.10. Her bina için günün her saatindeki ortalama elektrik tüketimi, kWh	22
Şekil 4.11. PV toplam kurulu maliyet (IRENA, 2022)	24
Şekil 4.12. Rüzgâr türbini toplam kurulu maliyet (IRENA, 2022)	25
Şekil 4.13. HOMER PRO anasayfası	27
Şekil 4.14. HOMER PRO iklim verileri	27
Şekil 4.15. HOMER PRO elektrik tüketim verileri yükleme	28
Şekil 4.16. Elektrik yüklerinin yıllık dağılımı	29
Şekil 4.17. HOMER PRO yük profili	30
Şekil 4.18. Aylık ortalama güneş ışıınımı verisi ve yıllık ortalama açıklık indeksi, kWh/m ² -gün	31
Şekil 4.19. HOMER'de PV ana sayfası	34
Şekil 4.20. HOMER Rüzgâr türbini ana sayfası	35
Şekil 4.21. HOMER rüzgar türbini güç karakteristiği	35
Şekil 4.22. Biyokütle ana sayfası	37
Şekil 4.23. Biyokütlenin gelişmiş özellikleri	37
Şekil 4.24. Biyokütlenin gelişmiş özellikleri	38
Şekil 4.25. HOMER şebeke ana sayfası	39
Şekil 4.26. HOMER şebekeden elektrik aşın/satış maliyeti sekmesi	40
Şekil 4.27. HOMER sınırlamalar sayfası	41
Şekil 4.28. HOMER optimizasyon sayfası	42
Şekil 4.29. Optimum HYES'i değerlendirmek için önerilen çerçeve	43
Şekil 4.30. Mikro şebekenin enerji yönetimi	44
Şekil 5.1. HOMER optimizasyon sonuç tablosu	47
Şekil 5.2. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri	48
Şekil 5.3. HOMER elektrik enerjisi üretimi	48
Şekil 5.4. Şebekeden aylık enerji alım-satım değerleri	49
Şekil 5.5. S.1, S.2, ve S.3'ün sonuçları	51
Şekil 5.6. S.4, S.5, ve S.6'ün sonuçları	51
Şekil 5.7. Bütün senaryolarda ihtiyaç duyulan sistem kapasiteleri	52
Şekil 5.8. Birden yediye kadar olan senaryolar için her binanın LCOE'si	53
Şekil 5.9. ID 1, 2, 33 ve 34 olan binaların her senaryo için LCOE değerleri	54
Şekil 5.10. Senaryolar için her binanın YO'su	56
Şekil 5.11. ID 1, 2, 33 ve 34 olan binaların her senaryo için YO değerleri	56
Şekil 5.12. Kampüs ve bina seviyeli SETK için her senaryoda ihtiyaç duyulan sistem kapasitesinin karşılaştırılması	57
Şekil 5.13. Bina ve kampüs düzeyinde durum için LCOE karşılaştırması	58

Şekil 5.14. Bina ve kampüs düzeyinde durum için YO'ların karşılaştırılması 58



1. GİRİŞ

Dünya şu anda yenilenebilir enerji sistemlerinin (YES) en etkili çözüm olarak kullanılabileceği düşünülen iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunları ile karşı karşıya kalmıştır. Ülkemizde en yaygın kullanılan YES'ler, rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller (PV), biyokütle (BIO) ve jeotermal enerjidir (E. v. T. K. Bakanlığı, 2023).

Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu ise PV yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. 5346 sayılı Kanun'a göre ise biyokütle; yerli belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, besin (gıda ve yem) değeri olmayan tarımsal atıkları, orman ürünleri (odun hariç), atık lastiklerin yan ürünleri, atık ve arıtma çamurları olarak tanımlanmaktadır (E. v. T. K. Bakanlığı, 2023). Jeotermal enerji ise yeryüzünün altında farklı derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların hava sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir. Jeotermal enerji elektrik üretimi, ısı üretimi, termal turizm ve sağlık amaçlı kullanılmaktadır (E. v. T. K. Bakanlığı, 2023).

YES'lerin temiz ve tükenmez olmaları gibi avantajlarının yanı sıra, birincil dezavantajı sürekli olmamasıdır. Güneş enerjisi sistemleri sadece gündüz saatlerinde elektrik üretebildiği için genellikle rüzgâr türbinleri ile kullanılmaktadır. Bu durum verimliliği artırsa da yine de sürekli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilememektedir. Biyokütle ve jeotermal santraller gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir teknolojiler sürekli elektrik sağlayabilmekte ve genellikle güvenli enerji depoları olarak düşünülmektedir. Bu sebeple çoğunlukla bu sistemler binaların temel enerji yükünü sağlamak için kullanılmaktadır.

Günümüzde şehirlerin elektrik ihtiyacını karşılayan büyük ölçekli merkezi elektrik üretim santrallerinin yerini mikro şebekeler gibi merkezi olmayan küçük ölçekli sistemler almaktadır ve elektrik sistemleri merkeziyetten uzaklaşmaya ve karbonsuzlaşmaya başlamaktadır. Merkezi şebekeler karmaşık, pahalı ve elektrik kesintisi durumunda tamir edilmesi zor sistemlerdir. Mikro şebekeler, bireysel anahtar üretim veya iletim altyapısı parçalarıyla donatılmış merkezi olmayan bir mimariye sahiptir. YES bileşenlerinin birim maliyeti dünya çapında azalmaktadır (Hirsch, Parag, & Guerrero, 2018), bu da onları özel sektör ve kamu sektörü için uygun hale getirmektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi kurulu gücüne katkısı 2022 yılı sonu itibarıyla % 52 oranına ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022). Konya, Türkiye'nin ortasında

yer almakta olup güneş ve rüzgâr enerjisi açısından yeterli yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir ((Özgören et al., 2023), (Group, 2022a), (Group, 2022b)). Yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline rağmen Konya'da sıfır enerji tüketimli binaların (SETB) kullanımı ve fizibilitesi henüz yeterince araştırılmamıştır. SETB kavramı yıllık olarak tükettiği kadar enerjiyi fosil olmayan kaynaklarla üreten binalar için kullanılmaktadır (Güçül, 2023).

1.1 Mevcut Sorun

Türkiye’de bina sayısının hızla artması ve inşaat sektöründeki büyümeye paralel olarak, binalarda tüketilen enerji miktarı ve buna bağlı sera gazı emisyonu da artmaktadır. Dünyada nihai sera gazı emisyonunun % 1,19’undan 2021 yılı itibari ile Türkiye sorumludur (Crippa, 2022). 2022 yılında Türkiye’de elektrik üretiminin, %34,6’sı kömürden, %22,2’si doğal gazdan, %20,6’sı hidrolik enerjiden, %10,8’i rüzgâr türbinlerinden, %4,7’si fotovoltaik panellerden, %3,3’ü jeotermal enerjiden ve %3,7’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir (T. C. E. v. T. K. Bakanlığı, 2023). Türkiye’de 1990-2020 yılları arası sektörel enerji tüketimine göre mesken ve hizmetler sektöründe enerji tüketimi artmaktadır (Bakanlığı, 2022). Türkiye’nin 2021 yılı net elektrik tüketiminin % 21,5’inden ise mesken sektörü sorumludur (TEDAŞ, 2022). Bu sebeple binaları temsil eden mesken ve hizmetler sektöründe elektrik enerjisi talebini yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlamak büyük önem arz etmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kullanımı elektrik üretiminde dışa bağımlılığı ve sera gazı emisyonuna sebep olan kömür ve doğalgaz kullanımını azaltmak açısından önemlidir.

Türkiye’nin yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline rağmen literatür incelemesinde Türkiye’de bina topluluklarına yenilenebilir enerji sistemlerinin entegre edilmesini inceleyen az sayıda çalışma olduğu görülmüştür ((Aykut & Terzi, 2020) , (Al-Ghussain, Darwish Ahmad, Abubaker, & Mohamed, 2021)). Fakat, bu tez çalışmasından önce yüksek güneş, rüzgâr ve biyokütle potansiyeline sahip ülkemiz için, bir bina topluluğu içeren kampüs ortamında binaların saatlik elektrik tüketimi ayrı ayrı ölçülerek, farklı HYES bileşenlerini içeren senaryolar uygulanması ile optimum Sıfır Enerji Tüketimli Kampüs (SETK) için fizibilite çalışması yapılmamıştır. Dünya genelinde bina topluluklarını sıfır enerji tüketimli bina topluluğu konumuna yükseltmek amacı ile yapılan HYES tasarımı çalışmalarında ise binaların elektrik tüketimi tek bir kaynaktan ölçülmüş ayrı ayrı bina modelleri oluşturulmamıştır((Baitule & Sudhakar, 2017),

(Mansouri Kouhestani et al., 2019), (Shea, Worsham, Chiasson, Kelly Kissock, & McCall, 2020), (Obeng, Gyamfi, Derkyi, Kabo-bah, & Peprah, 2020), (Shirzadi, Nasiri, & Eicker, 2020), (Taghavifar & Zomorodian, 2021), (Muller, Selvanathan, Cuce, & Kumarasamy, 2023)).

Yazarın bilgisi dâhilinde, bina toplulukları için binaların saatlik elektrik tüketiminin ayrı ayrı ölçüldüğü, PV, RT ve biyokütle bileşenlerinden oluşan yenilenebilir enerji sistemlerinin optimum tasarımı SETK hedefi için gerçekleştirilmemiştir. Dolayısı ile tek kaynaktan elde edilen ölçüm verileri ile geliştirirken HYES modeli, her binanın ayrı ölçülmesi ile geliştirilen HYES modeli ile karşılaştırılamamıştır.

1.2 Tezin Amaç ve Hedefleri

Literatürde farklı konum ve YES çeşitleri kullanılarak binaların enerji talebini karşılamak amacı ile birçok HYES tasarımının tekno-ekonomik açıdan fizibilitesi gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda ise bina toplulukları için benzer çalışmalar yürütülmektedir. Fakat farklı tipte binaları içeren kampüs yerleşkelerinde, saatlik elektrik tüketimin verisi kullanılarak gerçekleştirilen fizibilite çalışmalarından eksiklikler görülmektedir. Bu çalışmalardaki birincil eksiklik elektrik tüketiminin tek noktadan ölçülmesi ve tüm kampüs için HYES tasarımı gerçekleştirilmesidir. Fakat binaların saatlik elektrik tüketim profilinin, YES'lerin değişken elektrik üretim profili sebebi ile geliştirilecek HYES tasarımı üzerinde önemli etkisi vardır. Önerilen tez çalışmasında bahsedilen eksiklik giderilerek, kampüslerde binaların saatlik enerji tüketim verilerinden yola çıkarak sıfır enerji tüketimli kampüs için fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında;

- Selçuk Üniversitesi Kampüsü'nde yer alan 34 binanın 6 aylık saatlik elektrik tüketim verisi temin edilmiştir. Elde edilen veriler 12 aya tamamlanmıştır.
- Bu binaların her biri için yıllık tükettiği kadar elektrik üreten HYES tasarımı PV, RT ve biyokütleden oluşan farklı YES bileşenleri ile en düşük LCOE hedefi için geliştirilmiştir.
- Bu binaların toplam yıllık tükettiği kadar elektrik üreten HYES tasarımı PV, RT ve biyokütleden oluşan farklı YES bileşenleri ile en düşük LCOE hedefi için geliştirilmiştir.

- Binalar için ayrı ayrı geliştirilen HYES ile topluluk için geliştirilen HYES karşılaştırılmıştır.

HYES bileşenleri, Rüzgâr türbini, güneş paneli ve biyokütle olarak belirlenmiştir. Bu bileşenlerin kullanıldığı hibrit sistemde, optimizasyon algoritmasının genel amacı yıllık toplam net maliyeti en aza indirgeyerek, bir yılda tükettiği kadar elektrik üreten HYES sisteminin kapasitelerini belirlemektir. Bu amaçla, HOMER programından yararlanılarak HYES analizi ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamızın genel amacı; Selçuk Üniversitesi Kampüsü'nde elektrik tüketimi ölçülen 34 binanın elektrik talebini karşılayacak optimum HYES'i tasarlamak ve bu sistemin geri ödeme süresini hesaplamaktır.

1.3 Tezin Kapsam ve yapısı

Bu tez çalışmasında Selçuk Üniversitesi kampüsünde elektrik tüketimi ölçülen 34 binanın elektrik ihtiyacını yıllık bazda karşılayacak en düşük maliyetli HYES sistemini tasarlamaktır. Selçuk Üniversitesi kampüsünde internet altyapısı bulunmaması sebebi ile bazı binaların elektrik tüketimi ölçülememiştir. Bu sebeple çalışmada ölçüm yapılan 34 binanın verileri kullanılmıştır. Binaların ısıtma talebi dikkate alınmamıştır. Sadece elektrik talebini karşılayacak sistem tasarlanmıştır. Beş aylık elektrik tüketim verisi kullanılmıştır. Veriler geliştirilen denklemler ile 6 aya tamamlanmıştır. Daha sonra, haziran-aralık verisi için ilk altı ayın verisi aynalanmıştır. İklim verisi olarak tipik meteorolojik yıl verisi kullanılmıştır (Crawley & Lawrie, 2023). HYES tasarımı ve optimum sistemin elde edilmesi için HOMER yazılımı kullanılmıştır. HOMER'e binaların saatlik elektrik tüketim verisi girilerek ihtiyacı karşılayacak sistemler geliştirilmiştir. Farklı YES bileşenleri için yedi senaryo oluşturulmuştur. Her senaryo için LCOE değeri hesaplanmış ve optimum senaryo tespit edilmiştir.

Tezin ilk bölümünde konu ile ilgili genel bilgi, mevcut sorun, tezin amacı ve hedefi ve son olarak da kapsamı ve yapısı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan HOMER yazılımı hakkında bilgi verilmiş ve günümüzde en çok kullanılan diğer yazılımlarla karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde, literatür araştırması verilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar karşılaştırılmış, tezin literatürde doldurduğu boşluk açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, bu tez çalışmasında model olan kampüsün özellikleri, çalışmada kullanılan veriler, HYES geliştirilmesi sırasında izlenen adımlar,

senaryolar ve ekonomik analiz sırasında izlenen yöntem konusunda bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde her senaryo için elde edilen sonuçlar, sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanması yapılmıştır. Son olarak da altıncı bölümde genel sonuçları ve öneriler kısmı yer almaktadır.



2 YENİLENEBİLİR ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI

Bu bölümde çalışmada kullanılan HOMER yazılımı ve bu yazılımın diğer yazılımlarla karşılaştırılması verilmiştir.

2.1 HOMER Pro

HOMER, HYES tasarımı yapılırken fizibilite, optimizasyon ve hassasiyet analizi yapmak için en yaygın kullanılan yazılımdır. ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) HOMER'i hem şebekeye bağlı hem de şebeke dışı sistemler için geliştirmiştir. HOMER'de bilgisayar platformu olarak Windows kullanılmış ve C++ dili kullanılarak geliştirilmiştir (HomerEnergy, 2023).

HOMER'in girdileri, bileşen kurulumu, işletimi, yönetimi ve yakıt maliyetidir. Hava durumu verileri HOMER'de mevcuttur, ancak kişi kendi verilerini girebilmektedir. Yük verileri saatlik olarak da girilebilir. HYES bileşenleri veri tabanında mevcuttur. Girdileri girdikten ve bileşenleri seçtikten sonra HOMER, farklı sistem konfigürasyonlarını geliştirir, simüle eder ve ekonomik parametrelere göre sıralanan uygun konfigürasyonların bir listesi olarak sonuçlar üretir.

HOMER saatlik simülasyonlar gerçekleştirir (8760 saat/yıl). HOMER'in ana sınırlamalarından biri, minimum LCOE için tek amaç işlevine izin vermesidir. HOMER optimizasyon sonuçlarını, en düşük maliyetli sisteme göre sıralamaktadır.

2.2 Yenilenebilir Enerji Sistemi Modelleme Yazılımları

Dünyada yenilenebilir enerji sistemlerinin (YES) modellenmesi için geliştirilmiş yazılımlardan en sık kullanılan HOMER, Hybrid2, RETScreen, TRNSYS ve iHOGA yazılımları (Sinha & Chandel, 2014) arasında bir kıyaslama yapılmıştır. HOMER, ücretsiz ve kullanıcı dostu bir yazılımdır. HYBRID2 rüzgâr türbinleri, PV, akü ve güç dönüştürücülerine dayalı sistem analizleri içermektedir. Grafik arayüzü, simülasyon modülü, ekonomi modülü ve grafik sonuçları bölümlerinden oluşur. RETScreen, finansal ve çevresel maliyetleri ve YES faydalarını değerlendiren ücretsiz bir yazılımdır. Enerji üretimi, yaşam döngüsü ve sera gazı emisyonlarının azaltılması analizlerinde kullanılır. Arama, erişim ve görsel özellikleri sınırlıdır. TRNSYS günümüzde YES de içeren hibrit bir simülatör haline gelmiş ücretli bir yazılımdır. iHOGA genetik algoritma ve hassasiyet

analizi ile hibrit YES'in optimum tasarımında kullanılır, optimum PV açısı ve yaşam döngüsü emisyonlarını hesaplayabilir. PRO ve EDU olmak üzere iki versiyonu vardır. PRO ücretli, EDU ise eğitim amaçlı kullanılabilen ücretsiz sürümüdür. Bu yazılımların karşılaştırılması Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1.YES modelleme yazılımları

Yazılım	Görsel Ara yüz	Optimizasyon	YES Simülasyonu	Ücretsiz
HOMER	√	√	√	-
HYBRID2	√	-	√	√
RET Screen	-	-	√	√
iHOGA	√	√	√	-

Çizelge 2.1.'de görüldüğü üzere optimizasyon analizi içermesi ve en sık kullanılan yazılım olması sebebi ile bu çalışmada HOMER yazılımı tercih edilmiştir.

3 LİTERATÜR ÖZETİ

Yükseköğretim enstitüleri, daha sürdürülebilir bir topluma geçişte kilit bir role sahiptir. Yükseköğretim enstitülerinin atık azaltma, enerji verimliliği, su kullanımının azaltılması, sağlıklı çalışma ortamları için sürdürülebilir araştırmaları gerçekleştirmesi gerekmektedir (Sonetti, Lombardi, & Chelleri, 2016). Yükseköğretim enstitüleri enerji maliyetini düşürücü önlemler alabilmekte, karbon nötr hedefi koyabilmekte ve sürdürülebilirlik ilkelerine uyum sağlayabilmektedirler. Yükseköğretim enstitüleri, kentsel özellikler ve nüfus büyüklüğü açısından küçük şehirleri temsil etmektedir. Bu nedenle, kampüs alanları için geliştirilen yeşil uygulamalar, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında şehirler için bir model olabilmektedir. Kampüs alanları, YES'lerin kurulmasında ve karbon ayak izinin azaltılmasında önemli rol oynayan çok çeşitli boş arazilere sahiptir. Ayrıca yerleşke alanları okul, hastane, restoran, kütüphane, banka gibi farklı yapı tiplerini içinde barındırarak küçük şehirleri sembolize etmektedir. Bu nedenle, sıfır enerji tüketimli kampüsler kurmak için kampüs alanları için HYES fizibilitesinin yapılması küçük şehirler için temsili olacaktır.

Literatürde SETK hedefine ulaşmak amacıyla HYES tasarlamak için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Bhopal, Hindistan'daki elektrik talebinin %100'ünün PV ile karşılanması durumunun bir kampüste uygulanabilirliğini analiz edilmiştir. bu çalışmada 5 MW kapasiteli PV sistemin yıllık ihtiyacı karşılayabileceği görülmüştür. PV sistemi modellemek için PVSyst ve Solar Advisory Model yazılımları kullanılmıştır. Aylık elektrik tüketim verileri, 2015–2016 dönemi için elektrik faturaları toplanarak elde edilmiş ve PV santralin geri ödeme süresi (GÖS) 4,7 yıl olarak hesaplanmıştır (Baitule & Sudhakar, 2017). Ayrıca güneş ve rüzgâr enerjisi kaynaklarının Lethbridge Üniversitesi'nin elektrik ihtiyacını karşılama potansiyeli de yapılan bir çalışmada değerlendirilmiştir. Hibrit sistemin (rüzgâr/güneş) mevcut tüm kaynakların kullanılması durumunda üniversitenin yıllık elektrik ihtiyacının ortalama 3,6 katından fazlasını ürettiği görülmüştür. Kampüs, yıllık elektrik talebinin yaklaşık 2,8 katını üretecek olan 46 MW güneş PV sistemi için uygun alana sahiptir. Ayrıca, önerilen rüzgâr türbini (RT) sisteminin yıllık elektrik talebinin %84'ünü karşıladığı bulunmuştur. Bu çalışmada üniversitenin beş yıllık saatlik elektrik tüketim verileri kullanılmıştır (Mansouri Kouhestani et al., 2019). Şebekeye bağlı optimum HYES (PV/RT/biyokütle) fizibilitesi, HOMER yazılımı kullanılarak Marmara Üniversitesi için değerlendirilmiştir. Optimum HYES LCOE değeri 0,067 \$/kW olarak hesaplanan şebekeye bağlı rüzgâr/biyokütle

sistemi olarak belirlenmiştir (Aykut & Terzi, 2020). Dayton Üniversitesi'ni 2025 yılına kadar tamamen elektrikli, yenilenebilir enerjiyle çalışan, karbon nötr bir kampüse yükseltmenin maliyet etkinliği benzer bir çalışmada analiz edilmiştir. Bina enerji verimliliğindeki artış, kampüs filosunun elektrikli araçlara dönüştürülmesi, ısınma için jeotermal ısı pompalarının kullanılması ve yenilenebilir elektrik temini, sera gazı emisyonlarını %100 oranında azaltmaktadır (Shea et al., 2020). Başka bir çalışmada, üç farklı PV teknolojisi için PVsyst ve RETScreen yazılımları kullanılarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Üniversitesi, Nsoatre Kampüsündeki şebekeye bağlı 50 MW'lık bir PV santralinin fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Performans analizi, sistemin yıllık kampüs elektrik talebinin %48'inden fazlasını karşılayacağını göstermiştir. Elektrik tüketim verileri, üç yıl boyunca saatlik yerine günlük ortalaması alınarak elde edilmiştir (Obeng et al., 2020). Elektrik talebi %100 şebekeye bağlı YES (PV, RT, piller) ile karşılanan bir kampüs, YES'lerin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için boyutlandırma yaklaşımı geliştirilmesi ile bir çalışmada analiz edilmiştir. Bu çalışmada güneş takip sistemleri de incelenmiştir. Sonuçlar, dikey eksenli güneş takipçisinin LCOE'yi %50'den fazla azaltabileceğini göstermiştir (Shirzadi et al., 2020). Biyokütle, akü ve hidroelektrik santraller gibi uzun süre depolanmaya elverişli YES'ler, sürekli enerji sağlamak için hayati öneme sahiptir. Biyokütle kullanımını dikkate alan bir başka çalışmada, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) Kampusu için en uygun HYRES (PV/RT/biyokütle) tasarımı yapılmıştır. Genelleştirilmiş Azaltılmış Gradyan algoritması, optimizasyon amacıyla kullanılmıştır. 2019 yılı için soğutma yükü ve elektrikli cihazları içeren saatlik elektrik talep verileri kullanılmıştır. Optimum tasarlanmış sistem, 24,39 MWh pompajlı hidro depolama ve 148,64 kWh akü bankasına ek olarak 1,79 MW PV, 2 MW RT ve 0,92 MW biyokütle sisteminden oluşmuştur. HYES, %99.59'luk bir yenilenebilir orana (YO) sahiptir ve LCOE, 0,163 \$/kWh olarak elde edilmiştir (Al-Ghussain et al., 2021). Şebekeye bağlı bir HYES (PV/RT) tasarımı, kampüs düzeyinde talebi karşılamak için bir diğer çalışmada geliştirilmiştir. En uygun tasarımda, enerji talebinin %63,6'sının 0,0272 \$/kWh COE ile sağlandığı bulunmuştur. Enflasyon oranının %10'dan %15'e çıkması, YO'nun %14'ten yaklaşık %50'ye çıkmasına neden olmuştur (Taghavifar & Zomorodian, 2021). Yine bir kampüs alanı için gerçekleştirilen çalışmada, gerçekçi bir HYES sistemi, kampüs çevresindeki geniş boş alana göre tasarlanmıştır. PV ve RT birleşimi, yerinde elektrik üretimi için ekonomik olarak en uygun sistem olarak belirlenmiştir. HOMER ile tasarlanan sistem, 10,11 yıllık geri ödeme süresi ile enerji talebinin %41,5'ini karşılamıştır

(Muller et al., 2023). Literatür taraması kullanılan yazılım aracı, veri büyüklüğü, talebin karşılanma oranı, HYES bileşenleri, yıllık elektrik tüketimi (YET), elde edilen LCOE'ye ve çalışmanın yapıldığı ülkeye göre Çizelge 3.1.'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Literatür incelemesi

Kaynak	Simülasyon aracı	Veri	Karşılanan Talep	HYES	YET, MWh/yıl	LCOE, \$/kWh	Konum
(Baitule & Sudhakar, 2017)	PVSyst, SAM	Aylık (1 yıl)	100 %	PV	8.000	0,068	Hindistan
(Mansouri Kouhestani et al., 2019)	-	Saatlik (5 yıl)	100 %	PV, RT	$\cong 13.200$	-	Kanada
(Aykut & Terzi, 2020)	HOMER	Saatlik (1 day)	100 %	PV, RT, BIO	6.570	0,067	Türkiye
(Shea et al., 2020)	Energy Explorer	Aylık (4 yıl)	100 %	PV	87.000	-	Amerika
(Obeng et al., 2020)	PVSyst, RETScreen	Günlük (3 yıl)	48 %	PV	732	0,109	Gana
(Shirzadi et al., 2020)	HOMER	Saatlik (1 yıl)	100 %	PV, RT, Akü	48	0,0471	Kanada
(Al-Ghussain et al., 2021)	Microsoft Excel	Saatlik (1 yıl)	98.86 %	PV, RT, BIO, Hidro, Akü	7.880	0,163	KKTC
(Taghavifar & Zomorodian, 2021)	HOMER	Aylık (1 yıl)	63.6 %	PV, RT	162	0,0272	İran
(Muller et al., 2023)	HOMER	Aylık (1 yıl)	41.5%	PV, RT	16.790 (46*365)	0,078	Hindistan
Tez çalışması	HOMER	Saatlik (6 ay)	100 %	PV, RT, BIO	2.870	0,074 (Min.)	Türkiye

Çizelge 3.1.'de verilen literatür incelemesinde görüldüğü üzere, az sayıda çalışmada, bina topluluğun saatlik elektrik tüketim verilerini kullanarak optimum HYES tasarımının fizibilite analizini yapmıştır. Ancak, bu çalışmaların hiçbirinde binaların ayrı ayrı gerçek zamanlı elektrik tüketim verileri kullanılmamıştır. Dolayısıyla farklı kategoride binaların HYES tasarımıyla karşılaştırılmamıştır. Aslında, binaların elektrik tüketim profili HYES sisteminin büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Gügöl, 2023). Aynı zamanda literatürde yapılan çalışmalarda binalar için ayrı ayrı HYES tasarlanması ile topluca şehir ölçekli (topluluk ölçekli) HYES tasarımı da

karşılaştırılmamıştır. Bu sebeple bu tezde kampüste izlenen tüm binalar analiz edilerek optimum SETK hedefine ulaşma yöntemleri araştırılmıştır ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın literatüre sağladığı başlıca katkılar ve literatürde doldurulan boşluklar şu şekilde sıralanabilir:

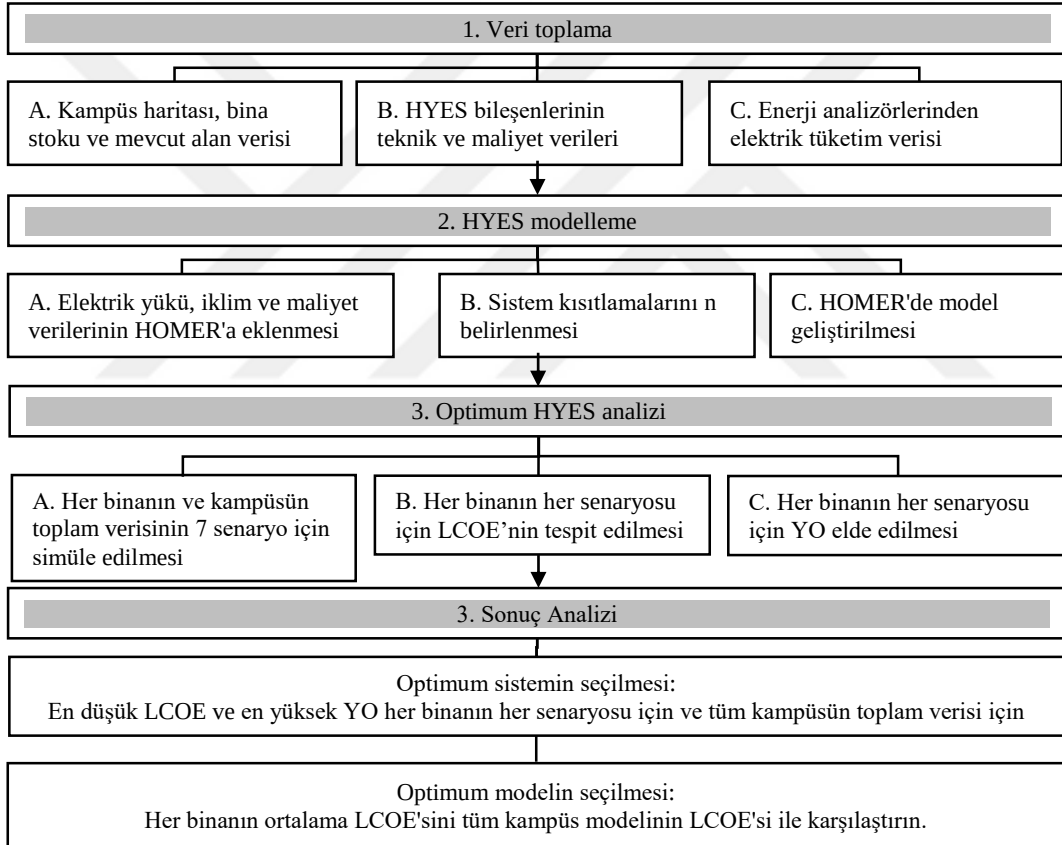
- Optimum SETK hedefi için farklı HYES kombinasyonlarından oluşan yedi senaryo geliştirilmiştir.
- Bir bina topluluğunun elektrik talebini karşılayacak HYES'in topluluk w tasarlanması durumu ile tek tek bina ölçekli tasarlanması durumu LCOE değerleri açısından karşılaştırılmıştır.
- Farklı kategorideki (Eğitim, hastane, otel v.s.) binaların HYES sistemleri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma şunları kanıtlamaktadır:

- Biyokütle sisteminin kullanılması, şebekeden satın alınan elektriği ve LCOE'yi azaltır.
- HYES'in her bir bina kategorisine göre boyutlandırılması, kullanılan YO'yu artırırken LCOE'yi azaltır. YO'nun artması demek; şebekeden alınan elektriğin azalması, üretilen elektriğin daha çok kullanılması demektir. Üretilen elektriğin şebekeye satış bedeli, şebekeden alınan elektriğin bedelinin yarısıdır. Elektrik maliyetinin azalmasının sebebi budur.
- Bu sonuç elektrik alış-satış tarifesine bağlıdır ve dolayısıyla Türkiye için geçerlidir.
- Elektrik alım satım fiyatının HYES teşviğine etkisi HYES maliyetinden fazladır.

4 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın metodolojisi dokuz bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, vaka çalışması yerleşkesinin özellikleri tanımlanmıştır. İkinci olarak, vaka çalışması kampüsünde ölçülen elektrik tüketimi verileri, teknik ve ekonomik veriler verilmiştir. Daha sonra üçüncü bölümde modelleme ve optimizasyon sürecinde kullanılan HOMER yazılımı hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde yerleşke için geliştirilen mikro şebeke tasarımı ve YES senaryoları verilmiştir. Beşinci bölüm ise ekonomik analizler sırasında izlenen yöntemleri içermektedir. Çalışmanın akış şeması Şekil 4.1.'de gösterilmektedir



Şekil 4.1. Çalışmanın akış şeması

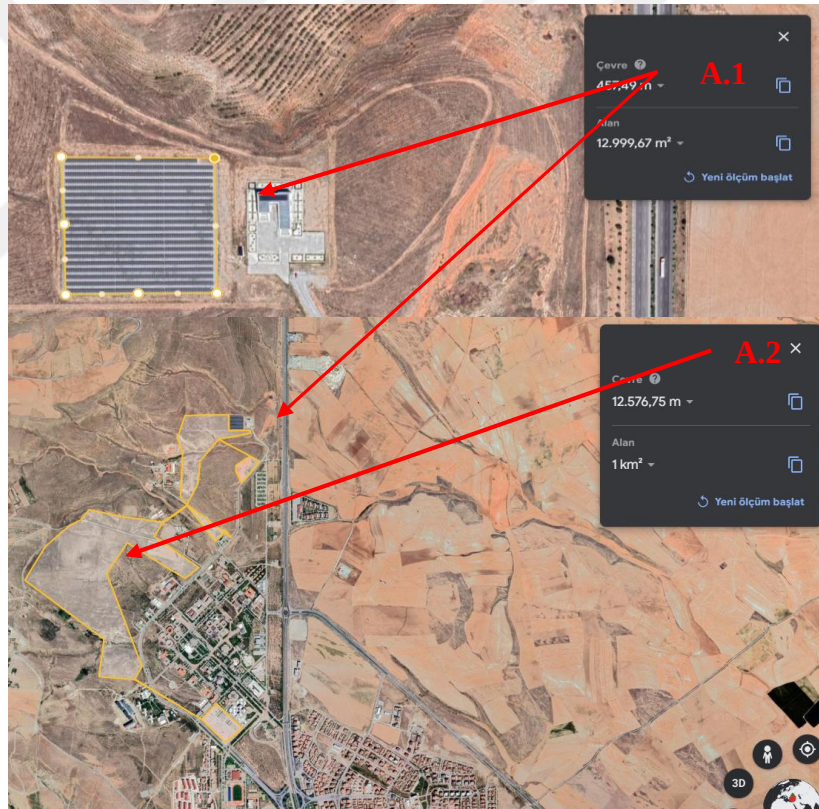
4.1 Model Kampüsün Özellikleri

Yaklaşık 67.504 öğrencisiyle Konya Türkiye'de bulunan Selçuk Üniversitesi (SÜ), 23 fakülte, 129 bölüm, 23 meslek yüksekokulunda lisans ve önlisans, ve 7 enstitüde

lisansüstü eğitim vermektedir. Bu bölümde SÜ yerleşkesinin coğrafi özellikleri, bina stoğu, elektrik talebi ve yenilenebilir enerji potansiyeli detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1.1 Coğrafi özellikleri

Konya, 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında, İç Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yer almaktadır (K. İ. K. v. T. Müdürlüğü, 2017). Türkiye 783.562 km²'lik yüzölçümüne sahipken Konya, göller hariç 38.873 km²'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahip olan ilidir. Ortalama yükseltisi 1.016 m'dir (K. İ. K. v. T. Müdürlüğü, 2017). Yazları sıcak ve kurak, kışları ise karlı ve yağmurlu geçer. SÜ'ya ait olan 1 MW'lık PV santrali (A.1) ve YES kurulumu için uygun olan arazi (A.2) Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. 1 MW'lık PV santrali (A.1) ve SÜ yerleşkesindeki kullanılabilir alanlar (A.2)

Şekil 4.2.'den de anlaşılacağı gibi 1 MW PV santrali (A.1) yaklaşık 13.000 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Ayrıca kampüste 77 MW'lık bir güneş enerjisi santrali için kullanılacak (A.2) 1 km² boş alan bulunmaktadır. A.2 çorak alanlarının yanı sıra çatılarda ve otoparklarda kullanılabilir alanlar da bulunmaktadır.

4.1.2 Bina stoğu

SÜ yerleşkesinin elektrik ihtiyacı şebeke tarafından karşılanmaktadır. Kampüsteki tüm binalar, merkezi doğal gaz yakıtlı ısıtma sistemi ile ısıtılmaktadır. Bu nedenle, SÜ'nün binalarında tüketilen toplam elektrik, cihazlar ve soğutma sistemi tarafından tüketilen elektriği içermektedir. Konya ilinin soğutma ihtiyacının az olması nedeniyle dersliklerde ve birçok amfide soğutma sistemi bulunmamakta ve yaz aylarında eğitim verilmemektedir. SÜ'nün ölçülen elektrik tüketim verilerinin yedeklerinin SÜ'nün Enerji Yönetim Ofisi tarafından saklanması, SÜ Akıllı ve Yeşil Kampüs projesinde gerçekleştirilmektedir. Proje ile binaların elektrik tüketimlerine göre sıralanması ve her binaya özel elektrik tasarruf stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

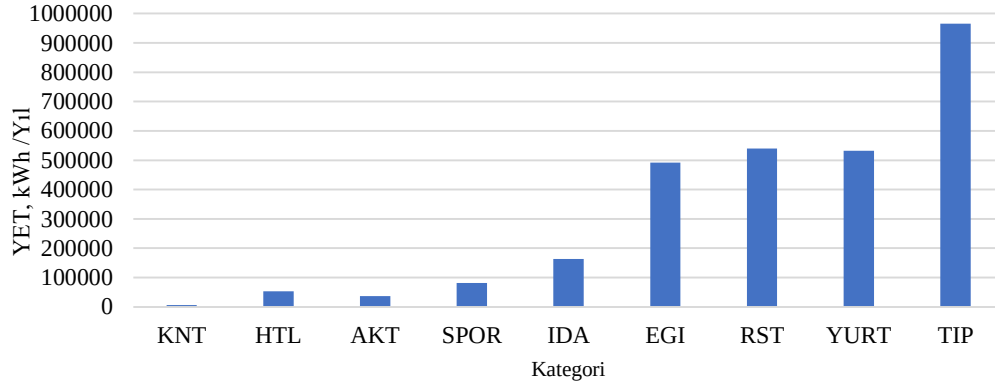
SÜ kampüsünde eğitim, hastane, otel, lokanta, konut, yönetim, sanat ve spor tesisleri ile konferans amaçlı kullanılan 87 adet bina bulunmaktadır. Kampüs 87 binayı kapsamasına rağmen, bu çalışmada sağlıklı verinin elde edilebildiği 34 bina ile sınırlandırılmıştır. İnternet bağlantısının olmaması, Wi-Fi kapsama alanı dışında olması ve bazı analizörlerde arıza olması nedeniyle bu çalışmada sadece 34 binanın elektrik tüketimi analiz edilebilmiştir. Binalar, binalarda gerçekleştirilen faaliyetlere göre kategorilere ayrılmıştır. Çizelge 4.1., kategori isimlerini, kısaltmasını, belirli bir kategorideki bina sayısını (BS), yıllık elektrik tüketimini (YET, kWh/yıl), binaların toplam alanını ve her kategoride metrekare başına YET'i göstermektedir.

Çizelge 4.1. Bina kategorileri

Kategori ismi	Kategori kısaltması	BS	YET, kWh /yıl	Kategorinin toplam alanı, m ²	Birim alan başına YET, kWh/yıl-m ²
Eğitim	EGI	15	481.978	146.864	3,28
Sağlık merkezleri	TIP	4	965.090	57.824	16,69
İdari binalar	IDA	4	147.031	3.561	41,29
Restoranlar	RST	2	539.849	18.593	29,04
Konutlar	KNT	0	6.436	562	11,45
Yurtlar	YURT	2	532.297	27.467	19,38
Oteller	OTL	1	53.512	4.106	13,03
Spor merkezleri	SPOR	2	81.859	10.042	8,15
Aktivite merkezleri	AKT	3	62.344	29.012	2,15
Toplam tüketim			2.870.396	298.031	144,46

Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere, birim alan başına en fazla enerji idari binalarda tüketilmekte, bunu restoran ve yurtlar takip etmektedir

Her kategorideki binaların YET'si, en düşükten en yükseğe doğru sıralanan Şekil 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. SÜ kampüsündeki binaların kategorilerinin toplam YET'i

Şekil 4.3. yıllık en fazla enerji sağlık binalarında tüketilmekte, bunu yine lokanta ve yurtlar izlemektedir.

Çizelge 4.2., SETB sürdürülebilir yolu için enerji analizörleri ile donatılmış 34 binanın ana özelliklerini göstermektedir. Bina adı (B.N.), binadaki analizör sayısı, bina kategorisi, YET (kWh/yıl) ve binaların toplam alanı (m²) Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Bu çalışmada binaların ID'si arttıkça YET'i de artmaktadır. Binalar YET miktarına göre sıralanmıştır.

Çizelge 4.2. SÜ yerleşkesinde enerji analizörleri ile donatılmış ve doğru şekilde ölçülen binalar

ID	Bina ismi	Analizör sayısı	Bina kategorisi	YET, kWh/yıl	Alan, m ²
1	Spor Bilimler Fakültesi	1	EGI	1217	10000
2	Veteriner Fakültesi	1	TIP	2194	16866
3	Susem	1	IDA	4166	560
4	Rektör Konutu	1	RES	6436	562
5	Sağlık Bilimleri MYO	1	EGI	6802	3100
6	Müze	1	AKT	8817	8870
7	Adalet YO	1	EGI	14522	8777
8	Tömer	1	EGI	14889	2528
9	15 Temmuz Çim	1	AKT	15310	3076
10	Matbaa	1	EGI	16131	11693
11	İktisat Fak	1	EGI	17310	23870
12	Sanat ve Tasarım Fakültesi	1	EGI	17374	15910
13	Radyo TV	1	IDA	18416	1795

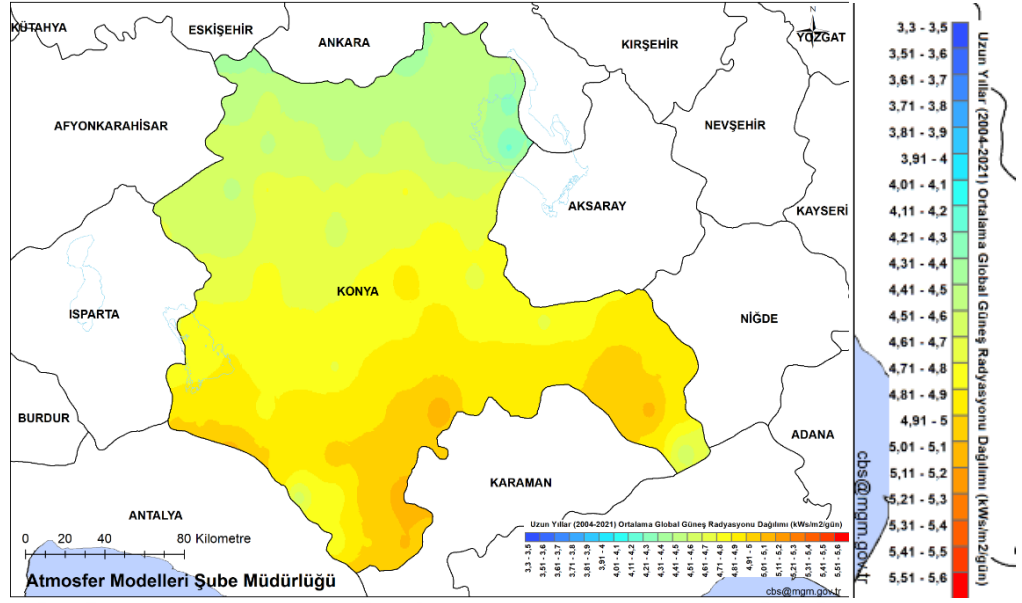
14	Dilek Sabancı Konservatuvarı	1	EGI	24204	11871
15	GES İdari Bina	1	IDA	25543	644
16	Merkezi derslik 1	1	AKT	25929	12200
17	Kütüphane	1	AKT	27598	7942
18	Turizm Fak	1	EGI	29067	8035
19	İletişim Fakültesi	1	EGI	34142	5342
20	Edebiyat Fakültesi	1	EGI	38832	14500
21	YADAM	2	EGI	50130	11647
22	Teknoloji Fakültesi	1	EGI	52832	6650
23	Konukevi	1	OTL	53512	4106
24	Hukuk Fakültesi	1	EGI	65299	8777
25	19 Mayıs Çim	1	TIP	66549	6966
26	Diş Hekimliği Fak	1	TIP	72759	8636
27	Erasmus Yurt Binası	1	YURT	81477	3992
28	Rektörlük Binası	1	IDA	98906	562
29	Sağlık Bilimleri Fak	1	EGI	99225	4165
30	Merkezi Kafeterya	1	RST	237127	11662
31	Kafeterya	1	RST	302722	6931
32	Tıp Fakültesi	13	TIP	408187	20729
33	Yurtlar	6	YURT	450820	23475
34	Hayvan Hastanesi	1	TIP	481951	11593

4.1.3 Yenilenebilir enerji potansiyeli

SÜ yerleşkesinde bulunan 1 MW'lık PV santralinde (Şekil 4.2.'de A.1 olarak gösterilmiştir) üretilen elektrik şebekeye satılmakta ve satılan elektriğin maliyet tutarı yerleşkenin elektrik faturasından düşülmektedir. Bu tesiste üretilen elektrik bu çalışmada kullanılmamakta ve elektrik yükünden düşülmemektedir. Çünkü üretilen elektrik doğrudan şebekeye verilmektedir. Bu çalışmada üretilen elektriğin öncelikle bina tarafından kullanılması planlanmıştır. İhtiyaç fazlası elektriğin ise şebekeye satılması planlanmıştır. Çünkü elektrik satış bedeli, alış bedelinden düşüktür. HYES tasarımının şebekeye bağlı olması sebebi ile üretilen elektriğin şebekeden alınması planlanmıştır ve batarya kullanılmamıştır.

4.1.3.1 Güneş ve rüzgâr potansiyeli

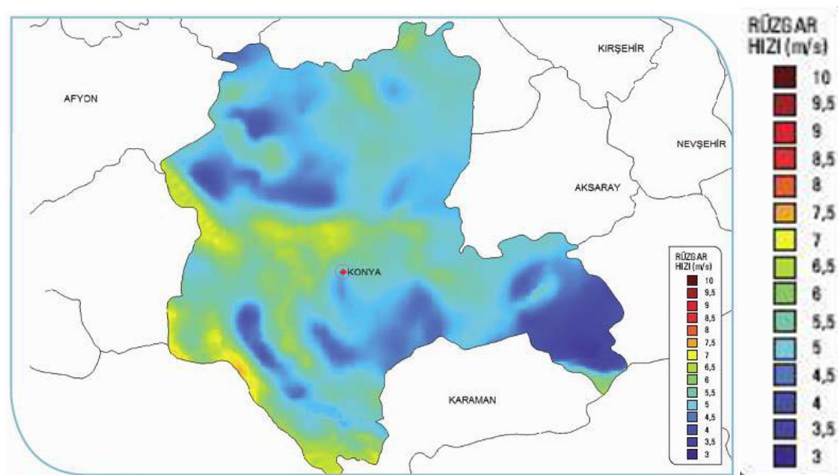
Konya'nın direkt normal, küresel yatay ve yayılı yatay radyasyon miktarı sırasıyla 1.901, 1.749 ve 611 kWh/m²-yıl'dır (Group, 2022a). Şekil 4.4.'te Konya'nın güneş radyasyonu potansiyeli görülmektedir.



Şekil 4.4. Konya için ortalama küresel güneş radyasyonu, kWh/m²-yıl (T. C. Ç. ş. v. i. d. b. m. g. müdürlüğü, 2022)

4.1.3.2 Rüzgâr potansiyeli

Küresel Rüzgâr Atlası, politika yapımcıların, planlamacıların ve yatırımcıların dünyanın neredeyse her yerinde rüzgâr enerjisi üretimi için yüksek rüzgâr alanlarını belirlemesine ve ardından ön hesaplamalar yapmasına yardımcı olmak için geliştirilmiş ücretsiz, web tabanlı bir uygulamadır. Şekil 4.5.'te Konya ilinin rüzgâr potansiyeli görülmektedir.



Şekil 4.5. Konya ili 50 m yükseklikte rüzgâr hızı haritası (Altay, 2023)

Küresel Rüzgâr Atlası, politika yapımcıların, planlamacıların ve yatırımcıların dünyanın neredeyse her yerinde rüzgâr enerjisi üretimi için yüksek rüzgâr alanlarını belirlemesine ve ardından ön hesaplamalar yapmasına yardımcı olmak için geliştirilmiş ücretsiz, web tabanlı bir uygulamadır. Küresel Rüzgâr Atlası uygulamasına göre, Selçuk Üniversitesi kampüs alanı çevresinde 50 m yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 5,05 m/s ve rüzgâr gücü 220 W/m²'dir (Group, 2022b).

4.1.3.3 Biyokütle Potansiyeli

Konya, 40.838.000 dekar yüzölçümü ile Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahip ili olup; 18.710.259 dekar alanda tarım yapılmaktadır (TÜİK, 2022a). Konya'da 956.898 büyükbaş, 2.843.229 küçükbaş hayvan sayısı ile Türkiye'nin en büyük hayvansal ve bitkisel üretim merkezi konumundadır (TÜİK, 2022b). Türkiye'de; buğday üretiminin %9'u, arpa üretiminin %15'i, yulaf üretiminin %5'i, şeker pancarı üretiminin %32'si, mısır üretiminin %19'u, ayçiçeği üretiminin %14'ü Konya ilinde yapılmaktadır (TÜİK, 2022a). Böylece Konya gerek hayvansal gerekse bitkisel üretimde ve bunlardan doğan atık maddeler yönü ile çok önemli potansiyele sahiptir.

Daha önce yapılan bir çalışmada seçilen şehirler için biyogaz tesislerinin maliyet analizi yapılmıştır. Bu analizde Konya ili için kurulum maliyeti 1.357.380.000 avro, dahili kapasite 339.345 MW, yıllık toplam giderler 235.521.300 avro şeklinde hesaplanmıştır (Aksay & Tabak, 2022).

Türkiye'nin toplam toplanabilir gübre, toplam toplanabilir tarımsal atık ve biyogaz potansiyeli sırasıyla yılda 176 milyon ton, 17 milyon ton ve 17 milyar m³'ün üzerindedir. Türkiye'nin elektrik üretim potansiyeli ve toplam CO₂ emisyon azaltımı sırasıyla 38 GWh ve 174 milyon ton/yıl'ın üzerindedir (Aksay & Tabak, 2022).

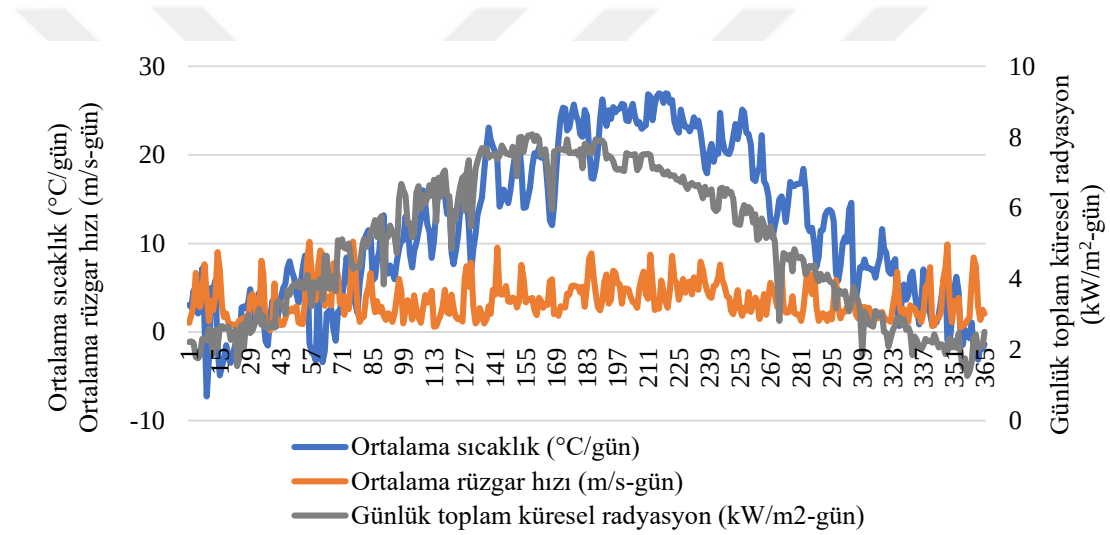
4.2 Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu bölümde iklim, bina, elektrik tüketimi, yenilenebilir sistemler, ekonomik analiz ve sera gazı emisyon faktörü gibi verilere yer verilmiştir.

4.2.1 İklim verisi

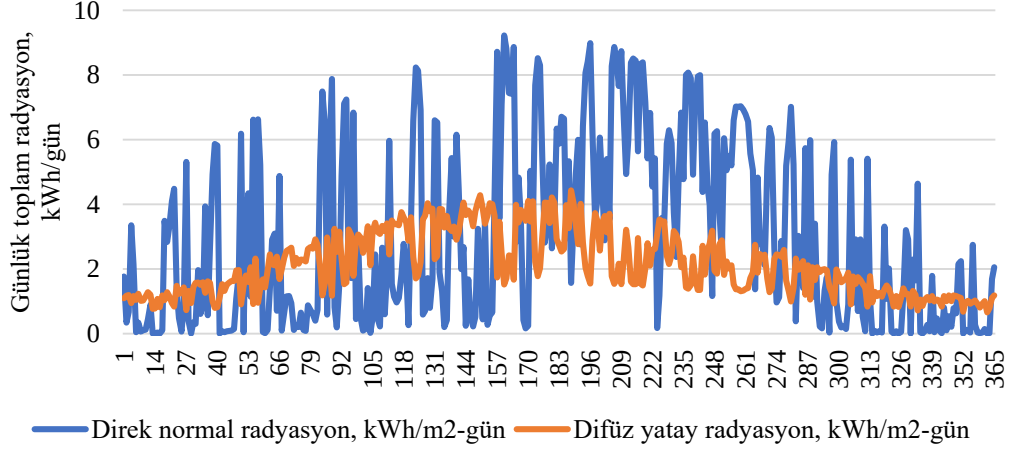
Bu tez çalışmasında, Konya iline ait 2007-2021 yılları arasında ölçülen iklim verilerinden elde edilen Tipik Meteorolojik Yıl (TMY) verisi kullanılmıştır (Crawley & Lawrie, 2023). Veri seti, saatlik güneş radyasyonu, dış ortam sıcaklığı, rüzgâr yönü ve hızını içermektedir. Konya ilinin günlük toplam küresel yatay radyasyon, günlük ortalama sıcaklık ve 10 metre yükseklikteki günlük ortalama rüzgâr hızı verileri Şekil 4.6'da verilmiştir.

Bu veriler PV ve RT sistemlerinin elektrik üretim hesaplamalarına kullanılmıştır. Sıcaklık verisi PV panellerinin hücre sıcaklığının hesaplanmasında kullanılmıştır.



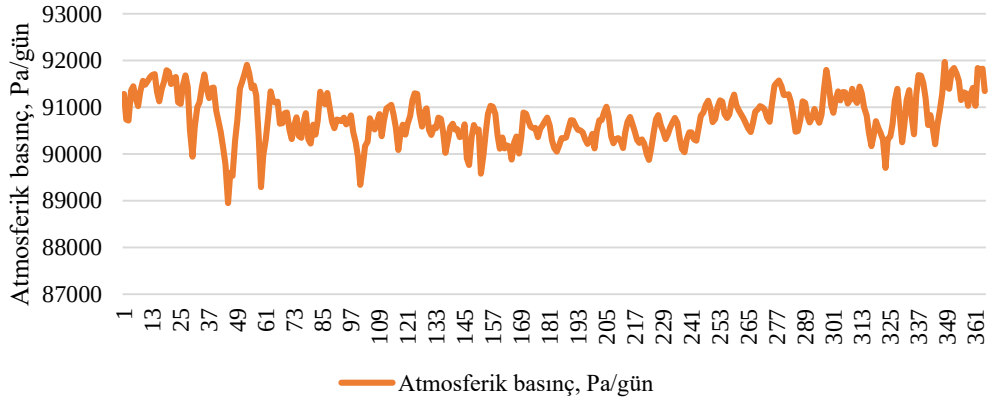
Şekil 4.6. Konya'da günlük küresel radyasyon, günlük ortalama sıcaklık ve 10 metrede günlük ortalama rüzgâr hızı

Şekil 4.7.'de günlük direk normal radyasyon ve difüz yatay verisi görülmektedir. Bu veriler fotovoltaik sistemlerin üreteceği elektrik miktarının hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Günlük toplam direkt ve difüz radyasyon, kWh/m²-gün

Şekil 4.8.'de günlük atmosferik basınç verilerine yer verilmiştir. Bu veriler havanın yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Havanın yoğunluğu ise rüzgâr türbininden elektrik üretimi hesabında kullanılmıştır.



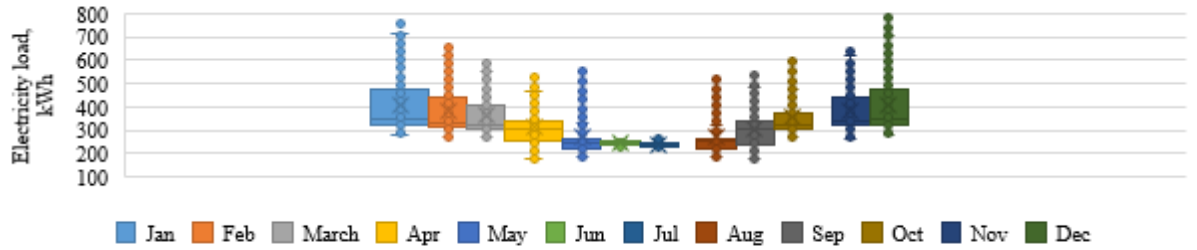
Şekil 4.8. Atmosferik basınç, Pascal-gün

4.2.2 Elektrik tüketim verisi

Bu çalışmadan önce KOP-Selçuk Üniversitesi işbirliği ile yürütülen “Akıllı ve Yeşil Kampüs Projesi” (PROJE ID: 2021D00-168821-168822) kapsamında SÜ yerleşkesinde bulunan binalara enerji analizörü takılarak saatlik elektrik tüketim verisi elde edilmiştir. Konut, sanayi ve ticari binalar için akım, gerilim ve güç parametrelerini ölçmek üzere tasarlanmış 52 adet Entes MPR-45S enerji analizörü kullanılarak 34 binanın elektrik tüketimi ölçülmüştür (Crawley & Lawrie, 2023). Analiz cihazı verileri ölçer, ekranda görüntüler ve Modbus protokolünü kullanarak iletişim kurar. Analizör, izlenen

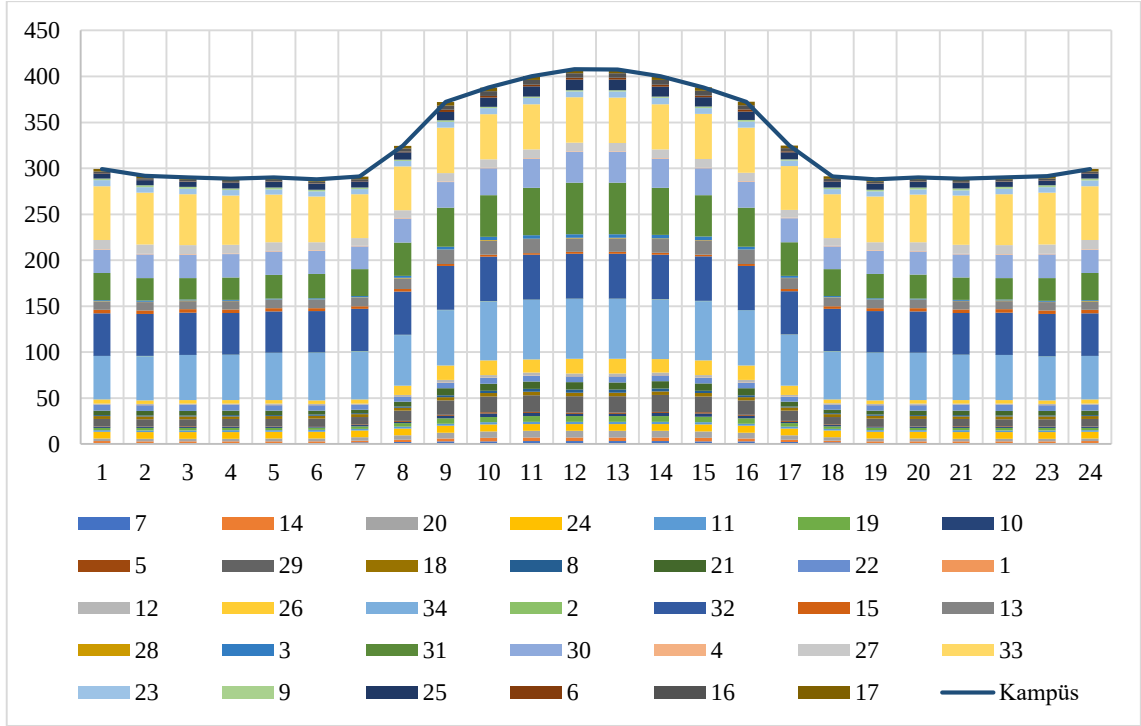
verileri geçici olarak 16 MB dâhili belleğinde saklar. Analizör, ölçüm hatasını temsil eden %0,5'lik bir doğruluğa sahiptir. Entes MPR-45S analizörleri her binanın elektrik şebekesine bağlıdır, bazı binalarda birden fazla elektrik şebekesi vardır. Ölçülen veriler, her biri için IP verilen modem (HomerEnergy, 2023) kullanılarak yerel bir sunucuya aktarılır. Yerel sunucudan veri izlemek ve indirmek için şirket tarafından geliştirilen bir yazılım kullanılmaktadır (Sinha & Chandel, 2014). 01/01/2023- 01/07/2023 tarihleri arasında ölçülen saatlik elektrik tüketimi her bina için yerel sunucudan yük verisi olarak indirilmiştir. Her veri seti tarih, saat, dakika, akım, gerilim ve güç değerlerini içermektedir. Veri toplama sırasında büyük veri sayılabilecek 369.954'den fazla veri elde edilmiştir. Optimal HYES boyutunun tespiti sırasında kullanılan veriler, zaman ve saatlik elektrik yüküdür. Eksik veri yüzdesi %0,1 olup MS Excel programında eksik veri öncesi ve sonrası verilerin aritmetik ortalaması alınarak tamamlanmıştır.

Yılın ilk 6 ayına ait veriler elde edildikten sonra bu veriler sonraki 6 aya aynalanmıştır. Son olarak bir yıllık veriler elde edilmiştir. Ön işlemlerden sonra binaların nihai elektrik yükü eğrileri elde edilmiştir. Şekil 4.9., 34 binanın saatlik yükünün box whisker grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.9. 34 binanın elektrik yükünün toplamının box whisker grafiği

34 binanın YET'si 2.870 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Elektrik tüketimi, şehrin düşük soğutma talebi ve okulun tatile girmesi nedeniyle Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi yaz boyunca bir düşüş göstermiştir. Binaların günün her saatindeki ortalama elektrik tüketimi, Şekil 4.10.'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Her bina için günün her saatindeki ortalama elektrik tüketimi, kWh

Şekil 4.10'dan da anlaşılacağı gibi, aynı kategorideki binalar genellikle benzer yük tiplerini gösterir. Tüm sağlık binaların YET'i gündüzleri artış göstermiştir. İdari binalar arasında sadece Güneş Enerjisi Santrali Binası (ID:20), 15 Temmuz çim sahasında olduğu gibi (ID:30) bahçe ışıklarından dolayı gece saatlerinde artış göstermektedir. Restoran, yatakhane ve aktivite binaları da benzer dalgalanmalar göstermiştir.

4.2.3 Yenilenebilir sistemlere ait veriler

Bu çalışmada seçilen HYES bileşenlerine HOMER yazılım veri tabanında bulunan bileşenlere göre karar verilmiştir. Karar sürecinde, cihazların kullanılabilirliği ve verimliliği göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen PV, RT ve biyokütle özellikleri Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Bu çalışmadaki PV panel olarak HOMER'ın veri tabanında mevcut olan 345 W güce sahip bir panel seçilmiştir. Seçilen panelin teknik özellikleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan PV'nin teknik özellikleri (TrinaSolar, 2018)

HYES elemanları	Özellikleri	Değerleri
PV	Nominal güç (P_{pv})	257 W
	Verimlilik (η_{pv})	17.4 %
	Maksimum Güç-PMAX	345 Wp
	Maksimum Güç Voltajı-VMPP	38.2 Volt
	Maksimum Güç Akımı-IMPP	9.04 Ampere
	PV alanı	1.984 m ²
	İşletme sıcaklığı	-40~+85°C
	Nominal Çalışma Hücres Sıcaklığı	44°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
	Standart test koşullarında ortam sıcaklığı	25 °C
	Sıcaklık Katsayı (P_{max})	- 0.39 %/°C
	Ömür	25 yıl

Bu tez çalışmasında, HOMER programıyla Konya için yapılacak olan simülasyonlarda Generic model rüzgâr türbini kullanılmıştır. Bu HOMER'ın veri tabanında mevcut olan, yüksek performanslı ve Türkiye'deki bazı rüzgâr santrallerinde de kullanılan bir türbindir. RT'nin özellikleri Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan RT'nin teknik özellikleri (Bergey, 2013)

HYES elemanları	Özellikleri	Değerleri
Rüzgâr türbini	Model	Generic
	Rotor çapı	3.9 m
	Maks. Merkezi zirve	9 m
	Anma gücü	3 kW
	Devreye giren rüzgâr hızı	2.5, m/s
	Ömür	25 yıl

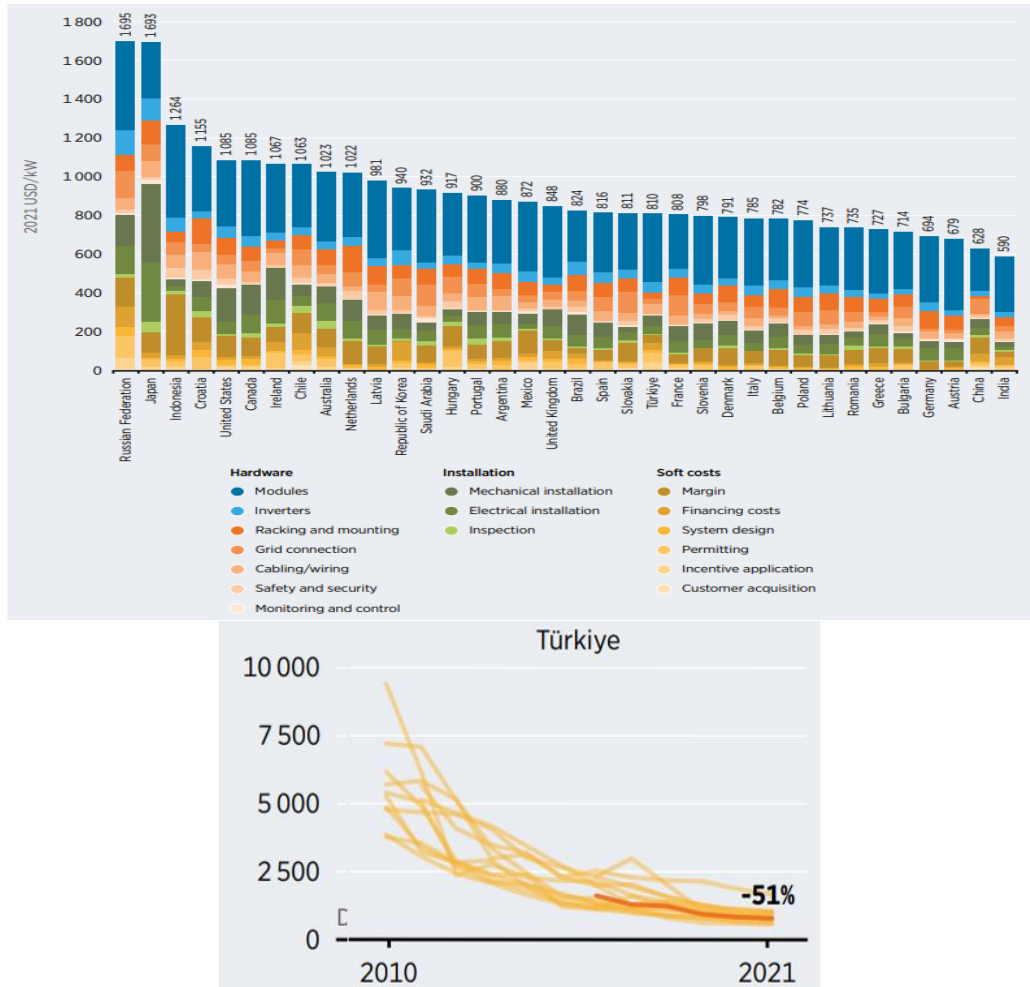
Bu tez çalışmasında, HOMER programıyla Konya için yapılacak olan simülasyonlarda Generic model, biyogaz yakıt tipli biyokütle sistemi kullanılmıştır. Kullanılan sistemin teknik özellikleri Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çalışmada kullanılan biyokütle sisteminin teknik özellikleri

HYES elemanları	Özellikleri	Değerleri
BİYOKÜTLE	Modeli	Generic
	Yakıt tipi	Biyogaz
	Düşük ısıtma değeri	5.5 MJ/kg
	Yoğunluk	0.720 kg/m ³
	Karbon içeriği	5 %
	Ömür	15 yıl

4.2.4 Ekonomik analiz verileri

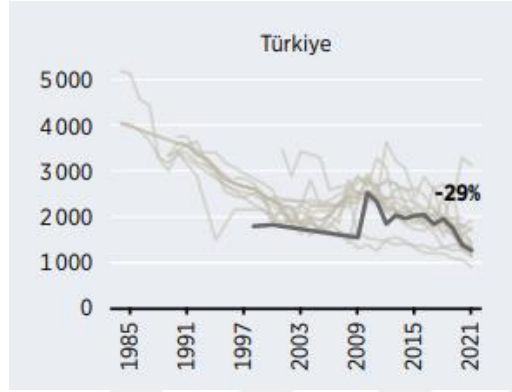
Bu çalışmada, minimum LCOE ile optimum HYES'i tasarlamak için PV, RT ve biyokütle maliyet verisi kullanılmıştır. Maliyet verisi Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın raporundan elde edilmiştir. IRENA, uluslararası işbirliği için temel platform olarak hizmet veren, ülkeleri enerji geçişlerinde destekleyen ve teknoloji, yenilikçilik, politika, finans ve yatırım konularında son teknoloji veri ve analizler sağlayan, enerji dönüşümü için lider bir küresel hükümetler arası kuruluştur. IRENA, ekonomik ve sosyal dayanıklılık ve refah için sürdürülebilir kalkınma, enerji erişimi ve enerji güvenliği arayışında biyoenerji, jeotermal, hidroelektrik, okyanus, güneş ve rüzgar enerjisi dahil olmak üzere her türlü yenilenebilir enerjinin yaygın olarak benimsenmesini ve sürdürülebilir kullanımını teşvik eder. PV sistemlerinin toplam kurulu maliyetinin IRENA raporundan elde edildiği grafik Şekil 4.11.'te verilmiştir.



Şekil 4.11. PV toplam kurulu maliyet (IRENA, 2022)

Şekil 4.11'deki verilere dayanarak Türkiye'de 2021 yılı PV maliyeti 882 USD/kW olarak belirlenmiştir.

Değişken talepleri karşılamak için gerekli rüzgâr türbin sistemlerinin toplam kurulu maliyeti Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Rüzgâr türbini toplam kurulu maliyet (IRENA, 2022)

Şekil 4.12'deki verilere dayanarak Türkiye'de 2021 yılı rüzgâr türbini maliyeti 1250 USD/kW olarak belirlenmiştir.

Türkiye için kapasite faktörü 2021 yılında %39 alınmıştır (IRENA, 2022). Türkiye için enflasyon oranı %11 olarak alınmıştır (EkonomiAtlası, 2020). HYES bileşenlerinin maliyeti Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. HYES bileşenlerinin maliyeti

HYES Bileşenleri	Kurulum maliyet, \$/kW	O&M maliyet, \$/kW	Yakıt maliyeti, \$/ton	Kaynak
PV	882	18	-	(IRENA, 2022)
RT	1.250	36	-	
Biyokütle	4.000	750	30	
Inverter	300	-	-	

Türkiye'de şebekeden alınan ve satılan elektriğin maliyeti Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Satın alınan ve satılan elektriğin maliyeti

Elektrik fiyatı		Fiyat, \$/kW
Satın alınan		0,1245 (EPDK, 2023)
Satılan	PV	0,053 (ResmiGazete, 2023)
	RT	
	Biyokütle	

4.2.5 Sera gazı emisyon faktörü verileri

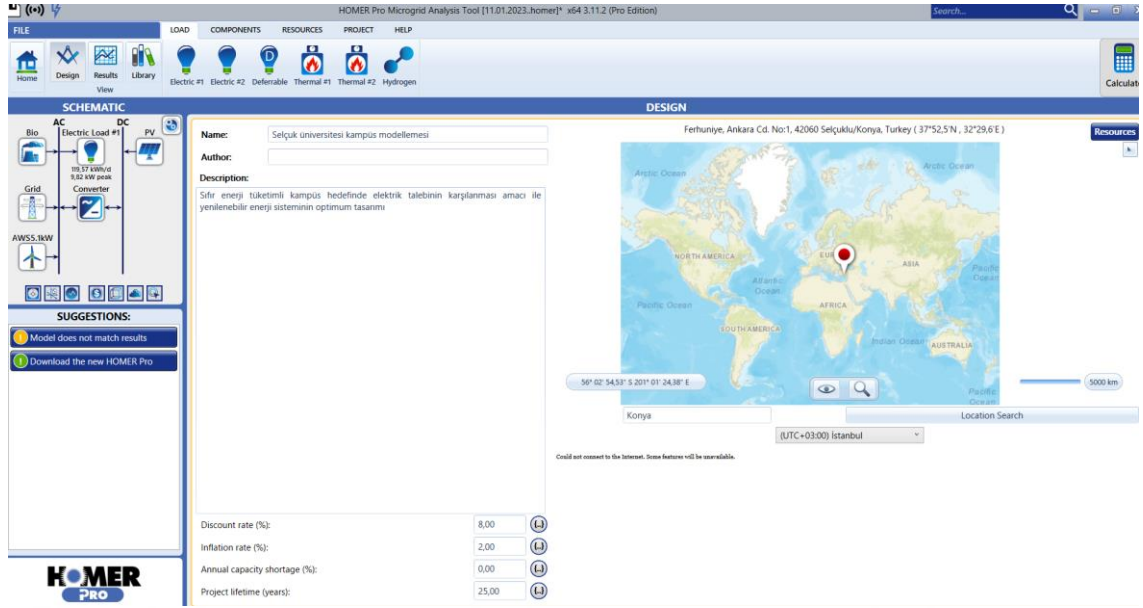
Senaryolar ile elde edilen elektrik tasarrufu nedeniyle CO₂ emisyonundaki azalmanın hesaplanması için Türkiye'nin 2020 yılı elektrik üretiminin birincil enerji türüne göre dağılımı ve bu enerji kaynaklarının spesifik emisyon katsayıları elde edilmiştir. 2020 yılında Türkiye elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyon faktörü 0,325 kg CO₂/kWh olarak hesaplanmıştır (Gügöl, 2023).

4.3 Sıfır Enerji Tüketimli Kampüs Modelinin Oluşturulması

Bu tez çalışmasında incelenen üniversite kampüsünün HOMER PRO yazılımı kullanılarak HYES kurulumu şebekeye bağlı olarak incelenmiştir. Bu sistemde enerji üretimi için PV panellere, rüzgâr türbinine, biyokütle, invertere ve şebeke bağlantısına yer verilmiştir. HOMER PRO aracılığıyla sistemin modellenmesi yapılmıştır.

4.3.1 Konum ve iklim verilerinin eklenmesi

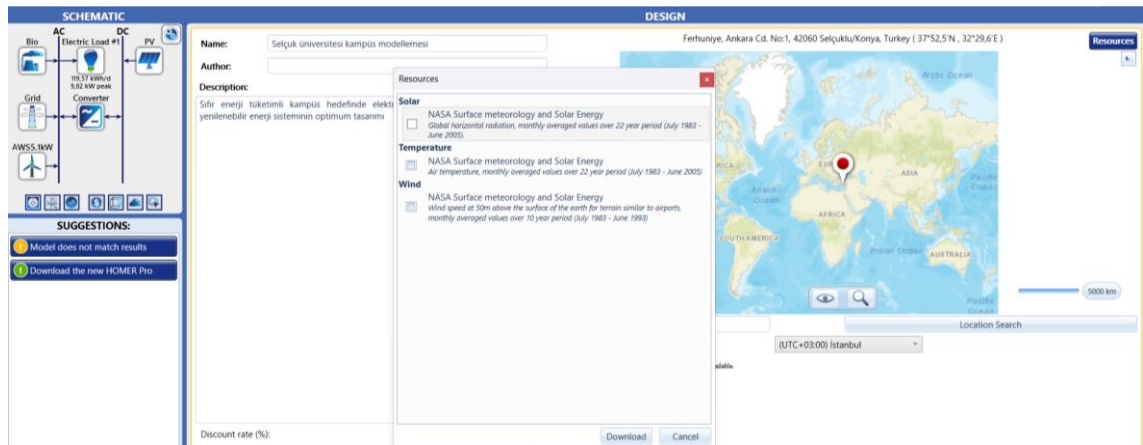
Bu bölümde HOMER PRO yazılımının ana sayfası tanıtılıp, konum ve iklim verilerinin eklenmesi hakkında bilgi verilmiştir. Şekil 4.13'te Homer ana sayfası görülmektedir. HOMER programı İngilizce olarak kullanılması sebebi ile, bu bölümde kullanılan araçların yazılımda halihazırda var olan İngilizce karşılığı verilmiş, yanında ise parantez içerisinde Türkçe açıklamaları verilmiştir.



Şekil 4.13. HOMER PRO anasayfası

Şekil 4.13 de görüldüğü üzere anasayfada projenin ismi, yazarı ve açıklamaları yapılarak projeye ait bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu projenin gerçekleştirileceği konum bilgileri girilmiştir. Şekil 4.14.’te gösterilen ekrana araştırma ya da analiz yapılmak istenilen konum girilmiştir. “Location Search (Konum Arama)” sekmesine basıldığında istenilen konuma gidilmiştir. HOMER PRO da Konya Selçuk Üniversitesi kampüsü konum bilgileri girilerek yapılacak modellemenin bir sonraki aşamasına geçilmiştir

Şekil 4.14.’de “Resources” sekmesi ile projede kullanılması hedeflenen güneş, rüzgâr hız verileri, ısınım verileri seçilmiştir ve indirilmiştir.

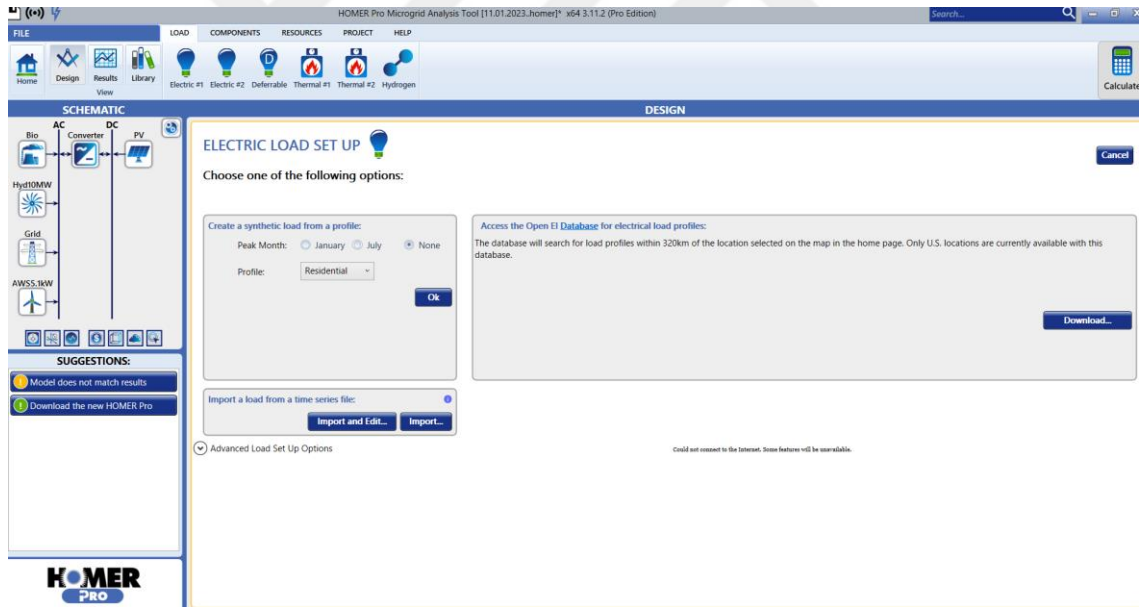


Şekil 4.14. HOMER PRO iklim verileri

Şekil 4.14. de NASA’ya ait iklim verileri görülmektedir. Güneş verileri 1983-2005 yıllarına, rüzgar verileri 1983-1993 yıllarına ve sıcaklık verileri ise 1983-2005 yıllarına arasındaki veriler baz alınarak modellemeye başlanmıştır.

4.3.2 Elektrik tüketim verisinin eklenmesi

HOMER PRO’da, elektrik tüketim verilerinin eklenmesi için iki yol mevcuttur. Bunlardan biri, yılın her ayına ait, bir günlük, saatlik tüketilen yük miktarlarının sisteme girilmesiyle yük modeli oluşturulurken, diğer yol da ise bir yılın, her saati için (8760 değer) elde edilen değerler sisteme aktarılır. Bu çalışmada incelemek olan Selçuk Üniversitesi kampüsü için yılın her saati için elektrik tüketimleri kullanılmıştır. Şekil 4.15.’te HOMER PRO uygulamasında modellenecek tasarımın elektrik tüketim verilerinin, HOMER PRO’nun tanıdığı biçim kullanılarak bir zaman serisi dosyasından bir yük içe aktarılabilir.

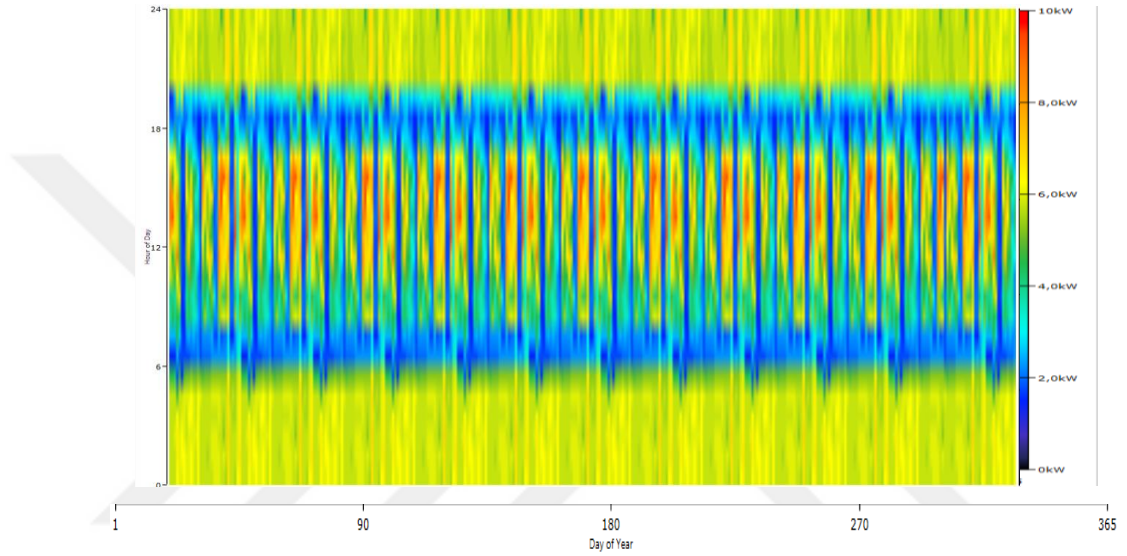


Şekil 4.15. HOMER PRO elektrik tüketim verileri yükleme

Şekil 4.15.’te elektrik tüketim verilerini yükleme sayfasında basit bir zaman serisi dosyasını içe aktarmak için “Import (İçe Aktarmak)” sekmesi kullanılır. Verilerde boşluklar veya yanlış sayıda satır bulunan veri dosyalarını içe aktarmak için “Import and Edit (İçe Aktarmak ve düzenlemek)” düğmesi kullanılır. Bu işlev, eksik veri noktalarını doldurmak için temel boşluk doldurma araçlarını içerir. Ayrıca bu bölümde elektrik

verilerinin yüklenmesi sayfasında, yoğun olan ay için bir seçenek belirlenebilmektedir. Yükün döngüsel bir yıllık değişimi isteniyorsa, en yoğun ay olarak “January (Ocak)” veya “July (Temmuz)” seçilip. “None (Hiçbiri)” seçilmesi, rasgele varyasyon dışında tekdüze olan yıllık bir profil vermektedir.

Şekil 4.16 Selçuk Üniversitesi kampüsünde bulunan Teknoloji Fakültesinin HOMER PRO programına yüklenen, tüketilen elektrik yüklerinin yıllık dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.16. Elektrik yüklerinin yıllık dağılımı

Şekil 4.16’deki sarı ve kırmızı renk yoğunluğu yüksek tüketimi göstermekte olup elektrik tüketiminin belli saatlerde yüksek ve yılın çoğu aylarında yaklaşık aynı düzeyde olduğu görülebilmektedir.

Yük profili, mevsimsel profile sahip bir topluluk yüküdür. Mevsimsel profil, her ay için minimum, maksimum ve ortalama yük değerlerini göstermektedir. Birincil yükler, sistemin öncelikli karşılaması gereken elektrik yükleri olup Selçuk Üniversitesi’ndeki genel elektrik ihtiyacının tümü birincil yük olarak programa işlenmiştir. HOMER PRO’da ikincil elektrik yükleri de belirlenebilmektedir. Şekil 4.17’de elde edilen yük profili görülmektedir.



Şekil 4.17. HOMER PRO yük profili

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi HYES için belirlenmiş yükün yıllık tepe noktası 9,87 kW ve yıllık ortalaması 119 kWh/gündür.

4.3.3 HOMER yazılımında iklim verilerinin eklenmesi

Bu bölümde HOMER PRO programında bulunan bileşenler için gerekli değerlerden güneş radyasyon verisi, rüzgâr hız verisi, sıcaklık ve biyokütle verilerinin programa girilmesi sırasında izlenen yöntem verilmiştir.

4.3.3.1 Güneş radyasyon verisi

HOMER programında bulunan NASA yüzey meteorolojisi ve güneş enerjisi veri tabanı özelliği, (kWh/m²) birimi ile ölçülen ortalama güneş ışıınım değerlerini ve her ay için netlik endeksi değerlerini elde etme avantajını sunmaktadır. Netlik endeksi atmosferin netliğini ifade etmekte olup sadece 0 ile 1 arasında bir değere sahip olmaktadır. Atmosfer katmanlarından Dünya'ya geçtikten sonra Dünya'nın yüzeyine gelen güneş ışıınımının miktarı netlik endeksini oluşturmaktadır. Ancak bu çalışmada iklim verisi TMY formatında yazılıma girilmiştir. Çizelge 4.8., bir yıl boyunca her ay için netlik endeksinin değerlerini ve günlük radyasyonun ortalamasını göstermektedir.

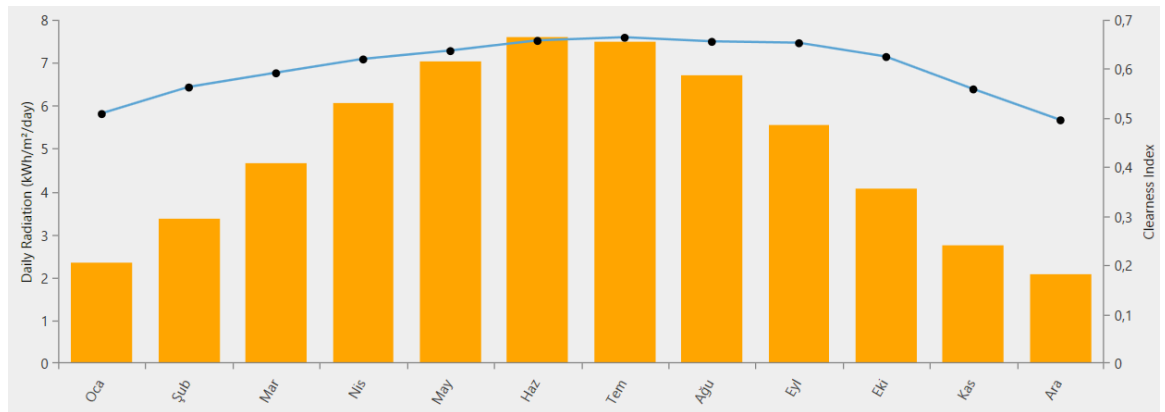
Ortalama günlük radyasyon değeri 2.07 ve 7.60 (kWh/m²-gün) arasında değişmektedir. Yıllık ortalama radyasyon değeri ise 4.98 (kWh/m²-gün) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Aylık netlik indeksi ve günlük radyasyon ortalaması değerleri

Aylar	Netlik İndeksi	Günlük Radyasyon (kWh/m ² -gün)
Ocak	0,508	2,337
Şubat	0,562	3,355
Mart	0,591	4,659
Nisan	0,619	6,051
Mayıs	0,636	7,039
Haziran	0,657	7,606
Temmuz	0,663	7,494
Ağustos	0,655	6,698
Eylül	0,652	5,551
Ekim	0,624	4,072
Kasım	0,558	2,734
Aralık	0,495	2,071

Çizelge 4.8'den bir yıldaki netlik indeksinin ortalamasını bulmak mümkün olmaktadır. Aylık netlik indeks değerlerinin toplamı bulunup 12 ay olan ay sayısına bölündüğünde netlik indeksinin ortalama değeri 0.601 olarak hesaplanmaktadır.

Şekil 4.18.'de ise sol eksen tarafındaki her ay için (kWh/m² /gün) cinsinden ortalama güneş ışınlamı ve sağ eksen tarafında yıllık ortalama netlik indeksi gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Aylık ortalama güneş ışınlamı verisi ve yıllık ortalama açıklık indeksi, kWh/m²-gün

Çizelge 4.9., bir yıl boyunca her ay için günlük direk normal radyasyonun ortalamasını göstermektedir. Ortalama günlük direk normal radyasyon değeri 2.22 ve 6.43 (kWh/m²/gün) arasında değişmektedir

Çizelge 4.9. Günlük direk normal radyasyon ortalaması değerleri

Aylar	Günlük Radyasyon, kWh/ m ² -gün
Ocak	2,414
Şubat	3,229
Mart	4,015
Nisan	4,904
Mayıs	5,739
Haziran	6,439
Temmuz	6,412
Ağustos	5,881
Eylül	5,306
Ekim	4,29
Kasım	3,267
Aralık	2,239

Çizelge 4.9. da görüldüğü üzere günlük ortalama direk normal radyasyon değeri 4.51 kWh/ m²-gün olarak belirlenmiştir.

4.3.3.2 Rüzgâr hız verisi

Homer’de rüzgâr enerjisi kaynağı için saatlik olarak veri girilebildiği gibi aylık ortalama rüzgâr değerleri de işlenebilmektedir. HOMER girilen ortalama aylık rüzgâr hızı ve ölçüm yüksekliği bilgileri ile istatistiksel karakteristiği sentezlemekte ve saatlik veri oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Konya ilinin bir yıllık saatlik rüzgâr hızı ölçümleri TMY veri setinden alınarak yazılıma girilmiştir.

4.3.3.3 Sıcaklık verisi

Homer dış ortam sıcaklığını, fotovoltaik hücrenin sıcaklığını hesaplarken kullanır. Çünkü fotovoltaik hücre tarafından üretilen güç üzerinde, sıcaklığın etkisi vardır. Sıcaklığın, fotovoltaik hücre üzerindeki bu etkisi, fotovoltaik hücreler modellenirken, sıcaklık güç katsayısı belirlenerek göz önüne alınmıştır. Burada ortam sıcaklık değerlerini HOMER’a aktarmanın iki yolu vardır. Bunlarda biri aylık ortalama değerler girilmesi

şeklinde, diğeri ise incelenen bölgenin saatlik sıcaklık verilerinin programa aktarılması şeklindedir. Bu çalışmada, TMY veri setinden elde edilen saatlik veri yazılıma girilmiştir.

4.3.3.4 Biyokütle verisi

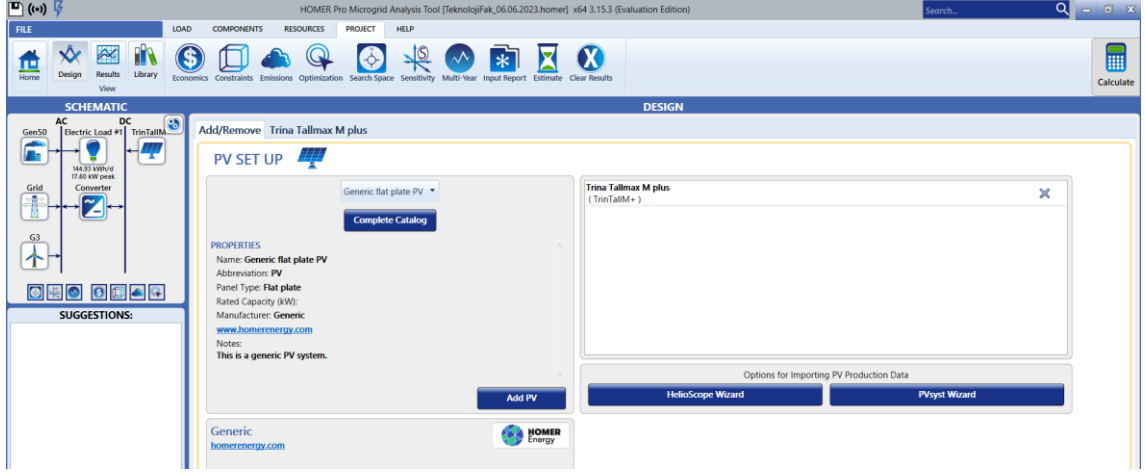
Konya’da yapılan bir çalışmada Konya İli toplanabilir bitkisel artık ve hayvansal atıklardan elde edilebilecek metan potansiyeli 210.708.863 m³-CH₄/yıl olarak bulunmuştur. Toplam metanın %48’i hayvan dışkılarından, %48’i sebze ve meyvelerin hasat artıklarından, %3’ü sebze ve meyvelerin hasat artıklarından, %1’i meyve veren ağaçların budama artıklarından, %0,07’si örtü altı bitkisel üretim hasat artıklarından kaynaklanmaktadır. Bu miktarda metan potansiyeli göz önüne alındığında Konya ilinde elde edilen atıklardan kurulabilecek biyo yakıtla çalışan bir elektrik santralinden yılda enerji, 1.622 milyon kWh (6.020 TJ) elektrik elde edilebileceği bulunmuştur (Tunçez & Soylu, 2022). Bu sebeple Konya ilinin biyokütle potansiyeli üniversitenin ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilecek miktardadır. Bu sebeple senaryolarda üniversitenin enerji ihtiyacını karşılayan biyokütle oranı istenilen düzeyde seçilebilmiştir. Günlük ortalama biyokütle miktarı 0.01 ton olarak alınmıştır. Homer bu verileri aylık olarak girilmesine olanak sağlamasının yanı sıra saatlik veriler halinde de programa yükleyebilme seçeneği sunmaktadır.

4.3.4 Yenilenebilir enerji sistemlerinin eklenmesi

Bu bölümde HOMER programında kullandığımız yenilenebilir enerji sistemlerinden olan fotovoltaik panel, rüzgâr türbini ve biyokütlenin eklenmesinden ve HOMER’in bu bileşenleri hesaplarken kullandığı formüllerden bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak inverter ve şebeke bağlantısının eklenmesi de bu bölümde işlenmiştir.

4.3.4.1 Fotovoltaik sistem

HOMER kendi cihaz kataloğunda hazır olarak birçok PV panel çeşidi bulundurmaktadır. Şekil 4.19.’da HOMER’de PV panel seçiminin gerçekleştiği ana sayfa görülmektedir. Birden fazla PV panel seçimi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.19. HOMER’de PV ana sayfası

“Complete Catalog (Tüm Katalog)” sekmesi HOMER de bulunan tüm PV çeşitlerinin özellikleriyle birlikte görülmesine olanak sağlamaktadır.

PV paneller tarafından üretilen DC elektrik, bir invertör vasıtasıyla AC elektriğe dönüştürülür ve AC baraya aktarılır. PV kurulumu için seçilen alan (Şekil 4.2.), binaların ve ağaçların gölgelemesinden etkilenmeyecektir. Ancak Konya’da yağış ve ormanlar olmadığı için hava tozluudur. Bu nedenle, bu çalışmada tozdan kaynaklanabilecek değer kaybı faktörünün %88 olduğu varsayılmıştır. PV dizileri tarafından üretilen güç miktarı ((Shirzadi et al., 2020) , (Santiago, Trillo-Montero, Moreno-Garcia, Pallarés-López, & Luna-Rodríguez, 2018)) (1),

$$P_{PV}(t) = S_{PV} \times f_{PV} \times \left(\frac{\bar{G}_t(t)}{\bar{G}_{STC}} \right) \times [[1 + \alpha_P \times (T_c(t) - T_{STC})]] \quad (1)$$

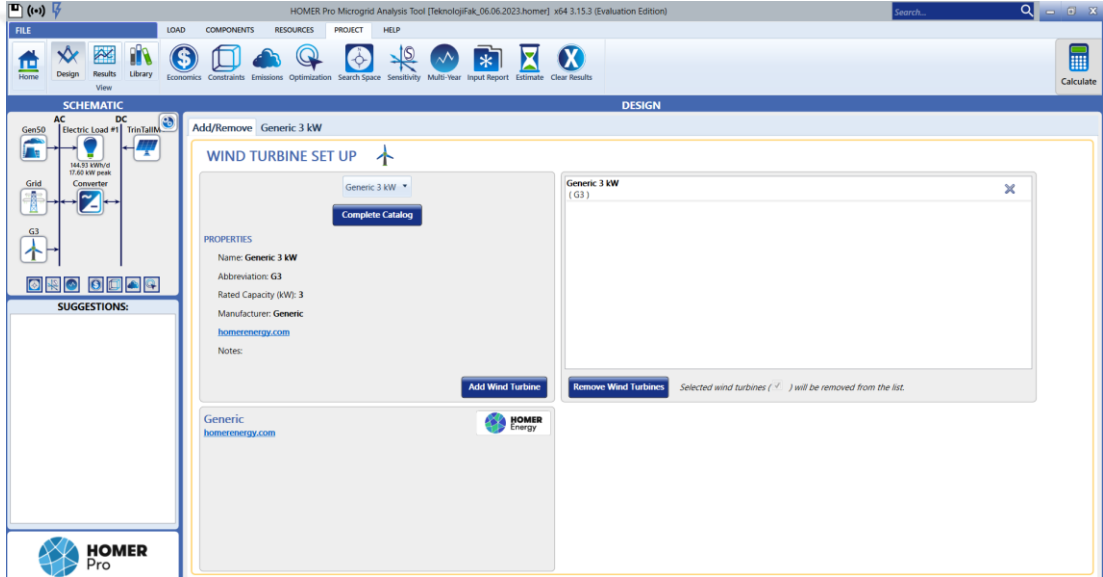
Bu denklemde S_{PV} (kW), standart test koşulları altında güç çıkışı olan PV dizisinin boyutudur (anma kapasitesi), f_{PV} (%) PV azaltma faktörüdür, $\bar{G}_t(t)$ (kW/m²), t anında PV dizisine gelen güneş radyasyonudur, $\bar{G}_{STC}$ standart test koşullarında (1000 kW/m²) gelen radyasyon, α_P (% / °C) sıcaklık katsayısıdır. $T_c(t)$ (°C), t zamanındaki PV hücre sıcaklığıdır ve şu şekilde hesaplanır: (HomerEnergy, 2023) (2),

$$T_c(t) = T_o + \frac{T_{NOCT}-20}{80} \times \bar{G}_t(t) \quad (2)$$

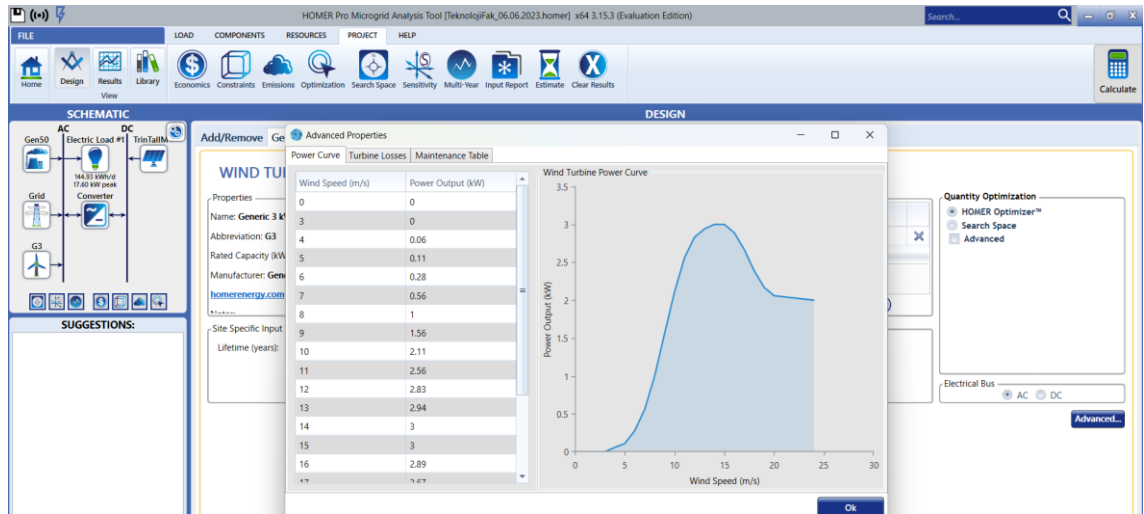
Bu denklemde T_o , dış hava sıcaklığıdır ve T_{NOCT} , PV modülünün nominal çalışma hücre sıcaklığıdır (N_{OCT}).

4.3.4.2 Rüzgâr Türbini

HOMER kendi cihaz kataloğunda hazır olarak birçok rüzgâr türbini çeşidi bulundurmaktadır. Şekil 4.20. ve 4.21.'de rüzgâr türbini eklenmesi hakkında görseller bulunmaktadır. Şekil 4.20 'de HOMER'de bulunan rüzgâr türbini seçiminin yapıldığı ana sayfa görülmekte ve “Complete Catalog (Tüm Katalog)” sekmesi HOMER de bulunan tüm rüzgar türbini çeşitlerinin özellikleriyle birlikte görülmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.20. HOMER Rüzgâr türbini ana sayfası



Şekil 4.21. HOMER rüzgâr türbini güç karakteristiği

Şekil 4.21. seçilen rüzgâr türbininin güç karakteristiği hakkında bilgi vermektedir.

HOMER, RT'nin güç çıkışını saatlik olarak hesaplar. İlk olarak HOMER, RT'nin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını hesaplar. Bu çalışmada seçilen RT'nin göbek yüksekliği 10 metreye kurulabilir. Bu nedenle göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı, hava durumu verilerindeki hız ile aynıdır. Ardından HOMER, hesaplanan hava yoğunluğunda RT tarafından üretilen gücü hesaplar (HomerEnergy, 2023).

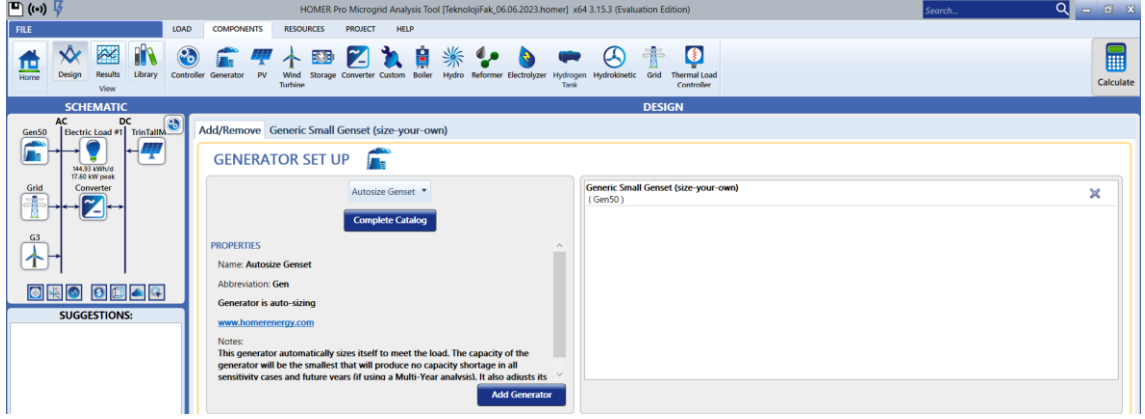
HOMER, RT'nin güç çıkışını hesaplamak için önce RT'nin güç eğrisini değerlendirir. RT'nin gerçek güç çıkışını elde etmek için HOMER, güç eğrisinden elde edilen güç değerini hava yoğunluğu oranıyla çarpar. Son olarak HOMER, gerçek güç çıkışını şu şekilde hesaplar: (HomerEnergy, 2023) (3),

$$P_{RT}(t) = \left(\frac{\rho(t)}{\rho_0} \right) \cdot P_{RTG,STG} \quad (3)$$

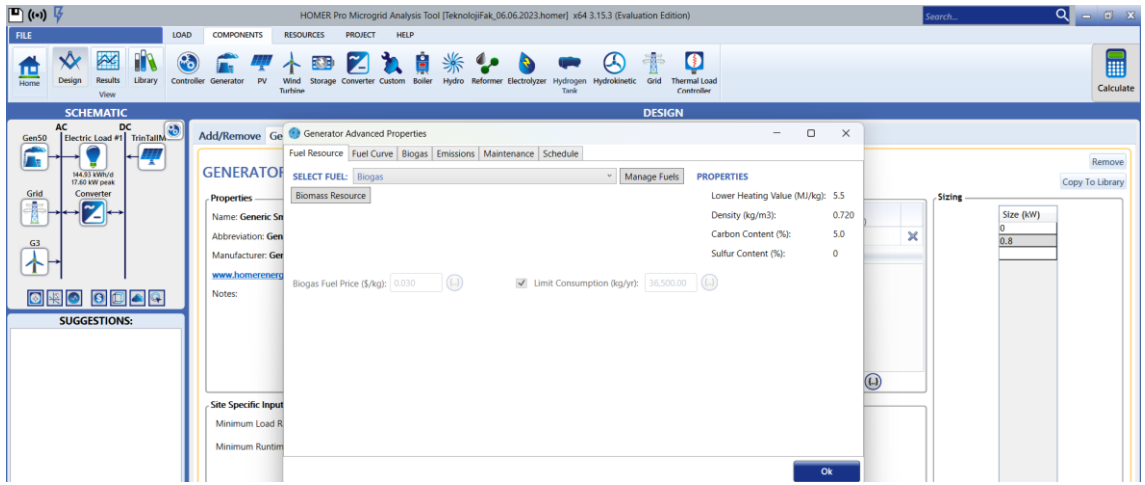
P_{RTG} rüzgar türbini güç çıkışı (kW), $P_{RTG,STG}$ t zamanında standart sıcaklık ve basınçta rüzgar türbini güç çıkışı (kW), $\rho(t)$ t zamanında gerçek hava yoğunluğu (kg/m^3), ρ_0 standart sıcaklık ve basınçta hava yoğunluğu ($1,225 \text{ kg/m}^3$).

4.3.4.3 Biyokütle enerji santrali

HOMER kendi cihaz kataloğunda hazır olarak birçok rüzgâr biyokütle çeşidi bulundurmaktadır. Şekil 4.22-4.24'te biyokütle eklenmesi hakkında görseller bulunmaktadır. Sırasıyla görsellerde HOMER'de bulunan biyokütle seçiminin yapıldığı ana sayfa görülmekte ve "Complete Catalog (Tüm Katalog)" sekmesi HOMER de bulunan tüm biyokütle çeşitlerinin özellikleriyle birlikte görülmesine olanak sağlamaktadır. Daha sonra "Advanced (Gelişmiş)" sekmesine gidildiğinde biyokütle için kullanılacak yakıt kaynağının özellikleri hakkında bilgi verip, kullanılmak istenen yakıt kaynağını seçme olanağını sağlamaktadır.

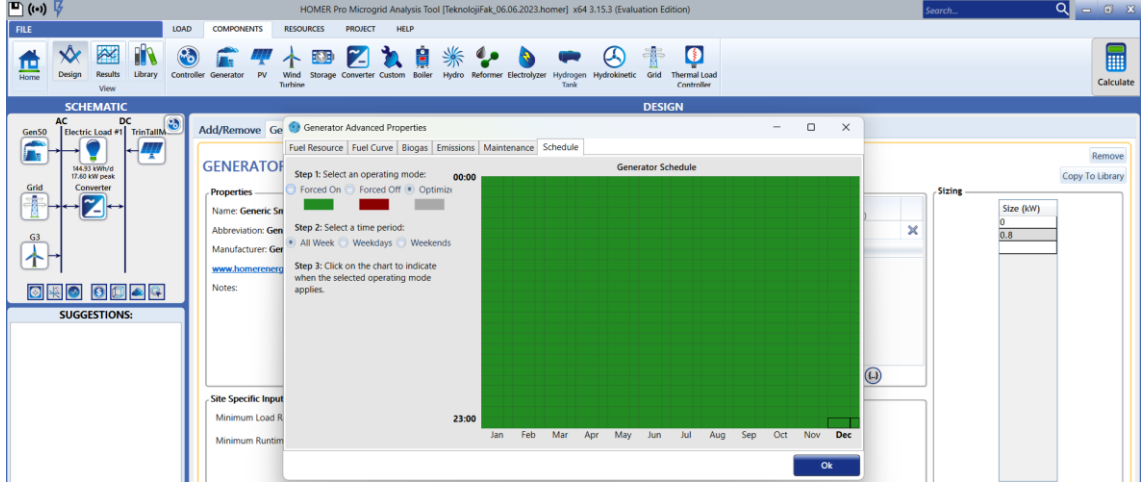


Şekil 4.22. Biyokütle ana sayfası



Şekil 4.23. Biyokütlenin gelişmiş özellikleri

Şekil 4.23'te seçilmiş olan biyokütle modeli için bir çalışma modu belirlenmiştir. Bunlar “Forced On (zorunlu), Forced Off (zorunlu değil), Optimize (en uygun)” şeklindedir. Daha sonra bir zaman aralığı seçilmiştir. Bu zaman aralığı “All Week (tüm hafta), Weekdays (hafta içleri), Weekends (hafta sonları)” şeklindedir. Tüm bunlar belirlendikten sonra da seçilen çalışma şeklinin geçerli olduğunu zaman dilimini belirtmek için tabloya seçilerek, istenilen ay ve saat aralığı görülür.



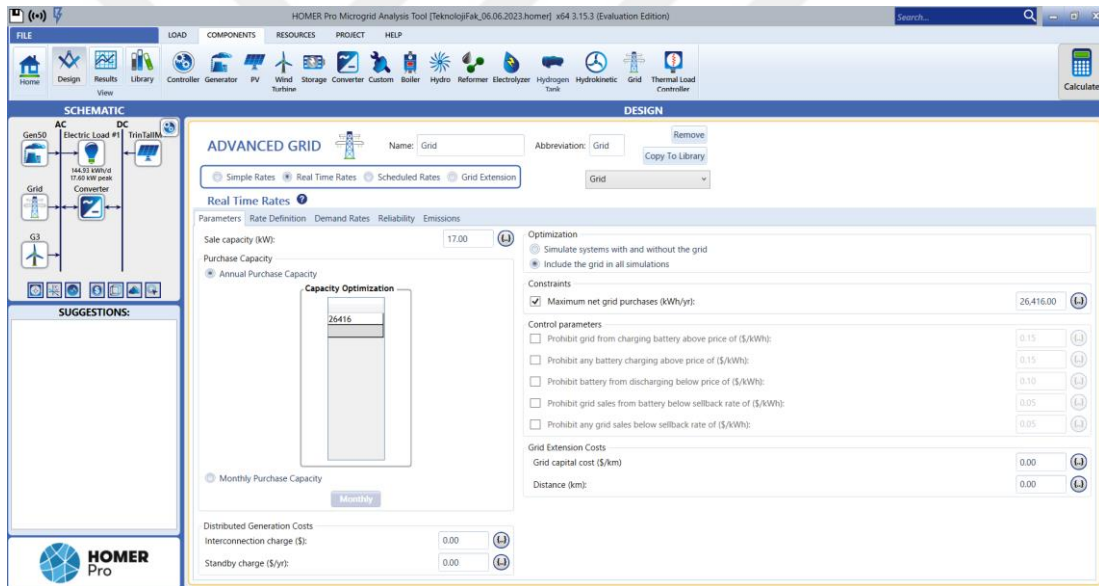
Şekil 4.24. Biyokütlenin gelişmiş özellikleri

En önemli biyokütle kaynakları odun, odun atıkları, tarım ürünleri, hayvan atıkları, gıda işleme atıkları, su bitkileri ve alglerdir (Demirbas, Balat, & Balat, 2009). Biyoenerji, genellikle daha uygun gaz, sıvı veya elektrik formlarında, verimli ve uygun maliyetli bir şekilde üretilir ve kullanılır (Larson & Kartha, 2000). Türkiye İstatistik Kurumu'na göre Haziran 2022 itibarıyla Türkiye'de büyükbaş hayvan sayısı 17 milyon, küçükbaş hayvan sayısı ise 58 milyon oldu (TÜİK, 2022c). Türkiye'nin yüzölçümü en geniş ili olan Konya'nın toplam yüzölçümü 40.838 km²'dir. 18.710 km² alanda tarım yapılmaktadır (TÜİK, 2022a). Konya, 1 milyon büyükbaş, 2,8 milyon küçükbaş ve keçi sayısı ile Türkiye'nin en büyük hayvansal ve tarımsal üretim merkezidir (TÜİK, 2022b) bu da Konya'yı elektrik üretimi için biyokütle merkezi yapıyor. Konya'da yapılan bir çalışmada, Konya'da elde edilen atıklardan kurulacak biyoyakıtlı çalışan bir elektrik santralinden yılda 1.622 milyon kWh (6.020 TJ) elektrik elde edilebilmektedir (Tunçez & Soylu, 2022). Bu nedenle Konya, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı potansiyeli kadar biyokütle potansiyeli de boldur. Bu çalışmada sığır gübresi, ısıtma değeri 3900 kcal/kg = 4.524 kWh/kg olan biyokütle olarak ele alınmıştır (Sahu, Chakradhari, Dewangan, & Patel, 2016). Bu çalışmada, bir yıllık minimum elektrik yükü (EL_{min}) olan baz yük olarak biyokütle boyutu seçilmiştir. Biyokütle sistemi, EL_{min} olan maksimum kapasitede 8760 saat çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, biyokütle sistemi ($P_{BIO}(t)$) tarafından üretilen elektrik sabittir ve temel yüke eşittir.

4.3.5 Şebeke bağlantısının gerçekleştirilmesi

HOMER’de şebeke bağlantısı herhangi bir bileşen gibi eklenebilmektedir. Hibrit sisteminin başka bir parçası olarak kabul edilir.

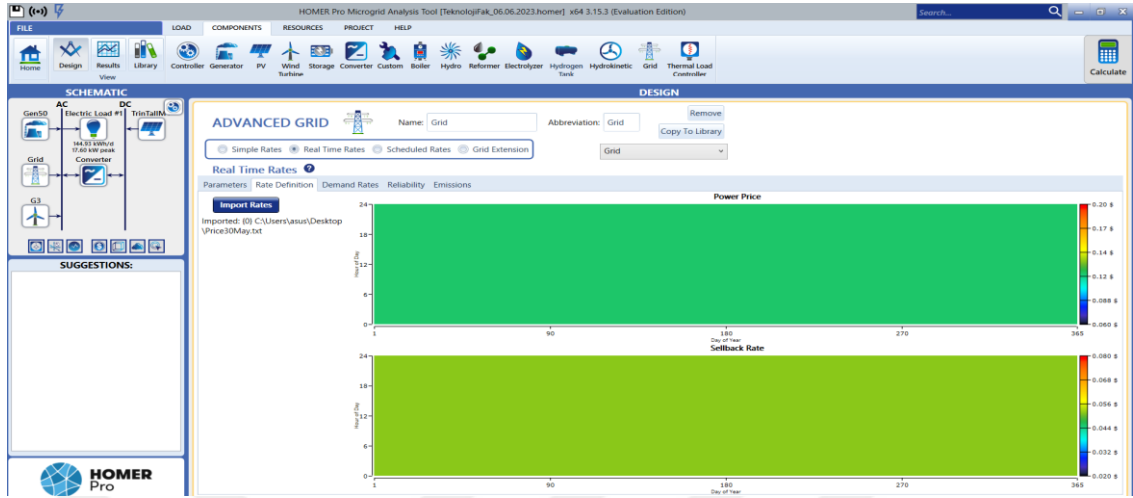
Şekil 4.25’te görülen şebeke bağlantı sayfası, şebekeyi birkaç farklı şekilde belirtmenize olanak tanır. “Simple rates (Basit oranlar)” modu sabit bir güç fiyatı, geri satış fiyatı ve satış kapasitesi belirlenmesini sağlar. “Real time rates (Gerçek zamanlı oranlar)”, zaman serisi verilerini içeren uygun biçimde biçimlendirilmiş bir metin dosyasını içe aktararak fiyatları saatlik olarak tanımlar. “Scheduled rates (Tarifeli oranlar)”, günün her saatinde ve yılın her ayında farklı fiyatlara izin verir. “Grid extension (Şebeke genişletme)” modu, şebeke genişletmenin maliyetini modeldeki her bir bağımsız sistem yapılandırmasının maliyetiyle karşılaştırır.



Şekil 4.25. HOMER şebeke ana sayfası

Şekil 4.26. de ilgili sekmeye tıklayarak oranlara ek olarak diğer ızgara özelliklerine erişilmektedir. “Parameters (Parametreler)”, seçilen oran türüne bağlı olarak maliyet ve kapasite seçeneklerini içermektedir. “Rate Definition (Oran Tanımı)” sekmesi, şebeke için bir oran yapısı belirtilmesine olanak tanır. “Demand Rates (Talep oranları)”, talep ücretlerini modellemek için seçenekler içerir. Bu sekme yalnızca Gerçek zamanlı ücretler ve Planlanan ücretler modlarında kullanılabilir. İçeriği, bu oran modlarının her biri için farklıdır. “Reliability (Güvenilirlik)”, rastgele kesintilerle güvenilir bir

şebekeyi modellemek için seçenekler sunar. “Emissions (Emisyonlar)”, çeşitli kirleticiler için emisyon faktörlerini g/kWh cinsinden belirtmenize olanak tanır.



Şekil 4.26. HOMER şebekeden elektrik aşın/satış maliyeti sekmesi

HYES (P_{HYES}) tarafından üretilen toplam elektrik şu şekilde elde edilir: (5),

$$P_{HYES}(t) = P_{PV}(t) + P_{RT}(t) + P_{BIO}(t) \quad (5)$$

Binanın elektrik yükü ($P_L(t)$) ile şebeke arasındaki etkileşim (6) ile elde edilir,

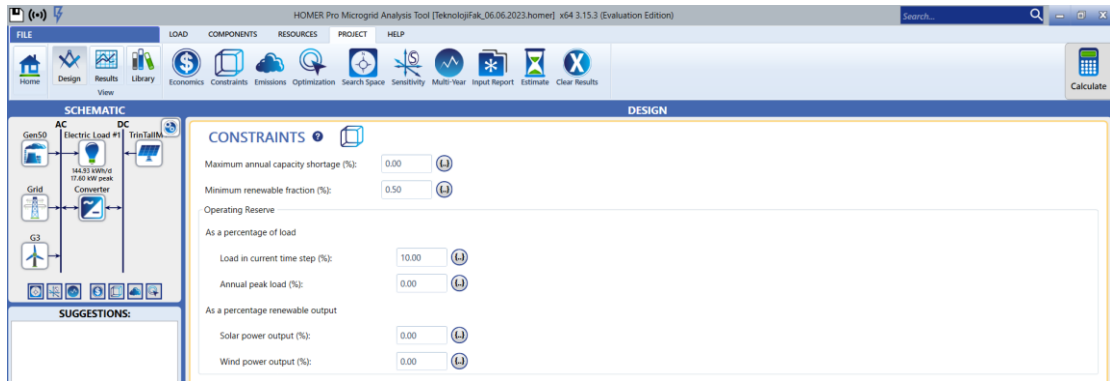
$$\left\{ \begin{array}{l} P_{HYES}(t) > P_L(t) \\ P_{HYES}(t) \leq P_L(t) \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} ES_{Grid}(t) = P_{HYES}(t) - P_L(t) \\ EP_{Grid}(t) = P_L(t) - P_{HYES}(t) \end{array} \right\} \quad (6)$$

Bu denklemde ES_{Grid} şebekeye satılan elektrik, EP_{Grid} ise şebekeden satın alınan elektriktir. Bu değerler ekonomik analizlerde kullanılmak üzere saatlik olarak hesaplanmaktadır.

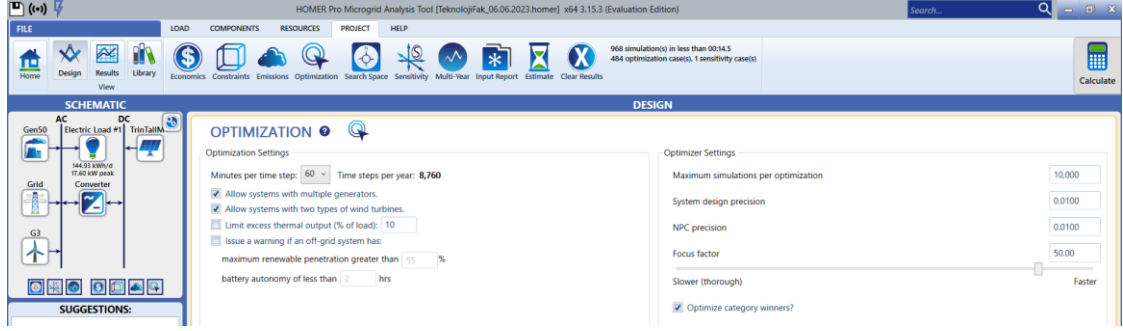
4.3.6 Optimizasyon sınırlandırmalarının belirlenmesi

HOMER, araç çubuğunda bulunan “Project (Proje)” sekmesiyle tasarlanacak modelin tamamı için geçerli olan değerlerin ayarlanmasına olanak tanımaktadır. “Economics (Ekonomi)”, iskonto oranı ve enflasyon, proje ömrü, sistem maliyetleri ve para birimleri gibi bilgilerin girildiği bölümdür. Şekil 4.27’de görüldüğü üzere

“Constraints (Sınırlamalar)” sekmesi, hangi sistem yapılandırmalarının uygulanabilir veya uygulanamaz olduğunu ve sonuçlara dâhil edildiğini veya edilmediğini belirleyen kriterleri belirlendiği sekmedir. “Emissions (Emisyonlar)”, CO₂, CO, UHC, PM, SO₂ ve NO_x emisyonları için sınırlar ve cezalar belirlenir. Şekil 4.28.’de “Optimization (Optimizasyon)” sekmesinde HOMER optimizasyon için simülasyon zaman adımını, bazı bileşenler için özel durumları ve parametreleri ayarlanmasına olanak sağlar. “Search Space (Arama Alanı)”, HOMER’ın optimal sistem yapılandırmasını bulmak için simüle ettiği sistem parametrelerini görüntülediği ve düzenlendiği bölümdür. “Sensitivity (Duyarlılık)”, modeldeki tüm hassasiyet değişkenlerini görüntülenip, değiştirilmektedir. “Multi-Year (Çok yıllık)”, bu mod açılarak bir projenin ömrü boyunca değişen değişkenleri belirtilmektedir. “Input Report (Girdi raporu)”, tüm model girişlerini özetleyen bir HTML raporu oluşturulup ve bunu bir tarayıcı aracılığıyla görüntülenebilmektedir. “Estimate (Tahmin etmek)”, bu sekmeye tıklandığında çalışan simülasyonların sayısını tahmin etmektedir. “Clear Results (Sonuçları temizle)”, bu sekmeyle kaydedilen tüm sonuçlar modelden kaldırılır. Sonuçları yeniden oluşturmak için tekrar hesaplanmalıdır. Sonuçları temizlemek kaydedilen dosya boyutunu azaltabilir. HOMER, mümkün olduğunda hesaplama süresini azaltmak için kaydedilen sonuçları yeniden kullandığından, ara sıra sonuçlarınız bozulabilir. Böyle bir durumda takas ve yeniden hesaplama yardımcı olabilmektedir.



Şekil 4.27. HOMER sınırlamalar sayfası



Şekil 4.28. HOMER optimizasyon sayfası

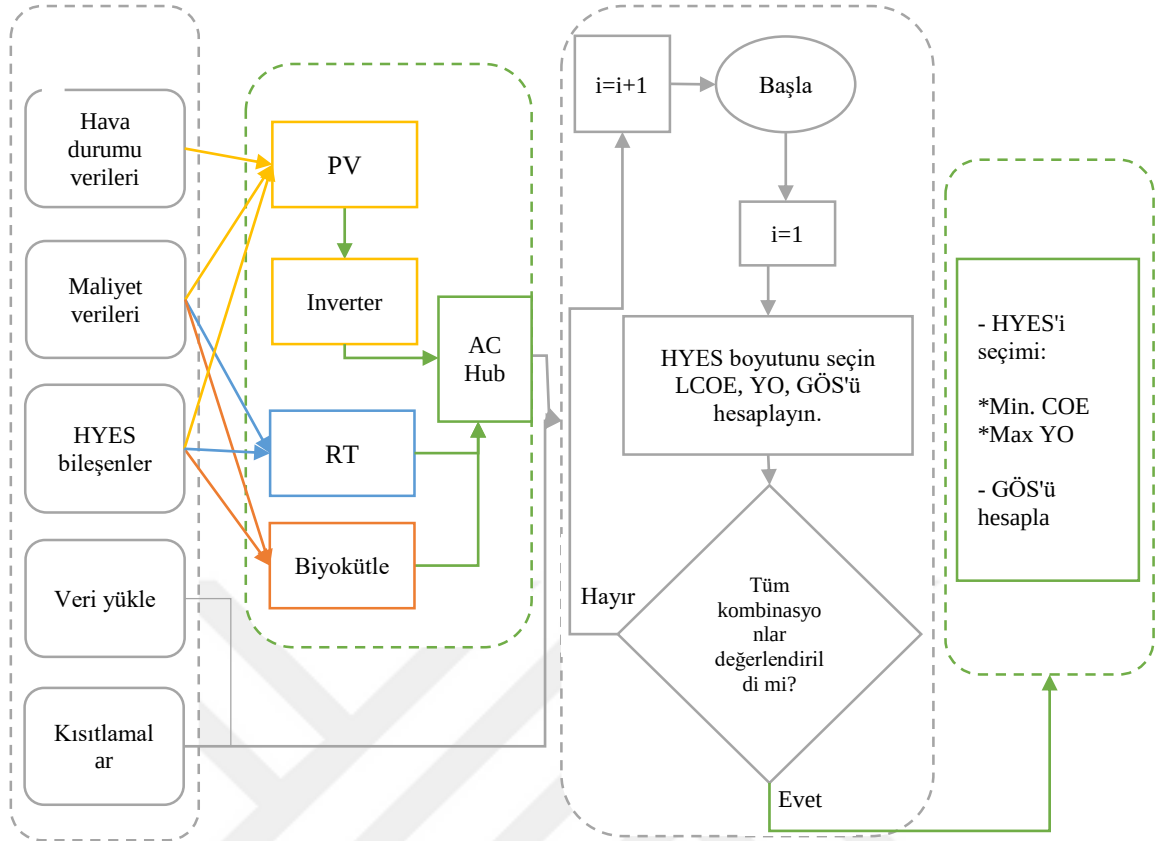
Şekil 4.29, değerlendirme süreci için elde edilen veriler, hava durumu verilerini, maliyet verilerini, HYES bileşenlerini, yük verilerini ve kısıtlamaları içeren bölüm 2.2'de verilmiştir. Daha sonra HYES bileşenleri bölüm 2.5'te açıklanmaktadır. Bu çalışmada HYES bileşenlerinin büyüklüğü karar değişkenleri olarak ele alınmıştır. Çalışmanın amaç fonksiyonu, sistem gereksinimlerini minimum LCOE ve maksimum yenilenebilir oran ile sağlamaktır. Çalışmanın karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve kısıtları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Karar değişkenleri, amaç fonksiyonları ve kısıtlamalar

Karar değişkenleri	Amaç Fonksiyonları	Kısıtlamalar
PV RT Biyokütle kapasitesi YO	Maksimum YO Minimum LCOE	$YET * 0,9 < \text{Yıllık Elektrik Üretimi} < YET * 1,1$ $YO \geq 0.5$

Çizelge 4.10.'da görüldüğü üzere SETB hedefine ulaşmak için binaya entegre HYES'in bir yılda üreteceği elektrik, tüketilen elektriğin % 90-110 arasında olması kısıtı eklenmiştir. Böylece tüketilen enerji ile üretilen enerji arasındaki fark % 10'u geçmeyecektir. Aynı zamanda binanın ürettiği elektriğin en az % 50'sini kullanması kısıtı eklenerek şebekeden alınan elektriği azaltan tasarımlar hedeflenmiştir.

Optimum HYES'i değerlendirmek için önerilen çerçeve Şekil 4.29'da verilmiştir.

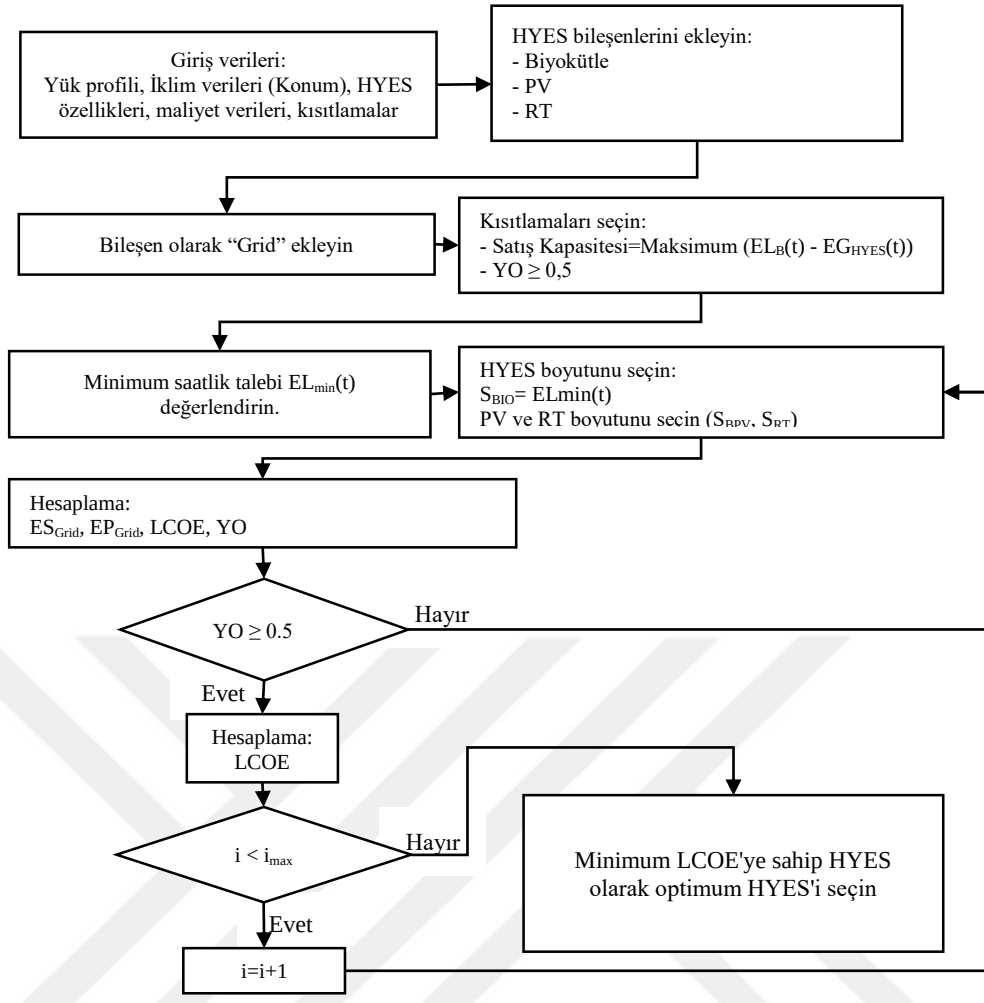


Şekil 4.29. Optimum HYES'i değerlendirmek için önerilen çerçeve

Şekil 4.29'da gösterildiği gibi, öncelikle veriler toplanmıştır ve optimizasyon çerçevesine tanıtılmıştır. Daha sonra HYES bileşenleri yapılandırılmıştır. Her bir HYES bileşeninin yapılandırılmasından sonra, binanın yıllık tükettiği kadar enerji üreten bir bina olarak tanımlanan SETB hedefine ulaşmak için kısıtlar atanmıştır.

4.3.7 Enerji yönetimi stratejisi

Mikro şebeke sisteminin enerji yönetimi stratejisi Şekil 4.30'da verilmektedir.



Şekil 4.30. Mikro şebekenin enerji yönetimi

Şekil 4.30.'da ilk olarak verilerin girildiği görülmektedir. Daha sonra HYES bileşenleri yapılandırılmıştır. Şebeke de bir bileşen olarak eklenir. Daha sonra kısıtlamalar tanımlanmış ve biyokütlenin boyutu en düşük saatlik yük olarak seçilmiştir. En düşük YO %50 olarak seçilmiştir. Daha sonra en düşük LCOE'ye sahip HYES, optimum tasarım olarak seçilmiştir.

4.4 Yenilenebilir Enerji Sistemi Senaryolarının Uygulanması

Bu çalışmada Çizelge 4.2’de verilen yedi senaryo (S.1-S.7) her bina için ayrı ayrı ve kampüste ölçülen tüm binaların elektrik tüketimlerinin toplamı için uygulanmıştır. Böylece, farklı kategori ve kapasitelerdeki binalar için senaryo, elektrik maliyeti, yenilenebilir faktör ve sistem kapasiteleri açısından karşılaştırılacaktır. Senaryoların amacı, binayı şebekeye bağlı SEB'e yükseltmek için binada tüketilen yıllık elektrik kadar

yıllık elektrik üreten sistem kapasitesini hesaplamaktır. Senaryoların listesi Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Her binaya ait senaryo sonuçlarında elektrik maliyeti en düşük olan senaryolarda yer alan yenilenebilir enerji sistemlerinin kapasiteleri için Çizelge 4.11 oluşturulacaktır.

Çizelge 4.11. Senaryo listesi

Senaryo No	S.1	S.2	S.3	S.4		S.5		S.6		S.7		
HYES elemanları	PV	RT	BIYOKUTLE	PV	RT	PV	BİYO	RT	BİYO	PV	RT	BİYO
ID 1												
ID 2												
...												
ID 34												
Tüm kampüs												

4.5 Ekonomik Analiz

Bu çalışmanın temel amacı, maksimum yenilenebilir oranla (YO) minimum seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) için tasarlanmış HYES'i elde etmektir.

LCOE, sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin ortalama maliyetidir (\$/kWh). LCOE HOMER tarafından (7) kullanılarak hesaplanır,

$$LCOE = \frac{C_{HYES} + \sum_{t=1}^{25} \frac{C_m}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{EL_{YES}}{(1+r)^t}} \quad (7)$$

Bu denklemde r , enflasyon oranıdır. C_{HYES} , sistem maliyetidir. C_m , HYES'in bakım maliyetidir (\$/yıl). Sistemin ömrü 25 yıldır. EL_{YES} , yenilenebilir sistem tarafından karşılanan toplam yüküdür. COE, HYES'in toplam maliyetidir (Kaabeche & Ibtouen, 2014). COE (8) tarafından değerlendirilir (Al-Ghussain, Taylan, & Baker, 2018),

$$COE = \frac{EL_{YES} \times LCOE + ES_{grid} \times T_{grid}}{EL_B} \quad (8)$$

Bu denklemde ES_{Grid} ve T_{Grid} , şebekeye satılan elektrik (kWh) ve şebeke tarifesidir (\$/kWh).

Yenilenebilir oran, yenilenebilir enerji kaynaklarından binaya iletilen enerjinin şebekeye oranıdır. HOMER, yenilenebilir oran (9) ile hesaplar.

$$YO = 1 - \frac{E_{non-ren} + H_{non-ren}}{E_{served} + H_{served}} \quad (9)$$

Bu denklemde $E_{non-ren}$ ve $H_{non-ren}$, binada tüketilen ve yenilenemeyen sistemler tarafından üretilen elektrik ve ısı enerjisi (kWh/yıl), E_{served} ve H_{served} ise binanın elektrik ve ısı enerjisi yüklerini (kWh/yıl) göstermektedir. Bu çalışmada sadece elektrik yükü hesaplanarak ısı enerjisi sıfır olarak alınmıştır.

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Binaların tek tek SEB'e yükseltilmesi veya toplulukların tamamen yükseltilmesi arasındaki farkı gözlemlemek için 34 binanın elektrik tüketim verileri ve ölçülen tüm binaların toplamı ile Çizelge 4.2 tamamlanmıştır. Bu bölümde 7 senaryo için sonuçların karşılaştırması verilmektedir. İlk sonuçlar HYES boyutuna, ardından LCOE ve YO'ya göre karşılaştırılmıştır. Son olarak, HYES tasarımının bina düzeyinde ve topluluk düzeyinde karşılaştırılması verilmiştir.

5.1 HOMER İle Kampüsün Modellenmesi

Şekil 5.1.'de görülen optimizasyon sonuç tablosu, seçilen hassasiyet durumu için tüm uygun simülasyonları listelemektedir. Bu tabloda ilk görülen, sonuçlar sistem tipine göre kategorize edilip ve filtrelenmektedir. Genel sistem sıralamaları görüntüleme seçildiği durumda, HOMER net mevcut maliyete göre en üst sıradaki sistem yapılandırmalarını göstermektedir.

Home

Design

ResultsView

Library

Electric #1

Electric #2

Deferrable

Thermal #1

Thermal #2

Hydrogen

Calculate

RESULTS

Calculation Report

Compare Economics

Column Choices...

Export...

Export Details...

Optimization Results

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Categorized

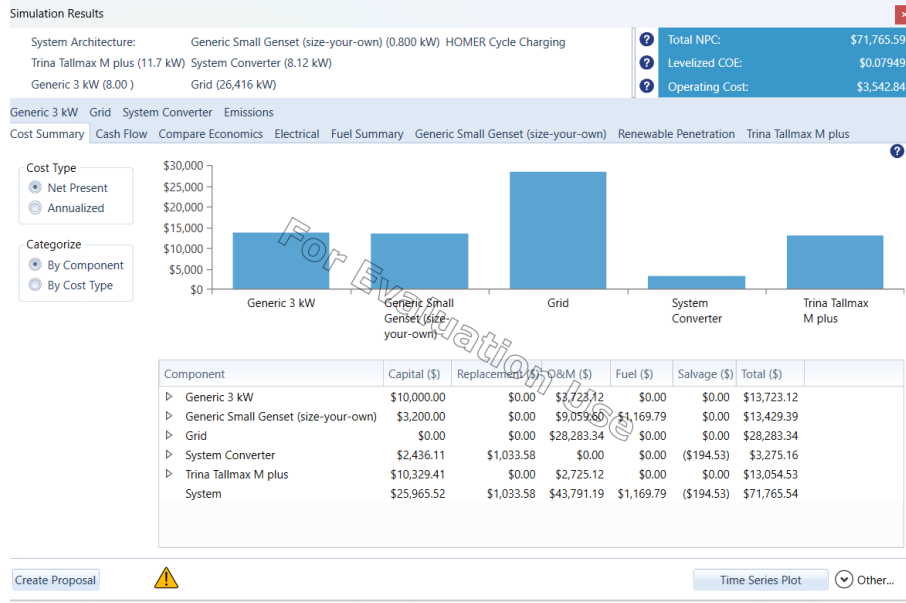
Overall

Architecture						Cost			System			Gen50						Trin	
	TrinTailM+ (kW)	G3	Gen50 (kW)	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (tons/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (tons)	OBM Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	CAPEX (\$/yr)	Trin Enr
	13.7	8		26,416	9.41	CC	\$67,260	\$0.0745	\$3,278	\$24,888	58.8	0						12,064	23.3
	11.7	8	0.800	26,416	8.12	CC	\$71,766	\$0.0795	\$3,543	\$25,966	64.4	3.02	8,760	6,887	3.02	701	90.5	10,329	20.0
	17.8			26,416	12.2	CC	\$73,964	\$0.0900	\$4,199	\$19,326	44.8	0						15,659	30.3
		12		26,416		CC	\$74,452	\$0.0865	\$4,599	\$15,000	40.7	0							
		9	0.800	26,416		CC	\$77,422	\$0.0941	\$4,871	\$14,450	45.2	3.02	8,760	6,891	3.02	701	90.5		
	17.8		0.800	26,416	12.2	CC	\$77,618	\$0.0920	\$4,863	\$22,526	54.2	3.06	8,760	7,008	3.06	701	91.9	15,659	30.3

Şekil 5.1. HOMER optimizasyon sonuç tablosu

Şekil 5.1.'de görüldüğü üzere yapılan modellemede, maliyet durumuna göre en uygun simülasyon PV / RT'nin birlikte kullanıldığı senaryo olduğu görülmektedir.

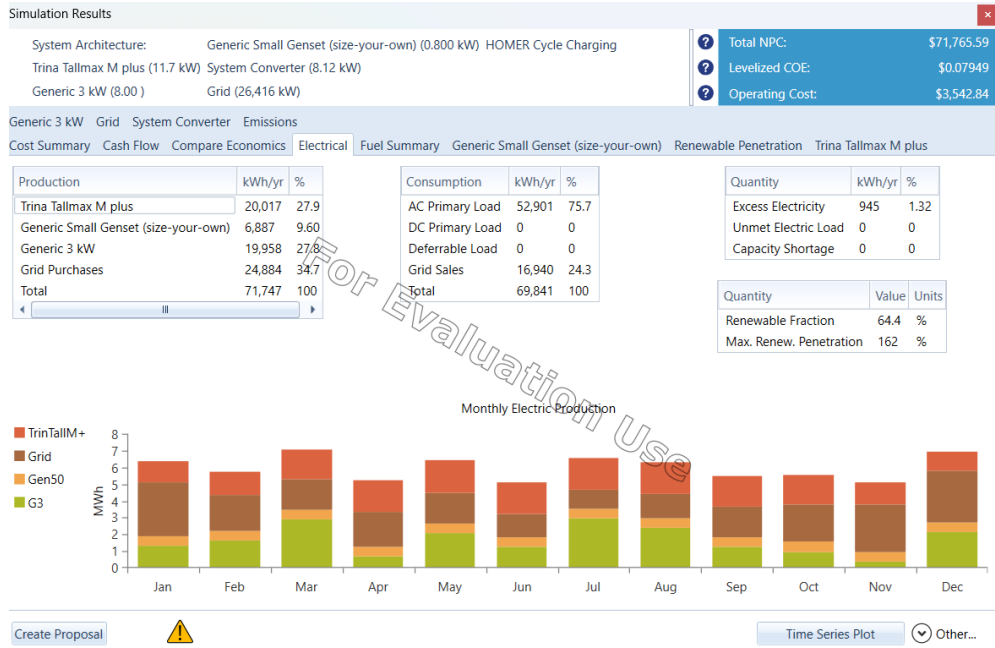
Simülasyon sonuçları penceresindeki maliyet özeti sekmesi, nakit akışlarını bileşen veya maliyet türüne göre kategorize edilmiş bir bugünkü değer veya yıllık maliyet olarak görüntülemektedir (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere grafiğin altındaki tablo, bileşen ve maliyet türüne göre ayrılmış nakit akışı özetini göstermektedir. Grafikte görüntülenen değerler tabloda vurgulanmış olarak görünür.

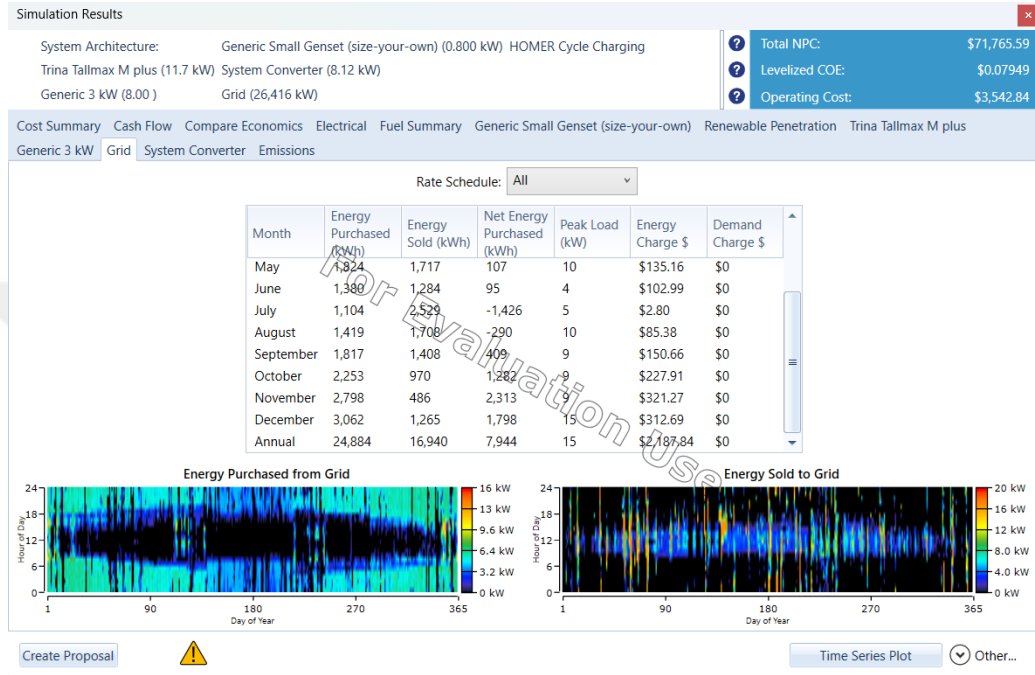
Şekil 5.3. de görülen simülasyon sonuçları penceresindeki elektrik sekmesi, sistemin yıllık elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi hakkında ayrıntıları gösterir. Üretim tablosu, seçilen sistemdeki bileşenlere bağlı olarak değişen bilgiler içerir.



Şekil 5.3. HOMER elektrik enerjisi üretimi

Güç sisteminin her bir elektrik enerjisi üreten bileşeninin yıllık toplam enerji çıkışını ve toplam elektrik üretimi Şekil 5.3'te listelemektedir.

Şekil 5.4'te simülasyon sonuçları penceresindeki şebeke sekmesi, şebekeden ve şebekeye elektrik alım satımı ve bunun sonucunda ortaya çıkan maliyetlerle ilgili ayrıntıları görüntülemektedir.



Şekil 5.4. Şebekeden aylık enerji alım-satım değerleri

Şekil 5.4.'te sol alt köşede bulunan grafikte şebekeden satın alınan toplam elektrik miktarı, sağ alt köşede bulunan grafikte ise şebekeye satılan toplam elektrik miktarı görülmektedir.

5.2 Senaryo Sonuçlarının Analizi

Bu bölümde senaryoların her binaya uygulanması sonucu elde edilen sistem kapasitesi, LCOE ve YO değerleri verilmiş ve kıyaslanmıştır.

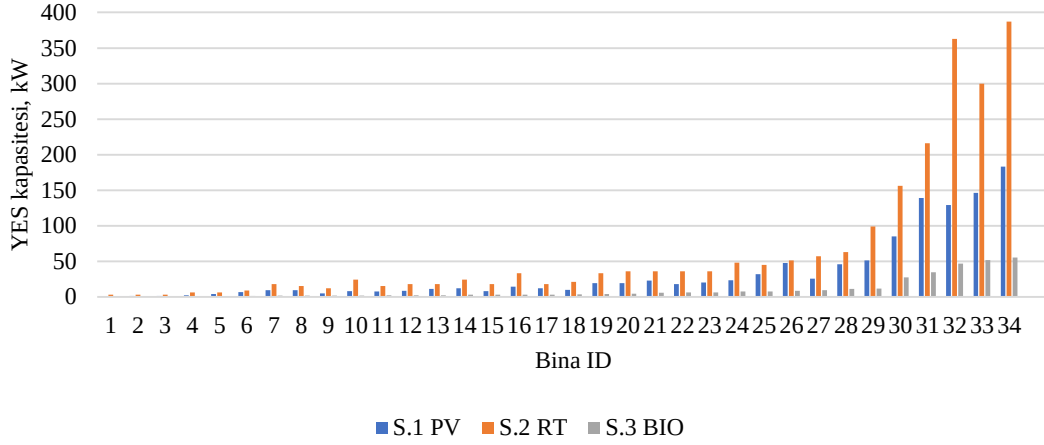
5.2.1 Sistem kapasitesi

Çizelge 5.1'de her senaryo ve her bina için yıllık tükettiği kadar enerji üretebilmesi için ihtiyaç duyulan optimum sistem kapasitesi kW cinsinden verilmiştir.

Çizelge 5.1. Her senaryo için ihtiyaç duyulan sistem kapasitesi

Senaryo No	S.1	S.2	S.3	S.4		S.5		S.6		S.7		
HYES elemanları	PV	RT	BIYO	PV	RT	PV	BIYO	RT	BIYO	PV	RT	BIYO
1	0,7	3	0,15	0,5	3	0,7	0,01	3	0,01	0,4	3	0,01
2	1	3	0,25	0,7	3	0,9	0,01	3	0,01	0,7	3	0,01
3	1,4	3	0,48	1	3	1,3	0,02	3	0,02	0,9	3	0,02
4	2,3	6	0,75	1,6	6	1,2	0,43	3	0,43	0,9	3	0,43
5	3,8	6	0,78	3	6	3,5	0,06	6	0,06	2,8	6	0,06
6	6,5	9	1	5,6	9	6,3	0,14	9	0,14	5,3	9	0,14
7	9,4	18	1,66	7,9	15	8,8	0,27	18	0,27	7,1	15	0,27
8	9,1	15	1,7	7,3	15	8,5	0,38	15	0,38	6,7	12	0,38
9	4,9	12	1,75	2,9	12	2,7	0,49	12	0,49	2,1	9	0,49
10	8	24	1,85	5,6	24	7,5	0,1	24	0,1	5,6	24	0,1
11	7,5	15	1,98	5,5	12	6,7	0,06	12	0,06	5,4	12	0,06
12	8,5	18	2	6,9	15	8,4	0,24	18	0,24	6,9	15	0,24
13	11,2	18	2,15	9,2	15	9,6	0,68	15	0,68	7,9	12	0,68
14	12	24	2,8	9,7	18	11,7	0,14	24	0,14	9,6	18	0,14
15	8	18	2,95	4,8	12	7	0,19	15	0,19	4,7	12	0,19
16	14,3	33	3	10,9	30	13,1	0,48	33	0,48	9,8	27	0,48
17	11,9	18	3,16	9,2	15	11,9	0,01	18	0,01	9,2	15	0,01
18	9,7	21	3,32	8,3	12	9,7	0,01	21	0,01	8,1	12	0,01
19	19	33	3,9	14,4	30	16,8	1,14	33	1,14	12,8	30	1,14
20	19,2	36	4,45	16,5	33	19,2	0,08	36	0,08	15,6	33	0,08
21	23	36	5,73	18,2	30	19,8	0,99	36	0,99	16	30	0,99
22	17,8	36	6,05	13,7	24	17,8	0,8	27	0,8	11,7	24	0,8
23	20,2	36	6,13	15,6	24	16,9	1,77	30	1,77	13,3	24	1,77
24	23,1	48	7,46	19,2	24	23,1	0,01	48	0,01	19,6	24	0,01
25	31,8	45	7,6	25,6	36	30,5	0,93	42	0,93	24,5	33	0,93
26	47,6	51	8,35	40,8	39	45,8	1,76	51	1,76	40	39	1,76
27	25,6	57	9,32	19,5	33	22,9	4,64	45	4,64	17,5	33	4,64
28	45,6	63	11,3	36,3	51	43,3	2,44	60	2,44	35,2	48	2,44
29	51,2	99	11,35	38,8	84	49,1	3,72	96	3,72	37,9	84	3,72
30	84,8	156	27,2	68,9	105	76,7	4,22	147	4,22	63,7	105	4,22
31	139	216	34,6	120	177	139	15,64	210	15,64	120	174	15,64
32	129	363	46,6	94,6	132	128	33,81	342	33,81	94,3	126	33,81
33	146	300	51,5	103	204	141	10,81	291	10,81	105	195	10,81
34	183	387	55,1	141	159	160	9,54	366	9,54	144	165	9,54

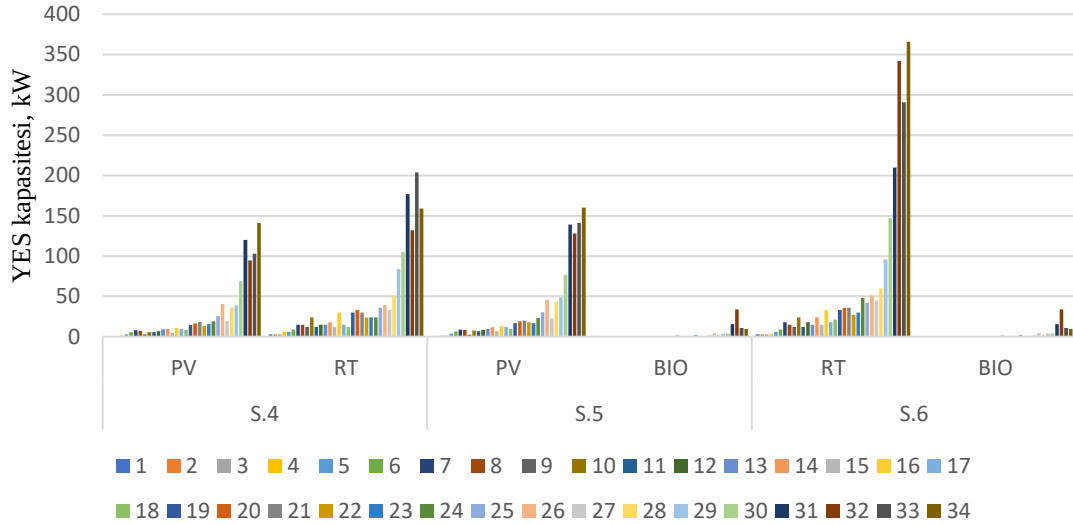
Çizelge 5.1’da S1-S2-S3 için yıllık tükettiği kadar enerji üretebilmesi için ihtiyaç duyulan optimum sistem kapasitesi kW cinsinden verilmiştir.



Şekil 5.5. S.1, S.2, ve S.3'ün sonuçları

Şekil 5.5'te görüldüğü üzere biyokütle sisteminin 24 saat kesintisiz elektrik üretebilmesi nedeniyle yalnızca biyokütle senaryosunda (S.3), PV ve RT (S.1, S.2) senaryolarına kıyasla çok daha küçük sistem kapasitesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Ayrıca S.3 tüm kategoriler için en düşük sistem kapasitesine sahiptir. Ayrıca, PV'nin kapasitesi (S.1), RT'ye (S.2) kıyasla daha düşüktür. Bunun sebebi de bölgenin güneş potansiyelinin rüzgâra kıyasla daha yüksek olmasıdır.

Şekil 5.6.'da ise S.4, S.5, ve S.6'ün sonuçları görülmektedir.

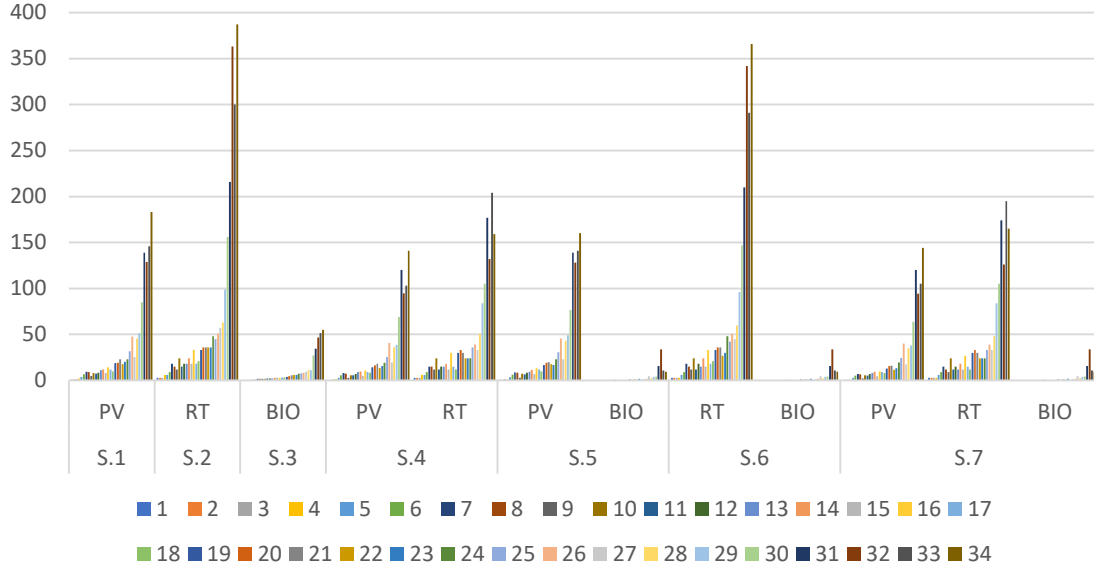


Şekil 5.6. S.4, S.5, ve S.6'ün sonuçları

Şekil 5.6.'de görüldüğü üzere S.4 ve S.5'te ihtiyaç duyulan PV kapasiteleri birbirine çok yakındır. Fakat S.4'te ihtiyaç duyulan RT kapasitesi S.5'de ihtiyaç duyulan BIO kapasitesine kıyasla çok yüksektir. Bu durum da biyokütle sisteminin sürekli elektrik

üretmesinden kaynaklanmaktadır. S.5 ile S.6 kıyaslandığında ise yine PV kapasitesi RT'ye kıyasla düşük çıkmıştır.

Şekil 5.7.'de bütün senaryolarda ihtiyaç duyulan sistem kapasiteleri görülmektedir.



Şekil 5.7. Bütün senaryolarda ihtiyaç duyulan sistem kapasiteleri

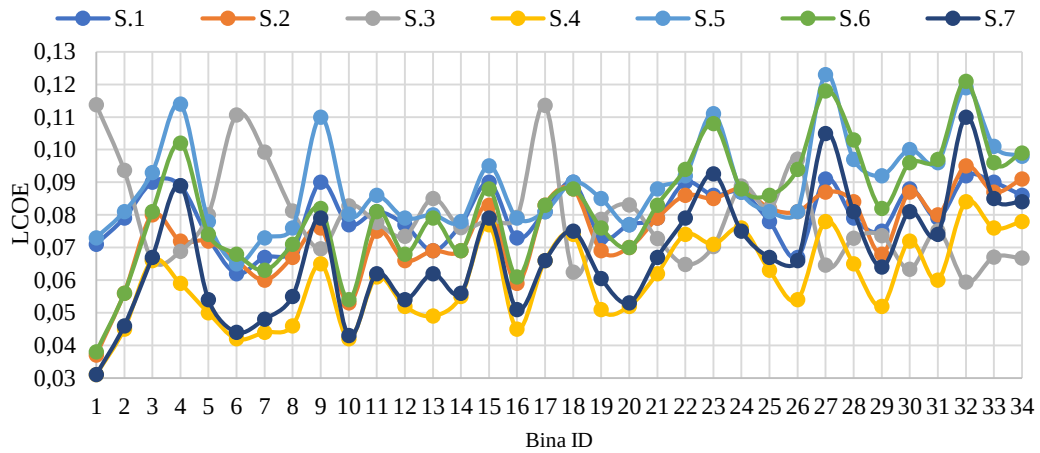
Şekil 5.7.'de görüldüğü üzere bütün YES kaynaklarının birlikte kullanılması durumunda (S.7) ihtiyaç duyulan PV kapasitesi ile PV ve BIO'nun birlikte kullanılmasındaki (S.5) PV kapasitesine çok yakındır. Bu durumda RT için harcanan maliyetin LCOE'yi yükselteceği düşünülmektedir. Şekil 5.7'te en düşük sistem kapasitesinin S.3'te olduğu görülmektedir.

5.2.2 LCOE

Bu bölümde LCOE değerleri verilmiş ve kıyaslanmıştır. Çizelge 5.2'de her senaryo ve her bina için yıllık tükettiği kadar enerji üretebilmesi için ihtiyaç duyulan optimum sistemin LCOE değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Her senaryo için LCOE değeri

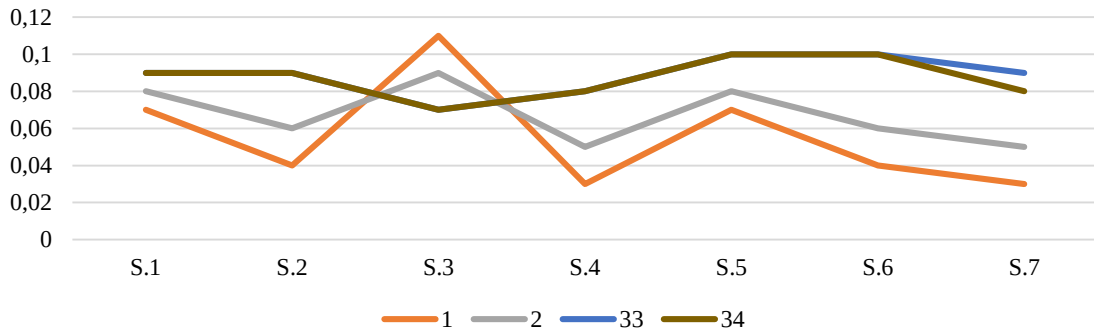
Senaryo No	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.6	S.7
1	0,07	0,04	0,11	0,03	0,07	0,04	0,03
2	0,08	0,06	0,09	0,05	0,08	0,06	0,05
3	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,08	0,07
4	0,09	0,07	0,07	0,06	0,11	0,1	0,09
5	0,07	0,07	0,08	0,05	0,08	0,07	0,05
6	0,06	0,07	0,11	0,04	0,07	0,07	0,04
7	0,07	0,06	0,1	0,04	0,07	0,06	0,05
8	0,07	0,07	0,08	0,05	0,08	0,07	0,06
9	0,09	0,08	0,07	0,07	0,11	0,08	0,08
10	0,08	0,05	0,08	0,04	0,08	0,05	0,04
11	0,08	0,08	0,08	0,06	0,09	0,08	0,06
12	0,08	0,07	0,07	0,05	0,08	0,07	0,05
13	0,07	0,07	0,09	0,05	0,08	0,08	0,06
14	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	0,07	0,06
15	0,09	0,08	0,08	0,08	0,1	0,09	0,08
16	0,07	0,06	0,08	0,05	0,08	0,06	0,05
17	0,08	0,08	0,11	0,07	0,08	0,08	0,07
18	0,09	0,09	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08
19	0,07	0,07	0,08	0,05	0,09	0,08	0,06
20	0,08	0,07	0,08	0,05	0,08	0,07	0,05
21	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09	0,08	0,07
22	0,09	0,09	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08
23	0,09	0,09	0,07	0,07	0,11	0,11	0,09
24	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08
25	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,09	0,07
26	0,07	0,08	0,1	0,05	0,08	0,09	0,07
27	0,09	0,09	0,06	0,08	0,12	0,12	0,11
28	0,08	0,08	0,07	0,07	0,1	0,1	0,08
29	0,08	0,07	0,07	0,05	0,09	0,08	0,06
30	0,09	0,09	0,06	0,07	0,1	0,1	0,08
31	0,08	0,08	0,08	0,06	0,1	0,1	0,07
32	0,09	0,1	0,06	0,08	0,12	0,12	0,11
33	0,09	0,09	0,07	0,08	0,1	0,1	0,09
34	0,09	0,09	0,07	0,08	0,1	0,1	0,08



Şekil 5.8. Birden yediye kadar olan senaryolar için her binanın LCOE'si

Şekil 5.8’te 34 binanın 7 senaryo için elektrik maliyeti görülmektedir. Şekil 5.8’de görüldüğü üzere binaların YET’nden bağımsız olarak LCOE değişmektedir. LCOE, YO ile ters orantılıdır. YO arttıkça LCOE azalmaktadır. Üretilen elektriğin, şebekeye satılması yerine, kullanılması elektrik maliyetini düşürmektedir. Bunun sebebi de elektrik satış bedelinin, alış bedelinden çok düşük olmasıdır.

Şekil 5.9.’da ise YET’i en düşük olan iki bina ile (ID 1 ve 2) en yüksek iki binanın (ID 33 ve 34) LCOE değerleri görülmektedir.



Şekil 5.9. ID 1, 2, 33 ve 34 olan binaların her senaryo için LCOE değerleri

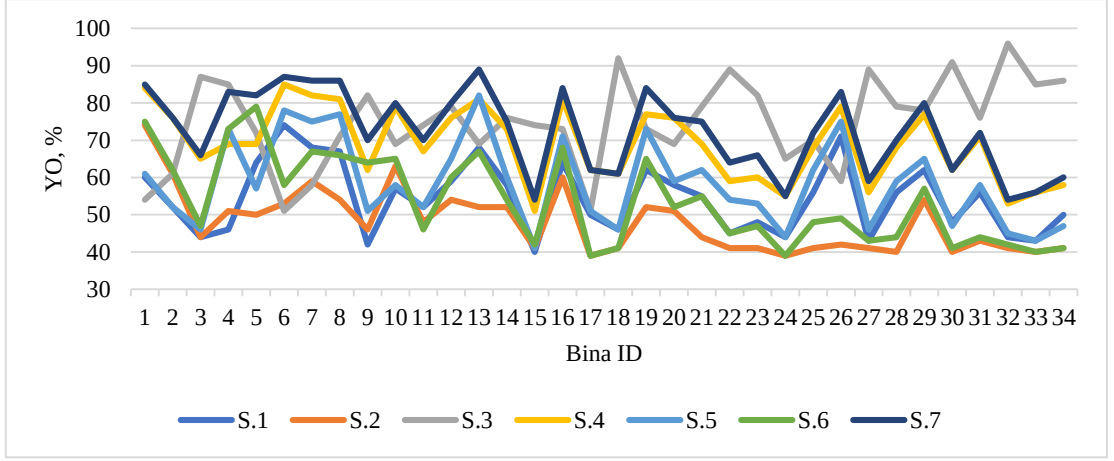
Şekil 5.9.’da YET’i küçük ve büyük binaların LCOE’lerinde benzer değişim olduğu görülmektedir. Görüldüğü üzere YET’i düşük binada S.3 hariç LCOE değeri daha düşüktür. Fakat YET’i yüksek binanın biyokütle hariç LCOE daha yüksektir. YET’i yüksek binada en düşük LCOE değeri büyük S.3’ten sonra YES’lerin beraber kullanıldığı S.7 için elde edilmiştir. Fakat S.3 ve S.7’nin LCOE değerleri oldukça yakındır. Diğer senaryoların LCOE değerleri ise yüksektir.

5.2.3 Yenilenebilir oran

Bu bölümde YO değerleri verilmiş ve kıyaslanmıştır. Çizelge 5.3.’te her senaryo ve her bina için yıllık tükettiği kadar enerji üretebilmesi için ihtiyaç duyulan optimum sistemin YO değerleri verilmiştir.

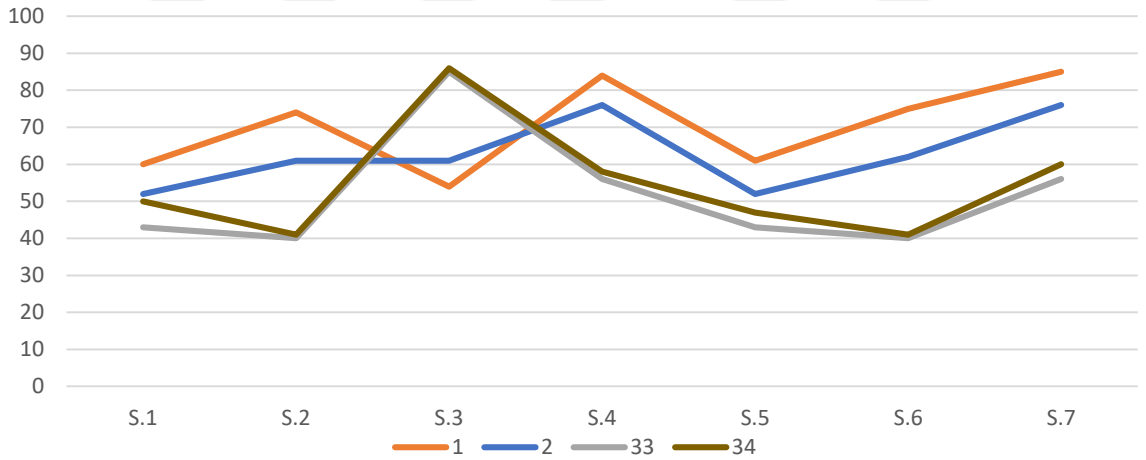
Çizelge 5.3. Her senaryo için YO değeri

Senaryo No	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.6	S.7
1	60	74	54	84	61	75	85
2	52	61	61	76	52	62	76
3	44	44	87	65	46	47	66
4	46	51	85	69	73	73	83
5	64	50	72	69	57	79	82
6	74	53	51	85	78	58	87
7	68	59	58	82	75	67	86
8	67	54	71	81	77	66	86
9	42	46	82	62	51	64	70
10	57	63	69	79	58	65	80
11	52	48	74	67	52	46	70
12	59	54	79	76	65	60	80
13	68	52	69	81	82	67	89
14	58	52	76	73	60	54	75
15	40	41	74	51	41	42	54
16	64	60	73	81	71	68	84
17	50	39	51	62	51	39	62
18	46	41	92	61	46	41	61
19	62	52	73	77	73	65	84
20	58	51	69	76	59	52	76
21	55	44	79	69	62	55	75
22	45	41	89	59	54	45	64
23	48	41	82	60	53	47	66
24	44	39	65	55	44	39	55
25	56	41	70	68	62	48	72
26	71	42	59	79	75	49	83
27	43	41	89	56	46	43	59
28	56	40	79	68	59	44	70
29	62	54	78	77	65	57	80
30	48	40	91	62	47	41	62
31	56	43	76	71	58	44	72
32	44	41	96	53	45	42	54
33	43	40	85	56	43	40	56
34	50	41	86	58	47	41	60



Şekil 5.10. Senaryolar için her binanın YO'su

Her bir senaryo için her binanın YO'su Şekil 5.10.'da verilmiştir. Şekil 5.10'dan da anlaşılacağı gibi, binaların YET'nden bağımsız olarak YO değişmektedir. Çünkü YO binanın elektrik tüketim profiline uygun YES seçilmesi ile ilgilidir. Yani, gündüz elektrik tüketimi artan binalar için PV, elektrik tüketimi çok değişmeyen binalar için biyokütle kullanılması YO'nı arttırmaktadır.

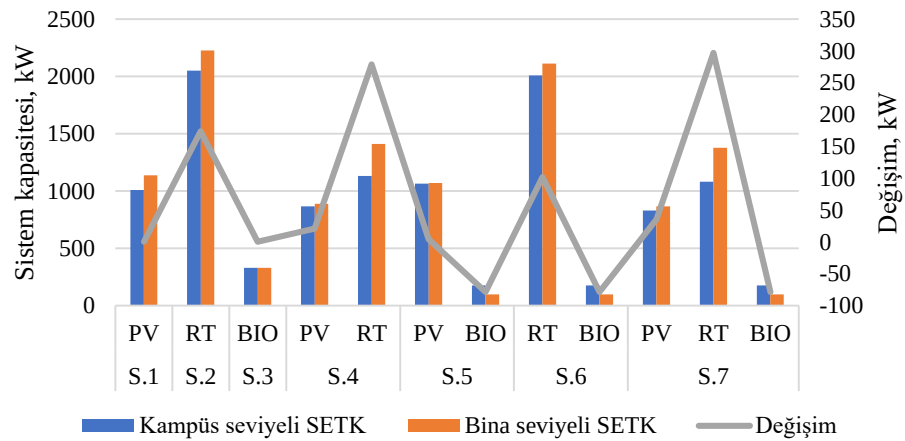


Şekil 5.11. ID 1, 2, 33 ve 34 olan binaların her senaryo için YO değerleri

Şekil 5.11.'de YET'i küçük ve büyük binaların YO'larında benzer değişim olduğu görülmektedir. Şekil 38'de görüldüğü üzere YET'i düşük binalarda S.1, S.3 ve S.5 hariç YO değeri yüksektir. Fakat YET'i büyük binalarda en yüksek YO S.3 için elde edilmiştir. En düşük YO ise S.2 ve S.6'da elde edilmiştir. Bu senaryoların ortak özelliği RT içermeleridir.

5.2.4 Bina seviyesi vs. kampüs seviyesi SETK

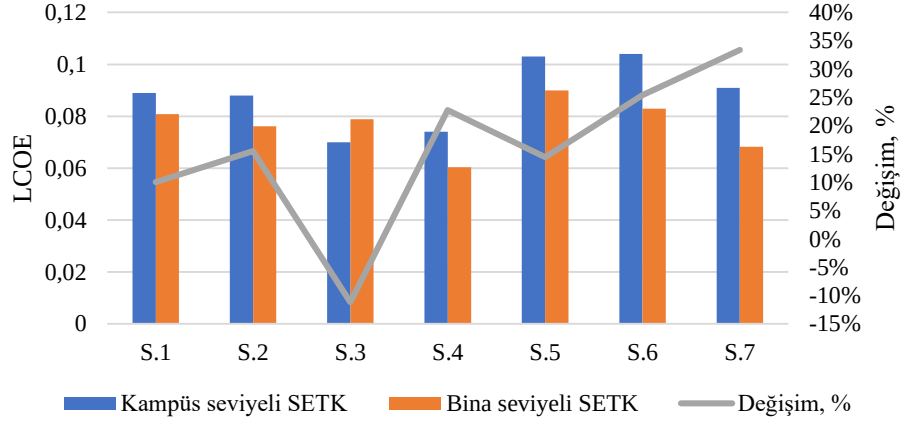
Bu bölümde SETK hedefi, bina düzeyi ve topluluk düzeyi durum için karşılaştırılmıştır. Tüm binalar için elde edilen elektrik tüketim verileri toplanarak tüm kampüs için elektrik tüketim verisi elde edilmiştir. Tüm kampüs için elde edilen veriler HOMER'e girilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Her senaryo için elde edilen sistem kapasitesi bina seviyesi ve kampüs seviyesi için Şekil 5.12'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.12. Kampüs ve bina seviyeli SETK için her senaryoda ihtiyaç duyulan sistem kapasitesinin karşılaştırılması

Şekil 5.12.'de görüldüğü üzere yalnızca biyokütle sisteminin (S.3) kullanılması durumunda, gerekli sistem kapasitesi her iki sistem seviyesi için aynıdır. Biyokütle sisteminin kapasitesi yıllık tüketilen elektrik kadar elektrik üretecek şekilde seçilmiştir. Her binanın ayrı ayrı yıllık tüketimleri ile toplamların tüketiminin aynı olması sebebi ile S.3 de iki durumda da kapasite aynı hesaplanmıştır. Diğer senaryolarda ise, kampüs seviyeli HYES tasarımında ihtiyaç duyulan sistem kapasitesi daha az hesaplanmıştır. Fakat bu durum LCOE'nin azalmasına sebep olmamıştır. Çünkü kampüs seviyeli tasarımda YO azalmıştır. Bina seviyeli tasarımda ise YO artmıştır. Bu sebeple LCOE de bina seviyeli tasarımda daha düşük çıkmıştır.

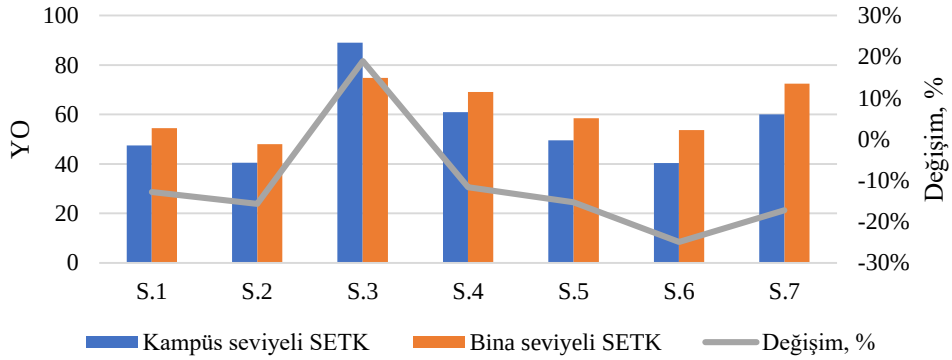
Binaların ortalama LCOE'leri tüm kampüs için yapılan simülasyonlarda elde edilen LCOE ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 5.13.'de verilmiştir.



Şekil 5.13. Bina ve kampüs düzeyinde durum için LCOE karşılaştırması

Şekil 5.13.'de gösterildiği gibi LCOE, S.3 hariç kampüs seviyesindeki tüm senaryolar için artmıştır. Şekil 5.13'te gösterildiği gibi bina seviyeli tasarımlarda S.3 hariç LCOE daha düşüktür. Çünkü YO daha yüksektir.

Bina ve kampüs seviyesindeki durum için YO'ların karşılaştırılması Şekil 5.14.'de verilmiştir.



Şekil 5.14. Bina ve kampüs düzeyinde durum için YO'ların karşılaştırılması

Şekil 5.14'te bahsedildiği gibi, bina seviyeli tasarımlarda S.3 hariç YO daha yüksektir. Çünkü HYES binanın tüketim profiline özel tasarlanmıştır. S.3'de ise kampüs seviyesinde YO daha fazladır. Çünkü biyokütle sistemi tarafından üretilen elektrik sabittir. Ve her bina için biyokütle sistemi olması durumunda şebekeye verilen elektrik daha fazla olmuştur.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, bir kampüs ile küçük bir topluluk arasındaki benzerliklerden dolayı, yenilenebilir enerji sistemlerinin çeşitli kombinasyonları ile sıfır enerji tüketimli kampüs konfigürasyonu tasarlanmıştır. Bu hedefe ulaşmak için bir kampüste bulunan 34 binanın 6 aylık saatlik elektrik tüketim verileri kullanılmıştır.

Binaların tek tek SEB'e yükseltilmesi veya toplulukların tamamen yükseltilmesi arasındaki farkı gözlemek için elektrik tüketimi ölçülen binaların tüketimleri toplanarak tüm kampüsün verisi elde edilmiştir.

Yenilenebilir enerji sistemi (YES) olarak yalnızca biyokütlenin kullanılması, sürekli güç kaynağı nedeniyle PV ve RT kombinasyonuna kıyasla tüm binalar için daha düşük sistem boyutuyla sonuçlanmıştır. Ayrıca, sadece PV (S.1) kullanmanın boyutu, rüzgâr potansiyeline kıyasla yüksek güneş radyasyon potansiyeli nedeniyle sadece RT (S.2) kullanmaya göre daha düşüktür. S.5 (PV+BIO) ve S.6 (RT+BIO) arasında, S.5, S.6'dan daha küçük boyuta sahiptir ve bu da yine RT'ye kıyasla PV'nin daha iyi verimliliğini göstermiştir. Yüksek tüketime sahip birçok binada sadece biyokütle kullanıldığında (S.3) en yüksek YO elde edilmiştir. Ancak YET düştükçe YO, PV+RT+BIO senaryosu (S.7) için artmıştır. RT içeren senaryolar olan S.2 ve S.6 için minimum YO'lar elde edilmiştir. Sonuç olarak, biyokütle yüksek tüketimli binalar için iyi bir seçenektir. Düşük tüketimliye sahip binalar için en iyi seçenek ikiden fazla yenilenebilir kaynak kullanmaktır. YET düştükçe, yüksek başlangıç maliyeti nedeniyle S.3 için LCOE artmıştır. Yüksek YET'li binalar için S.6, düşük YO nedeniyle yüksek LCOE elde edilmiştir. YO'nın tamamen binanın elektrik tüketim profiline uygun YES seçilmesi ile ilgili olduğu gözlemlenmiştir. YO arttıkça, şebekeden alınana elektrik azaldığı için LCOE de azalmıştır. Çünkü elektrik satış fiyatı Türkiye'de elektrik alım fiyatının neredeyse yarısı kadar. YO azaldıkça, satın alınan elektrik de artmakta ve bu da LCOE'yi artırmaktadır. Bu sebeple binalar için tasarlanan HYES sistemlerinde elektrik maliyetini belirleyen en önemli etkenin şebekeye elektrik satış bedeli olduğu görülmüştür.

Daha sonra SETK hedefi, bina seviyesi ve topluluk seviyesi durumu için karşılaştırılmıştır. Bu durumda, PV ve BIO'dan (S.5) oluşan HYES hariç, gerekli sistem boyutu % 1- 15 arasında azalmıştır. Gerekli sistem boyutları azalmasına rağmen, S.3 hariç

kampüs seviyesindeki tüm senaryolar için LCOE artmıştır. S.3'te sistem kapasiteleri aynı olmasına rağmen, şebekeden satın alınan elektriğin azalması nedeniyle LCOE %22 azalmıştır. Ancak, diğer senaryolarda LCOE, satın alınan elektrikteki artış nedeniyle artmıştır. Bina seviyesinde HYES'lerde, LCOE'yi azaltan bina için özel olarak tasarlanmasıdır. LCOE'deki artışın nedeni YO'daki azalmadır. YO azaldıkça, satın alınan elektrik artar ve bu da LCOE'yi artırır. Bu nedenle, bu analizler, elektrik satış fiyatının düşük olması durumunda bina düzeyinde tasarımın maliyet etkin olduğunu göstermektedir. Ancak, elektrik satış fiyatı aynı veya daha fazla ise, düşük sistem boyutları nedeniyle topluluk düzeyinde tasarım daha uygun maliyetlidir.

6.2 Öneriler

Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi kampüsünde bulunan 34 binanın saatlik elektrik tüketim verileri kullanılarak, Sıfır Enerji Tüketimli Kampüs hedefine ulaşmak için optimum Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi modellenmiştir. Bu çalışmanın devamında kampüste bulunan ve internet altyapısı bulunmadığı için elektrik tüketimini ölçülemeyen binaların da elektrik tüketim verisinin enerji analizörleriyle temin edilmesi ile tüm kampüs için bir modelleme geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aksay, M. V., & Tabak, A. (2022). Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(11), 5345-5362. doi:10.1007/s13399-022-02538-6
- Al-Ghussain, L., Darwish Ahmad, A., Abubaker, A. M., & Mohamed, M. A. (2021). An integrated photovoltaic/wind/biomass and hybrid energy storage systems towards 100% renewable energy microgrids in university campuses. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46. doi:10.1016/j.seta.2021.101273
- Al-Ghussain, L., Taylan, O., & Baker, D. K. (2018). An investigation of optimum PV and wind energy system capacities for alternate short and long-term energy storage sizing methodologies. *International Journal of Energy Research*, 43(1), 204-218. doi:10.1002/er.4251
- Altay, F. (2023). *Rüzgar enerjisi ve konya ili rüzgar enerjisi potansiyeli*. Retrieved from <https://www.kto.org.tr/d/file/ruzgar%C3%82r-enerjisi-ve-konya-ili-ruzgar-enerjisi-potansiyeli.pdf>
- Ayktut, E., & Terzi, Ü. K. (2020). Techno-economic and environmental analysis of grid connected hybrid wind/photovoltaic/biomass system for Marmara University Goztepe campus. *International Journal of Green Energy*, 17(15), 1036-1043. doi:10.1080/15435075.2020.1821691
- Baitule, A. S., & Sudhakar, K. (2017). Solar powered green campus: a simulation study. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(4), 400-410. doi:10.1093/ijlct/ctx011
- Bakanlığı, E. v. T. K. (2022). Sektörlere göre toplam enerji tüketimi. Retrieved from <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>
- Bakanlığı, E. v. T. K. (2023). Yenilenebilir Enerji. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji>
- Bakanlığı, T. C. E. v. T. K. (2023). Elektrik. Retrieved from <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=T%C3%BCrkiye%20elektrik%20enerjisi%20t%C3%BCketimi%202022,326%2C2%20TWh%20olarak%20ger%C3%A7ekle%C5%9Fmi%C5%9Ftir..>
- Bergey. (2013). Specs. Retrieved from <https://www.bergey.com/products/grid-tied-turbines/excel-10/>
- Crawley, D., & Lawrie, L. (2023). Repository of free climate data for building performance simulation. Retrieved from <https://climate.onebuilding.org/>
- Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., Pagani, F., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Grassi, G., Rossi, S., Jacome Felix Oom, D., Branco, A., San-Miguel-Ayanz, J. and Vignati, E. (2022). *CO2 emissions of all world countries*. Retrieved from https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022
- Demirbas, M. F., Balat, M., & Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1746-1760. doi:10.1016/j.enconman.2009.03.013
- EkonomiAtlası. (2020). *Enflasyon Oranı*. Retrieved from <https://ekonomiatlasi.com/enflasyon-orani>
- EPDK. (2023). Elektrik piyasası tarifeler listesi. Retrieved from <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-1/tarifeler>

- Group, T. W. B. (2022a). *Global solar atlas*. Retrieved from <https://globalsolaratlas.info/map?c=38.030245,32.505455,11&s=38.030113,32.50597&m=>
- Group, T. W. B. (2022b). *Global wind atlas*. Retrieved from <https://globalwindatlas.info/>
- Güçül, G. N. (2023). Optimum hybrid renewable energy system design for on and off grid buildings: Hotel, education and animal hospital building case. *Solar Energy*, 253, 414-427. doi:10.1016/j.solener.2022.12.044
- Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 90, 402-411.
- HomerEnergy. (2023). *HOMER Pro 3.11*. Retrieved from <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/index.html>
- IRENA. (2022). *Renewable power generation costs in 2021*. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>
- Kaabeche, A., & Ibtouen, R. (2014). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system. *Solar Energy*, 103, 171-182. doi:10.1016/j.solener.2014.02.017
- Larson, E. D., & Kartha, S. (2000). Expanding roles for modernized biomass energy. *Energy for Sustainable Development*, 4(3), 15-25. doi:[https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60250-1](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60250-1)
- Mansouri Kouhestani, F., Byrne, J., Spencer, L., Hazendonk, P., Brown, B., & Johnson, D. (2019). A comprehensive assessment of solar and wind energy potential at the University of Lethbridge campus, a medium-sized western Canadian university. *International Journal of Green Energy*, 16(14), 1246-1263. doi:10.1080/15435075.2019.1671400
- Muller, D. C., Selvanathan, S. P., Cuce, E., & Kumarasamy, S. (2023). Hybrid solar, wind, and energy storage system for a sustainable campus: A simulation study. *Science and Technology for Energy Transition*, 78. doi:10.2516/stet/2023008
- Müdürlüğü, K. İ. K. v. T. (2017). Coğrafi Konum. Retrieved from https://www.konyakultur.gov.tr/index.php?route=pages/pages&page_id=2.
- müdürlüğü, T. C. Ç. ş. v. i. d. b. m. g. (2022). Türkiye global güneş radyasyonu uzun yıllar ortalaması (2004-2021) heliosat model ürünleri. Retrieved from https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=konya.
- Obeng, M., Gyamfi, S., Derkyi, N. S., Kabo-bah, A. T., & Peprah, F. (2020). Technical and economic feasibility of a 50 MW grid-connected solar PV at UENR Nsoatre Campus. *Journal of Cleaner Production*, 247. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119159
- Özgören, M., Köse, F., Aksoy, M. H., Canlı, E., Solmaz, Ö., Doğan, S., & Yağmur, S. (2023). Konya'da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilirlik araştırması.
- ResmiGazete. (2023). *Cumhurbaşkanı kararı*. (7189). Retrieved from <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230501-7.pdf>
- Sahu, P. K., Chakradhari, S., Dewangan, S., & Patel, K. S. (2016). Combustion Characteristics of Animal Manures. *Journal of Environmental Protection*, 07(06), 951-960. doi:10.4236/jep.2016.76084
- Santiago, I., Trillo-Montero, D., Moreno-Garcia, I. M., Pallarés-López, V., & Luna-Rodríguez, J. J. (2018). Modeling of photovoltaic cell temperature losses: A

- review and a practice case in South Spain. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 90, 70-89. doi:10.1016/j.rser.2018.03.054
- Shea, R. P., Worsham, M. O., Chiasson, A. D., Kelly Kissock, J., & McCall, B. J. (2020). A lifecycle cost analysis of transitioning to a fully-electrified, renewably powered, and carbon-neutral campus at the University of Dayton. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37. doi:10.1016/j.seta.2019.100576
- Shirzadi, N., Nasiri, F., & Eicker, U. (2020). Optimal Configuration and Sizing of an Integrated Renewable Energy System for Isolated and Grid-Connected Microgrids: The Case of an Urban University Campus. *Energies*, 13(14). doi:10.3390/en13143527
- Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 32, 192-205. doi:10.1016/j.rser.2014.01.035
- Sonetti, G., Lombardi, P., & Chelleri, L. (2016). True Green and Sustainable University Campuses? Toward a Clusters Approach. *Sustainability*, 8(1). doi:10.3390/su8010083
- Taghavifar, H., & Zomorodian, Z. S. (2021). Techno-economic viability of on grid micro-hybrid PV/wind/Gen system for an educational building in Iran. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 143. doi:10.1016/j.rser.2021.110877
- TEDAŞ. (2022). *2021 Yılı Türkiye elektrik dağıtım sektör raporu*. Retrieved from https://www.tedas.gov.tr/fileupload/mediafolder/sx.web.docs/tedas/docs/Strateji_kplan/2021_Yili_Turkiye_Elektrik_Dagitimi_Sektor_Raporu.pdf
- TEİAŞ. (2022). *Kurulu Güç Raporu*. Retrieved from
- TrinaSolar. (2018). *Framed 72 layout module*. Retrieved from https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet_Tallmax%20HC_1500V%20M%20Plus_Nov%202018.pdf
- Tunçez, F. D., & Soylu, S. (2022). Konya ilinin toplanabilir bitkisel atık ve hayvansal atık kaynaklı metan potansiyeli. 11, 112-127. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/bdbad/issue/74353/1180969>
- TÜİK. (2022a). Bitkisel üretim istatistikleri. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2022-45504>
- TÜİK. (2022b). *Hayvansal üretim istatistikleri, 2022*. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-2022-49682>
- TÜİK. (2022c). *Hayvansal üretim istatistikleri, Haziran 2022*. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-Haziran-2022-45594>