TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDA KULLANIMINA YÖNELİK MODEL ÖNERİSİ

Fatma CESUR

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDA KULLANIMINA YÖNELİK MODEL ÖNERİSİ

Fatma CESUR
0000-0001-9878-0022

Prof. Dr. Nilüfer TAŞ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDA KULLANIMINA YÖNELİK MODEL ÖNERİSİ

Fatma CESUR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nilüfer TAŞ

Artan enerji ihtiyacı ile binalarda enerjiyi etkin kullanma, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konuları önemli hale gelmektedir. Bina üretim süreci, çok aktörlü, çok fazla karar ve ölçüt içeren, nitel ve nicel verilerin bir arada yer aldığı karmaşık bir süreçtir. Bu süreç gereksinimlere bağlı olarak karar verme eylemi gerektirir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yenilenebilir enerji teknolojilerinin (YET) binalarda kullanılmasına ilişkin karar vermede etkili kriterlerin belirlenmesi, kriterlerin önem derecelerinin ortaya konması, kriterlerle teknolojilerin karşılaştırılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygın olarak kullanılmasına yönelik bir öneri karar verme modelinin tanımlanmasıdır. Çalışma nitel ve nicel araştırma yöntemleri ile yürütülmüştür. Literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda, bina tasarımı sürecini etkileyen aktörlerden (mimar, mühendis, danışman, işveren, kullanıcı) oluşan uzman grupla derinlemesine görüşme yöntemi ile YET'in kullanılması konusunda ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin önem derecelerinin ortaya konması, kriterlerle teknolojilerin karşılaştırılması ve uygun teknolojinin seçimine karar verilebilmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak öneri model oluşturulmuştur. Karar verme modelinin bina üretim sürecinde YET ile ilgili kriterlerin belirlenmesi, ağırlıklarının bulunması ve uygun teknolojiye karar vermede kullanılabileceği ön görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi prosesi, bina üretimi, kriterler, karar verme, yaygınlaştırma, yenilenebilir enerji teknolojileri

2024, xiii + 119 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

A MODEL RECOMMENDATION for the USE of RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES in BUILDINGS in TURKEY

Fatma CESUR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Nilüfer TAŞ

With the increasing need for energy, issues related to using energy efficiently in buildings and employing renewable energy technologies are gaining significance. The building production process is intricate, involving numerous stakeholders, multiple decisions, and a combination of qualitative and quantitative data. This process necessitates decision-making based on specific requirements. The objective of this study is to identify effective criteria in decision-making concerning the use of renewable energy technologies (RET) in buildings in Turkey. It aims to highlight the importance of these criteria, compare them, and technologies, and define a recommendation decision-making model for the widespread adoption of renewable energy technologies. The study employed qualitative and quantitative research methods. Based on information gathered from the literature, the main criteria and sub-criteria for RET utilization were determined through in-depth interviews with an expert group, including individuals influencing the building design process (architects, engineers, consultants, employers, and users). A recommendation model was developed using the Analytical Hierarchy Process to highlight the significance of identified criteria, compare criteria and technologies, and facilitate the selection of the most appropriate technology. The study demonstrated that the decision-making model can be utilized in determining RET-related criteria in the building production process, establishing their weights, and make informed decisions regarding the appropriate technology.

Key words: Analytical hierarchy process, building production, criteria, decision making, dissemination, renewable energy technologies

2024, xiii + 119 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora tez süreci boyunca bilgi, deneyim ve sabrıyla her zaman yanımda olan, tez çalışmasının sonuçlanmasında benim kadar emeği bulunan danışman hocam Prof. Dr. Nilüfer Taş'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez gelişme aşamasında önemli katkıları bulunan değerli tez izleme komitesi hocalarım Prof. Dr. Murat Taş ve Prof. Dr. Ayşın Sev'e yapıcı eleştiricileri ve yönlendirmeleri için çok teşekkür ederim.

Yöntem konusunda katkılarıyla Prof. Dr. Z. Berna Aydın, Doç. Dr. Vesile Sinem Arıkan Kargı, Doç. Dr. Aslı Aksoy ve Doç. Dr. Ömer Bilen hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Süreç boyunca destekleri için BTÜ hocalarıma ve idari personelimize, tez sürecinin sonuçlanmasında her zaman desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Didem Güneş Yılmaz'a teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde görüşleriyle doğrudan katkı sağlayan, anket ve görüşmeler dahil olmak üzere her konuda vakitlerini ayıran, teknik bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve tez sürecinde her türlü desteğini esirgemeyen, tezin sonuçlanmasında çok büyük emekleri olan Sözüneri Mimarlık ekibine, başta Hasan Sözüneri ve Ayber Yeşilyurtolmak üzere çok teşekkür ederim. Tez sürecinde teknik bilgileriyle katkı sağlayan elektrik mühendisi Numan Semerci, makine mühendisi Hamit Mutlu ve ekiplerine teşekkür ederim.

Süreç boyunca desteklerini esirgemeyen tüm aileme ve arkadaşlarıma, babam, annem, kardeşim ve eşine teşekkür ederim. Süreçteki motivasyon kaynağım yeğenime ayrıca teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında, uzun tez yazım sürecinde sonsuz desteğini hissettiğim, süreçteki en büyük motivasyon kaynağım olan İbrahim Senal'a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma CESUR
19/01/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 10
2.1. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ile İlgili Çalışmalar 10
2.1.1. Türkiye'de yenilebilir enerji çalışmaları 13
2.1.2. Türkiye'de binalara yönelik yenilenebilir enerji çalışmaları 14
2.2. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Binalarda Kullanılması 19
2.2.1. Güneş enerjisi 20
2.2.2. Rüzgar enerjisi 26
2.2.3. Jeotermal enerji 29
2.2.4. Biyokütle enerjisi 33
2.2.5. Hidrojen enerjisi 36
2.2. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Seçimi 39
2.2.1. Bina üretim sürecini etkileyen aktörler 39
2.2.2. Teknoloji seçimindeki kriterler 40
3. MATERYAL ve YÖNTEM 50
3.1. Uzman Grup Görüşmeleri 53
3.2. Model için Kullanılacak Yöntemin Seçilmesi 58
3.3. AHP Modelinin Kurulması 61
3.3.1. Değerlendirme probleminin hiyerarşik yapısının belirlenmesi (1. Adım) 62
3.3.2. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (2. Adım) 66
3.3.3. Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması (3. Adım) 70
3.3.4. Verilerin analizi (4. Adım) 72
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 76
4.1.Ekonomi Ana Kriterine Ait Bulgular 77
4.2.Teknik Teknolojik Ar-Ge Kriterine Ait Bulgular 79
4.3. Modelin Kullanılması 81
5. SONUÇ 83
KAYNAKLAR 87
EKLER 99
ÖZGEÇMİŞ 119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
kWh	Kilowaat saat
m	Metre
m^2	Metrekare
max λ	öz değer
m/s	Metre/ saniye

Kısaltmalar	**Açıklama**
AA	Anadolu Ajansı
AB	Avrupa Birliği
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BEPA	Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
BM	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CI	Tutarlılık İndeksi
COP25	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKVY	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
D-8	Gelişen Sekiz Ülke Ekonomik İşbirliği Teşkilatı
DCG	Doğrudan Yanmalı Jeneratör
EC	Avrupa Komisyonu
ETKB	Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
G20	Grup 20
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GlobalABC	Global Alliance for Buildings and Construction
GW	GigaWatt
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IR	Oranlanarak Tutarsızlık Oranı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
KEI	Karadeniz Ekonomik İşbirliği Örgütü
KP	Kyoto Protokolü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	MegaWatt
MWe	MegaWatt elektrik
MWt	Isısal Megawatt
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NSEB	Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TWh	TeraWATT saat
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
PA	Paris Anlaşması

PV	Fotovoltaik
RI	Rassal İndeks
RePowerEU	Avrupa Komisyonu Enerji Bağımsızlığı Planı
REN21	21. Yüzyıl için Yenilenebilir Enerji Politikası Ağı
REPA	Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
REPA-V1	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası – Versiyon 1
SB	Sustainable Brands
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UN	Birleşmiş Milletler
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YET	Yenilenebilir Enerji Teknolojileri

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Binalarda kullanılan yenilenebilir enerji teknolojileri	20
Şekil 2.2.	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	23
Şekil 2.3.	Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritası	28
Şekil 2.4.	Türkiye jeotermal enerji potansiyeli haritası	31
Şekil 2.5.	Türkiye biyokütle enerjisi potansiyeli haritası	35
Şekil 2.6.	Türkiye'deki hidroelektrik santrallerin illere göre dağılım haritası	38
Şekil 3.1.	Çalışma aşamaları	50
Şekil 3.2.	Bilimsel temellere dayalı olarak yapılan mimari değerlendirmeler için çeşitli yöntem ve teknikler	59
Şekil 3.3.	AHP modeli kurulması	62
Şekil 3.4.	Hiyerarşi modeli	63
Şekil 3.5.	Hiyerarşik yapının kurulması	65
Şekil 3.6.	İkili karşılaştırma matrisi	67
Şekil 3.7.	Ana kriterleri ikili karşılaştırma matrisi	68
Şekil 3.8.	Önemlerin belirlenmesi	69
Şekil 3.9.	Teknik teknolojik arge kriterinin alt kriterlerinin tutarlılık hesabı	71
Şekil 3.10.	Teknolojilerin kriterlere göre global ağırlıkları	72
Şekil 3.11.	Teknolojilerin kriterlere göre normalize edilmiş ağırlıkları	72
Şekil 4.1.	Modelin örnek proje üzerinde uygulanması	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Türkiye'de elektrik üretim yüzdeleri, kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ve elektrik enerjisi üretim santrali sayıları	13
Çizelge 2.2.	Türkiye'de yenilenebilir enerjilerin yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	13
Çizelge 2.3.	Türkiye'de binalarda enerji verimliliği politikaları süreci	15
Çizelge 2.4.	Güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik uygulamalar ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amaçlı teknolojiler	21
Çizelge 2.5.	Güneş enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	25
Çizelge 2.6.	Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları	25
Çizelge 2.7.	Rüzgar enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	29
Çizelge 2.8.	Jeotermal enerjinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	32
Çizelge 2.9.	Biyokütle enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	36
Çizelge 2.10.	Hidroelektrik enerjinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı	38
Çizelge 2.11.	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılması önündeki engeller	42
Çizelge 2.12.	Davranışsal engeller	46
Çizelge 2.13.	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda etkili olan kriterler	48
Çizelge 3.1.	Çalışma modeli	52
Çizelge 3.2.	Çalışma kapsamında görüşülen uzman grup listesi	54
Çizelge 3.3.	YET'in binalarda kullanılmasına karar verilmesinde etkili olan kriterler/ fırsatlar	55
Çizelge 3.4.	YET'in binalarda kullanılması konusunda etkili olan kriterler/ engeller	56
Çizelge 3.5.	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımına yönelik ana kriterler ve alt kriteler	64
Çizelge 3.6.	Saaty ölçeği	66
Çizelge 3.7.	Rassal indeks (RI) değerleri	70

1. GİRİŞ

Enerjiye olan talep ve doğal kaynak tüketimi, nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme gibi sebeplerle giderek artırmaktadır. Enerji ihtiyacının çevreye zararlı olan fosil yakıtlardan karşılanması ve bilinçsiz enerji tüketimi, yenilenemeyen kaynakların tükenmesine, iklim değişikliğine ve doğal çevrenin tahribatına sebep olmaktadır. İnsanlığı tehdit eden, ciddi çevre sorunlarına yol açan yenilenemeyen enerji kaynaklarından petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer enerji kullanımına alternatif olarak çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması dünya gündemindeki en önemli konulardandır. Dünya, Ekim 2021'den itibaren ciddi bir küresel enerji krizinin etkilerini yaşamıştır (IEA, 2023) 2022 yılı boyunca, enerji fiyatları 2008'den bu yana en yüksek seviyelerine ulaşmıştır (Rapier, 2022). Uluslararası Enerji Ajansı, 2022'deki elektrik fiyatlarındaki artışın yüksek fosil yakıt fiyatlarından kaynaklandığını belirtmiştir (IEA, 2022). 2022 yılı, küresel olarak yüksek enflasyona yol açan enerji krizinin damgasını vurduğu bir yıl olmakla birlikte, aynı zamanda farklı sektörlerin yenilenebilir enerji kaynaklarını güvenilir, istikrarlı ve uygun fiyatlı bulması nedeniyle yenilenebilir enerji kullanımının hızlandırıldığı bir yıl olmuştur (REN21, 2023). Enerji konusunda geliştirilen yeni politikalar, enerjinin verimli kullanılması ile ilgili çalışmalar, küresel ve yerel ölçekte oluşturulan bağlayıcı direktifler, temiz enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar gibi önlemler enerji krizi ve çevre kirliliği gibi sorunlarla başa çıkabilmede önemli potansiyel oluşturmaktadır. Sorunlarla mücadelede kullanılacak stratejiler, sektörlere göre değişiklik göstermektedir. Küresel ölçekte yapılan pek çok çalışma, enerji tüketiminde binaların oldukça önemli bir pay aldığını göstermektedir (IEA, 2022; IRENA, 2020; IRENA, 2021; REN21, 2023; UNEP, 2020). Toplumsal gereksinimlere cevap verme açısından önemli işlevleri olan binalar, gereksinimleri yerine getirirken bir yandan da çevre sorunlarına sebep olmaktadır. Binalarda enerji kullanımı ile çevre sorunları arasındaki ilişki, bina üretimi için yoğun enerji gerektiren konularda çözümler üretme zorunluluğunu vurgulamaktadır. Binalarda, ısınma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, sıcak su ve çeşitli cihazlar için, kullanıcıların konfor koşullarını yerine getirebilmek için enerji kullanılmaktadır. Fosil yakıtların binalarda ısı için doğrudan yakılması, 2021'de enerjiye bağlı karbondioksit emisyonlarının %8'ini oluşturmuştur (IEA, 2022; REN21, 2023). Binalarda gerekli elektrik ve ısının üretilmesi, sıcak su ve termal konfor sağlanması ve binalardaki elektrikli aletler ve diğer cihazların çalıştırılması, emisyonların %19'unu oluşturmuştur (REN21,

2023). Yaşam alanlarımızın sürdürülebilir olması ve gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için doğal kaynaklara zarar verilmemesi ve ekolojik dengenin sağlanması önem arz etmektedir (Habitat 2, 1996).

Günümüzde çevre sorunları, iklim değişikliği ve enerji krizi konuları sürdürülebilirliğin sağlanması açısından çözüm aranan en önemli problemlerdir. Sustainable Brands (SB) Sosyo-Kültürel Trend Araştırması (2022) verileri, toplumun %98'inin sürdürülebilir bir yaşam tarzı istediğini ortaya koymuştur. Doğal kaynakların tüketilmesi ve çevre kirliliği konusunda küresel ve yerel ölçekte önlem alınmadığı taktirde, gelecek nesillere kaynakları tükenen, kirli bir dünya bırakılacaktır (ETKB, 2016). Bu bağlamda, binaların 2021'de küresel enerji tüketiminin %30'undan (IEA, 2022), sera gazı emisyonlarının üçte birinden fazlasından (OECD, 2022) sorumlu olmasından ötürü, bina üretim sektörü öncelikli alanlardandır (REN21, 2023). Binalar ve İnşaat Sektörü için 2021 Küresel Durum Raporu'na göre, bina üretim sektörü, enerji tüketiminin yüzde 36'sını ve enerjiyle ilgili karbondioksit emisyonlarının %37'sini oluşturmaktadır (UNEP, 2021). İnşaat faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, şimdiye kadarki en yüksek orana yükselmiş ve toplam karbondioksit emisyonlarının %28'ine ulaşmıştır, çimento ve çelik gibi malzemelerin imalatı dahil edilirse binaların payı %38 olmaktadır (UNEP,2020), (IRENA, 2021). Dünya çapında bina taban alanının 2050 yılına kadar 415 milyar metrekarenin (m^2) üzerine çıkması ve enerji talebinin potansiyel olarak %50 oranında artması beklenmektedir (UNEP, 2020). Bu bağlamda, küresel ortalama sıcaklık artışının 2 santigrat derecenin çok altında ve 1,5 santigrat dereceye olabildiğince yakın kalmasının sağlanması, önümüzdeki 30 yılda bina kaynaklı karbondioksit emisyonlarının %85'e kadar azaltılmasını gerektirmektedir (GlobalABC/ IEA/ UNEP, 2020). Binaların ihtiyaç duyduğu enerjinin artması, bina kaynaklı emisyonların yükselmesi gibi problemler 2030'dan itibaren tüm yeni binaların sıfır enerjili binalar olmasını gerektirmektedir (IRENA, 2020). Minimum performans standartları ve bina enerji mevzuatı kapsamı genişlemekte iyileşmekte ve binalarda daha verimli ve YET'in kullanımı artmaktadır. Fakat bina sektöründe 2050'ye Kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosuna uyumlanabilmek için daha hızlı bir değişim gerekmektedir. Özellikle tüm yeni binaların ve mevcut bina stoğunun %20'sinin 2030 yılına kadar sıfır karbona hazır olması hayati önem taşımaktadır (IEA, 2022). Bu nedenle bütünsel düşünmek ve yenilenebilir enerjiyi önlem paketinin bir

parçası olarak görmek kritik önem arz etmektedir (IEA, 2022; IRENA, 2020; IRENA, 2021; REN21, 2023; UNEP, 2020; Global ABC/IEA/UNEP, 2020). İklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunlara çözüm üretmek, fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak gibi sürdürülebilirlik hedefleri kapsamında enerjiyi verimli kullanan, yenilenemeyen enerji kaynaklarına ihtiyacını azaltacak ve yenilenebilir enerji kaynakları ile kendi enerjisini kendi üretebilecek sürdürülebilir binalara yönelmek gerekmektedir (ETKB, 2016). Yenilenebilir enerji politikaların yapısal ve mimari ayağını oluşturan gelişmeler ve sürdürülebilirlik politikalarına bakıldığında, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımının yaygınlaştırılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Ülkelerin karbondioksit emisyonlarında azalma sağlayabilmek için yenilenemeyen enerjiye bağımlılıklarını azaltmaları gerekmektedir. Cooke ve diğerleri (2007), bunu yapmanın bir yönteminin de YET'in bina tasarımlarına entegre edilmesi olduğunu belirtmiştir. Bunun dışında yenilenemeyen kaynakların tükenmesi de yenilenebilir enerji kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bina yükünün bir bölümünü karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak yenilenebilir olmayan kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmaktadır.

YET'in binalarda kullanılması konusu uygulama ölçeğinde düşünüldüğünde birtakım sorunları beraberinde getirmektedir. Türkiye'de, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında, 1/1/2023 tarihi itibariyle sadece belli metrekarenin üzerindeki binalarda YET'in kullanılması zorunludur (Resmi Gazete, 2022). Bunun dışında kalan binalarda YET'in binada kullanılması bina üretim sürecindeki aktörlerin kararına bırakılmıştır. Öte yandan YET'in kullanılmasının zorunlu kılındığı binalarda hangi teknolojilerin dahil edileceği ve teknolojinin nasıl seçileceği bir sorun teşkil etmektedir. Bina üretim sürecinde, hangi yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılmasına nasıl karar verilmesi gerektiği çalışmanın temel problemidir. Binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, sürdürülebilir kalkınma/çevre politikalarını karşılamaları ve toplumsal, ekonomik, çevresel faydalar sağlamaları açısından önemlidir. Bunun yanında birincil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yoluyla karbon emisyonları azaltılarak sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından da değerlendirilmektedir. Bu sebeplerle binalarda YET kullanımına yönelik bilimsel

temellerin, yöntemlerin ve araçların geliştirilmesi gerekli hale gelmektedir. Bu durum Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımına karar vermeye yönelik bir modele dayalı metodolojik bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlayan bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmuştur.

Bina üretim süreci, tanımlanan amacı yerine getirmek için, bir araya getirilen kaynakların, birçok alt amaç ve eylem içeren bir süreci izleyerek, yapının meydana getirilmesi amacını gerçekleştiren bir sistemdir. Tas, Cosgun ve Tas (2007)' a göre bina üretim süreci, pek çok aktör tarafından da etkilenen, toplumun bina üretmek için sahip olduğu bilgi, teknoloji, değerler sistemi, yasa ve yönetmelikler, politika ve stratejilere göre şekillenen bir alandır. Shove, (1998); Cooke ve diğerleri (2007)'ne göre çok fazla **karar ve ölçüt içeren**, sistematik ve sezgisel düşüncenin bir arada yer aldığı karmaşık, çok aktörlü bir süreçtir. Pek çok karmaşık problemi çözmek ve kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak gerekliliği bina üretim sürecini bir **problem çözme ve karar verme eylemi** haline getirmiştir. Bu karar verme aşamalarında, bina üretim sürecine dahil olan aktörlerin rolleri önemli olmaktadır. Bina üretim sürecinde teknoloji seçimleri yapmak sosyal ve son derece bağlamsal bir süreçtir (Shove, 1998; Cooke ve diğerleri, 2007). Proje aktörlerinin algılarından ve benzersiz proje özelliklerinden etkilenmektedir. Teknolojilere ilişkin çevresel, sosyal, ekonomik vb. etkileri bilmeyi gerektirmektedir.

Çalışmanın amacı, İklim değişikliğinin yarattığı zorluklar ve yenilenebilir enerjiye küresel vurgu göz önüne alındığında, bu Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin aktörler (mimar, mühendis, yatırımcı vb.) tarafından hangi kriterler bağlamında ele alındığının ölçülmesi (kullanılmasının önündeki engellerin ve itici güçlerin belirlenmesi); bu kriterlerin birbirleriyle ne derece paralellik gösterdiğinin/ ayrıldığının ortaya konduğu karşılaştırmalı bir analiz yapılması; tasarıma veri oluşturacak kriterlerin önerilmesi, ilkeler/kriterler ekseninde bir etkileşim planı oluşturulması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin, hangi aşamalarda, hangi aktörlerce projeye nasıl dahil edilebileceği konusunda öneriler getirilmesi ve bunların uygulamaya aktarılmasını sağlayacak bir **karar verme modeli** geliştirilmesidir.

Çalışma kapsamında irdelenen YET kullanımına karar vermede etkili olan kriterler, teknolojilerin kullanılmasında etkili olan fırsatlar ve engeller ile paralellik

göstermektedir. Binaların çevre üzerinde büyük bir etkisi vardır ve bina üretim sürecindeki tüm aktörler (tasarımcılar (mimar/mühendis), bina sahipleri vb.) bu çevresel etkilerin şekillendirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Bordass, 2001). Bina üretim sürecinde, YET kullanılmasına karar verme aşamasında etkili olan kriterlerin, bina üretim sürecindeki tüm aktörler açısından ele alınması gerekmektedir. Etkili kriterler ve kriterlerin önem derecesi, aktörler arasında farklılık göstermektedir (Cooke ve diğerleri, 2007).

Bununla birlikte Türkiye'de YET'in binalarda kullanılması konusunda, engeller/ fırsatların tanımlanması, kullanımına yönelten kriterlerin ortaya konulması, önem hiyerarşisinin oluşturulması, uygulama oranını artırmada en etkili olan kriterlerin tanımlanması konusu henüz tam olarak araştırılmamıştır. YET'in binalarda kullanılması konusunda kriterlerin ve aktörlerin rollerinin ortaya konması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin, bina üretim sürecinin yapım öncesi aşamasında değerlendirilmesi, teknolojilerin kullanılması ile ilgili kriterlerin belirlenmesi çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Türkiye'de binalarda YET kullanımının kriterler, aktörler ve teknolojiler bağlamında incelenmesi önemlidir. Bu sebeple çalışma kriterler, aktörler ve teknolojiler kapsamında ele alınmıştır. Bina üretim süreci yapım öncesi, yapım, yapım sonrası aşamalarından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin sürece dahil edilmesi konusunda, teknoloji ve ürün seçimi, sistemlerin entegrasyonu ve estetik olarak bütünselliği, yenilikçi yaklaşımlar ve AR-GE önerileri ile ilgili kararlar, yapım öncesi aşamada alınan kararlardır. Yenilenebilir enerji teknolojileri ile ilgili uygulamaların, yapım öncesi aşamada planlanması, uygulanan sistemlere proje içerisindeki bir tasarım ögesi olarak yaklaşılması, disiplinler arası çalışma ile sistem ve estetik dengenin sağlanması gerekmektedir. Alshuraiaan (2021), binalarda yenilenebilir enerji teknolojileri ile ilgili kriterlerin, yapım öncesi aşamada belirlenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sebeple çalışma yapım öncesi aşamada alınan kararlar ile sınırlandırılmıştır. YET'in binalarda kullanılması konusunun irdelenebilmesi için en iyi yaklaşımlardan biri yerel ölçekte çalışmaların yapılmasıdır. Literatür incelendiğinde, YET'in kullanımının önündeki engeller ve fırsatları, karar vermede etkili olan kriterleri, YET'in sosyal kabulünü, çevresel etkilerini, piyasa koşullarını ele alan çalışmalar mevcuttur. Cooke vd. (2007), YET kullanma konusunda itici güçlerin ve engellerin önem

sıralamasının projeler arasında büyük farklılıklar gösterdiğini, bu çeşitliliğe rağmen, değerlendirmelerin daha nitel kaygıları büyük ölçüde göz ardı ederek, finansal kaygılar üzerine yoğunlaştığını vurgulamış; binalarda kullanılması konusunda bilgi, motivasyon, vaka çalışması ve uygun değerlendirme metodolojisi eksikliğinin kullanımını kısıtladığını belirtmiştir. Painuly (2001), yenilenebilir enerjinin önündeki engellerle mücadelede en iyi yaklaşımın bilgilendirmek için yerel olarak özel çalışmalar yapılması gerekliliği olduğunu söylemiştir. Türkiye'de sürdürülebilir enerji gelişimine yönelik yasa ve yönetmelik çalışmaları mevcut olup, YET konusu, eylem planları çerçevesinde de ele alınmaktadır. Türkiye'de devlet kurumlarınca yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artırılması, binalardaki elektrik tüketiminin azaltılması ve karbondioksit emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir (ETKB, 2023; ÇŞİDB, 2023). Buna rağmen Türkiye şartlarında binalarda YET seçimini analiz etmek ve başlıca seçim kriterlerini belirlemek amacıyla şu ana kadar çok az ampirik çalışma yapılmıştır. Bu çalışma bu araştırma boşluklarını doldurmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu bağlamda YET'in binalarda kullanılmasına karar verilmesi probleminin çözümü ile binalarda kullanımının yaygınlaşması hedeflenmektedir.

Bu hedefe ulaşmak için aşağıdaki görevler/sorular belirlenmiş ve araştırılmıştır:

1-Türkiye'de yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanım düzeyi;
2-Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanım düzeyi;
3-Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda engeller/fırsatlar;
4-Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin hangi aktörlerce hangi kriterler bağlamında değerlendirilmesi;
5-Yenilenebilir enerji teknolojilerinin uygulamaya konulmasına dayalı olarak binalarda YET kararını verebilmek için bir model oluşturulması.

Tez çalışması belirlenen hedef ve sorular kapsamında aşağıda yer alan hipotezler çerçevesinde oluşturulmuştur:

1-YET'in kullanıldığı binalara geçiş, yakıt ve enerji kaynaklarının tüketimini, enerji maliyetlerini, sera gazı ve karbondioksit emisyonlarını azaltabilir.

2-Binalarda YET'in kullanım kararı, aktörler ve kriterler bağlamında irdelenerek, çok kriterli bir karar verme yöntemi ile rasyonel bir karar süreci haline getirilebilir. Model kapsamında süreç yönetilebilir. Bu durumda karar vermenin kolaylaşması ve doğru karara hızlı erişebilmek bina üretim sürecindeki aktörleri kullanıma yöneltebilir. Belirlenen ve önceliklenen kriterler teknoloji üreticilerine veri oluşturabilir.

Hipotezin denenmesi aşamasında, çalışma nitel ve nicel araştırma yöntemleri ile yürütülmüştür. Veri toplamak için çoklu yöntemler kullanılmıştır. Çalışmanın yöntemleri, literatür taraması, uzmanlarla derinlemesine görüşme yöntemi ve AHP yöntemidir. Çalışma iki aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada YET uzmanlarından ve uygulayıcılarından genel görüş toplamak amaçlanmıştır. Türkiye'de YET'in binalarda kullanılması konusunda literatür araştırmaları kapsamında belirlenen soru alanları üzerinden uzmanlarla görüşme yapılmıştır. İkinci aşamada, çok kriterli analiz yöntemine (AHP yöntemi) dayalı olarak, YET'in Türkiye'de binalarda kullanımına karar verilebilmesi için bir model geliştirilmiştir. Modelin amacı karar verme problemini çözmeyi kolaylaştırmaktır. AHP yöntemi, hiyerarşik yapının kurulması ve kriterlerin önem derecelerinin bulunması için kullanılmaktadır. Çalışmanın sektöre ve YET araştırmalarına pek çok açıdan katkıda bulunması beklenmektedir. İlk olarak, YET'in seçim kriterlerini belirleyen aktörleri, kriterleri ortaya koymakta ve bunların önem derecelerini analiz etmek ve seçim yapmak için çok kriterli AHP yaklaşımını önermektedir. AHP yöntemi, karar vericilerin bilgi ve tecrübelerini, sezgilerini, objektif ve subjektif düşüncelerini karara dahil eden, karmaşık problemleri basitleştiren, pek çok aktörün yer aldığı grup kararları için diğer karar verme yöntemlerine göre daha uygun olan, nicel ve nitel değişkenleri bir arada değerlendirebilen matematik temelli bir yöntemdir (Bolloju, 2001; Chena ve Wang, 2010; Dağdeviren, Akay ve Kurt, 2004; Lin vd., 2008; Tüzemen ve Özdağoğlu, 2007). Bu yöntem ile ortaya konan model, Türkiye'de yenilenebilir enerji teknolojilerinin potansiyelinin değerlendirmesini, kriterler ve aktörlerin analizlerini ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile kriterlerin ağırlıklarının ölçülmesini kapsayan bir karar verme modelidir. Bu model ile literatürde tespit edilen yerel çalışma eksikliğin giderilmesi yönünde bir adım atılmış olacak ve YET binalarda kullanılması konusu bütüncül yaklaşımla aktörler/ kriterler/ teknolojiler ekseninde çok yönlü olarak değerlendirilebilecektir. Ayrıca Türkiye'de YET'in binalarda kullanılması

konusunda kriterler geliştiren ve karar verme yöntemi öneren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle YET'in binalarda kullanılması konusunu kriterler ve karar verme yöntemleri üzerinden ele alan çalışmaları zenginleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ortaya konulan bu tezle birlikte belirlenen kriterler ve geliştirilen karar verme modeli hem özel sektörde YET kararı verecek olan mimar, mühendis, yatırımcı ve kullanıcılar için hem yerel yönetimler ve kamu çalışanları için kuramsal bir çerçeve oluşturulacak ve karar verme aşamasında uygulanabilecek yöntemler için alt yapı sağlayacaktır. Geliştirilen model, sektördeki profesyoneller için YET binalarda kullanımına yönelik karar sürecini kolaylaştırmak ve daha verimli hale getirmek için kullanılabilecektir. Mevcut küresel enerji krizinin ortasında acil olarak büyüyen bu konuyla ilgili daha ileri çalışmalara ilham vermesi de hedeflenmektedir.

Çalışmanın bulgularının aşağıda belirtilen yararları sağlayacağı düşünülmektedir;

1.İnşaat sektöründe, "yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanılması" konusunu gündeme getirip, konu ile ilgili düşünme, tartışma ve yeni araştırma olanakları yaratacağı,
2.Ülkesel koşullarda sürdürülebilir kalkınma anlamında YET üretiminin ve bu teknolojilerin kullanılmasının önemi konusunda farkındalık yaratacağı,
3. Binalar ile ilgili kriterleri belirleyen, bina üretim sürecindeki aktörler açısından, küresel ölçekte yaşanan çevre sorunları ve enerji sorunu konusunda kendilerine düşen görev ve sorumluluklar ile ilgili farkındalık yaratacağı,
4.Türkiye'de bina üretim sürecinde YET kullanım kararını etkileyen aktörlerin kullanım kararını hangi kriterler çerçevesinde verdiğini ortaya koyan çalışmanın, binalarda kullanılabilecek YET üreticilerinin, teknolojileri bu kriterler doğrultuda değerlendirmesine ve geliştirmesine sebep olacağı ve bunun da kullanımlarının yaygınlaşmasına yol açacağı,
5. Yenilenebilir enerji teknolojileri ile binaların kendi enerji ihtiyacını karşılayabileceği ve kent ekonomisine katkı sağlayabileceği konusunda farkındalık yaratacağı beklenmektedir.

YET'in Tükiye'de binalarda kullanımı konusunu ele alan çalışma beş bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde, problem tanımlanmış, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi

belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, YET'in Türkiye'deki durumu, binalarda kullanılan yenilenebilir enerji teknolojileri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçilmesi, kararda etkili olan aktörler, kararda etkili olan kriterler, karar verme konusunda engeller/fırsatlar, bina üretiminde karar alma süreci konuları kapsamında yapılan literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, çalışmanın yöntemi anlatılmıştır. Türkiye'de YET binalarda kullanımına karar verilmesi problemi kapsamında, literatür araştırmaları doğrultusunda, soru alanları belirlenmiş, bu sorular derinlemesine görüşme yöntemi ile bina üretim sürecinde yer alan aktörlerden oluşan uzmanlar ile tartışılmıştır. Uzman görüşmeleri ile YET'in Türkiye'de binalarda neden tercih edildiği/edilmediği, karar vermede etkili olan kriterler, hangi teknolojilerin kullanıldığı irdelenmiştir. YET'in binalarda kullanılmasına karar verme modeli için, aktörlerin bina üretim sürecinde YET'in kullanılması kararını hangi kriterler doğrultusunda verdiklerinin ve kriterler arasındaki hiyerarşik yapının detaylı analizinin yapılabilmesi için AHP yöntemi seçilmiş ve model kurulmuştur. Model kapsamında sırasıyla, hiyerarşik yapı belirlenmiş, karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş, tutarlılık hesabı ve veri değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde, karar verme modeli ile ilgili bulgular değerlendirilmiş, tartışılmış, modelin uygulanması gösterilmiştir. Sonuç bölümünde analiz ve öneriler yer almaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, çalışma konularına ait kuramsal bilgiler aktarılmıştır. Türkiye'de ve dünyada yenilenebilir enerji teknolojilerine dair kaynak araştırması yapılmış, binalarda kullanılan YET ile ilgili çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bina üretim sürecini etkileyen aktörler (kararda etkili olan paydaşlar) ve YET'in binalarda kullanılması ile ilgili engeller/fırsatlar, teknoloji seçimindeki kriterler konuları kapsamında yapılan literatür araştırmaları incelenmiştir.

2.1. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ile İlgili Çalışmalar

1980'li yıllardan başlayarak, doğal çevrenin korunması, iklim değişikliği ile mücadele konularında küresel ölçekte yapılan çalışmalar sonucunda 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1997 yılında Kyoto Protokolü (KP), 2015 yılında ise Paris Anlaşması (PA) ortaya çıkmıştır (ETKB Uluslararası Anlaşmalar, 2023). PA çerçevesinde belirlenen iklim hedefleri ve Rusya ile Ukrayna arasında başlayan çatışma gibi bölgesel çatışmalar, arz-talep dalgalanmalarına ve enerji fiyatlarının artışına sebep olmuştur. Bu nedenle enerji verimliliği konusu son yıllarda en önemli konulardan biri haline gelmiştir. İklim hedefleri ve enerji krizi problemlerinden tüm ülkeler etkilenmiştir (REN21, 2023). Son zamanlarda enerji krizi kapsamında yapılan Avrupa Birliği projelerinden RePowerEU (EC, 2022) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde çıkarılan Enflasyonu Düşürme Yasası (The White House, 2022) enerji verimliliğinin önemini ortaya koyan çalışmalar olarak görülmektedir. Bu çalışmalar temiz enerji desteklerini, fosil yakıta bağımlılığın azalması hedeflerini içermektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), yenilenebilir enerjilerin 2050 yılında birçok ülkenin toplam nihai enerji tüketiminin %60'ını veya daha fazlasını oluşturabileceği öne sürmüştür (IRENA, 2018). Çevrenin korunması ve sürdürülebilir bir gelecek sağlanması amacıyla fosil yakıtların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi büyük önem taşımaktadır (IRENA, 2022; Kuşkaya ve diğerleri, 2023; Yu ve diğerleri, 2022; Umar ve diğerleri, 2021; Ike ve diğerleri, 2020; Zafar ve diğerleri, 2020; Güney, 2019; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005)

Akdeniz havzasında bulunan ve iklim değişikliğinin sonuçlarından en çok etkilenen ülkelerden biri olan Türkiye, BMİDÇS, KP ve PA gibi küresel anlaşmalara taraftır

(ETKB Uluslararası Müzakereler, 2023). Paris Anlaşması 11/10/2021 tarihinde onaylanmış olup, aynı tarihte 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi Cumhurbaşkanı tarafından ilan edilmiştir. Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı isim değiştirerek "Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB)" olmuştur. ÇŞİDB'nin 2022-2023 stratejik planlarında, 2030'a kadar yenilenebilir enerjinin küresel enerji kaynakları içindeki payının önemli ölçüde artırılması yer almaktadır. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojileri araştırmaları ve bu teknolojilere erişimi kolaylaştırmak için uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi, enerji altyapısı gibi alanlara yatırımların teşvik edilmesi amaçlanmaktadır. ÇŞİDB, tüm insanlığın ve dünyanın geleceği için küresel iklim değişikliği ile mücadelede "2053 net sıfır emisyon" hedefine ulaşmak amacıyla "Yeşil Kalkınma" hamlesini başlatmıştır (ÇŞİDB Stratejik Plan, 2022). "Yeşil Kalkınma" hamlesi, çevreyi koruyarak, doğayla dost bir büyüme hedefleyen, tamamıyla çevre odaklı bir kalkınma yaklaşımıdır. ÇŞİDB ile birlikte Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) da dünyadaki gelişmeleri takip etmekte ve üye olduğu uluslararası organizasyonlarla (IEA, IRENA, KEI, G20, D-8, vb.) ortak çalışmalar yürütmektedir. ETKB, dünyadaki yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili uluslararası projeleri, çalışmaları ve gelişmeleri takip etmekte ve analizlerini yapmaktadır. (ETKB, Yenilenebilir enerji, 2023) Türkiye, sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında, enerji kaynaklarını etkin kullanma, enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara gereken önemi verme ve çevresel hasarı en aza indirme hedefindedir (ETKB Uluslararası Müzakereler, 2023). Bu kapsamda yapılan çalışmalardan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP), 29/12/2017 tarihli Yüksek Planlama Kurulu onayı ile 02/01/2018 tarihli ve 30289 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve 2017-2023 yılları arasında uygulanmıştır. UEVEP ile, "bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olarak altı kategoriye ayrılan, elli beş eylem ile 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmiştir" (UEVEP, 2020). Bu hedef kapsamında, 2023 yılına dek 23,9 MTEP kümülatif enerji tasarruf sağlanması ve bu tasarruf amacıyla 10,9 milyar dolar yatırım yapılması planlanmıştır. 2017-2022 döneminde enerji verimliliğine toplamda 7,5 milyar dolarlık yatırımdan, 1,8 milyar dolar para karşılığı olan, 5 milyon 205 bin TEP'lik enerji tasarrufu ve 18 milyon 677 bin TEP kümülatif enerji tasarrufu sağlanmıştır (UEVEP, 2020; UEVEP, 2021; UEVEP, 2022).

Türkiye'nin taraf olduğu anlaşmalar ve anlaşmaların getirdiği düzenlemeler, kaynak tüketimi fazla olan ve yoğun emisyon üreten, enerji ve bina sektörü gibi sektörleri etkilemektedir. Enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, Avrupa Birliği'nin (AB) enerji bağımlılığını ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için uyguladığı önemli önlemlerdendir. Türkiye'de bina sektörü, AB ve Birleşmiş Milletler (BM) sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kilit sektörlerden biri olarak belirlenmiştir (ÇŞB, 2020). BM tarafından "Gündem 2030" adı altında belirlenen sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin birçoğu bina sektörünü ilgilendirmektedir ve bu hedeflerin uygulanması çalışmaları devam etmektedir (UN, 2015; UN, 2023). AB, 2019 yılında, iklim krizi ile mücadelede dünyada öncü olmak amacıyla "Avrupa Yeşil Mutabakatı" eylem planını, Madrid'de, BM İklim Konferansı (COP 25) sırasında duyurmuştur. Bütün üye ülkelerin 2050 yılına kadar karbon-nötr (net sıfır sera gazı emisyonu) hale gelmesi beklenmektedir (EC, 2019). Sanayi, finansman, enerji, ulaştırma, tarım ve binalar ile ilgili AB politikalarında değişiklikler öneren Yeşil Mutabakat kapsamında, 2030 yılına kadar %55 emisyon azaltımı (1990 seviyesine göre) hedefi için "Fit for 55 (55'e Uyum)" mevzuat değişikliği paketi yayınlanmıştır (EC, 2021).

ETKB Türkiye Ulusal Enerji Planı (2022)'na göre elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh, 2035 yılında ise 510,5 TWh seviyesinde olması öngörülmektedir. 2022 yılında, Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2021'e göre %0,5 oranında azalarak 331,1 TWh, elektrik üretimi ise 2021'e göre %1,9 azalarak 328,3 TWh olmuştur; 2023 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla Türkiye kurulu gücü 105.668 MW'dir. (ETKB Elektrik, 2023). ETKB (2023) verilerine göre, 2022 yılı elektrik üretim yüzdeleri, 2023 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ve elektrik enerjisi üretim santrali sayıları Çizelge 2.1'de verilmiştir (ETKB Elektrik, 2023). Elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2023 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 12.562'tir (Lisanssız santraller dâhil).

ETKB (2023) yenilenebilir enerji verilerine göre, 2022 haziran itibariyle, güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen ve biyokütle enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.2' de verilmiştir (ETKB Enerji, 2023).

Çizelge 2.1. Türkiye'de elektrik üretim yüzdeleri, kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ve elektrik enerjisi üretim santrali sayıları (ETKB Elektrik, 2023)

Enerji	**Elektrik üretimi**	**Kurulu Güç (WM)**	**Mevcut santraller**
	2022	**2023** **105.668 MW**	**2023** **12.562 adet**
Kömür	%34,6	%20,6	68
Doğal gaz	%22,9	%24	343
Hidrolik	%20,3	%29,9	753
Rüzgar	%10,6	%11	363
Güneş	%5,1	%10,3	10.479
Jeotermal	%3,4	%1,6	63
Diğer	%3	%2,6	493

Çizelge 2.2. Türkiye'de yenilenebilir enerjilerin yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Enerji, 2023)

Enerji	**Yıl**	**Kurulu Güç (WM)**	**Toplam kurulu güç içerisindeki oranı**
Güneş	2011	0	%0,00
	2022	8.479	%8,35
Rüzgar	2011	1.729	%3,96
	2022	10.976	%10,81
Jeotermal	2011	114	%0,22
	2022	1.686	%1,66
Hidrojen	2011	6.516	%7,65
	2022	7.005	%7,91
Biyokütle	2011	115	%0,22
	2022	2.172	%2,14

2.1.1. Türkiye'de yenilebilir enerji çalışmaları

Enerji, ülke ekonomisi, uluslararası ilişkiler ve diplomasi konularında önemli rol oynar. Türkiye, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji arz güvenliği ve enerji talep güvenliği, öngörülebilir piyasa koşulları kapsamında "Milli Enerji ve Maden Politikası" stratejisine sahiptir (ETKB Enerji Diplomasisi, 2023). Türkiye'de

yenilenebilir enerji politikaları ve planlamaları konusunda, dünyada yapılan çalışmalara paralel, yerel ihtiyaçlara ve şartlara uygun mevzuatlar oluşturulmaktadır. Yenilenebilir enerji politikaları ve planlamalar ile ilgili çalışmalar, dosyalar ve enerji istatistikleri ETKB tarafından yayınlanmaktadır. 18.05.2005 tarihinde, 5346 numaralı ‘’Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’’ mevzuata eklenmiştir (Resmi Gazete, 2005). Bu kanun ile, elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, kaynakların çevre dostu yöntemlerle, kaliteli ve uygun maliyetle ekonomiye dahil edilmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleşmesi için gerekli altyapının sektörel bazda sağlanması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik olarak Türkiye’deki Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ile ilgili altyapı sağlanması, ilan edilmesi gibi çalışmalar ve kullanım hakkı yarışmaları yapılmaktadır. 09/10/2016 tarihinde resmi gazetede yayınlanan Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği ile; taşınmazlarda (kamu ve özel mülkiyet) büyük ölçekli yenilenebilir enerji kaynak alanları yaratarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, yenilenebilir enerji yatırımların hızlanması, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimine yönelik teknolojilerin yerli üretim olması ve teknoloji transferinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Resmi Gazete, 2016). ETKB, yenilenebilir enerji ile ilgili uygulamaların yaygınlaşması amacıyla, yenilenebilir enerji yatırım ortamını iyileştirmek adına, yatırımcıların uygulamada karşılaştıkları sorunları analiz etmekte ve ilgili kurumlarla birlikte iyileştirme çalışmaları yapmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyellerinin belirlenmesine yönelik, coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknikleri kullanılarak, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) gibi yenilenebilir enerji potansiyeli atlasları oluşturulmaktadır (ETKB Yenilenebilir Enerji, 2023).

2.1.2. Türkiye’de binalara yönelik yenilenebilir enerji çalışmaları

Bina sektörü, 2020 yılında küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %33'üne katkıda bulunurken, bina enerji kullanımının yaklaşık %15,5'i yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (REN21, 2023). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), tüm binaların 2050 yılına kadar sıfır enerji ve sıfır karbon standartlarına yönelik yenilenebilir enerji

stratejilerine sahip olmasını beklemektedir (GlobalABC, IEA, 2020). Hem küresel ölçekte hem AB çerçevesinde yapılan çalışmalar ile uyumlanma sürecinde, Türkiye'de binaları kapsayan çalışmalar Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye'de binalarda enerji verimliliği politikaları süreci

		Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği Politikaları Süreci
Yıl	**Sayı**	**Yönetmelik**
1999 2008	23725 27019	Isı Yalıtım Yönetmeliği Çalışmaları Isı Yalıtım Yönetmeliği
2007	26510	Enerji Verimliliği Kanunu
2008	27075	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
2010	27539	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2010	27627	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2011	27851	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2011	27911	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2017	30051	Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği- Değişiklik
2018	30289	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023
2022	31755	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik

Türkiye'de binalara yönelik yenilenebilir enerji konusunu kapsayan çalışmalar:

- Enerji Verimliliği Kanunu

Çevrenin korunması kapsamında, enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla 2007 yılında "Enerji Verimliliği Kanunu" yayınlanmıştır. Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim safhalarında, sanayide, enerji sektöründe, ulaşımda, binalarda, verimliliğin artırılması, enerji bilincinin geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda gerekli olan yönergeleri kapsamaktadır (Resmi Gazate, 2007).

- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Enerji Verimliliği Kanunu'nu takiben, 5/12/2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmi Gazete'de Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yayınlanmıştır. Yönetmelik, çevrenin korunması amacıyla, binaların enerji tüketimlerinin hesaplanması, binaların enerji

tüketimlerine ve saldıkları emisyonlara göre sınıflandırılması, bina performans kriterlerinin oluşturulması ve uygulanması, binalarda kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının analiz edilmesi konularını kapsamaktadır. Hesaplamalar için coğrafi koşullara göre, Türkiye belli bölgelere ayrılmaktadır. Bunun dışında mekan gereksinimleri, maliyet konuları da dikkate alınmaktadır (Resmi Gazete, 2008). Yönetmelikte, 1.000 m^2'nin üzerinde kullanım alanına sahip binalarda tasarımcıların, ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su ve elektrik ihtiyaçları için, hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji teknolojilerinin analizini yapması gerekliliği vurgulanmaktadır. Analizler sonucunda, teknolojilerin ilk yatırım maliyetinin, inşaat alanı 20.000 m^2'ye kadar olan binalarda 10 yıl, inşaat alanı 20.000 m^2 ve daha büyük binalarda 15 yılda karşılanması halinde, uygulanması zorunludur. Ayrıca kullanım alanı 1.000 m^2'den fazla olan otel, hastane, yurt, vb. yeni binalar (konaklama amaçlı konut harici) ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıcak su sistemlerinde, güneş enerjisi toplayıcılarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında, 2017 yılında yayınlanan "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" ile fonksiyonuna göre, binanın enerji tüketimini, enerji performans sınıfını tanımlamak amacıyla geliştirilen bina enerji performansı hesaplama yöntemi yayınlanmıştır (Resmi Gazete, 2017). Hesaplama yöntemi sonucunda binaya verilen Enerji Kimlik Belgesi (EKB), binanın enerji tüketim sınıflandırmasını, yalıtım özelliklerini, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma konularında verimliliğini içeren belgedir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde 2022 yılında "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile değişiklik yapılmış olup, yönetmeliğin onuncu bölümünün başlığı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve NSEB" olarak değiştirilmiş ve Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) tanımı mevzuata eklenmiştir (Resmi Gazete, 2022). Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB), enerji performansı yüksek ve belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip bina olarak tanımlanmıştır. NSEB özelliğinde olan binaların, Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya A olması ve binanın enerji ihtiyacının en az %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması zorunludur. Yönetmeliğe göre 1/1/2023

tarihi itibarıyla yeni inşa edilecek 5.000 m^2 üzeri binaların NSEB olması zorunlu iken, 1/1/2025 tarihine kadar yenilenebilir enerji kullanım oranı en az %5 olarak uygulanabilecektir. 1/1/2025 tarihi itibarıyla ise 2.000 m^2 üzeri tüm binaların NSEB olması zorunluluğu getirilmiştir. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (Onikinci bölüm) kapsamında enerji kimlik belgesinde binanın yenilenebilir enerji kullanım oranı gösterilmektedir (Resmi Gazete, 2022).

- Kalkınma Planları

11. Kalkınma Planında (2019-2023) yenilenebilir enerji konusuna verilen önemden bahsedilmiş olup yenilebilir enerji alanındaki hedefler yayınlanmıştır. "Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin artırılması, verimli ve enerjisini kendi üreten binaların yaygınlaştırılması, Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi kurulması ve kendi elektrik ihtiyacını karşılamak amaçlı lisanssız güneş enerjisi santrali ile rüzgâr enerjisi santrali uygulamalarının yaygınlaştırılması planlanmıştır" (SBB, 2019).
12. Kalkınma Planı (2019-2023) kapsamında da enerji krizi ve YET konusu vurgulanmaktadır (SBB, 2023).

- Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP)

ETKB koordinasyonunda, enerji tüketimini azaltma hedefiyle hazırlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), "29/12/2017 tarihli Yüksek Planlama Kurulu onayı ile 02/01/2018 tarihli ve 30289 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir" (Resmi Gazete, 2018). UEVEP bina ve hizmetler alanında 12 eylem içermektedir. UEVEP 2022 Yılı Gelişim Raporuna göre bina ve hizmetler sektöründe; Türkiye-Danimarka Enerji Verimli ve Düşük Karbonlu Isıtma ve Soğutma Projesi kapsamında pilot uygulama için Manisa Büyükşehir Belediyesi ve Kütahya Belediyesi seçilmiştir. Jeotermal enerji, biyokütle, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından veya endüstriyel tesisler, termik santraller veya çöp yakma tesislerinin fazla ısılarından yararlanacak şekilde yerel ısıtma/soğutma planlarının yapılması ve elde edilen deneyimlerle belediyelere örnek bir kılavuz planlama çalışmaları yürütülmüştür.

AB Enerji Verimliliği Direktifinin 14. maddesi ile uyumlu olarak bölgesel ısıtma arz ve talep potansiyelinin ortaya konulması amacıyla "Isıtma ve Soğutma Talebinin Kapsamlı Değerlendirilmesi Raporu" hazırlanmıştır. Rapora göre konutlarda 131 TWh/yıl olan

ısıtma talebinin 2040 yılına kadar %50 oranında artış göstererek 198 TWh değerine ulaşabileceği öngörülmüştür. Yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ile 2040 yılına kadar 5 milyon konuta maliyet etkin şekilde düşük karbonlu ve verimli bölgesel ısıtma sistemlerinin bağlanma potansiyelinin bulunduğu belirlenmiştir. "Tarımsal üretim yapılarında (sera, ahır, ağıl, kümes vb.) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik 100 projeye 73 milyon TL hibe desteği verilmiştir. Binalarda yenilenebilir enerji ve kojenerasyon sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, tarımsal üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi konuları ile yapılan tasarruflar raporlanmıştır" (UEVEP, 2022).

- Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği

"Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği (2019) ile elektrik enerjisi üretebilecek, gerçek veya tüzel kişilerin lisans almadan ve şirket kurmadan elektrik üretimi yapabilmelerinin önü açılmıştır.

Bu model ile:

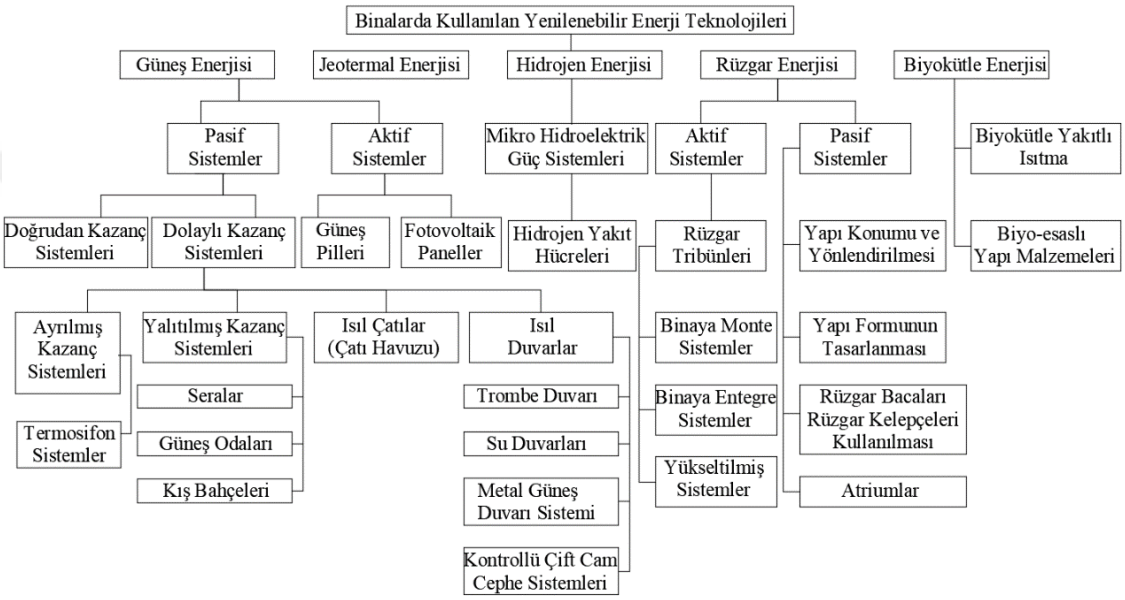
- Elektrik piyasasında, tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarını tüketim noktasına en yakın kendi üretim tesisinden karşılaması (öz tüketim modeli)
- Arz güvenliği için küçük ölçekli üretim tesislerinin de ülke ekonomisine kazandırılması
- Dağıtık üretim yöntemi ile elektrik şebekesinde iletim/dağıtım maliyetleri ile kayıp miktarlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır" (Resmi Gazete, 2019).

2.2. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Binalarda Kullanılması

Yenilenemez kaynakların tükenmesi, binalarda yenilenebilir enerji kullanımının önemini gündeme getirmiştir. Bina yükünün bir bölümünü karşılamak için yenilenebilir enerji sistemlerini kullanmak gitgide yaygınlaşmaktadır. Dünyanın yenilenebilir olmayan kaynakları üzerindeki baskı, dünyadaki yenilenebilir kaynakların kullanımıyla azaltılabilmektedir. Bir binanın elektrik ihtiyacını karşılamak için YET kullanmak, geleneksel enerji tüketimini azaltmaktadır. AB, 2023-2027 yılları arasında fosil yakıt ithalatını aşamalı olarak durdurup 2025 yılına kadar tüm kamu binalarının çatılarına fotovoltaik çatı (PV) kurmayı hedeflemektedir (EC, 2023). Çin, tüm yeni kamu binaları ve fabrikalar için 50 GW güneş PV gücü kurulum kapasitesinin hedeflendiği kentsel binalarda yerinde yenilenebilir enerji uygulamasını teşvik etmektedir (Chinese Development Plan, 2022). Yenilenebilir enerji, Çin'deki bina enerji kullanımının yaklaşık %20'sinden sorumludur (Liu vd, 2023). YET, binalarda elektrik üretimi, ısıtma, soğutma ve havalandırma amaçlı kullanılabilmektedir. YET'in binalarda kullanımı için çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. YET ile yerinde enerji üretimi bina enerji ihtiyacının karşılanmasında sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. YET'in binalarda kullanılması, yerel enerji üretimi ile enerji bağımlılığına çözüm sunar, çevre korunuma katkı sağlar, doğal kaynakların tükenmesini önler ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluşturur (Savaş, Gül, 2018; Şimşek, Demir, 2019; Kaynak, Kaya, 2018; Yıldız, Bayram, 2019).

"Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre, yenilenebilir enerji kavramı hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarından elde edilebilen enerjiyi anlatmaktadır" (Resmi Gazete, 2008). ETKB'na göre yenilenebilir enerji çeşitleri; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, nükleer enerji, dalga, gel-git enerjisidir (ETKB, Elektrik enerjisi, 2022). Kara ve Akın (2017), yenilenebilir enerji kaynaklarını, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji olarak sınıflandırmıştır (Kara ve Akın, 2017). NREL, (2011)'e göre binalarda kullanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojilerine örnekler; güneş enerjili elektrik veya fotovoltaik (PV) sistemler, güneş enerjili sıcak su (kullanım suyu ısıtma ve alan ısıtma), güneş enerjili havalandırma ve ön ısıtma, jeotermal ısı pompası, rüzgar türbinleri ve biyokütle sistemleridir. Ma ve diğerleri (2023), binalarda kullanılan

yenilenebilir enerji teknolojilerini rüzgar (binaya monte, binaya entegre ve bina dışı), güneş (aktif ve pasif sistemler), jeotermal, biyokütle (biyokütle yakıtlı ısıtma, biyobazlı bina malzemeleri) ve diğerleri (mikro hidrogüç sistemler, hidrojen hücreleri) olarak gruplandırmıştır (Ma vd., 2023). Güneş, rüzgar, hidrojen, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji teknolojileri Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, elektrik ve ısıtma-soğutma taleplerini karşılamak için binalara entegre edilebilmektedir (Kara ve Akın, 2017; Toprak ve Küçük, 2018; NREL, 2011; ETKB, 2022; Ma vd., 2023).



Şekil 2.1. Binalarda kullanılan yenilenebilir enerji teknolojileri (Kara ve Akın, 2017; Toprak ve Küçük, 2018; NREL, 2011; ETKB, 2022; Ma vd., 2023)

2.2.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde hidrojen gazının helyuma dönüşmesi (füzyon) ile açığa çıkan, çevreye zarar vermeyen, zararlı atık üretmeyen, düşük maliyetli, kullanımı ve uygulaması kolay tükenmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (ETKB Güneş, 2023). ETKB'e göre, güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1970'lerden sonra artmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerlemiş ve maliyeti azalmıştır (ETKB Güneş, 2023).

Güneş enerjisinin kullanım alanları

Yöntem, malzeme ve teknolojik sistem bakımından çeşitlilik gösteren pek çok güneş enerjisi teknolojisi bulunmaktadır. Güneş enerjisini ışık ya da ısı enerjisi şeklinde doğrudan kullanımları yanında, güneş enerjisinden elektrik elde etmek amacıyla fotovoltaikler gibi güneşten gelen ışığın doğrudan elektriğe çevrildiği aktif sistemler de kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları, doğrudan veya dolaylı elektrik üretimi, sıcak su teknolojileri, ısıtma ve soğutma teknolojileri, sanayi yapıları için proses ısı enerjisi ve sera ısıtması sayılabilmektedir (ETKB Güneş, 2023; Australian Renewable Energy Agency, 2022; NREL, 2011). Yerinde üret, yerinde tüket anlayışı ile enerji ihtiyacı, binaların çatı ve cephelerinde, güneş enerjisi teknolojileri ile elektrik üretimi yapılarak karşılanabilmektedir. Güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik uygulamalar ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amaçlı teknolojiler Çizelge 2.4'de verilmiştir (ETKB Güneş, 2023).

Çizelge 2.4. Güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik uygulamalar ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amaçlı teknolojiler (ETKB Güneş, 2023)

Güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik uygulamalar	**Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amaçlı teknolojiler**
Düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri (konutlar yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su), Güneş havuzları, Güneş bacaları, Su arıtma sistemleri, Güneş mimarisi, Ürün kurutma, Sera ısıtma sistemleri, Güneş enerjisi ile pişirme	Yoğunlaştırıcılı ısıl güneş enerjisi teknolojileri (parabolik oluklu kolektörler, parabolik çanak sistemleri, merkezi alıcılı sistemler), Fotovoltaik güneş teknolojileri

Australian Renewable Energy Agency, (2022) binalarda kullanılabilecek güneş enerji teknolojileri aşağıdaki gibi sınıflandırmaktadır;

-Elektrik üretimi

•Genellikle çatıya monte edilen güneş panellerini kullanarak doğrudan güneşten elektrik üreten çatı üstü fotovoltaik (PV) sistemler

•Çatıda, duvarlarda ve hatta bazı durumlarda pencerelerde (şeffaf paneller kullanarak) binaya entegre edilmiş güneş panellerini kullanarak doğrudan güneşten elektrik üreten entegre PV sistemler

-Sıcak su sistemleri

•Suyu doğrudan güneşten ısıtan güneş enerjisi sistemleri

•Havadan, sudan veya zeminden gelen sıcaklığı kullanarak suyu ısıtan ısı pompaları

-Solar ısıtma ve soğutma sistemleri

•Güneşin ısısını soğutma ve / veya nem alma işlemlerini yürütmek için kullanan güneş termal soğutma

•Çevredeki havadan, sudan veya yerden ısı çeken ve artıran ısı pompaları gibi güneş enerjisiyle ısıtma sistemleri

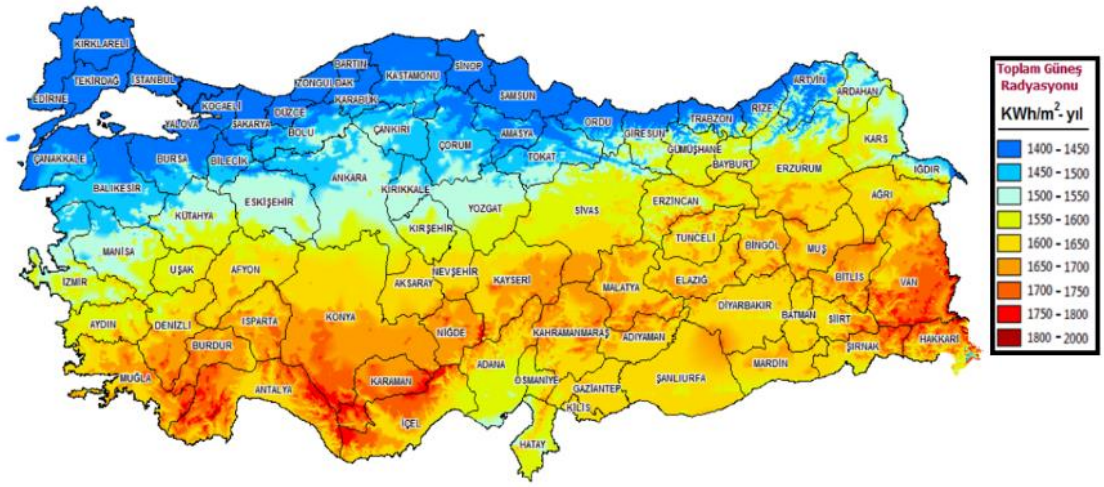
•Binaları 'aktif' ısıtma ve soğutma sistemlerine ihtiyaç duymadan doğal olarak ısıtan veya soğutan 'pasif' güneş enerjisi tasarım çözümleri

Güneş enerjisi sistemleri binaların ısıtma, soğutma, elektrik ve aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla son derece uyumlu bir şekilde uygulanabilmektedir. Güneş enerjisi termal kollektörleri ve fotovoltaik paneller, evlerin, otellerin, spor merkezlerinin vb. cepheleri ve yatay veya eğimli çatıları gibi yüzeylerde kullanılabilmektedir (Chel, Kaushik, 2018). Binalarda fotovoltaik hücre, güneş enerjili su ısıtıcı ve güneş enerjili iklimlendirme sistemi aracılığıyla güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir (Yuan, Wang ve Zuo, 2013). Çin'de güneş enerjili su ısıtıcı en yaygın kullanılan teknoloji olup dünya çapında üretim ve kullanımda birinci sırada yer almaktadır (Lang, 2004). Ma ve diğerleri (2023) yaptıkları çalışmada, PV ve fotovoltaik/termal (PVT) sistemlerin, çatılar, avlular, tavan pencereleri, havalandırmalı cepheler, çift cidarlı cepheler ve pencere perdeleri dahil olmak üzere çeşitli bina elemanlarına entegre edilebileceğini belirtmiştir. (Ma ve diğerleri, 2023).

ABD Enerji Bakanlığı, 10 yıl içinde güneş enerjisi fiyatlarını %60 oranında düşürme hedefini açıklamıştır ve bu hedefe yönelik fon ayırmaktadır. 2021 yılında 4,6 sent/kWh olan fiyatı, 2025 yılına kadar 3 sent/kWh'ye, 2030 yılına kadar ise 2 sent/kWh'ye düşürmeyi ummaktadır (IEA, 2022). Güç kaynağı kirliliğinin azaltılmasında yaygın olan PV sistemlerinin, 2050 yılına kadar toplam yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin yarısından fazlasını oluşturması beklenmektedir (Kuşkaya vd, 2023). Şebekeye bağlı PV üretiminin payı sürekli artmaktadır. Örneğin 2021 yılında Çin'in şebekeye bağlı PV kapasitesi 108.580 MW iken Avustralya, Almanya, Japonya ve ABD için sırasıyla 17.037, 48.559, 48.292 ve 42.677 MW olmuştur. Tüm bu ülkeler ayrıca merkezi PV üretimi için yüksek bir kapasiteye sahiptir (Statista, 2023).

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından iyi bir coğrafi konumdadır. ETKB tarafından oluşturulan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, "ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat ve ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m^2'dir". GEPA Türkiye güneş enerji potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı Şekil 2.2 'de yer almaktadır (GEPA, 2023; ETKB Güneş, 2023).



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (GEPA, 2023; ETKB Güneş, 2023)

Şehir ve ilçe olarak, global radyasyon değerleri (KWh/ m^2-gün), aylık ortalama radyasyon değerleri, güneşlenme süreleri (saat) ve PV tipi-alan üretilebilecek enerji (KWh-Yıl)

verilerine GEPA aracılığıyla erişilebilmektedir. Enerji atlası verileri de şehir bazında işletmedeki ve yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri gibi pek çok istatistik bilgiyi içermektedir (Enerji Atlası, 2023).

ETKB (2022) verilerine göre, haziran itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 8,479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35'tir. Çoğunluğunu lisanssız elektrik santrallerin oluşturduğu güneş enerjisi kurulu gücü dağınık yapılıdır. ETKB' den alınan verileri aktaran AA, "Türkiye'nin 78 ilinde güneş enerjisi santralleri bulunduğu bilgisini vermektedir. Konya, 1167,50 megavatla güneş enerjisinde en yüksek kurulu güce sahip il olmakta; 415,8 megavatı bulan kapasitesiyle Ankara, 383,5 megavatla Şanlıurfa, 346,5 megavatla Kayseri ve 306,9 megavatla İzmir, Kahramanmaraş 264,7 megavat, Gaziantep 260,8 megavat, Afyonkarahisar 252,3 megavat, Antalya 241,7 megavat ve Manisa 234,8 megavat, Mersin 217,5 megavatla güneş enerjisinde kurulu gücü en yüksek şehirler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin 20 ilinde 100-200 megavat, 9 ilinde de 50-100 megavat arasında güneş enerjisi kapasitesi bulunmaktadır. Güneş enerjisinde 18 şehirdeki kapasiteler 10-50 megavat arasında değişirken, 20 şehirde 10 megavat ve altında güneş enerjisi kurulu gücü mevcuttur. Rize, Hakkari ve Artvin ise Türkiye'de güneş enerjisi kapasitesinin bulunmadığı üç il olmaktadır" (AA, 2022). Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.5'te yer almaktadır (ETKB Güneş, 2023).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2022 verilerine göre, Türkiye'de 11,6 milyon adet bina bulunmaktadır ve bu binaların %87'ye yakını konut binalarıdır. ETKB Güneş enerjisi verilerine göre, Türkiye bina istatistiklerine her yıl 100.000'den fazla yeni bina işlenmektedir. Binaların çatı ve cepheleri, güneş enerjisi yatırımlarının yapılabileceği potansiyel alanlar olarak görülmektedir. Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları Çizelge 2.6'da gruplandırılmıştır (ETKB Güneş, 2023). Bunun yanı sıra, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde yer alan, "Türkiye'de yapı kullanım alanı 2000 m^2'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar gibi konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerinde güneş enerjisi ile desteklenen merkezi sıhhi sıcak su sisteminin planlanması şartı" ile bahsi geçen yapılar da güneş enerjisi potansiyel alanları olmuştur (Mevzuat, 2022).

Çizelge 2.5. Güneş enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Güneş, 2023)

Yıl	**Kurulu Güç (MW)**	**Toplam kurulu güç içerisindeki oranı**
2011	0	%0,00
2012	0	%0,00
2013	0	%0,00
2014	40	%0,06
2015	249	%0,34
2016	833	%1,06
2017	3.421	%4,01
2018	5.063	%5,72
2019	5.995	%6,57
2020	6.667	%6,95
2021	7.816	%7,83
2022	8.479	%8,35

Çizelge 2.6. Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları (ETKB Güneş, 2023)

Türkiye'de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları	
Konutlar- müstakil evler	Alışveriş merkezleri
Yazlık müstakil yeni evler	Kıyı şeridindeki turistik tesisler
Site ve apartman çatıları	Oteller
Kentsel dönüşüm kapsamında yeni yapılar	Ticarethaneler (depo, lojistik merkezi vb)
Otoparklar	Kamu binaları
Petrol istasyonları	Askeri tesisler
Kapalı pazar yerleri	Okullar
Büfeler	Havaalanı tesisleri
Fabrika çatıları	İbadethaneler
Stadyumlar ve spor salonları	Tarımsal işletmeler
Ahır ve kümes çatıları	Otobüs durakları

2.2.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgarın temel kaynağı güneştir. Güneş kaynaklı radyasyonun yer küreyi homojen ısıtmaması, farklı sıcaklık, basınç ve nem değerlerine sebep olmaktadır ve farklı basınç da rüzgarları oluşturmaktadır. Rüzgar özellikleri zamansal olarak, coğrafi farklılıklara ve yeryüzünün farklı ısınmasına bağlı olarak değişmektedir. Rüzgar, hız ve yön parametreleri ile tanımlanmaktadır. Rüzgar hızı yükseklikle artmakta ve teorik güç de hız ile bağlantılı olarak değişmektedir (ETKB Rüzgar, 2023).

ETKB'ye göre, "rüzgar enerjisi teknolojilerinin dezavantajı, yüksek ilk yatırım maliyeti, sabit enerji üretimi yapılamaması ve düşük kapasite faktörüdür. Avantajlar ise;

- Çevre dostu, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olması,
- Maliyetinin diğer enerji teknolojileriyle rekabete uygun olması,
- Düşük bakım, onarım ve kullanım maliyetleri,
- Teknolojik olarak uygulama ve kullanım kolaylığı, kısa süreli uygulama ve kurulum" olarak verilmiştir (ETKB Rüzgar, 2023).

Rüzgar enerjisi kullanım alanları

Rüzgar enerjisi, binalarda aktif ve pasif sistemlerle, havalandırma, soğutma ve elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kullanılabilmektedir (Toprak ve Küçük, 2018). Elektrik enerjisi üretmek için kullanılan rüzgar türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

İngiltere, İsveç, Hollanda ve diğer gelişmiş ülkeler, 2001 yılından bu yana şehirlerde ve yüksek binalarda, rüzgar enerjisi üretimine ilişkin araştırma ve uygulamaları teşvik etmektedir. Bu teşvikler, elektriğin uzaktan taşınmasından doğan maliyetlerin düşmesine ve yatırım maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır (Ai, 2009). Çin'deki hızlı kentleşme sonucunda, küçük ölçekli rüzgar türbinleriyle entegre edilebilecek çok sayıda binanın ortaya çıkması, rüzgar potansiyelinin değerlendirilmesi konusunu gündeme getirmiştir (Yuan, Wang ve Zuo, 2013). Rüzgar enerjisi, geniş açık alanlar ve kentsel alanlardan uzak olmayı gerektirmesine rağmen, yoğun nüfuslu kentsel ortamlarda yüksek binaların çoğalması yeni fırsatlar doğurmuştur (Ma vd, 2023). Düzgün aralıklarla

yerleştirilmiş yüksek binalar, rüzgar enerjisini kısa mesafelerde kullanabilmekte ve aktarabilmektedir. Rüzgar enerjisi, kentlerde yüksek bina enerji talebinin yaklaşık %10 ila %20'sini karşılama potansiyeline sahiptir ve kentsel rüzgar enerjisi sistemleri ağırlıklı olarak binalara ve bitişik arazilere yerleştirilen, tipik olarak 1 ila 20 kW arasında değişen rüzgar türbinlerinden oluşmaktadır (Kwok, Hu, 2023). Bununla birlikte, rüzgar enerjisi sistemlerinin uygun şekilde tasarlanması ve verimli bir şekilde konumlandırılması için yerel çevre koşullarının ve kentsel sınır katmanlarının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Arnfield, 2003).

Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli

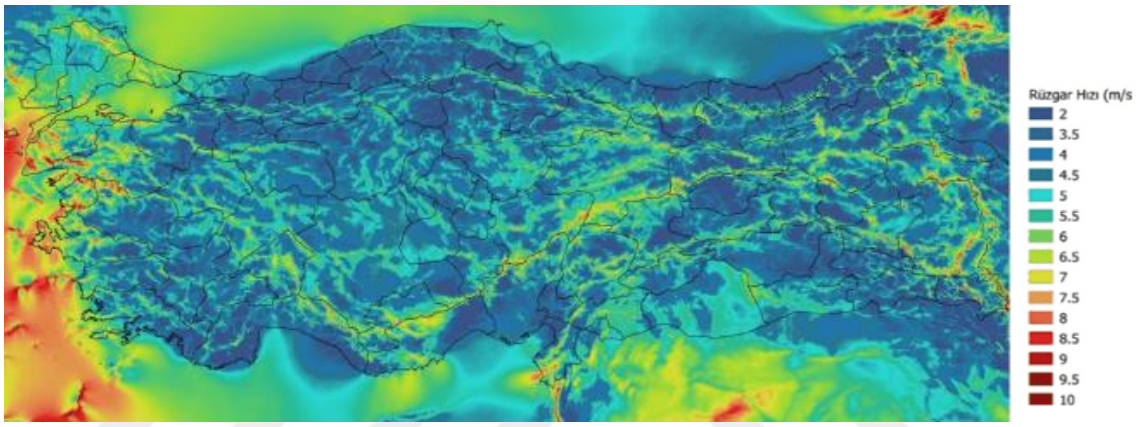
2006 yılında hazırlanan, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre "yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip alanlarda, kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiş ve Türkiye'de kurulabilecek rüzgar elektrik santrallerinin toplam kapasitesinin 47.849,44 MW olduğu belirlenmiştir" (ETKB Rüzgar, 2023; REPA, 2023).

REPA'da aşağıda yer alan rüzgar kaynak bilgileri üretilmiştir:

- "Yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük rüzgar hız ortalamaları (30, 50, 70 ve 100 m yüksekliklerde),
- Yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgar güç yoğunlukları (50 ve 100 m yüksekliklerde),
- Yıllık kapasite faktörü (50 m yükseklikte),
- Yıllık rüzgar sınıfları (50 m yükseklikte),
- Aylık sıcaklık değerleri (2 ve 50 m yüksekliklerde),
- Aylık basınç değerleri (deniz seviyesinde ve 50 m yüksekliklerde)" (ETKB Rüzgar, 2023).

Avrupa Birliği finansmanı ve Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası'nın destekleriyle ETKB koordinasyonunda güncellenen REPA ile, yer seviyesinden 30, 60, 100 ve 150 metre yükseklikler için rüzgar kaynak bilgileri ve 100 metre yükseklikler için rüzgar yönü verileri üretilmiş ve bu parametreler kullanılarak güç yoğunluğu, rüzgar sınıfı ve 3 MW gücündeki bir rüzgar türbini için kapasite faktörü ile yıllık enerji üretimi değerleri

hesaplanmıştır (REPA, 2023). Bu güncelleme ile elde edilen rüzgar kaynak bilgileri doğrultusunda, rüzgar türbini teknolojilerinin gelişmesi, yatırım maliyetleri ve değişen kullanılamaz alan kabulleri gibi faktörler dikkate alınarak revizyon çalışmaları sürdürülmektedir (ETKB Rüzgar, 2023). İl ve coğrafi bölgeler bazlı bilgilere REPA üzerinden erişilebilmektedir. Şehir bazında işletmedeki ve yapım aşamasındaki rüzgar enerji santralleri gibi pek çok istatistik veriyi ayrıca enerji atlası işlemektedir (Enerji Atlası, 2023). ETKB Ritm aracılığıyla rüzgar gücü izleme ve tahmin verilerine erişilebilmektedir (ETKB Ritm, 2023).



Şekil 2.3. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritası (REPA, 2023; ETKB, 2023)

2022 haziran itibariyle rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 10.976 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı % 10,81 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.7' de yer almaktadır (ETKB Rüzgar, 2023).

ETKB'den alınan verileri aktaran AA'ya göre, "Türkiye'de illere göre kurulu güç sıralamasında İzmir ilk sırada yer almaktadır. İzmir, rüzgar türbinleri bileşenlerinin üretimi yanında bakım, onarım, servis hizmetlerinde de çevresinde bulunan rüzgar santrallerine 1 ila 3 saatlik mesafede olması sayesinde sektörde önemli bir noktada bulunmaktadır. İzmir'in ardından Balıkesir 1358,3 megavat, Çanakkale 895,5 megavat, İstanbul 776,2 megavat, Manisa 701,6 megavat, Hatay 420,2 megavat, Aydın 387,3 megavat, Kırklareli 384,8 megavat, Bursa 349,7 megavat ve Afyonkarahisar 323,8 megavatla rüzgar enerjisi kurulu gücü en yüksek ilk 10 şehir olarak sıralanmaktadır. Kayseri 273 megavatla bu illeri izlerken, 6 şehirde 200-300 megavat arasında, 9 ilde ise 100-200 megavat arasında rüzgar enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Karasal rüzgar

enerjisinde Türkiye'nin tüm bölgelerinde üretim potansiyeli bulunurken, deniz üstü rüzgar santrallerinden elektrik üretiminde Ege Denizi'nin coğrafi yapısı nedeniyle yüksek potansiyeli bulunmaktadır" (AA, 2022).

Çizelge 2.7. Rüzgar enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Rüzgar, 2023)

Yıl	Kurulu Güç (WM)	Toplam kurulu güç içerisindeki oranı
2011	1.729	%3,27
2012	2.261	%3,96
2013	2.760	%4,31
2014	3.630	%5,22
2015	4.503	%6,16
2016	5.751	%7,33
2017	6.516	%7,65
2018	7.005	%7,91
2019	7.591	%8,32
2020	8.832	%9,21
2021	10.607	%10,63
2022	10.976	%10,81

2.2.3. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, dünyanın çeşitli derinliklerinde biriken sıcaklığın oluşturduğu, sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir (ETKB Jeotermal, 2023). ETKB (2023)'ye göre jeotermal enerji, yenilenebilir, temiz, ucuz ve çevre dostu olan yerli bir yeraltı kaynağıdır.

Jeotermal enerjinin kullanım alanları

Jeotermal enerjinin başlıca kullanım alanları, elektrik enerjisi üretimi, termal tesisler ve konut ve seraların ısıtılmasıdır. ETKB'ye göre jeotermal enerji aşağıdaki şekillerde kullanılmaktadır:

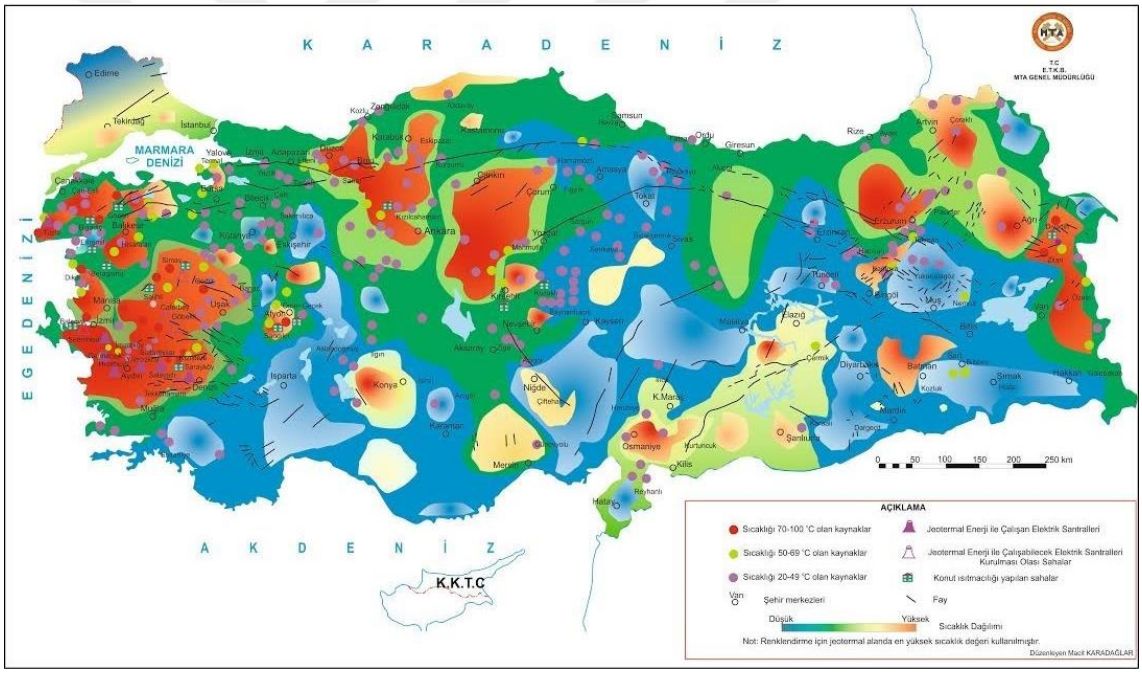
- “Elektrik üretimi; jeotermal sahalarda açılan kuyulardan üretilen akışkan seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra türbin ve jeneratör ile elektrik enerjisi üretilir.
- Isı üretimi; düşük sıcaklık, basınç ve debideki jeotermal kaynakların sera, organik tarım, ürün kurutma, bölgesel ısı ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla değerlendirilmesidir.
- Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımı; insan sağlığına yararlı mineraller içerebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı suların sağlık amaçlı kullanımıdır” (ETKB Jeotermal, 2023).

Jeotermal enerji, binalarda ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılabilmektedir. Jeotermal ısı pompaları, binalarda ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır (Toprak ve Küçük, 2018). 2008 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne göre, ısı pompası: toprakta, havada ve suda düşük sıcaklıkta mevcut olan enerjinin, ısıtma ve/veya soğutma yapmak amacıyla bina içine iletilmesini sağlayan düzeneği anlatmaktadır (Resmi Gazete, 2008).

Jeotermal enerji, geleneksel ısıtma ve soğutma ekipmanlarına göre %30-70 enerji tasarrufu sağlayan ısı pompası teknolojisi aracılığıyla binalarda kullanılabilmektedir (Li, 2010). Çin hükümeti, özellikle hastanelerde ve okullarda ısı pompası teknolojisinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Çin’de 160 ısı pompası kullanan proje istatistiklerinde kullanım oranına göre bina tipleri sırasıyla ofis binaları, oteller, yerleşim alanları, fabrika binaları, turizm binaları; pazar binaları, okul binaları, hastane binaları şeklindedir. En yoğun kullanım %40 oranı ile ofis binalarındadır (Zhang, Wang ve Bao, 2008). Resmi istatistiklere göre, Çin'deki jeotermal ısıtma alanı hızla artarak 1990'da 1,9 milyon m^2'den 2000'de 11 milyon m^2'ye çıkmıştır (Ma ve Tian, 2006). 2008 yılı ortası itibarıyla ısıtma (soğutma) alanı yıllık %20 artışla 80 milyon m^2'ye ulaşmıştır (Lin, Lin ve Wang, 2010). Bu durum jeotermal enerjinin binalarda kullanılmasına yönelik bir pazar yaratmaktadır (Yuan, Wang ve Zuo, 2013).

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli

Türkiye "jeolojik ve coğrafik konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal açıdan dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Türkiye geneline yayılmış olarak 1.000 adet doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar mevcuttur. Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'nın 1. ülkesi ve kurulu güç bakımından ise Dünyanın 4. ülkesi konumundadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir. Jeotermal kaynakların dağılımını gösteren harita" Şekil 2.4'de yer almaktadır (ETKB Jeotermal, 2023). Şehir bazında işletmedeki ve yapım aşamasındaki jeotermal enerji santralleri gibi pek çok istatistik bilgilerine ayrıca enerji atlası verilerinden de erişilmektedir (Enerji Atlası, 2023).



Şekil 2.4. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli haritası (REPA, 2023; ETKB, 2023)

Bölgesel ısıtmanın yanı sıra elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılan jeotermal enerji kurulu gücü 2022 haziran itibariyle 1686 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %1,66 olup, yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.8'de yer almaktadır (ETKB Jeotermal, 2023).

ETKB 2023 verilerine göre, “jeotermal potansiyeli yüksek olup, potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9’u İç Anadolu'da, %7’si Marmara Bölgesi’nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10’ u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. 2005 yılından itibaren ETKB desteğiyle, mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranmasına ağırlık verilmiştir. 2004 sonu itibari ile 3.100 MWt olan kullanılabilir jeotermal ısı kapasitesi; 2008 yılında, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu’nun yürürlüğe girmesi sonrasında, özel sektörün jeotermal arama, geliştirme ve yatırım çalışmalarına katılımı ile hızla artmıştır. Türkiye’nin muhtemel jeotermal ısı potansiyeli 35500 MWt’e elektik üretimi potansiyeli ise 4500 MWe olarak tahmin edilmektedir” (ETKB Jeotermal, 2023). Enerji atlası verilerine göre jeotermal enerjinin kullanıldığı iller, Denizli, Aydın, Manisa, İzmir, Çanakkale, Balıkesir, Afyonkarahisar olarak görülmektedir (Enerji atlası, 2023).

Çizelge 2.8. Jeotermal enerjinin Türkiye’de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Jeotermal, 2023)

Yıl	**Kurulu Güç (WM)**	**Toplam kurulu güç içerisindeki oranı**
2011	114	%0,22
2012	162	%0,28
2013	311	%0,49
2014	405	%0,58
2015	624	%0,85
2016	821	%1,05
2017	1.064	%1,25
2018	1.283	%1,45
2019	1.515	%1,66
2020	1.613	%1,68
2021	1.676	%1,68
2022	1.686	%1,66

2.2.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütle, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında; İthal edilmemek kaydıyla; belediye atıklarının (çöp gazı dâhil) yanı sıra bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıkları, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları olarak tanımlanmaktadır" (Mevzuat, 2005; Resmi Gazete, 2005).

Biyokütle enerjisi kullanım alanları

Biyokütle enerjisi, bitkisel atıklar veya biyokütle türleri gibi organik malzemelerden üretilmekte ve binalarda ısı veya elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilmektedir (Han, 2023). Biyokütle kazanları, binalarda ısıtma ve sıcak su için kullanılmaktadır (Toprak ve Küçük, 2018).

ETKB (2023) verilerine göre, biyokütle kaynakları aşağıda verilmiştir:

"Tarımsal Biyokütle Kaynakları

- Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği, soya vb.)
- Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı vb.)
- Elyaf bitkileri (keten, kenevir, sorgum, miskantus, vb.)
- Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, vb.)

Orman ve Orman Ürünlerinden Elde Edilen Biyokütle Kaynakları

- Orman ve ormancılık endüstrisi atık ve artıkları, enerji ormanları, enerji bitkileri

Hayvansal Biyokütle Kaynakları

- Büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar

Kentsel ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Kaynakları

- Biyolojik kökenli endüstri atıkları, belediye atıkları, arıtma çamurları" (ETKB Biyokütle, 2023).

Biyokütle kaynaklarından enerji üretebilmek için termokimyasal (doğrudan yakma ve gazlaştırma, piroliz ve katalitik sıvılaştırma), biyokimyasal (fermantasyon, biyometanizasyon), fizikokimyasal (transesterifikasyon), fiziksel (parça boyutu küçültme, yoğunlaştırma ve sıkıştırma) yöntemler kullanılabilmektedir. Doğrudan yakma ile ısı/buhar; gazlaştırma, piroliz ve katalitik sıvılaştırma ile sentez gazı, pirolitik yağ ve sıvı yağ; fermantasyon ile biyoetanol; biyometanizasyon ile biyogaz; transesterifikasyon ile biyodizel; parça boyutu küçültme, yoğunlaştırma ve sıkıştırma yöntemi ile pelet ve briket elde edilmektedir (ETKB Biyokütlenin enerjiye çevrim yöntemleri, 2023).

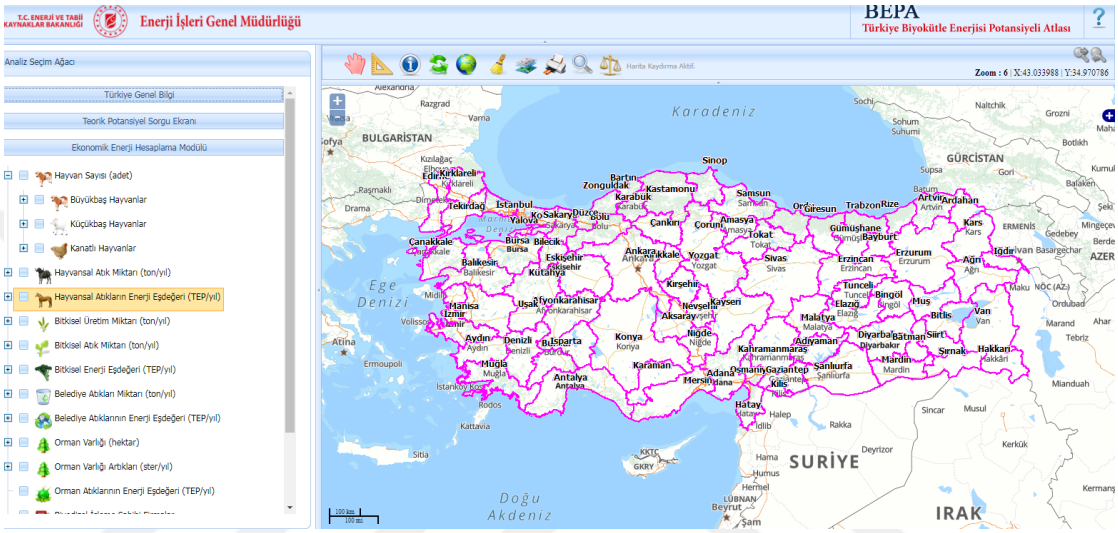
Küresel birincil enerji talebinin yaklaşık %10'unu oluşturan biyokütle enerjisi, hayati önem taşıyan bir yenilenebilir enerji kaynağını temsil etmektedir (Zu ve diğerleri, 2020). Biyokütle yakıtlı ısıtıcılar, ısı pompalarıyla birlikte binanın ısıtma ihtiyaçları için ekonomik açıdan uygun bir çözüm sağlayabilmektedir. Bu ısıtıcılar, alan ısıtma talebinin %65'ine kadarını karşılayarak şebekeye ve ısı pompalarına olan bağımlılığı etkili bir şekilde azaltmaktadır (Behzadi ve diğerleri, 2023).

Binalarda biyokütle kullanımına yönelik temel yaklaşım, kırsal ve uzak bölgelerde biyogaz üretimidir (Yuan, Wang ve Zuo, 2013). Çin hükümetleri kırsal alanlarda biyogaz tesislerinin inşası konusunda katı bir politika, destek ve düzenleme mekanizması oluşturmuştur. Kırsal biyogaz tesisleri inşaatına yapılan yatırım 2003 yılında 0,84 milyar RMB'den 2006'da 2,5 milyar RMB'ye çıkmıştır ve biyogaz projeleri 2003'te 13,2 milyondan 2006'da yaklaşık 20 milyon RMB'ye çıkmıştır. 2006 yılı sonu itibarıyla biyogaz enerjisine erişen nüfus 75 milyonun üzerine çıkmıştır (Liu, 2010; Gao ve diğerleri, 2006). Biyogaz üretimi 8,7 milyar m3'e ulaştı ve çiftçiler için toplam 7 milyar RMB gelir elde edildi (Chen ve Meng, 2007).

Türkiye biyokütle enerjisi potansiyeli

ETKB tarafından biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre, toplanabileceği değerlendirilen atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3,9 MTEP/yıl'dır (BEPA, 2023; ETKB Biyokütle, 2023). BEPA ile şehir ve ilçe olarak atık bazında teorik biyokütle potansiyeli ve ekonomik enerji hesaplama modülüne Şekil 2.5'de görülen sorgu

ekranı aracılığıyla erişilebilmektedir. Şehir bazında işletmedeki ve yapım aşamasındaki biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santralleri gibi pek çok istatistik veriyi enerji atlası da sağlamaktadır (Enerji Atlası, 2023). Enerji atlası (2023) verilerine göre, "Türkiye'de bulunan biyokütle, biyogaz, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 1.755 MW'dır. 2021 yılında biyokütle, biyogaz, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santralleri ile 7.371.770.000 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır".



Şekil 2.5. Türkiye biyokütle enerjisi potansiyeli haritası (BEPA, 2023; ETKB Biyokütle, 2023)

Türkiye'de Biyokütle Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesine Dair Yönetmelik 2023 yılında yayınlanmıştır (Mevzuat, 2023).

Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç 2022 haziran itibariyle 2.172 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2.14 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.9'da yer almaktadır (ETKB Biyokütle, 2023).

Çizelge 2.9. Biyokütle enerjisinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Biyokütle, 2023)

Yıl	Kurulu Güç (WM)	Toplam kurulu güç içerisindeki oranı
2011	115	%0,22
2012	159	%0,28
2013	224	%0,35
2014	288	%0,41
2015	362	%0,50
2016	489	%0,62
2017	634	%0,74
2018	811	%0,92
2019	1.163	%1,27
2020	1.485	%1,55
2021	2.035	%2,04
2022	2.172	%2,14

2.2.5. Hidrojen enerjisi

Hidrojen enerjisi, hidrojenin moleküllerinin ayrışmasıyla açığa çıkan kimyasal bir enerjidir. Hidrojen çeşitli yöntemlerle, elektrik ve ısı elde etmek için kullanılabilmektedir. Hidroelektrik enerji santralleri ise, belli seviyedeki suyun, düşük seviyedeki türbinlere iletilerek elektrik üretilmesi prensibine dayalı çalışmaktadır. Hidroelektrik santraller; "çevre dostu, temiz, yenilenebilir, düşük riskli, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır" (ETKB Hidrojen, 2023).

Hidrojen enerjisi kullanım alanları

Hidroelektrik enerji, su kaynaklarından toplanmakta ve binalarda elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilmektedir (Han, 2023). Binalarda denenmiş olan mikro-hidro ve hidrojen yakıt hücreleri gibi başka yenilenebilir enerji türleri de vardır. Mikro-hidroelektrik sistemler, türbinleri çalıştırmak, elektrik üretmek için akan suyun enerjisini kullanabilmekte ve genellikle uzak bölgelerdeki ev sahipleri tarafından tercih

edilmektedir. Hidrojen enerjisinin binalarda kullanımı henüz yaygınlaşmamış olsa da binalarda ısıtma ve soğutmanın karbondan arındırılması için potansiyel bir araç olarak araştırılmaktadır. Yaygın yaklaşım, binalar için hem elektrik hem de ısı üretebilen yakıt hücrelerini içermektedir (Ma ve diğerleri, 2023). Hidrojen enerjisi, potansiyelini keşfetmeye yönelik devam eden projelerle birlikte hala başlangıç aşamasındadır (Lancaster University, 2023). Binalarda hidrojen enerjisinin benimsenmesi, yüksek üretim maliyetleri, sınırlı altyapı ve hidrojenin taşınmasıyla ilgili güvenlik kaygıları gibi zorluklarla karşı karşıyadır ve bu da binalarda yaygın entegrasyonunu kısıtlamaktadır (Wu ve Zhong, 2023).

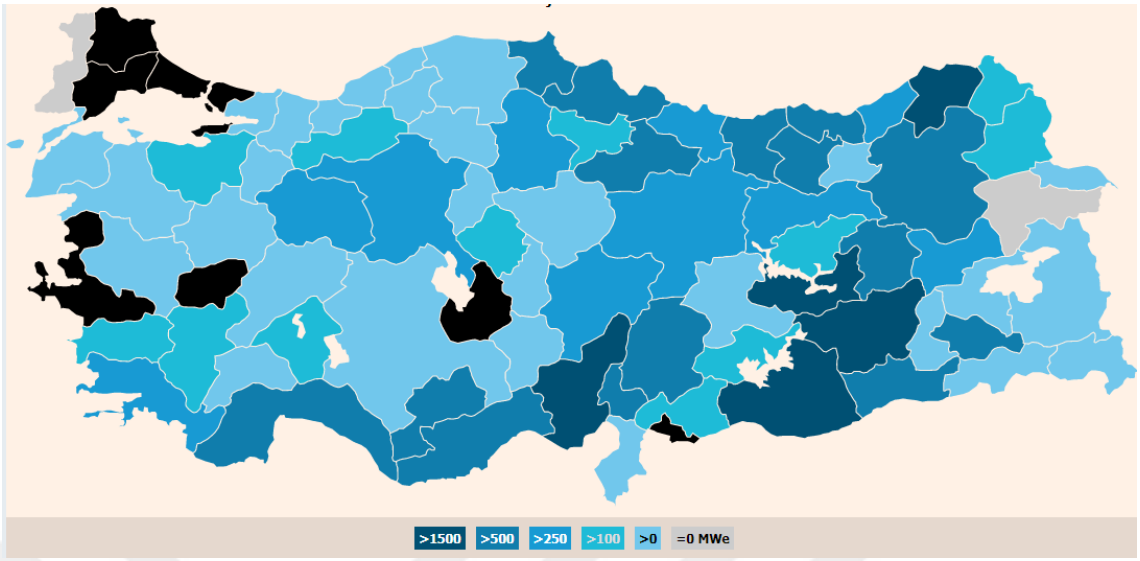
Sharifishourabi, Dincer ve Mohany'nin (2023) çalışması konut binaları için sonohidrojen sistemiyle, güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan yeni geliştirilmiş çoklu enerji üretim sistemini tanıtmaktadır. Binalar için sonik hidrojen üretimine sahip yeni bir güneş-jeotermal tabanlı entegre enerji sisteminin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi kapsamındaki çalışma hidrojen enerjisinin hibrit sistemler şeklinde kullanılabileceğine örnek oluşturmaktadır.

Türkiye hidrojen enerji potansiyeli

2021 yılında hidroelektrik kaynaklı 55,5 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2022 Mayıs sonu itibariyle hidrolik kaynaklı elektrik üretimi yaklaşık 35,2 milyar kWh değerine ulaşmıştır (ETKB Hidroelektrik, 2023).

Şehir bazında işletmedeki ve yapım aşamasındaki hidroelektrik santralleri gibi pek çok istatistik bilgisine enerji atlası verilerinden erişilebilmektedir. Türkiye'deki hidroelektrik santrallerin illere göre dağılım haritası Şekil 2.6'da verilmiştir. (Enerji Atlası, 2023) Türkiye'de bulunan hidroelektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 31.555 MW'dır. 2021 yılında hidroelektrik santralleri ile 55.695.231.650 kilovatsaat elektrik üretimi yapılmıştır (Enerji Atlası, 2023).

Haziran 2022 sonu itibariyle, hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu güç 31.558 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 2.10'da yer almaktadır (ETKB Hidrolik, 2023).



Şekil 2.6. Türkiye'deki hidroelektrik santrallerin illere göre dağılım haritası (Enerji Atlası, 2023)

Çizelge 2.10. Hidroelektrik enerjinin Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı (ETKB Hidroelektrik, 2023)

Yıl	**Kurulu Güç (WM)**	**Toplam kurulu güç içerisindeki oranı**
2011	17.137	%32
2012	19.609	%34
2013	22.289	%35
2014	23.643	%34
2015	25.868	%35
2016	26.681	%34
2017	27.273	%32
2018	28.291	%32
2019	28.503	%31
2020	30.984	%32
2021	31.493	%32
2022	31.558	%31,09

2.2. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Seçimi

Bina üretim faklı aşamalardan oluşan ve bu aşamalarda pek çok karar alınması gereken bir süreçtir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanılmasına karar verilmesi, bina üretim sürecindeki pek çok karardan biri olarak, bir teknoloji seçimidir. Bu seçim süreçte yer alan aktörlerin kararlarından etkilenir. Süreçte yer alan aktörlerin binada kullanılacak teknoloji seçimini hangi kriterlere göre yapacağı ve bu doğrultuda teknolojilerin incelenmesi, seçim kararın alınmasında önemli olmaktadır.

2.2.1. Bina üretim sürecini etkileyen aktörler

Binaların çevre üzerinde büyük bir etkisi vardır, bina üretim sürecindeki tüm aktörler (tasarımcılar (mimar/mühendis), bina sahipleri, vb) mevcut ve gelecekteki çevresel etkilerin şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Bordass W, 2001). Bina üretim sürecinde yer alan aktörlerin, bina üretim sürecinde karar alma aşamalarında, farklı bakış açıları ve öncelikleri bulunmaktadır.

Winch (2002), "proje paydaşlarını, projenin sonuçlarından etkilenen, iç ve dış aktörler olarak betimlemektedir. İç aktörler; mal sahibi (işveren), mal sahibine bağlı birimler (işverene bağlı birimler), kullanıcılar, finansörler, tasarım ekibi (mimar, mühendis, danışman, uzman), proje yönetimi, yüklenici ve alt yükleniciler, malzeme sağlayanlardır. Dış aktörler; yerel yönetim, düzenleyici kuruluşlar, ulusal yönetim, kurul ve üst denetim örgütleri, sivil toplum kuruluşları, arkeologlar, finansörler, yerel sakinler, çevreciler" olarak tanımlanmaktadır (Winch, 2002). Kılıç (2007) bina üretim sürecinde aktörleri; tasarımcılar, yöneticiler, karar vericiler, kurucular ve satıcılar, kullanıcılar olarak gruplandırmaktadır. Cooke vd. (2007) bina tasarımı sürecini etkileyen aktörleri; mimar, bina hizmetleri mühendisi, müşteri, uzman danışman, planlayıcı, proje yöneticisi, teknoloji tedarikçisi, müteahhit olarak belirlemektedir.

Mimarlar, işverenler, kullanıcılar gibi bina üretim sürecine yer alan aktörler YET kullanımına karar vermeye ilişkin kriterlere yön vermektedir. Yenilenebilir enerji teknolojisinin seçilmesi konusu, tasarım aşamasında bir bina için enerji sistemi kararı ile ilgilidir. YET kullanılması ulusal ve küresel ölçekte bir politika yasa vb. ile zorunlu olmadığı takdirde, bina üretiminde yer alan aktörlerin kararlarına bağlı gelişmektedir.

Türkiye'de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca hazırlanan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ile "2053 net sıfır emisyon binalar" hedefine ulaşılabilmesi için; normal binalara göre enerji verimliliği daha fazla olan ve kullandığı enerjinin belirli bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından temin eden "Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar" binalar konseptine geçiş aşamalı olarak zorunlu hale gelmektedir (Resmi Gazete, 2022). Bu noktada da uygun teknolojinin nasıl seçileceği konusu önemli hale gelmektedir. Geleneksel enerji sistemlerinin seçilmesi veya mevcut sistem yerine YET'in kullanılıp kullanılamayacağı seçenekler iken, YET kullanılacaksa bunların da alternatif olarak seçeneklendirilmesi gerekmektedir. Aktörler teknoloji seçim kararı aşamasında, hem nicel hem nitel faktörleri değerlendirmekte ve buna göre karar vermektedir. Bu yüzden problemin çözüm süreci çok kriterli bir karar verme sürecini gerektirmektedir.

2.2.2. Teknoloji seçimindeki kriterler

Binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımına karar verme sürecinde, aktörler tarafından karara etki eden kriterlerin tanımlanması önemlidir. Her enerji üretim ve iletim yöntemi çevreyi etkilemektedir. Geleneksel üretim seçenekleri havaya, iklime, suya, toprağa ve yaban hayatına, peyzaja zarar verebilmekte ve zararlı radyasyon seviyelerini yükseltebilmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojileri, fosil ve nükleer yakıtlarla ilişkili birçok çevresel ve sosyal soruna çözüm sunan önemli ölçüde daha güvenli teknolojilerdir (EC, 1995; EC, 1999). Yenilenebilir enerji kaynakları, yerel, doğada var olan ve kendini yenileyerek sürekliliğini devam ettiren, karbon emisyonları minimum, dışa bağımlılığı azaltan, iklim değişikliğine sebep olmayan, temiz enerji kaynaklarıdır (ETKB Elektrik enerjisi, 2022).

Yenilenebilir enerji teknolojileri, geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla önemli çevresel avantajlar sağlamakta ve böylece insan faaliyetlerinin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunmaktadır. Düşük karbon salınımı, atık ürünlerin yokluğu, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve toksik gaz emisyonlarının önlenmesi, arazi ıslahı, elektrik şebekelerinin gerekli iletim hatlarının azaltılması, su kaynaklarının kalitesinin iyileştirilmesi gibi **çevresel faydalarının** yanı sıra**,** bölgesel/ ulusal enerji bağımsızlığının artması, önemli iş fırsatlarının sağlanması, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve güvenliği, enerji piyasalarının

deregülasyonunun desteklenmesi ve gelişmekte olan ülkelerde kırsal alan elektrifikasyonunun hızlanması gibi **sosyo-ekonomik** bakış açısından **faydaları** içerir (Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2006). Cooke vd. (2007) YET ile ilgili, uzun vadeli ekonomik faydalar, devlet desteklerinin mevcudiyeti, imaj faydaları, çevresel etkileri azatma, kurumsal sosyal sorumluluk başlıkları hakkında çalışmalar yapmış, binalarda kullanılmalarının ana nedenlerini; finansal kriterler, kişisel faktörler (müşteri değerleri vb), destekleyici politika planlar olarak vurgulamıştır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusundaki engeller, tüm dünyada değişiklik gösterir, sahaya ve duruma özgüdür (Shove, 1998). Ulusal ve küresel ölçekte yapılan araştırmalar, farklı bağlamlarda YET'in önündeki çeşitli engelleri tanımlamaktadır. Maldonado ve Marquez (1996), Latin Amerika'da yenilenebilir enerji kullanımıyla ilgili 4 ana engel kategorisi sunmaktadır: **Pazar, Teknolojik veya Ar-Ge, Kurumsal ve Sosyo-ekonomik.** Weber (1997) tarafından yapılan çalışmada engeller, **piyasa, kurumsal, örgütsel ve davranışsal engeller** (profesyonel muhafazakarlık, belirsizlik ve risk dahil) olarak özetlenmiştir. Painuly (2001), gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımının önündeki engelleri belirleme ve ele alma çerçevesinde 7 kategori **(piyasa eksiği, piyasa sorunları, ekonomik, kurumsal, teknik, sosyo-kültürel ve davranışsal, diğer engeller)** içinde 40 bariyer unsuru önermektedir (Çizelge 2.11).

Kılıç (2007), akıllı binalar konulu çalışmasında engelleri; **teknolojik, ekonomik, kanunsal ve davranışsal engeller** (tasarımcılar, yöneticiler, karar vericiler, kurucular/satıcılar, kullanıcılar) olarak sınıflandırmaktadır. Engellerle ilgili çalışmaların çoğu, onları **teknik ve ekonomik bir sorun** olarak ele almaktadır (Reddy ve Paunily, 2004). Gann, (2003), yeni bilginin yayılması eksikliği ve inşaat sektöründe yeni yaklaşımların adaptasyonunun zayıf olduğunu vurgulamıştır.

Çizelge 2.11. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılması önündeki engeller (Painuly, 2001)

Bariyer kategorisi	**Engeller**	**Uyarılar**
1. *Piyasa Başarısızlığı/ Eksikliği*	Yüksek kontrollü enerji sektörü	YET konusunda yatırım eksikliğine yol açabilir
	Bilgi ve farkındalık eksikliği	Belirsizliği ve dolayısıyla maliyetleri artırır
	Teknolojiye sınırlı erişim	Teknoloji mevcut değil veya yüksek maliyetle mevcut
	Rekabet eksikliği	Ürün maliyeti artar
	Yüksek işlem maliyetleri	Projenin ekonomik uygulanabilirliği etkilenebilir.
	Eksik pazar altyapısı	Ürünün tüketiciye olan maliyetini artırabilir
	Yüksek yatırım gereksinimleri	Girişimciler için bir giriş engeli görevi görür
2. *Piyasa Bozuklukları*	Konvansiyonel enerjiye destek (sübvansiyonlar gibi)	Yenilenebilir enerjinin rekabet gücünü olumsuz etkiler
	YET vergiler	YET enerji maliyeti artar
	Dışsallıkların dikkate alınmaması	Geleneksel enerjinin maliyeti olması gerekenden daha azdır
	Ticari engeller	YET ithalatı üzerindeki yüksek vergiler nedeniyle YET'lerin maliyeti artabilir
3. *Ekonomik*	Ekonomik olarak uygun değil	YET maliyetlerinin azaltılması gerekir
	Yüksek indirim oranları	İlk aşamalarda teşviklere ihtiyaç duyulabilir
	Yüksek geri ödeme süresi	Proje uygulanamaz hale gelir
	Pazar büyüklüğü küçük	Ölçek ekonomisi elde edilemez
	Yüksek sermaye maliyeti	Ekonomik uygulanabilirliği etkileyebilir
	Sermayeye erişim eksikliği	Üretici sayısı daha azdır ve dolayısıyla rekabet ve piyasa etkinliği zarar görebilir
	Tüketicilere kredi erişiminin olmaması	Pazar boyutunu küçültebilir
	Yatırımcılar için yüksek ön sermaye maliyetleri	Risk algısının artması nedeniyle sermaye maliyetleri de yükselebilir Rekabet ve verimlilik üzerinde olumsuz etki
	YET'i destekleyecek finansal kurumların eksikliği, araçların eksikliği	YET ürünlerinin tedariki zarar görebilir Rekabet ve verimlilik üzerinde olumsuz etki

Çizelge 2.11. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılması önündeki engeller (Painuly, 2001) (devam)

Bariyer kategorisi	**Engeller**	**Uyarılar**
4. *Kurumsal*	Bilgiyi yayacak kurumların / mekanizmaların eksikliği	Üreticilerin yanı sıra tüketicilerin de bilgi edinmemesine yol açar
	Yasal / düzenleyici bir çerçevenin olmaması	Yenilenebilir enerji üreticileri, bu olmadan piyasa / ekonomik / finansal engellerle karşılaşabilir
	Mali teşviklerin gerçekleştirilmesindeki sorunlar	Bunun nedeni bürokrasinin ekonomik / mali engellere yol açması olabilir
	İstikrarsız makro-ekonomik ortam	Yeni yatırımlar için riski ve belirsizliği artırabilir. Yalnızca geri ödeme süresi düşük ürünler kabul edilebilir
	Paydaşların karar verme sürecine katılım eksikliği	Yanlış yerleştirilmiş önceliklere neden olabilir
	Çıkar çatışması	YET'ne karşı güçlü lobilere yol açabilir
	Ar-Ge kültürü eksikliği	Bu, teknolojinin adaptasyonunu zorlaştırabilir
	Özel sektör katılımının olmaması	Rekabet eksikliği ve verimsizlik
	Profesyonel kurumların eksikliği	Üreticilerin sorunları ve engellerle ilgili görüşleri politika yapıcılara etkili bir şekilde ulaşamaz
5. *Teknik*	Standart, kod ve sertifika eksikliği	Ürün kalitesi ve ürün kabul edilebilirliği etkilenir Teknolojiyle ilgili olumsuz algıların yanı sıra satın alma ve ticari risk de artar
	Nitelikli personel / eğitim tesisleri eksikliği	Üreticiler için bir kısıtlama olabilir
	İşletme ve Bakım tesislerinin eksikliği	Ürün kabulünü etkileyebilir
	Girişimci eksikliği	Rekabet eksikliğine ve arz kısıtlamalarına yol açabilir
	Sistem kısıtlamaları	Pazar, üreticiler tarafından gerçekleştirilemez
	Ürün güvenilir değil	Pazar büyüklüğü etkilenebilir
6. *Sosyal, Kültürel ve Davranışsal*	Ürünün tüketici tarafından kabul edilmemesi	Pazar büyüklüğü küçülür
	YET için sosyal kabul eksikliği	Pazar büyüklüğünü etkiler Örneğin, yemek pişirmek için kentsel atıklardan elde edilen gaz, büyük çoğunluk için kabul edilebilir olmayabilir

Çizelge 2.11. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılması önündeki engeller (Painuly, 2001) (devam)

Bariyer kategorisi	**Engeller**	**Uyarılar**
7. *Diğer Engeller*	Belirsiz hükümet politikaları	Belirsizlik yaratır ve güven eksikliğine neden olur Proje maliyetini de artırabilir
	Çevresel	Çevresel zararlar / kirlilik kabul edilemez olabilir
	YET için yüksek risk algısı	Üreticinin iskonto oranının yanı sıra sermaye maliyetini (yüksek finansal risk) artırır
	Altyapı eksikliği	Rüzgar gibi YET, yollar, şebeke bağlantısı gibi güçlü altyapı geliştirmeye ihtiyaç duyabilir

Reddy ve Paunily (2004), YET'nin kullanılması konusunda **teknolojik olmayan engelleri,** tüketiciler, ekipman üreticileri, enerji geliştiricileri ve politika yapıcılar gibi çeşitli aktörlarla görüşmeler yaparak, rüzgar ve güneş enerjisi üzerinden ele almaktadır. Tanımlanan engeller aşağıda verilen, farkındalık ve bilgi eksikliği, ekonomik ve finansal kısıtlamalar, teknik riskler, kurumsal ve politik engeller, pazar engelleri / pazar başarısızlıkları, davranışsal engellerdir.

1-Farkındalık ve bilgi eksikliği: Genelde, YET'nin benimsenmesinin nedeni, müşteri tarafında bilgi eksikliği ya da güvenilir bilgi edinme konusundaki güvensizliktir. Kullanıcılar, küçük firmalar ve ticari kuruluşlar, geleneksel enerji teknolojilerini satın almanın basitliğine kıyasla YET hakkında bilgi edinmede zorluklarla karşı karşıyadır. Endüstrilerde bile, YET'nin benimsenmesini engelleyen eğitimli teknik personel eksikliği vardır.

2-Ekonomik ve finansal kısıtlamalar: YET'nin birçoğu için, başlangıç maliyetleri rekabetçi olmayan bir şekilde yüksektir ve bu da tüketicilerin bunları benimsemesini engellemektedir. Birçok tüketici, daha uzun bir süre boyunca devam eden işletim maliyetlerini en aza indirmek yerine başlangıç maliyetini düşük tutmayı tercih etmektedir.

3-Teknik riskler: YET'nin çoğu kanıtlanmıştır ve bu nedenle düşük risk altındadır. Bununla birlikte, alanı teknik bir risk haline getiren alana özgü nedenler olabilir.

4-Kurumsal ve politik engeller: Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çoğu hala geliştirme aşamasında olabilmektedir. YET'nin işletmeler ve endüstriler tarafından benimsenmesini teşvik edecek yeterli hükümet düzenlemeleri / teşvikleri yoktur. Bunlar şunları içerir: yenilenebilir enerji için açık bir ulusal politika eksikliği; maliyete dayalı elektrik tarifelerine eksik geçiş; YET için yetersiz kredi mevcudiyeti; ve enerji geliştirme ajanslarında modern yönetim becerilerinin olmaması.

5-Pazar engelleri / pazar başarısızlıkları: Kaynakları verimli kullanabilmek için piyasaların rekabetçi olması gerekmektedir. Piyasa gücü koşullarında, elektrik hizmetleri, marjinal maliyetleri aşan fiyatlar uygulayabilmektedir. Elektrik tedarik endüstrisi gibi doğal tekellerde bu tür durumlar yaygındır. Enerji tedarik sanayinde serbestleşmenin itici gücü, mümkün olduğu yerde rekabeti başlatmak ve mümkün olmayan yerlerde özel firmaların ekonomik düzenlemelerini kullanmaktır. Ayrıca, piyasa yetersiz bilgi üretir ve iletirse, tüketiciler ekipmanın satın alınmasına karar veremeyeceklerdir. Ekipman üreticileri, tüm faydaları yakalayamayacakları için bilgi sağlamaktan aciz veya isteksiz olabilmektedir.

Bir diğer önemli engel ise **ikiye bölünmüş teşviklerdir**. En çok alıntı yapılan örnek, konut piyasasındaki **ev sahipleri ve kiracılardır**. Bir binanın ev sahibi elektrik kullanımını azaltmak için bir sistem kurmaya isteksiz olabilir, çünkü ortaya çıkan tasarruf kiracı tarafından gerçekleştirilecektir. Ancak aynı zamanda, kiracı, maliyet tasarrufundan yararlanmadan taşınabileceği için kurulum yapmak istemeyecektir.

6-Davranışsal: YET'nin benimsenmesi, genellikle geleneksel teknolojilerle karşılaştırıldığında bu öğelerin kalitesi ve kullanışlılığına ilişkin tüketici algılarından etkilenmektedir. Ayrıca tüketiciler, bir teknoloji satın alırken uzmanlardan bilgi almak yerine arkadaşlarının tavsiyelerini sormakta ve ekonomik açıdan mantıklı olmayabilecek kararlar alabilmektedirler. Çizelge 2.12, bu engeller hakkında bilgi vermektedir (Reddy ve Painuly, 2004).

Çizelge 2.12. Davranışsal engeller (Reddy ve Painuly, 2004)

Engeller	Aktörler	Perspektifler	Yorumlar
Farkındalık ve bilgi	Organizasyon	Bilgiye ulaşmak	Bilgi eksikliği karar almayı zorlaştırır
Finansal ve ekonomik	Örgütsel ve bireysel	Erişim	Düşük gelirli bireyler ve küçük firmalar, yüksek maliyetleri nedeniyle YET yatırımı yapamazlar
		Heterojenlik	Belirli bir teknoloji ortalama olarak uygun maliyetli olabilir, ancak gizli maliyetler (operasyon ve yönetim maliyeti, rahatsızlık ve bilgi toplama ve analiz etmeyle ilgili maliyetler) yüksek olabilir
Market	Organizasyon	Piyasa başarısızlığı	YET pazarı, geleneksel teknolojilerle eksik rekabete tabidir
			Gelecekteki fiyatlardaki belirsizlik (hem geleneksel hem de yenilenebilir)
Teknik	Organizasyon	Risk	YET yatırımı, geleneksel teknolojilerden daha yüksek bir teknik veya finansal riski temsil eder
Kurumsal ve düzenleyici	Organizasyon		YET için kurumsal mekanizma yok.
Davranışsal	Bireysel		Tüketiciler değişime direnir (bir teknolojiden diğerine geçmekle ilgilenmezler)

Foxon ve diğerleri (2005), Birleşik Krallık'ta yenilenebilir enerji kullanımını etkileyen faktörler üzerine yaptıkları çalışmada; arge, ürünler için talep, aktörler arasındaki bilgi alış-verişi, ekonomik koşullar başlıklarını irdelemektedir. Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas (2005)' a göre, sistemlerin yayılımı için **negatif çevresel etkilerinin analiz edilmesi** ve **iyileştirilmesi** önemlidir. Örneğin güneş panellerinin temizlenmesi için akılcı su kullanımı, atık bertaraf uygulamaları, biyolojik olarak parçalanabilen kimyasalların kullanımı vb.). Wall vd. (2012)'ne göre genel olarak, **sistem maliyeti** sorun olarak görülmektedir. Bununla birlikte, YET maliyetleri düşerken, petrol ve gaz fiyatları dalgalanmaya devam ettiğinden ekonomik sorun yavaş yavaş önemini kaybetmektedir. YET konusunda genel **bir farkındalık ve bilgi eksikliği**, inşaat uzmanları arasında **"yeni" teknolojileri kullanma konusunda genel bir isteksizlik** ve **mimari ve estetik kaygılardan kaynaklanan sınırlamalar** sistemlerin kullanılması önündeki engeller olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımının binanın mimarisi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Güneş enerjisi teknolojileri gibi bazı sistemler büyük alan kaplamakta ve bina estetiğini oldukça etkilemektedir, bu teknolojilerin binaya entegrasyonunda, zayıf mimari kalite, teknolojilerin yayılmasını ve kabulünü

engellemede önemli rol oynamaktadır (Wall, 2012). Margolis ve Zuboy (2006) çalışmalarında engelleri; hükümet politikasının eksikliği, bilgi yayma ve tüketici bilinci eksikliği, yüksek maliyet, yetersiz finansman, yetersiz işgücü becerileri ve eğitimi, standartların ve yönergelerin eksikliği, halkın yenilenebilir enerji sistemi estetiğine ilişkin zayıf algısı, enerji tercihlerinde ve YET projelerinde aktör / topluluk katılımının olmaması olarak tanımlamaktadır. Cooke vd. (2007), YET kullanmanın önündeki en yaygın engelleri; yüksek ilk yatırım maliyetleri ve uzun geri ödeme süreleri, bilgi eksikliği, risk algısı, uygun olmayan bir alan, kanıtlanmamış ve tutarsız politika ve planlama kısıtlamaları olarak önceliklendirmektedir. Bu en belirgin engeller arasından üçü sosyal faktörler, ikisi projeye özgü konular ve biri de mali boyuttur. Wall vd. (2012) güneş enerjisi teknolojileri ile ilgili mimari engelleri; ürün çeşitliliğinin az olması, üreticilerin mimarlık hakkında genel olarak sınırlı bilgileri olması, mimarların mevcut teknolojiler ve yenilikçi ürünlerin sunduğu olanaklarla ilgili genel olarak bilgi eksiği, erken tasarım aşamasında mimarların genel tasarım kararlarını verirken nicel ölçümler yapabilecek araçlardan yoksun olması olarak betimlemiştir. Wall vd. (2012), güneş enerjisi teknolojilerinin mimari entegrasyonu için kriterleri; kişisel ilgi eksikliği, işverenin ilgi eksikliği, ekonomik olarak uygun olmama, devlet teşviği eksikliği, teşvikler konusunda bilgi eksikliği, teknolojilere güven eksikliği, mimarın/işverenin/danışmanın bilgi eksikliği, mimari entegrasyon literatürü eksikliği, mimarlar için faydalı klavuzların eksikliği, uygun ürün eksikliği, basit bileşenlerin eksikliği, ürünlerin high tech görünüşü, tasarımı destekleyen araçların eksikliği, teknolojinin geç kabul edilmesi, yetersiz zaman ve kaynak, uygun olmayan iklim şartları olarak tanımlamaktadır. Literatür kapsamında irdelenen çalışmalardan üretilen, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda etkili olan kriterler kriter tablosu Çizelge 2.13'de verilmiştir (Wall vd., 2012; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005; Yakoot vd., 2016; Cooke vd., 2007; Margolis ve Zuboy, 2006; Gann, 2003; Reddy ve Painuly, 2004).

Çizelge 2.13. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda etkili olan kriterler (Wall vd., 2012; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005; Yakoot vd., 2016; Cooke vd., 2007; Margolis ve Zuboy, 2006; Gann, 2003; Reddy ve Painuly, 2004)

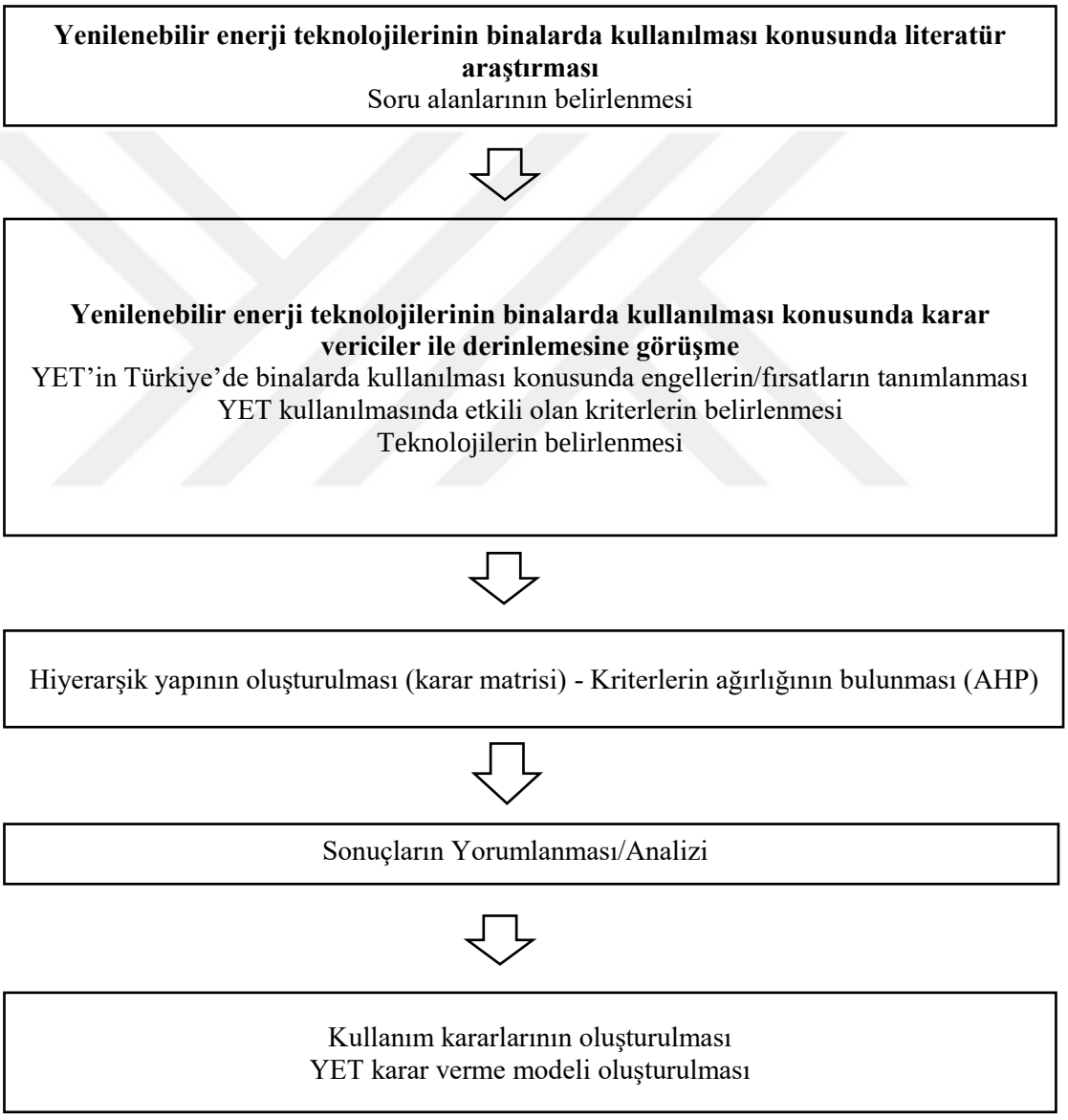
Teknik-Teknolojik Ar-ge	Engeller	Mimari entegrasyon literatürü eksikliği, Mimarlar için faydalı klavuzların eksikliği, Bina estetiği açısından uygun ürün eksikliği, Ürünlerin high tech görünüşlü olarak algılanması ve bunun dışında ürünlerin bulunmaması, Tasarım aşamasında karar verebilmek için sistemlerin entegrasyonu ile ilgili destek araçlarının eksikliği (yazılımlar, caad programları, 3d destek araçları, hesaplama araçları, simülasyonlar) Teknik bilgi eksikliği, Farklı sektörlerce üretilen mevcut teknolojilerin / tekniklerin kullanılması ve teknolojinin binalarda kullanım için iyileştirilmemesi, Kaynak kullanılabilirliği; teknoloji (tasarım, kurulum ve performans); tasarım ve geliştirme, üretim, kurulum, işletim ve bakım için beceri gereksinimi, Karmaşıklık, teknolojilerden değişken çıktılar alınması, YET konusunda deneyimli işgücü ve eğitim eksikliği.
	Fırsatlar	Mimarların çevreyle ilgili kaygılarının artması, YET konusunda bilgi edinme isteğinin artması, YET konusunda disiplinlerarası çalışma imkanı, Teknik bilgiler verebilecek danışmanlık şirketlerinin varlığı.
Sosyo-Kültürel Davranışsal	Engeller	Kişisel ilgi, bilgi ve deneyim eksikliği, İşverenin ilgi, bilgi ve deneyim eksikliği, Mimarın ilgi, bilgi ve deneyim eksikliği, Danışmanın ilgi bilgi ve deneyim eksikliği, Paydaşların ilgi, bilgi ve deneyim eksikliği, Teşvikler konusunda bilgi eksikliği, Teknolojinin geç kabul edilmesi, Kullanıcılar tarafından kabul edilmemesi (sosyal kabul), Sosyal kabul sağlamak için planlamanın ilk aşamalarında kullanıcıların ve ilgili kuruluşların sürece katılmaması, İşçilerin eğitilmemesi, (işletme ve inşaat sırasında özel güneş gözlüklerinin kullanılması, ısı yalıtım üniformalarının kullanılması, sisteme aşinalık), Toplumsal yapı; normlar ve değer sistemi; farkındalık ve risk algısı; davranışsal veya yaşam tarzı sorunları, Paydaşların değer algıları, Müşteri motivasyonu, YET'nin kanıtlanmamış olduğuna dair algı, Yeni bilginin yayılması eksikliği ve inşaat sektörünün yeni yaklaşımlara adaptasyonunun zayıf olması, İkiye bölünmüş teşvikler-ev sahipleri ve kiracılar, Korku faktörü; öğrenmek yerine onunla uğraşmaktan kaçmak, yeniliklere açık olmamak.
	Fırsatlar	İmaj faydaları, Kurumsal sosyal sorumluluk, Kullanıcıların sürece dahil edilmesi, sosyal kabul ile yaygınlaşması.

Çizelge 2.13. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda etkili olan kriterler (Wall vd., 2012; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005; Yakoot vd., 2016; Cooke vd., 2007; Margolis ve Zuboy, 2006; Gann, 2003; Reddy ve Painuly, 2004)(devam)

Ekonomik	Engeller	Ekonomik olarak uygun olmama, Yetersiz ekonomik kaynak, Piyasa yapısı; enerji fiyatlandırması; teşvikler; satın alma gücü ve harcama öncelikleri; finansal konular; farkındalık ve risk algısı, Yüksek ilk yatırım maliyetleri ve uzun geri ödeme süreleri.
	Fırsatlar	Uzun vadeli ekonomik faydalar Devlet teşvikleri
Çevresel	Engeller	Uygun olmayan iklim şartları/coğrafi koşullar, Teknolojilerin negatif çevresel etkileri, Uygun operasyonel uygulamalar (akılcı su kullanımı, güvenlik önlemleri, atık bertaraf uygulamaları, biyolojik olarak parçalanabilen kimyasalların kullanımı vb. dahil) olmaması, Yerel flora ve faunanın yeniden kurulması, çevreye yeniden eski haline gelmesi için yeterli zaman verilmemesi, Teknolojiler için kapsamlı çevresel etki değerlendirme çalışmalarının olmaması, Kaynaklar (toprak ve su) açısından negatif etkileri (toprak, su kirliliği, su tüketimi vb.) Uygun olmayan saha (rüzgar için göç yolunda olması vb.).
	Fırsatlar	Negatif çevresel etkileri azaltma için çalışmalar yapılması, Tükenmeyen kaynaklar olması, Geleneksel sistemlere göre çevreye daha az zarar vermesi.
Kurumsal – Politik	Engeller	Devlet teşviği eksikliği, Politika ve düzenleme eksikliği, Altyapı eksikliği, Tutarsız politikalar ve planlama kısıtlamaları, Enerji endüstrisinin inatçılığı, Siyasi engeller .
	Fırsatlar	İmaj faydaları, Kurumsal sosyal sorumluluk
Zaman	Engeller	Yetersiz zaman (tasarım sürecinin kısa tutulmak istenmesi, araştırmaların tasarım sürecini uzatması)
	Fırsatlar	
Estetik	Engeller	Konumlandırma (çatı, cephe vs) ile ilgili estetik kaygılar, Görsel etkileri ile ilgili kaygılar, Binaya entegrasyonları konusunda yaşanan sıkıntılar, Yenilenebilir enerji teknolojileri estetiğinin zayıf olduğuna dair algı.
	Fırsatlar	Binalarda kullanılan teknolojilerin bina ile uyumlu olması bakımından özel üretimlerin yapılabilmesi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Türkiye'de YET'in binalarda kullanılması konusunu inceleyen bu araştırmada, binalarda kullanılmasına karar verme sürecine dahil olan aktörlerin fazla olduğu bina üretim süreci için, pek çok YET seçeneği arasından ihtiyaca ve amaca en uygun olan teknolojiyi belirlemek için karar alma modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında literatür taraması, derinlemesine görüşme yöntemi ve AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışma aşamaları Şekil 3.1'de detaylı anlatılmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma aşamaları

YET binalarda kullanımına karar verilmesi problemi kapsamında, ilk adımda detaylı bir literatür araştırması sonucunda, araştırma soruları ve hedefi belirlenmiştir. Sonraki aşamada teknolojilerin Türkiye'deki durumunun analizi için aktörler (karar vericiler) ile uzman görüşmeleri yapılmıştır. Araştırma soruları, derinlemesine görüşme yöntemi ile bina üretim sürecinde yer alan aktörlerden oluşan uzman grup ile tartışılmıştır. Uzman grup görüşmeleri açık uçlu sorular kapsamında gerçekleştirilmiştir Bu görüşmelerde YET'in Türkiye'de binalarda kullanılması konusunda durum tespiti yapılmıştır. Uzman grup görüşmeleri ile YET neden tercih edildiği/edilmediği, engeller/ fırsatlar, güçlü/zayıf yönler, kullanıma yönelten sebepler tanımlanmış karar vermede etkili olan kriterler, hangi teknolojilerin kullanıldığı belirlenmiştir. 3. Adımda karar verme modeli için uygun yöntem seçilmiştir. Görüşme sonucunda modelde karar vermeye yardımcı yöntem olarak, aktörlerin bina üretim sürecinde YET kullanılması kararını hangi kriterler doğrultusunda verdiklerinin ve kriterler arasındaki hiyerarşik yapının detaylı analizinin yapılabilmesi için, hem karar verme süreci ile ilgili uyumluluğu hem de kriterlerin tanımlanması, kriterlerin ağırlığının bulunması ve hiyerarşik yapının oluşturulması (karar matrisi) için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılmıştır (Saaty ve Vargas, 1987; Saaty, 1990; Saaty, 2000; Saaty, 2001). AHP yöntemi kapsamında 1. Aşamada hiyerarşik yapı belirlenmiştir. İlk adım olarak, amaç, kriterler, alt kriterler ve teknolojik seçeneklerinden oluşan sistem elemanları en üstte amaç en altta seçenekler olacak şekilde hiyerarşik düzende sıralanmıştır. 2. Aşamada ana kriterler, alt kriterler ve seçenekler ikili olarak karşılaştırılarak, önem dereceleri bulunmuştur. Bu karşılaştırmalar konuyla ilgili uzman odak grup ile ikinci kez görüşülerek gerçekleştirilmiştir. 3. Aşamada ikili karşılaştırmalardan elde edilen sonuçların güvenirliğinin anlaşılabilmesi için değerlerin tutarlılık oranı Excell 2016 kullanılarak hesaplanmıştır. 4. Aşamada ise veriler değerlendirilerek, teknoloji seçimi için en etkili olacak kriterler bulunmuş ve bu kriterlere en uygun teknolojiler belirlenmiştir. Çalışma modeli Çizelge 3.1'de detaylı gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışma modeli

<table>
<tr><th colspan="2">1. adım- Literatür taraması</th><th colspan="2">2. adım - Uzman grup görüşmeleri</th></tr>
<tr><td colspan="2">1- Araştırma sorusu

Türkiye’de binalarda YET’nin kullanımı nasıl artırılabilir

2- Araştırma hedefleri

Türkiye'deki binalarda YET’ni inceleyerek, ilgili politikaları, düzenlemeleri ve stratejik planları, sektördeki aktörlerin bakış açılarını ve kullanım kriterlerini analiz ederek Türkiye'deki binalarda yenilenebilir enerji kullanım kararının nasıl verilebileceğini araştırmayı amaçlamaktadır.</td><td colspan="2">Durum tespiti
YET’nin Türkiye’deki durumu
Güçlü yönler / zayıf yönler
Engeller / fırsatlar
Aktörlerin perspektifi
Kullanım kriterleri</td></tr>
<tr><th colspan="4">3. adım - Model için kullanılacak yöntemin seçilmesi</th></tr>
<tr><th colspan="4">AHP modeli</th></tr>
<tr><td colspan="4">Modelin kurulması
1. Hiyerarşik yapının belirlenmesi.
2. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
3.Tutarlılık Hesabı
4.Verilerin değerlendirilmesi</td></tr>
<tr><th colspan="4">4. adım- Analiz</th></tr>
<tr><td colspan="2">Bulgular</td><td colspan="2">Yorumlar</td></tr>
<tr><th colspan="4">5. adım – Modelin kullanılması</th></tr>
</table>

3.1. Uzman Grup Görüşmeleri

Uzmanlarla yapılan görüşmeler ile Türkiye'de YET kullanılması ile ilgili genel çerçevenin çizilebilmesi, seçim kriterlerini belirlemek için YET uzmanlarından ve uygulayıcılarından genel görüş toplanması amaçlanmaktadır. Uzman grup görüşme yöntemi bina üretim sürecinde pek çok aktör olması ve aktörlerin bakış açılarının süreci etkilemesi açısından önemlidir. Çalışmanın ilk aşaması olan literatür taraması sonucunda aşağıdaki soru alanları belirlenmiştir,

1. Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojileri kullanılıyor mu? Bu teknolojilerin kullanılması yaygınlaşmış durumda mı?
2. Bina üretim sürecinde yenilenebilir enerji teknolojileri hangi aktörlerce, neden tercih edilmektedir, talep edilmektedir veya edilmemektedir?
3. Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması konusunda engeller/fırsatlar nelerdir? Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımında karar vermek için gerekli kriterler nelerdir?
4. YET'in binalarda kullanılması konusunda karar süreci nasıl işlemektedir?

Uzmanlarla yapılan derinlemesine görüşme için, bina üretim sürecindeki aktörler (uzman grup); mimar, yatırımcı (işveren), mühendisler, danışmanlar, YET sistem üreticileri /firmalar ve kullanıcılar olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Uzman grup için seçilen katılımcılar; yenilenebilir enerji teknolojileri ile ilgili tecrübesi olan mimarlık ofisinde görev alan, uygulama ve tasarım alanında çalışmış mimarlar ve YET konusunda uygulamalar yapan deneyimli firmalardan seçilmiştir. Bu grubu belirlerken tasarım ve uygulama aşamalarında görev alan uzmanların da dahil edilmesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde, literatür taraması yoluyla yapılan çıkarımlar, Türkiye'de YET kullanılması konusuna özel olarak gerekçelendirilip, ayrıntılı olarak detaylandırılabilmektedir. Türkiye'deki durum ayrıntılı olarak ortaya koyulabilmektedir. Yarı yapılandırılmış derinlemesine görüşme masa başında bir araya gelerek gerçekleştirilmiştir. Görüşülen kişilere görüşmenin başında araştırmanın kısa bir açıklaması ve amacı verilmiştir. Sözlü onaylarının ardından yukarıdaki soru listesi açık uçlu bir anket aracılığıyla kendilerine sorulmuştur.

Çizelge 3.2. Çalışma kapsamında görüşülen uzman grup listesi

	Meslek	**Şirket**	**YET Uzmanlık**
1	Mimar/ M1	Özel	Tasarım
2	Mimar/ M2	Kamu	Tasarım
3	Mühendis/ Mü1	Özel	Tasarım - Uygulama
4	Mühendis/ Mü2	Özel	Tasarım - Uygulama
5	Danışman/ D1	Özel	Tasarım - Uygulama
6	Danışman/ D2	Özel	Tasarım - Uygulama
7	İşveren/ İ1	Kamu (Belediye)	Kullanım- Tasarım- Uygulama
8	İşveren/ İ2	Özel	Kullanım- Tasarım- Uygulama
9	Kullanıcı/ K1	Özel	Kullanım
10	Kullanıcı/ K2	Özel	Kullanım
11	YET firması/ F1	Özel	Tasarım - Uygulama
12	YET firması/ F2	Özel	Tasarım - Uygulama

Görüşme Sonuçları

Görüşme kapsamında YET'in Türkiye'deki durumu üzerinde durulmuş ve Türkiye'de binalarda YET'in kullanılması konusunda ilerlemeyi anlamak için ulusal standartlar ve düzenlemeler, kriterler aracılığı ile ana hatlar çizilmiştir. Görüşmelerden çıkan sonuçlar kapsamında YET'in kapsamlı değerlendirilmesi, engeller/ fırsatlar, aktörler kullanıma yönelten sebepler ve binaların fonksiyonlarına göre kullanım kriterleri araştırılmıştır. Bu çalışma Türkiye'deki YET'in kullanılması konusundaki sorunları ve fırsatları ortaya çıkarmıştır. Yapılan görüşmede Türkiye'de YET'in binalarda kullanıldığı fakat kullanımının henüz yaygınlaşmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2022-2023 Stratejik Planı (2022)'na göre, Türkiye'de enerji kimlik belgesi alan 1.329.566 binadan sadece 63.957 binada yenilenebilir enerji kullanılmıştır (ÇŞİDB, 2022). Hem uzman görüşleri hem ÇŞİDB verileri kullanımın yaygınlaşmadığı sonucunu desteklemektedir. YET'in binalarda kullanılmasına karar verilmesi durumunda hangi kriterlerin etkili olduğu konusunda uzmanlarla yapılan görüşmenin sonuçları Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. YET'in binalarda kullanılmasına karar verilmesinde etkili olan kriterler/ fırsatlar

Meslek	**Kriterler**	**Uygulaması yapılan YET**
Mimar/ M1	Uygulama kolaylığı Coğrafi avantaj/bölgedeki enerji potansiyeli Üretim hacmi/ süresi, ürün çeşitliliği Konumlandırma (çatı-cephe) Tasarımla bütünleşebilme /standart / özel üretim	Güneş , rüzgar, jeotermal
Mimar/ M2	Bilgi tecrübe Arıza tespit müdahale/arıza olasılığı sıklığı Bakım kolaylığı Üretim hacmi/ süresi, ürün çeşitliliği Görsel etki/ estetik Binaya entegrasyon	Güneş, biyokütle
Mühendis/ Mü1	İlk yatırım maliyeti Yatırımın geri dönüş süresi İklim şartları/ Coğrafi avantaj Sistemin geri dönüşebilirliği	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Mühendis/ Mü2	Enerji talebinde değişim/ Artan enerji talebi Enerji talebinin yönetilmesi Enerjinin çevre dostu üretimi/ Doğa dostu teknolojiler	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Danışman/ D1	Paydaşların ilgi/ bilgi/ deneyimi Toplumsal değerler/ Paydaşların değer algıları Sistemin geri dönüşebilirliği İklim değişikliği ile mücadele/ Ekolojik değerler	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Danışman/ D2	Yerli olma cari açık oluşturmama Yerel yönetmelikler Küresel anlaşmalar Yeniliklerin kabulü	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
İşveren/ İ1	Devlet politkaları /destekler ve teşvikler Yeniliklerin kabulü Sosyal sorumluluk İlk yatırım maliyeti Yatırımın geri dönüş süresi İklim şartları/ Coğrafi avantaj	Güneş
İşveren/ İ2	Enerji fiyatlandırması Banka kredileri İmaj faydaları Coğrafi avantaj/bölgedeki enerji potansiyeli Arıza tespit müdahale/arıza olasılığı sıklığı Bakım kolaylığı Teşvik ve krediler	Güneş
Kullanıcı/ K1	Sistem ömrü ve garanti Üretim hacmi/ süresi, ürün çeşitliliği Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi Kullanımda bakım onarım maliyeti	Güneş
Kullanıcı/ K2	İlk yatırım maliyeti Yatırımın geri dönüş süresi	Güneş

Uzmanlarla yapılan görüşme sonuçlarına göre, YET'in binalarda kullanılması konusunda etkili olan kriteler/ engeller Çizelge 3.4'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. YET'in binalarda kullanılması konusunda etkili olan kriterler/ engeller

Meslek	**Engeller**	**Uygulaması yapılan YET**
Mimar/ M1	Tasarımla bütünleşememe	Güneş , rüzgar, jeotermal
Mimar/ M2	Görsel etki/estetik kaygılar Yapım modelleri	Güneş, biyokütle
Mühendis/ Mü1	Şebekeye bağlantı	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Mühendis/ Mü2	Ekipman için gerekli fiziksel alan	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Danışman/ D1	Başvuru süreçlerinin uzunluğu Evrak süreci ile ilgili işverenin motivasyon eksikliği	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
Danışman/ D2	Coğrafi engeller (donma, şiddetli rüzgar vb.)	Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen
İşveren/ İ1	Kredi/ hibe eksikliği	Güneş
İşveren/ İ2	Bilgi ve örnek uygulama eksikliği	Güneş
Kullanıcı/ K1	Bilgi ve örnek uygulama eksikliği	Güneş
Kullanıcı/ K2	Kredi/ hibe eksikliği	Güneş

Görüşme sonucunda ortaya çıkan önemli bir nokta, yapı üretim sürecinde tasarım, yapım ve kullanım aşamasında ve yıkım aşamasında aktörlerin değişmesi ve olası sonuçlardan kar-zarar anlamında etkilenenlerin değişmesidir. Örneğin güneş panelleri yatırımcı için gereksiz bir yatırım maliyeti iken, kullanıcı için devam eden maliyetler bakımından kara geçme anlamı taşırken, yıkım aşamasında toplum açısından verimli ömrünün bitirmiş bir e-atıktır. Dolayısıyla bir sistem yapım aşamasında, kullanım aşamasında ve yıkım geri dönüşüm aşamasında farklı etkilere sahip olabilir. Bu durum tüm olası etkilerin hem tüm süreçler açısından hem de tüm aktörler açısından farklı biçimde değerlendirilmesini ve tasarım aşamasında tüm bu analizlerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Öngörülmeyen hatalar yapı sektöründe geri dönülmez zararlara sebep olmaktadır.

Sistemlerin bir zorunluluk olmaması durumunda tercih edilip edilmemesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de yapım ve işletim modelleri olmaktadır. Yap işlet devret modelinde tercih edilmiyorken, yapan ve işletenin aynı olduğu yapılarda tercih

edilebilmektedir. YET, yatırımcı, yapımcı ve kullanım aşamasında maliyetleri karşılayacak kişi aynı olduğunda uzmanlara göre genellikle tercih edilmektedir (kamu yapıları, fabrikalar vb.). Yapım aşamasında kullanıcısı belli olmayan konut projelerinde ise genellikle tercih edilmemektedir. YET konusunda bir tercih sebebi de kullanım maliyetlerinin miktarı olmaktadır. Özellikle yüksek enerji gereksinimi olan büyük yapılar (fabrika yapıları, stadyumlar, oteller vb.) için eğer işletme belli ise tasarım aşamasında talep edilmektedir.

Odak grup kapsamında görüşülen uzmanların YET uygulaması yaptığı binalarda, mimarların tercih etme sebeplerinin çevresel kaygılar, müşterilerin tercih etme sebeplerinin ekonomik faydalar, kullanıcıların tercih etme sebeplerinin devam eden maliyetlere etkisi olmuştur. Uygulamalarda en etkili kriter sonuçların daha önce gözlenmiş olması olmaktadır. Mimarlık ofislerinde daha önce YET uygulama tecrübesi var ise uygulama oranları artmaktadır. YET tercih edilmesinde en önemli kriterlerden biri de coğrafi koşullar olmaktadır.

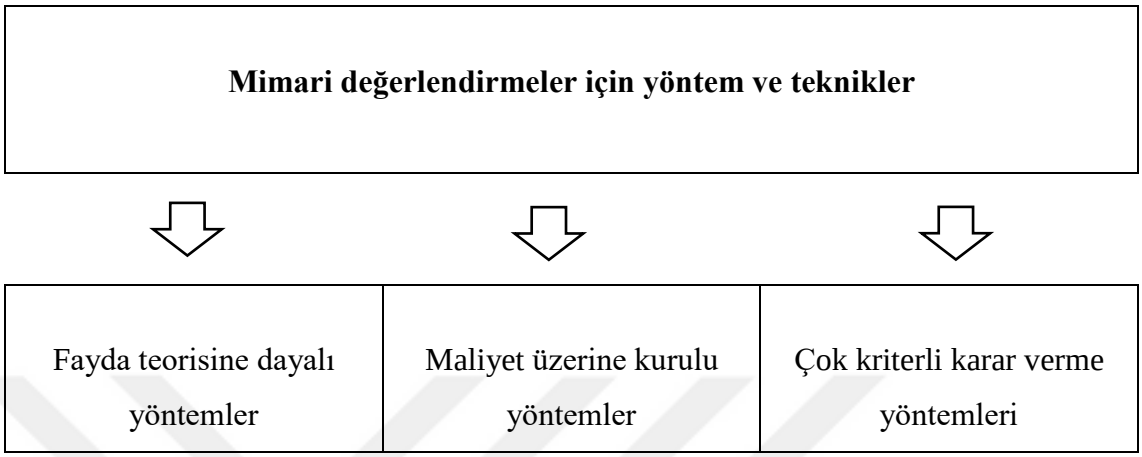
Karar süreci görüşme sonuçlarına göre sistematik olarak ilerlememektedir, zorunluluk olmadığı takdirde talep eden bir aktör olduğunda gündeme gelmektedir. Fabrika yapılarında yüksek kullanım maliyetleri sebebiyle, işveren, güneş ve rüzgar enerjisi talep edebilmektedir. Tarım, hayvancılık ve gıda üretimi ile ilgili üretim tesislerinde biyokütle enerjisi uygulaması yapan mühendis ve danışmanlar, atıkların bertarafının sorun teşkil etmesi ve aynı zamanda bu atıkların değerli bir hammadde olması sebebiyle biyokütle enerjisi kullanıldığını belirtmiştir. Böylelikle hem atıklardan kurtulup hem elektrik üretebilmek mümkün olmaktadır. Bu durum, bina fonksiyonunun tercih edilecek teknolojiyi etkilediğini göstermektedir. 2023 yılı itibariyle YET kullanımının artmasıyla, başvurular olumsuz sonuçlanabilmektedir. Artan taleple şebekelerin teknik açıdan yetersiz kalması gibi alt yapı kısıtları da mevcuttur. Uzmanlar tarafından altı çizilen konulardan biri de bazı biyokütle sistemlerinde koku sorunu olmasıdır.

3.2. Model için Kullanılacak Yöntemin Seçilmesi

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanılmasına yönelik bir model önerebilmek için, karar vericiler kimlerdir, YET kararı ile ilgili süreç nasıl işlemektedir soruları literatür araştırmaları ve uzman görüşmeleri ile net şekilde tanımlanmıştır. Yapı sektörü karmaşık yapılı, büyük bütçeli, proje bazlı işler yapılan ve çok farklı meslek grupları ve fonksiyonları olan bir sektördür. Her proje özgün, bir kerelik olup, süreç karmaşık ve pek çok aktör (karar verici) bulunmaktadır. Belli bir teknolojinin, sistemin binalarda kullanılması için ne gerekir sorusu önemlidir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanılabilmesi için, talep ediliyor olması gerekmektedir. Bu noktada bina üretiminde önemli bir nokta, bu talebin kimden geldiği ve bir zorunluluk olup olmadığıdır. Eğer bir zorunluluk değil ise herhangi bir aktör tarafından tercih edilmesi için ne gerekiyor sorusu derinlemesine görüşmelerde bina üretim sürecinde yer alan karar vericilere sorulmuş olup belli kriterler/ölçütler oluşturma yoluna gidilmiştir. Karar verme sürecinde herhangi bir sistemin sağladığı faydayı saptamak ya da seçenekler arasından birini seçebilmek için değerlendirmeye gerek duyulmaktadır. Genel anlamda değerlendirmenin öncelikli görevi tanımlanmış olan amaca hizmet edecek seçenekleri seçmek ve bu seçeneklerin birbirleriyle karşılaştırmalarını nesnel olarak yapmaktır (Tapan, 2004). Mimarlıkta değerlendirmenin görevi ise bir mimari ürünün oluşmasında katkıları bulunan mal sahibi, kullanıcı vb. grupların değer sistemlerinin karşılıklı etkileşimlerini bilinçli olarak saptayarak optimum çözüme ulaşmayı sağlamak olarak belirtilmektedir (Sey ve Tapan, 1976). Bilimsel temellere dayalı olarak yapılan mimari değerlendirmeler için çeşitli yöntem ve tekniklerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, fayda teorisine dayalı yöntemler, seçeneklerin maliyeti üzerine kurulu yöntemler, çok kriterli karar verme yöntemleri olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Deniz, 1999).

Karar verme inşaat sektörü gibi büyük miktarda bilgi ve tecrübenin ele alınmasını gerektiren alanlarda başarıya ulaşmada kilit faktördür. Çoğu inşaat süreci dikkate alınması gereken pek çok unsuru içerdiğinden bu tür ortamlarda karar vermek genellikle üstesinden gelinmesi zor bir probleme dönüşmektedir. Bu noktada bu tür karmaşık senaryoların çözümüne yardım edebilecek bir sistem ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKVY), bu sorunların çözülmesini kolaylaştırmaya

yönelik bir sistem olarak ortaya çıkmış; ilerleyen dönemlerde farklı koşullar ve uygulama alanları altında farklı çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKVY) geliştirilmiştir (Jato-Espino, 2014).



Şekil 3.2. Bilimsel temellere dayalı olarak yapılan mimari değerlendirmeler için çeşitli yöntem ve teknikler (Deniz, 1999)

Bina üretim sürecinde aktörler, süreç ile ilgili kararları genellikle bilgi ve tecrübeleri doğrultusunda hızlıca vermektedir. Binalar uzun ömürlü ve maliyetli ürünler olup, bina üretim süreci uzun ve karmaşık süreçtir. Bu süreçte verilen sezgisel kararların uzun vadede geri dönüşleri olumsuz olabilmektedir. Bu sebeple sezgilere dayalı, hızlı karar vermek yerine detaylı analiz ve araştırmaların yapılması, karar sürecinde karar problemine uygun, gelişmiş karar yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji teknolojisinin seçilmesi konusu, tasarım aşamasında bir bina için enerji sistemi kararı ile ilgilidir. Mimarların bina üretim sürecinde tüm kararlarında olduğu gibi sistem (teknoloji) seçim kararlarını da, nicel ve nitel faktörleri birlikte ele alarak verdiklerinden, teknoloji seçim kararı çok kriterli bir karar verme süreci gerektirmektedir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, uygulanmasının kolay olması nedeniyle en yaygın kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Saaty, 1980). Karmaşık problemlerin çözümünde, karar verici gruplarca yaygın olarak tercih edilmektedir. Yöntem; pek çok alternatif içinden seçim

yapılırken, karar vericilerin fazla olduğu, çok kriterli karar verme durumlarında kullanılmaktadır. Karar verme gerektiren durumlarda, karar sürecinde etkili olan aktörlerin kanaatlerinin karar sürecine dahil edilmesi önemlidir. AHP ile, aktörlerin öznel ve nesnel düşünceleri sürece dahil edilebilmektedir. AHP, karar süreci için, karar vericilerin bilgi ve tecrübelerinin, sezgilerinin mantık örgüsünde bir araya gelmesi prensibine dayanmaktadır (Chin ve diğerleri, 1999). AHP, kişileri nasıl karar vermeleri gerektiği konusunda bir yöntem kullanmaya zorunlu kılmak yerine, onlara kendi karar verme mekanizmalarını tanıma imkanı sağlayarak daha iyi kararların alınmasını sağlayan bir yöntemdir (Saaty ve Vargas, 1987). AHP, karar alma konusunda, grup ve bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntem olması sebebiyle, diğer karar verme yöntemlerine göre daha avantajlı görülmektedir (Gülenç ve Bilgin, 2010). Anlaşılmasının çok kolay olması ve basit matematik hesaplamaları içermesi sebebiyle de, AHP yöntemi ilgi görmekte ve ekonomi, planlama, eğitim, sosyoloji ve bilişim bilimleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Palabıyık ve Çolakoğlu, 2012).

YET seçilmesi gibi çok kriter içeren karar verme süreçlerinde, alternatif teknolojilerden birini seçebilmek amacıyla, pek çok kriter için ağırlık, önem veya üstünlük hesabı yapılmalıdır. AHP, karar problemini hedef, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler gibi farklı hiyerarşik düzeylerde yapılandırma temeline dayanmaktadır. Yöntemin uygulanması; karar alternatif ve kriterlerine göreli önem değerleri verilerek yönetsel karar mekanizmasının kurulmasına dayanmaktadır. Karar süreci, çok kriterli karmaşık bir karar probleminin, hiyerarşik bir yapı içinde ayrıştırılması ile düzenlenmektedir. Her düzeyde ikili karşılaştırmayı içeren AHP yöntemi, birbirinden bağımsız faktörlerin, farklı hiyerarşik düzeylerde yapılandırma içinde değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Min, 1994). AHP yöntemi ile aktörlerin önceliklerini belirlemek için, bir karşılaştırma ölçeği kullanarak, ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Ana kriterler birbiri arasında, alt kriterler ana kriterlere göre karşılaştırılmakta ve son olarak, alternatifler her bir alt kritere göre karşılaştırılmaktadır. Bir sonraki adım, kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarını belirlemek ve sıralamak için ikili karşılaştırma matrislerinin özdeğerlerinin ve özvektörlerinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Bu sistemde, sistematik bir yaklaşım

ile yapılan sayısal performans ölçümleri, sübjektif kanılar ile birl araya getirilerek sonuca ulaşılmaktadır (Tektaş ve Hortaçsu, 2003).

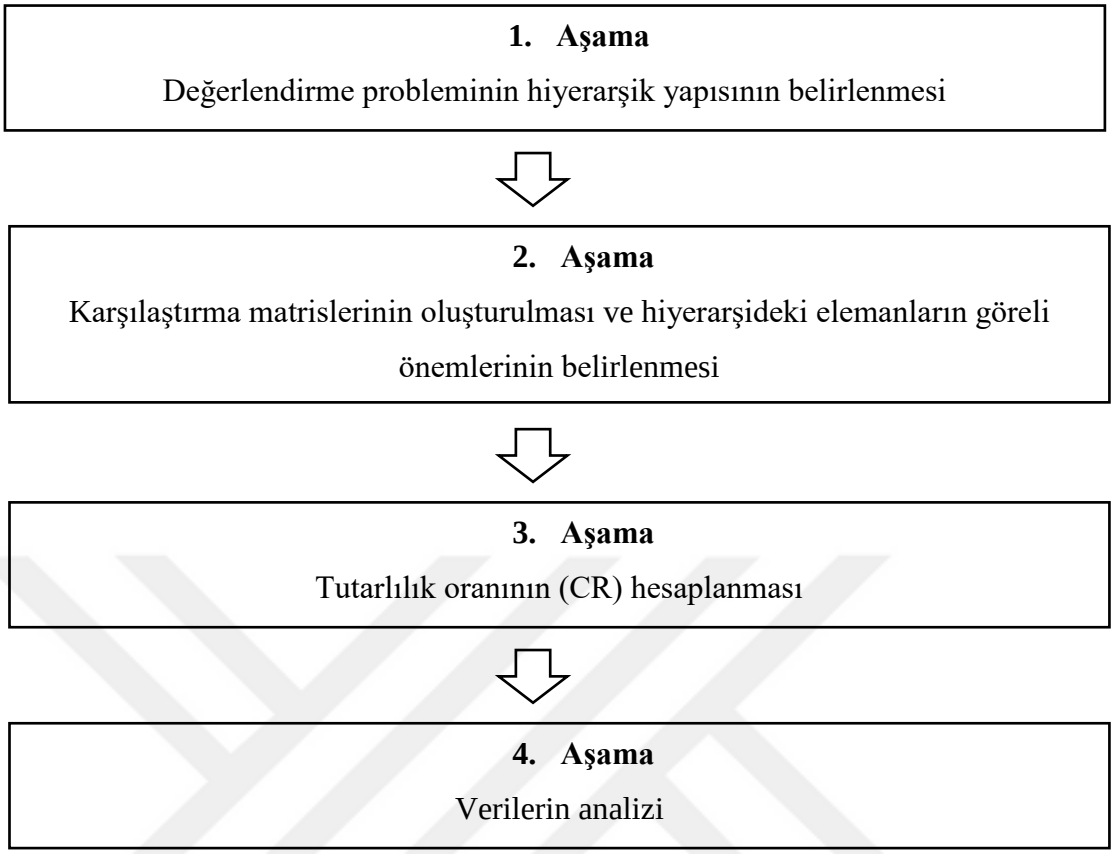
Sonuç olarak, AHP kriter önceliklerinin belirlenmesini ve belirlenen bu kriter önceliklerinden hareketle alternatiflerin değerlendirilmesini ve amaç yada amaçları gerçekleştirecek sağlıklı kararların alınmasını sağlamaktadır. Bunu yaparken de karar vericilerin/uzmanların bilgi ve deneyimlerinden etkin olarak yararlanmaktadır (Gülenç ve Bilgin, 2010).

3.3. AHP Modelinin Kurulması

Herhangi bir karar alma sürecinde bir problemin ele alınması sırasında en uygun çözümün en uygun koşullarla sağlanması model aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Aksi halde gerçek sistemin hayata geçirilmesi hem maliyet hem de süre açısından dezavantajlı bir durum ortaya çıkarmaktadır. Gerçek sistemin bir temsilcisi olan modelleme yaklaşımı ile gerçek durumun tüm ayrıntıları ele alınmak yerine ağırlıklı olarak önemli bileşenleri ve bu bileşenlerin birbirleri arasındaki ilişkileri belirlenmektedir.

AHP ile modelin kurulmasında, ileri seviye matematik bilgisi gerekmemektedir. Somut ve soyut kriterler bir arada var olabilmektedir. Bu durum varsayım gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Karar verme sürecinde karar alıcı ve uygulayıcılar kendi fikirlerini, yargılarını modele yansıtırlar, sonuçlar ortak kararlar doğrultusunda ortaya çıkan öngörülebilir sonuçlar olmakta ve karar sürecinde yer alan aktörlerce benimsenmektedir. Böylelikle sonuçların uygulanma olasılığı da artmaktadır (Gülenç ve Bilgin, 2010).

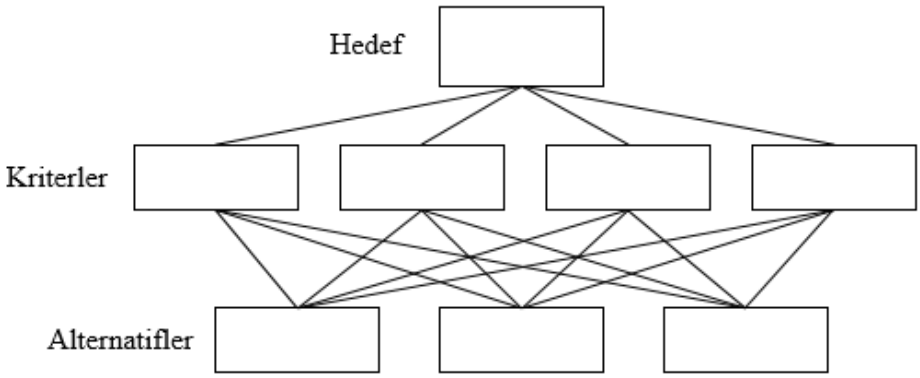
AHP modelinin kurulması 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar Şekil 3.3'de açıklanmıştır. Yöntemin uygulanmasında ilk olarak probleme ait birbirleri ile ilişkili elemanlar (kriterler ve alternatifler) bir hiyerarşi içinde düzenlenmektedir. Sonra karar elemanları arasında çift yönlü karşılaştırmalar yapılarak probleme ait veriler toplanmaktadır. Sözel ifadelerden oluşan bu veriler oran ölçeği kullanılarak sayısallaştırılmaktadır. Daha sonra, uzmanların yargılarının tutarlılığını değerlendirmek amacıyla her matris için bir tutarlılık oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. Son olarak tanımlanan karar elemanlarının göreceli ağırlıkları hesaplanmakta, bu ağırlıklar toplanarak karar alma süreci gerçekleştirilmektedir (Palabıyık ve Çolakoğlu, 2012).



Şekil 3.3. AHP modeli kurulması

3.3.1. Değerlendirme probleminin hiyerarşik yapısının belirlenmesi (1. Adım)

AHP yönteminin kullanılabilmesi için ilk adım, hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan sistem elemanlarının üstte hedef, en altta alternatifler olacak şekilde hiyerarşik düzende Şekil 3.4'de gösterildiği gibi sıralanmasıdır (Saaty ve Vargas, 2001). Bu elemanlardan genel özelliğe sahip olanlar hiyerarşinin üst düzeyinde, özellikli elemanlar daha alt düzeyde yer almaktadır. Tutarlı ve iyi kurgulanmış bir hiyerarşik sistem, yapılan küçük müdahalelere karşı esnektir. Küçük değişimler genel performansı etkilememektedir.



Şekil 3.4. Hiyerarşi modeli

“Hiyerarşik bir modelin oluşturulması; avantajları sağlar;

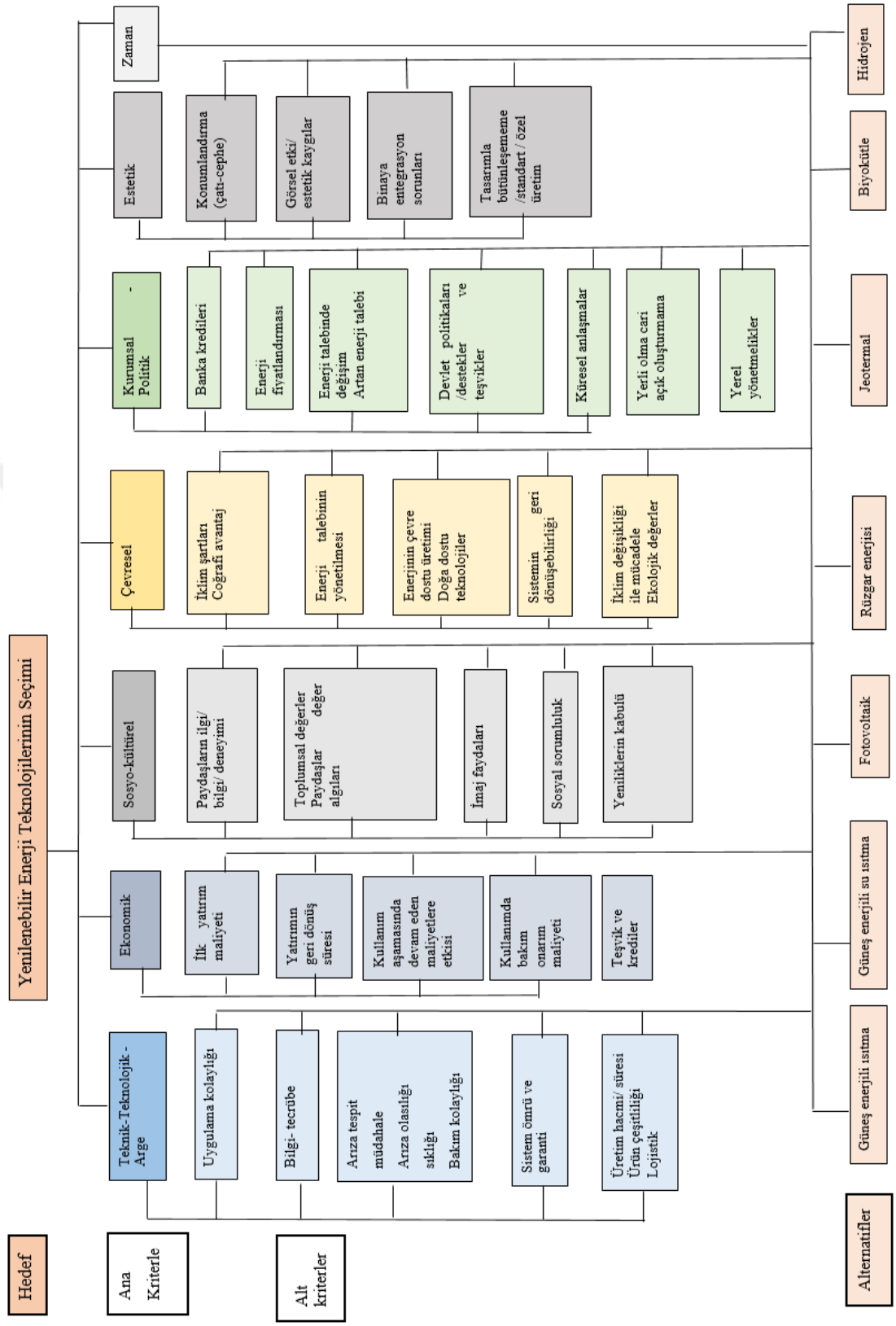
• Bir sistemin hiyerarşik gösterimi, üst düzeydeki önceliklerdeki değişimin alt düzeydeki elemanların önceliklerine nasıl etkisi olduğunu betimlemek için kullanılabilmesi,
• Bir sistemin alt düzeylerindeki yapısı ve fonksiyonları hakkında detaylı bilgi verir ve üst düzeylerdeki elemanlar ve amaçları hakkında genel bir görünüş bildirmesi,
• Doğal sistemleri hiyerarşik bir şekilde birleştirilebilmesi,
• Hiyerarşilerin kararlı ve esnek olması” gibi avantajlar sağlamaktadır (Arıkan, 2015).

AHP yöntemi kapsamında 1. Aşamada hiyerarşik yapıyı oluştururken; teknolojilere karar vermede etkili olan kriterler ve alt kriterlerin ve teknoloji alternatiflerinin tanımlanabilmesi için literatür çalışmaları ve uzman grup görüşmeleri kapsamında elde edilen veriler kullanılmıştır. Teknolojilere karar vermede etkili olan kriterler Çizelge 3.5’de görüleceği gibi, teknojik/teknik, ekonomik, sosyo-kültürel, çevresel, kurumsal/ politik, zaman, estetik kriterleri ve bu kriterlerin alt kriterleri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımına yönelik ana kriterler ve alt kriteler

Ana kriterler	**Alt kriterler**
Teknik teknolojik arge	Uygulama kolaylığı Bilgi tecrübe Arıza tespit müdahale/arıza olasılığı sıklığı/bakım kolaylığı Sistem ömrü ve garanti Üretim hacmi/ süresi, ürün çeşitliliği, lojistik
Ekonomik	İlk yatırım maliyeti Yatırımın geri dönüş süresi Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi Kullanımda bakım onarım maliyeti Teşvik ve krediler
Sosyo-kültürel	Paydaşların ilgi/ bilgi/ deneyimi Toplumsal değerler/ Paydaşların değer algıları İmaj faydaları Sosyal sorumluluk Yeniliklerin kabulü
Çevresel	İklim şartları/ Coğrafi avantaj/ bölgedeki enerji potansiyeli Enerji talebinin yönetilmesi Enerjinin çevre dostu üretimi/ Doğa dostu teknolojiler Sistemin geri dönüşebilirliği İklim değişikliği ile mücadele/ Ekolojik değerler
Kurumsal/ Politik	Banka kredileri Enerji fiyatlandırması Enerji talebinde değişim/ Artan enerji talebi Devlet politkaları /destekler ve teşvikler Küresel anlaşmalar Yerli olma cari açık oluşturmama Yerel yönetmelikler
Estetik	Konumlandırma (çatı-cephe) Görsel etki/ estetik Binaya entegrasyon Tasarımla bütünleşebilme /standart / özel üretim
Zaman	

Ana kriterler, alt kriterler ve Türkiye'de binalarda kullanılan/ kullanılabilecek YET alternatifleri belirlenerek, hiyerarşik yapı Şekil 3.5'de gösterildiği gibi kurulmuştur.



Şekil 3.5. Hiyerarşik yapının kurulması

3.3.2. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (2. Adım)

Hiyerarşik yapı farklı düzeyde elemanlardan oluşmaktadır. En üst düzeyde hedef, bir alt düzeyde, ana kriterler ve ana kriterlerin altında alt kriterler yer almaktadır. En alt düzeyde ise alternatifler bulunmaktadır. Hedefe yönelik olarak her düzeydeki elemanların ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Ana hedefe göre ana kriterler, ana kriterlere göre alt kriterler ve alt/ana kriterlere göre de alternatif teknolojiler karşılaştırılmıştır. İkili karşılaştırmalar; öncelikle ana kriterler, daha sonra her bir ana kriterde yer alan alt kriterler ve son olarak da tüm kriterler göz önüne alınarak alternatiflerin karşılaştırıldığı matrislerden oluşur. Her ana boyutun diğerleriyle karşılaştırılması, aynı işlemin ilgili ana boyuta göre karşılaştırılan alt kriterler için de tekrarlanması ve farklı alternatiflerin her bir alt kritere göre karşılaştırılması sonucunda 38 ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Modele ilişkin tüm ikili karşılaştırma matrisleri Ek-1'de verilmiştir. Karşılaştırma matrislerinin uygulanması için, çalışma kapsamında görüşülen, konularında uzman olan mimar, mühendis ve yenilenebilir enerji teknoloji uzmanlarından oluşan araştırma ekibi ile ikinci bir görüşme yapılmıştır. Veri toplama tekniği olarak, odak grup veri toplama tekniği kullanılmıştır. Odak grup görüşmelerinde moderatör ve rapor yazıcı görevleri tarafımca yapılmıştır. Ekip elemanlarının geçmiş tecrübelerini aktarması, görüşlerini paylaşması ve bilgi birikimi sağlaması önemli olmuştur. İkili karşılaştırma matrisleri uzmanlarca, Çizelge 3.6'da verilen dokuz puanlık Saaty (1986) tarafından geliştirilen Saaty ölçeği (göreli önem ölçeği) kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.6. Saaty ölçeği (Saaty, 1986)

Önem derecesi	**Tanım**
1	Eşit derecede önemli
3-1/3	Orta derecede daha fazla/daha az önemli
5-1/5	Oldukça fazla/daha az önemli
7-1/7	Kesinlikle daha fazla/daha az önemli
9-1/9	Son derece fazla/daha az önemli
2-1/2,4-1/4,6-1/6,8-1/8	Ara değerler

Karar vermede kullanılan ölçek istatistiksel ve sezgisel olarak anlamlı olmalıdır. Göreli önem ölçeği ikili karşılaştırmaların nitel ya da nicel şekilde yapılabilmesine olanak sağlayan, AHP'nin temel ölçeğidir. Göreli önem ölçeği 1'den 9'a kadar olan değerlerin tanımlarını anlatmaktadır (Saaty, 1986). Nicel olarak ölçülebilen kriterlere yönelik karşılaştırmaların kolaylıkla yapılabilmesine karşın, nitel kriterler için yapılan karşılaştırmalarda değerlerin tanımı karar vericilerle paylaşılmalıdır (Arıkan, 2015). Karar verici karşılaştırdığı iki eleman arasında önem derecesi belirleyemiyorsa, iki eleman eşit önemdedir ve önem derecesi 1 olarak işaretlenmektedir. İki elemandan biri diğerinden son derece fazla önemli ise işaretlenen 9 önem derecesi olmaktadır. Tüm elemanların ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenirken, "n" kriterli bir hedef için oluşturulacak matris nxn boyutunda olmaktadır. Elemanın kendisiyle karşılaştırılması değeri 1 olarak, matrisin diyagonal köşegenlerine yerleştirilmektedir. İki eleman karşılaştırılırken önce hangi kriterin önemli olduğu, sonra ne derecede önemli olduğu irdelenmektedir.

İlk olarak ana kriterlerin ikili karşılaştırılması ve ardından alt kriterlerin sonrasında ise tüm kriterler kapsamında alternatiflerin karşılaştırması yapılmaktadır. Teorik olarak n karşılaştırılan eleman sayısını, i matristeki satırı j de sütunu belirtmek üzere, aij, karşılaştırılan elemanların önem derecelerini anlatmaktadır. İkili karşılaştırma matrisinin genel gösterimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Arıkan, 2015).

	Eleman-1	Eleman-2	.....	Eleman-n
Eleman-1	$a_{11}= w_1/ w_1$	$a_{12}= w_1/w_2$	.....	$a_{1n}= w_1/ w_n$
Eleman-2	$a_{21}= w_2/ w_1$	$a_{22}= w_2/w_2$	.....	$a_{2n}= w_2/w_n$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Eleman-n	$a_{n1}= w_n/w_1$	$a_{n2}= w_n/ w_2$	.	$a_{nn}= w_n/w_n$

Şekil 3.6. İkili karşılaştırma matrisi

“İkili karşılaştırma matrisinin özellikleri;

• Matrisin tüm elemanları pozitif değerli ve kare matristir.
• Matris tam tutarlı ise aij * ajk = aik eşitliği sağlanır.
• Matris tam tutarlıysa herhangi bir satırından matrisin diğer tüm elemanları da elde edilir.
• n sayısının 2’li kombinasyonu kadar açılım yapılır.
• Matrisin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektör, AHP matrisinde ağırlık veya göreli önem vektörü olarak tanımlanır.
• A matrisinin diyagonal köşegen elemanları 1’e eşittir” (Arıkan, 2015).

AHP yönteminde yapılan karşılaştırmalarda eleman sayısının küçük olması gerekmektedir. Tutarlılık açısından, karşılaştırmalarda eleman sayısı yedi (±2) olarak alınmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan ikili karşılaştırma matrislerinden olan, ana kriterleri ikili karşılaştırma matrisi aşağıda Şekil 3.7’de örneklendirilmiştir. Diğer matrisler için yapılan tablolar ise toplu olarak Ek-1’de verilmiştir. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin ikinci satırında bulunan ekonomi kriteri ile son sütunda yer alan estetik ana kriterlerine karşılık verilen 7 rakamı, ekonomi kriterinin estetik kriterinden Saaty (1986) göreli önem ölçeğine göre kesinlikle daha fazla önemli (7 kat) olduğunu göstermektedir. Matrisin son sütununda bulunan estetik ana kriteri ile beşinci satırda bulunan zaman ana kriterine karşılık gelen 1 rakamı da estetik ana kriteri ile zaman ana kriterinin eşit önemde olduğunu göstermektedir.

	Teknik-Teknolojik Arge	Ekonomi	Sosyo Kültürel	Çevresel etki	Kurumsal Politik	Zaman	Estetik
Teknik-Teknolojik Arge		1/9	6	2	6	6	3
Ekonomi			7	7	5	9	7
Sosyo Kültürel				1	2	4	3
Çevresel					2	9	3
Kurumsal Politik						9	3
Zaman							1
Estetik							

Şekil 3.7. Ana kriterleri ikili karşılaştırma matrisi

AHP yönteminde, ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulduktan sonraki adım farklı alt kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarını belirlemek ve sıralamak için ikili karşılaştırma matrislerinin özdeğerlerinin ve özvektörlerinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Saaty'e (2008) göre, kesin öncelikleri hesaplama adımları, matrisi büyük bir kuvvete yükseltmek, matrisi satırlar boyunca toplamak ve son olarak ağırlıkları normalleştirmek için her birini tüm satırların toplamına bölmekten oluşur. Önem vektörleri belirlenirken en doğru sonucu veren yöntem olan en iyi yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde ikili karşılaştırmalar matrisinin her satırında yer alan elemanlar (n tane) birbiri ile çarpılır ve eleman sayısının(n) derecesinden kökü alınır. Elde edilen değerler normalize edilir. Yapılan bu işlem geometrik ortalamayı bulmadır (Arıkan, 2015).

Ana kriterlerin karşılaştırmasına ait olan, Şekil 3.8'de gösterilen özvektör değerlerini incelediğimizde ekonomi kriteri en yüksek değere sahiptir. Bu da bize karar vermede en etkili kriterin olduğunu gösterir. Şekildeki göreli önem değerlerinin sıralaması bir anlamda kriterlerin önem sıralamasını göstermektedir. İkinci sırada teknik teknolojik arge kriteri gelmekte olup, diğer kriterler matematiksel olarak göz ardı edilebilecek değerdedir.

	teknik teknolojik arge	ekonomi maliyet	sosyal kültürel	çevresel etki	kurumsal politik	zaman	estetik				
teknik teknolojik arge	1	0,11111111	6	2	6	6	5				
ekonomi maliyet	9	1	7	7	5	9	7				
sosyal kültürel	0,166667	0,14285714	1	1	2	4	3				
çevresel etki	0,5	0,14285714	1	1	2	9	3				
kurumsal politik	0,166667	0,2	0,5	0,5	1	9	3				
zaman	0,166667	0,11111111	0,25	0,111111	0,111111111	1	1		Satır Toplamı		Özvektör
estetik	0,2	0,1428571	0,33333	0,333333	0,33333333	1	1				
Kare Matris	7	3,9460317	20,9444	16,1111	30,888889	114	58,77778		192,89		0,211403
	26,4	7	82,0833	44,8333	95,333334	215	125		470,65		0,5158204
	3,71905	1,7201058	7	5,77778	9,1587301	40,28571	20,83333		67,6614		0,0741551
	4,88571	2,3126984	10,25	7	11,714286	47,28571	27,5		83,4484		0,0914573
	4,56667	1,9899471	7,15	5,23333	7	30,3	20,23333		56,2399		0,0616375
	1,64907	0,4574074	2,77778	1,97222	2,8333333	7	5,027778		16,6898		0,0182916
	2,13016	0,5809524	3,61667	2,67778	4,0253968	11,81905	7		24,85		0,027235
									912,43		

Şekil 3.8. Önemlerin belirlenmesi

3.3.3. Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması (3. Adım)

Uzmanların yargılarının tutarlılığını değerlendirmek amacıyla, ikili karşılaştırmalardan elde edilen sonuçların güvenirliğinin anlaşılabilmesi için her ikili karşılaştırma matrisi için bir tutarlılık oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. Kabul edilebilir bir tutarlılık düzeyi için CR değerinin 0,10'dan düşük olması gerekmektedir. Oran 0,10'dan büyük ise karar vericilerin tutarsız yargılar verdiği anlaşılmaktadır. Tutarsızlık oranı, karşılaştırma matrisi ile göreli önem vektörü sağdan çarpılarak elde edilir. Elde edilen vektörün ilk elemanını göreli önem vektörünün ilk elemanına, ikinci elemanını göreli önem vektörünün ikinci elemanına bölerek ve diğer elemanlara da aynı işlem uygulanarak yeni bir vektör elde edilir. Elde edilen bu yeni vektörün elemanlarının toplamı eleman sayısına bölünerek en büyük öz değer (max λ) için yaklaşık bir tahmin değeri elde edilir. Bu değer verilen yargıların tutarlılığı açısından çok önemlidir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için matrisin en büyük öz değerinin (max λ) matrisin oluşturulmasında yer alan faaliyet sayısına (n değerine) eşit olması gerekir. Yani tutarlılık durumunda = *n* max λ olup, tutarlılıktan sapma değeri ise aşağıdaki formül gibidir ve bu ifade t*utarlılık indeksi (CI)* olarak adlandırılır;

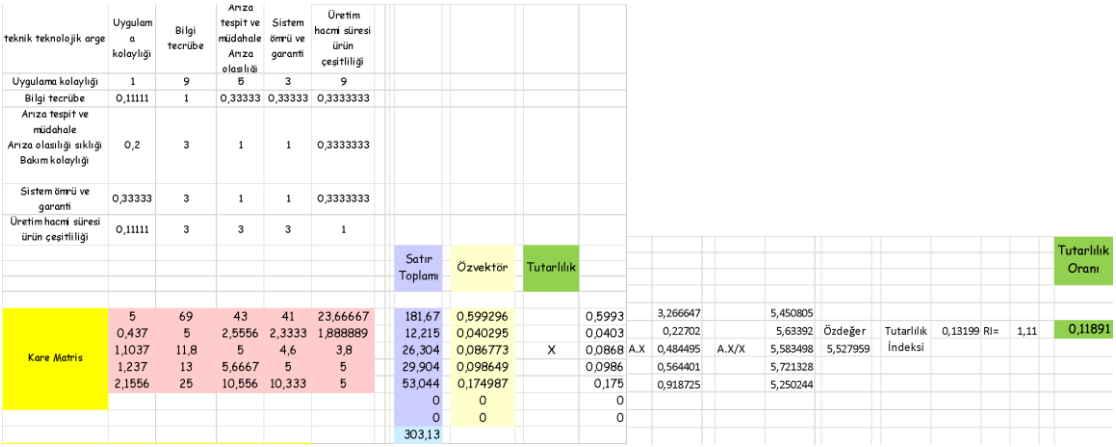
$$\mathrm{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

Tutarlılık indeksi (CI), rassal indeks (RI) değerine oranlanarak tutarsızlık oranı (IR) hesaplanır. Bir anlamda, IR=RI/CI dır. Burada rassal indeks (RI), n sayısına bağlı olarak rassal olarak türetilmiş ikili karşılaştırmalar matrislerinin ortalama değerleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda 1–15 boyutlu matrisler için hazırlanan rassal indeks değerleri Çizelge 3.7'de görülmektedir (Saaty, 2000). CR, *CI* / *RI* tarafından verilir; burada *λmax* maksimum Özdeğer değeridir ve *n* matrisin boyutudur . *RI, n'ye* bağlı rastgele bir indeksi temsil etmektedir (Mastrocinque ve diğerleri, 2020)

Çizelge 3.7. Rassal indeks (RI) değerleri (Saaty, 2000)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,52	0,89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45

Alternatiflerin genel ağırlıkları, önceliklerinin alt kriterlerin ve boyutların öncelikleriyle çarpılması ve son olarak her bir alternatif için elde edilen değerlerin toplanmasıyla elde edilmektedir. Örneğin; Şekil 3.9'da görüldüğü gibi teknik teknolojik arge kriterinin alt kriterleri ikili karşılaştırıldığında, uygulama kolaylığı en önemli kriter olarak görülmekte ve onu üretim hacmi süresi ve ürün çeşitliliği takip etmektedir. Arıza tespit/müdahale/olasılık, sistem ömrü ve garanti, bilgi tecrübe kriterleri karar vermede etkisiz sayılabilmektedir.



Şekil 3.9. Teknik teknolojik arge kriterinin alt kriterlerinin tutarlılık hesabı

3.3.4. Verilerin analizi (4. Adım)

YET kullanılmasına karar vermede en etkili kriterler; ilk yatırım maliyeti, uygulama kolaylığı, üretim hacmi süresi ürün çeşitliliği ve lojistik, teşvik ve krediler, yatırımın geri dönüş süresi, sistem ömrü ve garanti, arıza tespit müdahale arıza olasılığı bakım kolaylığı, bilgi tecrübe, kullanımda bakım onarım maliyeti, kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi olmuştur.

Teknolojiler kriterlere göre kıyaslanmış olup, fotovoltaik en iyi teknoloji seçilmiş, diğer teknolojiler; güneş enerjili su ısıtma + güneş enerjili ısıtma, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrojen olmaktadır.

Uzmanlardan alınan görüşler çerçevesinde elde edilen verilerin değerlendirilmesi için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:
-Her bir kriter için toplam değer ve ortalama değer hesaplanmıştır (Şekil 3.8).
-İkili karşılaştırma matrisindeki elemanlar bulunduğu sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş matris elde edilmiştir (Şekil 3.10).
-Ardından matrisin normalizasyonu sonunda sütundaki değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Bulunan değer ilgili sütundaki kritere ait göreli önem katsayısını vermektedir (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10)
-Göreli önem katsayıları hesaplanan değerlerin güvenirliğinin anlaşılabilmesi için tutarlılık oranı hesaplanmıştır.

Verilerin global ağırlıklandırma yöntemi ile sentezi

Anket çalışmasından elde edilen verilerin AHP yöntemi ile ikili karşılaştırılması ile kriterlerin önem katsayısı, örneklem irdelemesinden elde edilen veriler ile her bir alt kriterin ağırlıkları hesaplanmıştır. Veriler Excel programında birleştirilerek oluşturulan model Şekil 3.10'da verilmiştir.

	Uygulama kolaylığı	Bilgi-tecrübe	Arıza tespiti ve müdahalesi, Arıza sıklığı olasılığı, Bakım kolaylığı	Sistem yaşam döngüsü ve garanti	Üretim hacmi süresi, Ürün çeşitliliği Lojistik	İlk yatırım maliyeti	Yatırımın geri dönüş süresi	Kullanım aşamasında devam eden maliyetler üzerindeki etki	Kullanımda bakım ve onarım maliyeti	Teşvik ve Krediler		Toplam
	0.599296239	0.04029519	0.086772719	0.098648681	0.174987172	0.690763971	0.112375642	0.023582258	0.025278396	0.147999733	2	
Global ağırlık	0.126693023	0.00851852	0.018344013	0.020854627	0.036992813	0.356310148	0.057965649	0.01216421	0.013039112	0.076341282	0.727223	
Güneş enerjisiyle ısıtma	0.215664081	0.02563229	0.189893201	0.142857143	0.073321472	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.147670228
Güneş enerjili su ısıtma	0.215664081	0.04256632	0.189893201	0.142857143	0.073321472	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.147814481
Fotovoltaik	0.215664081	0.02201640	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.154124166
Rüzgar	0.215664081	0.07833983	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0.095375722	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.100420735
Jeotermal	0.086409188	0.14714662	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0,095375722	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.084631174
Biyokütle	0.030809154	0.26030608	0.032352175	0.142857143	0.059837063	0.044686527	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.050616413
Hidrojen	0.020125335	0.42399246	0.018181818	0.142857143	0.047663638	0.022232103	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.041946204
												0.727223400

Şekil 3.10. Teknolojilerin kriterlere göre global ağırlıkları

	Uygulama kolaylığı	Bilgi-tecrübe	Arıza tespiti ve müdahalesi, Arıza sıklığı olasılığı, Bakım kolaylığı	Sistem yaşam döngüsü ve garanti	Üretim hacmi süresi, Ürün çeşitliliği, Lojistik	İlk yatırım maliyeti	Yatırımın geri dönüş süresi	Kullanım aşamasında devam eden maliyetler üzerindeki etki	Kullanımda bakım ve onarım maliyeti	Teşvik ve Krediler		Toplam
	0.599296239	0.04029519	0.086772719	0.098648681	0.174987172	0.690763971	0.112375642	0.023582258	0.025278396	0.147999733	2	
Normalleştirilmiş ağırlık	0.29964812	0.02014759	0.043386360	0.049324341	0.087493586	0.345381986	0.056187821	0.011791129	0.012639198	0.073999867	1	
Güneş enerjisiyle ısıtma	0.215664081	0,02563229	0.189893201	0.142857143	0.073321472	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.194390782
Güneş enerjili su ısıtma	0.215664081	0.04256632	0.189893201	0.142857143	0.073321472	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.194731962
Fotovoltaik	0.215664081	0.0220164	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0.247443308	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.209655321
Rüzgar	0.215664081	0.07833983	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0,095375722	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.158268698
Jeotermal	0.086409188	0.14714662	0.189893201	0.142857143	0.248618785	0.095375722	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.120924003
Biyokütle	0.030809154	0.26030608	0.032352175	0.142857143	0.059837063	0.044686527	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.065683992
Hidrojen	0.020125335	0.42399246	0.018181818	0.142857143	0.047663638	0.022232103	0.142857143	0.142857143	0.142857143	0.142857143		0.056345242
												1

Şekil 3.11. Teknolojilerin kriterlere göre normalize edilmiş ağırlıkları

Modelin çözümü kapsamında ana kriterlerin yüzdelik sıralamasında, ekonomi kriteri %51,58 ile en önemli ana kriter, teknik teknolojik arge ana kriteri %21,14 ile ikinci önemli kriter olmuştur. Diğer ana kriterlerin sıralaması, çevresel etki % 9,14, sosyal kültürel %7,41, kurumsal politik %6,16, estetik %2,72 ve zaman %1,82 olarak görülmektedir.

Ana kriterlere ilişkin alt kriterleri incelediğimizde; en önemli alt kriterler sırası ile; 0.345381986 değeriyle ilk yatırım maliyeti, uygulama kolaylığı (0.29964812), üretim hacmi süresi ürün çeşitliliği (0.087493586), teşvik ve krediler (0.073999867), yatırımın geri dönüş süresi (0.056187821), sistem ömrü ve garanti (0.049324341), arıza tespit müdahale arıza olasılığı bakım kolaylığı (0.043386360), bilgi tecrübe (0.02014759),

kullanımda bakım onarım maliyeti (0.012639198), kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi (0.011791129) olmuştur.

Modelin çözümünde alternatif yenilenebilir enerji teknolojilerinden fotovoltaik 0.209655321 değeri ile en iyi teknoloji olarak ilk sırada yer almıştır. Alternatif yenilenebilir enerji teknolojileri sıralamasını sırasıyla, güneş enerjili su ısıtma (0.194731962), güneş enerjisiyle ısıtma (0.194390782), rüzgar (0.158268698), jeotermal (0.120924003), biyokütle (0.065683992) ve hidrojen (0.056345242) teknolojileri izlemektedir.

Teknik teknolojik arge kriterinin alt kriterleri ikili karşılaştırıldığında;

Uygulama kolaylığı en önemli kriter olarak görülmekte ve onu üretim hacmi süresi ve ürün çeşitliliği/lojistik takip etmektedir. Arıza tespit/müdahale/olasılık, sistem ömrü ve garanti, bilgi tecrübe kriterleri karar vermede etkisiz sayılabilmektedir.

Ekonomi kriterinin alt kriterleri ikili karşılaştırıldığında;

İlk yatırım maliyeti en önemli kriter olarak görülmekte ve onu teşvik ve krediler, yatırımın geri dönüş süresi takip etmektedir. Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi ve kullanımda bakım onarım maliyeti karar vermede en az etkili olmuştur.

Teknik teknolojik arge kriterinin alt kriterlerinin YET ile karşılaştırılması;

- **Uygulama kolaylığı alt kriterine göre YET karşılaştırılması;**

Uygulama kolaylığı alt kriterine göre YET karşılaştırıldığında, güneş enerjili ısıtma, güneş enerjili su ısıtma, fotovoltaik ve rüzgar uygulaması kolay teknolojiler olarak, sırasıyla hidrojen, biyokütle ve jeotermal uygulaması zor teknolojiler olarak ortaya çıkmaktadır.

- **Bilgi tecrübe alt kriterine göre YET karşılaştırılması;**

Bilgi tecrübe alt kriteri en çok sırasıyla hidrojen, biyokütle, jeotermal enerji için önemlidir. Diğer teknolojiler konusunda karar vericiler genel olarak bilgi sahibidir.

- **Arıza tespit alt kriterine göre YET karşılaştırıldığında;**

Arıza tespit biyokütle ve hidrojen enerjisi için zor olmakla birlikte, diğer teknolojiler için kolay sayılmaktadır.

- **Sistem ömrü ve garanti alt kriteri karar vermede etkili olmamaktadır**

Alternatif teknolojiler aynı önem derecesindedir.

- **Üretim hacmi süresi ve ürün çeşitliliği alt kriterine göre teknolojiler kıyaslandığında;**

Fotovoltaik, rüzgar ve jeotermal en avantajlı teknolojiler olup, sonrasında sıralama güneş enerjili ısıtma, güneş enerjili su ısıtma, biyokütle, hidrojen şeklindedir.

Ekonomi kriterinin alt kriterlerinin YET ile karşılaştırılması;

- **İlk yatırım maliyeti alt kriterine göre YET karşılaştırıldığında;**

Güneş enerjili ısıtma, güneş enerjili su ısıtma ve fotovoltaik en çok tercih edilen teknolojiler olup sonrasında sıralama rüzgar + jeotermal, biyokütle, hidrojen şeklindedir.

- **Yatırımın geri dönüş süresi** alt kriteri teknoloji kararını etkilememektedir.

Teşvik ve krediler, kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi ve kullanımda bakım onarım maliyeti karar vermede eşit derecede etkili olmuştur.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye'de YET binalarda kullanılması konusunda, ekonomi en önemli ana kriter olarak kabul edilmiş ve Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçimi ve önceliklendirilmesinde ağırlıkça en yüksek değer olan 0,5158204'ı aldığı görülmektedir. Teknik teknolojik arge ana kriteri ağırlıkça 0,211403 puan alarak ikinci önemli kriter olmuştur. Diğer ana kriterler matematiksel olarak göz ardı edilebilecek değerde olmasına karşılık ağırlık sıralaması, çevresel etki (0,0914573), sosyal kültürel (0,0741551), kurumsal politik (0,0616375), estetik (0,027235) ve zaman (0,0182916) olarak görülmektedir (bkz. Şekil 3.7). En önemli alt kriterler ise sırası ile; ilk yatırım maliyeti, uygulama kolaylığı, üretim hacmi süresi ürün çeşitliliği, teşvik ve krediler, yatırımın geri dönüş süresi, sistem ömrü ve garanti, arıza tespit müdahale arıza olasılığı bakım kolaylığı, bilgi tecrübe, kullanımda bakım onarım maliyeti, kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi olmuştur (bkz. Şekil 3.9, Şekil 3.10). Bu kriterler ekonomi ve teknik, teknolojik, ar-ge kriterleri ile ilişkilidir. Elde edilen sonuçlar yakın zamanda yayınlanan ve araştırmacıların en önemli kriterin ekonomik kriterler, ardından çevre ve son olarak da sosyal kriterlerin geldiğini tespit ettiği bir çalışmayla kısmen örtüşmektedir (Büyüközkan, Karabulut ve Güler, 2018). Çalışma kapsamında öne çıkan ana kriterlerden ekonomi, alt kriterlerden uygulama kolaylığı ve görüşmede altı çizilen konulardan olan teknolojilerin gözlemlenebilme imkanı, Rogers (1995) tarafından ortaya konan yenilik benimseme modelinde yer alan ekonomik olarak sunduğu faydaların gücü, uygulama kolaylığı, gözlemlenip gözlemlenemediği kriterleri ile uyumlu olmuştur.

Literatür çalışmalarında (Wall vd., 2012; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005; Yakoot vd., 2016; Cooke vd., 2007; Margolis ve Zuboy, 2006; Gann, 2003; Reddy ve Painuly, 2004) etkili kriterlerden biri olarak görülen bilgi ve tecrübe, teknoloji geliştiği, bilgiye erişim kolaylaştığı için aşılmakta, önemini yitirmekte ve güncel durumda Türkiye'de aşılması gereken en önemli kriter ekonomi olarak görülmektedir.

Çalışma kapsamında çevresel kriterler geri planda kalmakla birlikte, iklim değişikliği ve birçok ülkede çevre koruma bilincinin artması nedeniyle çevresel etki bağlamında yer alan kriterler de giderek önem kazanmaktadır (Mastrocinque ve diğerleri, 2020).

Estetik kriteri en az etkin kriterlerden olmuştur, fakat uzman grup görüşmelerinde yer alan mimarların aktarımına göre mimarlar için önemli bir kriterdir. Estetik kriteri mühendis, danışmanlar, yatırımcı tarafından önemli görülmemektedir. Bu da mimar ve diğer aktörlerin ortak paydada buluşamadığı bir konu olarak görülmüştür.

4.1.Ekonomi Ana Kriterine Ait Bulgular

Ekonomi ana kriterinin, alt kriterlerinin sonuçlarını göstermektedir. Ekonomi kriteri içerisinde alt kriterlerin öncelik sıralaması şu şekildedir: İlk yatırım maliyeti (0,690763971), teşvik ve krediler (0,147999733), yatırımın geri dönüş süresi (0,112375642), kullanımda bakım onarım maliyeti (0,025278396) ve kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi (0,023582258)(Şekil 3.9, Şekil 3.10). Türkiye, sınırlı finansmana sahip, gelişmekte olan bir ülkedir ve yenilenebilir enerji teknolojileri sermaye yoğun teknolojilerdir. Bu nedenle ilk yatırım maliyeti en önemli alt kriterler olarak sıralanmıştır. YET konusunda, yatırımın geri dönüş süresinin oldukça kısa olduğu projelere rağmen sınırlı finansman sebebiyle, ilk yatırım maliyeti kriterinin önüne geçememiştir.

İlk yatırım maliyeti

Çalışma kapsamında en önemli alt kriter ilk yatırım maliyeti olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde yapılan çalışmalar **ilk yatırım maliyetinin** fazla olması, yatırımın geri dönüş süresinin uzun olması gibi engellerin özellikle güneş enerjsi için aşıldığını göstermektedir (IEA, 2023; SHURA, 2020). Uzman grup görüşmelerine göre son yıllarda, YET üretimi yapan firmaların artması ve yerelde üretimlerinin yapılması maliyeti düşürmede etkilidir. Türkiye'de de pek çok yerli YET tesisi üretim yapmaktadır. Bu da teknolojilere erişimi kolaylaştırmakta ve yaygınlaşması için pozitif etki yaratmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre güneş enerjili ısıtma, güneş enerjili su ısıtma ve fotovoltaik ilk yatırım maliyeti açısından en çok tercih edilen teknolojiler olmuştur. Bu sonuç rüzgar, biyokütle ve hidrojen için de benzer çalışmalar yapılması ve üretimlerinin, üretici firmalarının desteklenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Yatırımın geri dönüş süresi

Yatırımın geri dönüş süresi, YET'in binalarda kullanılması konusunda oldukça önemlidir. Güneş enerjisi teknolojilerinin Türkiye'de yerel olarak üretiminin artması, son zamanlarda yatırımın 1-2 yıl içerisinde geri dönebildiği fırsatlar yaratmış ve bu kullanımının yaygınlaşmasında oldukça önemli olmuştur (SHURA, 2020). Uzman grup görüşmelerine göre sanayide kullanılan elektrik maliyetlerinin artması da özellikle sanayi yapılarında YET yatırımlarının geri dönüş süresini oldukça azaltmıştır. SHURA (2020) verilerine göre, fotovoltaik panellerin yatırımında geri dönüş süreleri; tek haneli konutlarda 9,77, çok haneli konutlarda 8,50, eğitim, otel, sağlık ve AVM bina tiplerinde 3,84, ticari, kamu ve sanayi binalarında 2,91 olarak hesaplanmaktadır.

Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi

Uzman grup görüşmelerine göre, binaların kullanım aşamasında aylık olarak kullanılan elektrik enerjisi miktarı ve dolayısıyla maliyeti fazla olduğunda, YET daha fazla tercih edilebilmektedir. Örneğin; konutlarda aylık faturalar kullanıcılar için motivasyon sağlayacak kadar yüksek maliyetler değildir. Fakat fabrika yapılarında aylık faturaların çok yüksek olması yeni çözümler arayışını tetiklemekte ve YET'in kullanımına yöneltmektedir. Fazla enerji tüketen büyük yapılarda kullanılması önemli olmakla birlikte, enerji tüketimine en çok katkısı olan yapılar konut yapıları olduğu için (ETKB, 2023; SHURA, 2020), farklı avantajlar irdelenerek, konut kullanıcıları YET kullanmaya teşvik edilmelidir.

Farklı yapı tiplerine göre kullanım aşamasında, farklı enerji maliyetleri ön planda olmaktadır. Örneğin; otel, yurt gibi su ısıtma maliyeti yüksek yapılarda güneş enerjili su ısıtma, ısıtma maliyeti ön planda olan seralarda jeotermal ısı pompası gibi yenilenebilir enerji teknolojileri tercih edilmektedir.

Teşvik ve krediler

Teşvik ve krediler YET'in kullanılmasında önemli bir kriterdir. Bu konuda teşvik ve kredilerden kimin yararlandığı ve ekonomik faydayı sağlayanın aynı kişi olup olmadığı uzman grup görüşmelerinde önemli bir nokta olarak vurgulanmıştır. Kullanıcı ve yapımcının farklı olması ve ekonomik faydalardan farklı kişilerin yararlanması problemi, hala önemini koruyan aşılması gereken ekonomik problemlerdendir. Problemlerin

aşılması için ortaya konan yaklaşımların, tüm paydaşların ortak faydası yönünde olması gerekmektedir. Bu konuda kullanıcı ve yapımcının aynı anda kar etmesi üzerine modeller geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle kullanıcısı belli olmadan yüklenici eliyle yapılan toplu konutlarda YET kullanımının yaygınlaşabilmesi için bu sorunun aşılması önemlidir. Bir başka örnek, konut piyasasındaki ev sahipleri ve kiracılardır. Bir binanın ev sahibi elektrik kullanımını azaltmak için bir sistem kurmaya isteksiz olabilir, çünkü ortaya çıkan tasarruf kiracı tarafından gerçekleştirilecektir. Ancak aynı zamanda, kiracı, maliyet tasarrufundan yararlanmadan taşınabileceği için kurulum yapmak istemeyebilmektedir. Teşvik ve krediler konusunda bu hususlara da dikkat etmek gerekmektedir.

4.2.Teknik Teknolojik Ar-Ge Kriterine Ait Bulgular

Teknik teknolojik ar-ge ana kriterinin, alt kriterlerinin sonuçlarını göstermektedir. Teknik teknolojik arge kriterleri, binalarda verimli yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçilmesinde önemli bir faktördür. Teknik teknolojik ar-ge kriteri içerisinde alt kriterlerin öncelik sıralaması şu şekildedir: Uygulama kolaylığı (0,599296239), Üretim hacmi, süresi, ürün çeşitliliği ve lojistik (0,174987172), sistem yaşam döngüsü ve garanti (0,098648681), arıza tespiti ve müdahalesi, arıza sıklığı, olasılığı ve bakım kolaylığı (0,086772719) ve bilgi tecrübe (0,04029519)(Şekil 3.9).

Uygulama kolaylığı

Teknolojiler ile ilgili teknik teknolojik arge ana kriterine baktığımızda, en önemli alt kriter uygulama kolaylığı olmaktadır. Örneğin, uzman grup görüşmelerine göre, şiddetli rüzgar alan bölgelerde, rüzgar sebebiyle güneş panellerin uçmaması için iyi sabitlenmesi gerekmektedir. Çatıyı delerek montaj yapıldığında, yalıtım sorunları doğmaktadır. Bu sorunu çözmek için, delmek yerine ağırlık koymak ve ağırlığa monte etme yöntemi gibi pek çok farklı montaj yöntemi geliştirilmektedir. Fakat bu da ek çatı ağırlığı anlamına gelmektedir. Bazı mevcut yapılarda bu durum kullanılması konusunda engel teşkil edebilmektedir. Uygulamanın kolay olması, teknolojilere karar verilmesinde oldukça etkili olmaktadır. Bu sebeple her bir teknoloji için uygulama kolaylığı bakımından arge yapılması oldukça önemlidir. Uzman grup görüşmelerine göre, biyokütle ve hidrojen teknolojileri uygulaması en zor olan teknolojilerdir; jeotermal, güneş ve rüzgar için ise sektörel olarak artık bu sorun aşılmıştır.

Bilgi tecrübe

Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi konusunda yapılan literatür çalışmalarında (Wall vd., 2012; Tsoutsos, Frantzeskaki ve Gekas, 2005; Yakoot vd., 2016; Cooke vd., 2007; Margolis ve Zuboy, 2006; Gann, 2003; Reddy ve Painuly, 2004) önemli kriter olarak görülen bilgi tecrübe kriteri Türkiye'de, uzman grup görüşmelerine göre, teknolojilerin yerel ölçekte üretilebilmesi ve pek çok danışmanlık firması tarafından işverenlere, mimarlara ve kullanıcılara tanıtılması ile önemini yitirmeye başlamıştır. Fakat hidrojen, biyokütle ve jeotermal enerji konularında bilgi tecrübe hala önemli kriter olmaktadır. Uzman grup görüşmelerine göre, bu teknolojiler konusunda karar vericiler diğer teknolojiler kadar bilgi sahibi olmamaktadır.

Arıza tespit ve müdahale / Arıza olasılığı ve sıklığı / Bakım kolaylığı

Güneş, rüzgar ve jeotermal enerjiler için arıza tespit müdahale kolay olmaktadır, bakımı kolay teknolojilerdir. Arıza olasılığı nadir olmaktadır. Özellikle güneş enerjisi için her panel sisteme bağlıdır ve biriyle ilgili sıkıntı olduğunda anlık uyarı vermektedir. Hidrojen ve biyokütle için ise arıza tespiti zor olmaktadır.

Sistem ömrü ve garanti

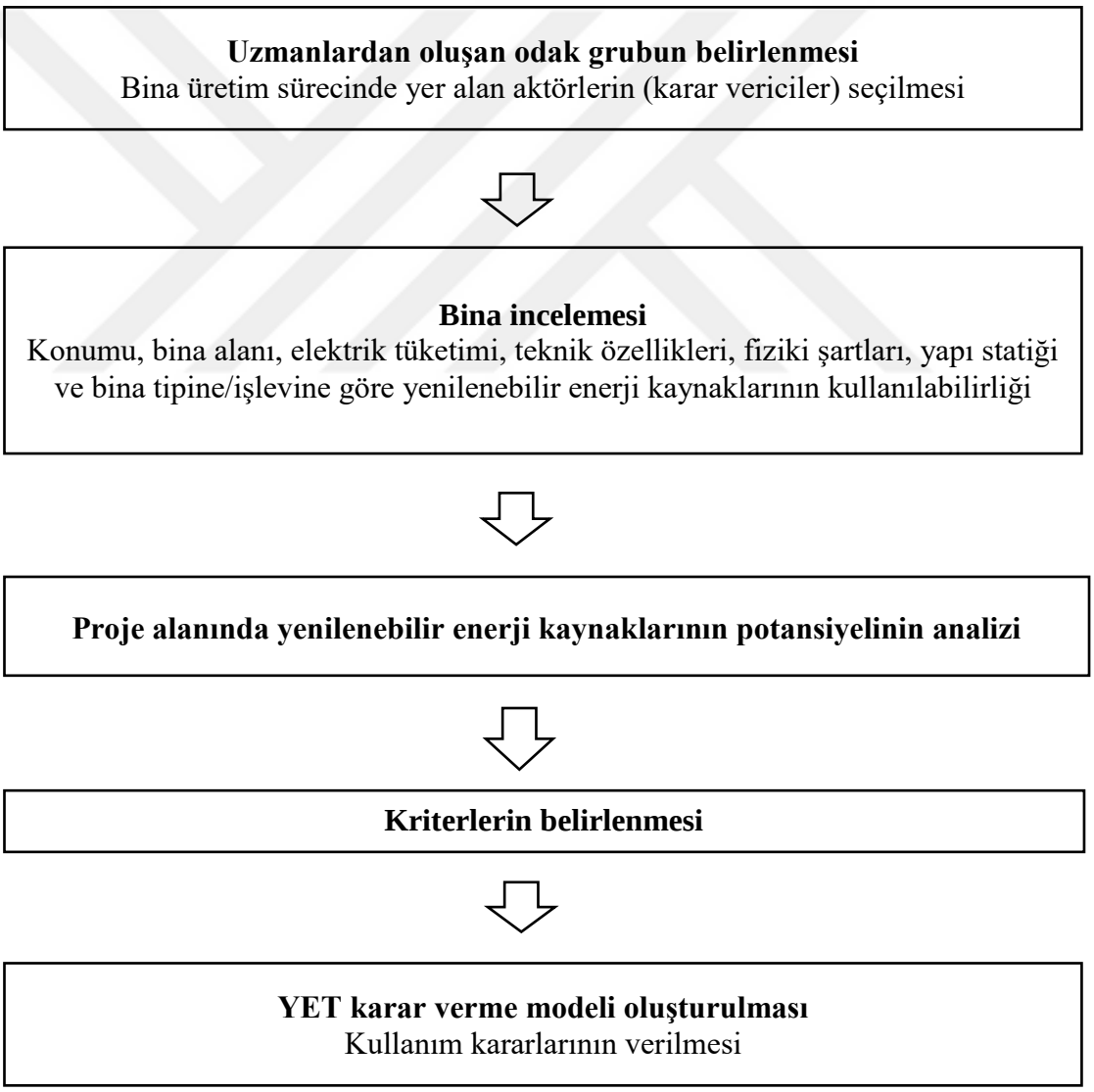
YET konusunda tercih yaparken sistem ömrü ve garanti etkili olmamaktadır çünkü bu durum tüm teknolojiler için benzer koşullardadır. Her birinin ortalama 25-30 yıl ömrü vardır fakat uzman görüşlerine göre, sonrasında da az oranda verim kaybıyla kullanılmaya devam edilmektedir. Örneğin, çalışma kapsamında uygulama yapan firmaların aktarımına göre, kurulumu yapılan güneş enerjisi sistemlerinin 25 yıllı dolduran uygulamalarında halen %80 e yakın verim alınmaktadır.

Üretim hacmi süresi/ Ürün çeşitliliği

Üretim hacmi/ ürün çeşitliliği konusunda en avantajlı teknolojiler fotovoltaik, rüzgar ve jeotermal olmaktadır.

4.3. Modelin Kullanılması

YET kullanılması konusunda, hangi teknolojinin seçileceği kararı verilirken, aktörlerce belirlenen en önemli kriterler Excel tablosuna girilmektedir. Globalize ve normalize ağırlıkların hesaplanmasına olanak veren tabloda, en önemli kriterlerin veya alt kriterlerin girilmesiyle, uygun olan teknoloji sıralaması oluşmaktadır. Alt kriterler arasında karar değişiminde, hangi teknolojilerin ön plana çıktığı basitçe görülmektedir. Yapılan çalışmada genel olarak Türkiye'de kullanılan YET konusu araştırılmıştır. Önerilen modelin örnek proje üzerinde uygulanmasında izlenmesi gereken adımlar Şekil 4.1'de sıralanmaktadır.



Şekil 4.1. Modelin örnek proje üzerinde uygulanması

Öncelikle bina üretim sürecinde yer alan aktörler (karar vericiler) arasından, YET kararını etkileyebilecek olan uzmanlardan oluşan bir odak grup oluşturulmaktadır (1. adım). Daha sonra binanın incelemesi gerçekleştirilmektedir. Konumu, bina alanı, elektrik tüketimi, teknik özellikleri, fiziki şartları, yapı statiği ve bina tipine/işlevine göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği araştırılmaktadır (2. adım). 3. adım, proje alanında yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini irdelemektir. Bu adımda, proje konumundaki yenilenebilir enerji (güneş, rüzgar ve biyokütle vb.) kaynağı potansiyelinin ne kadar iyi olduğuna bakılmaktadır. Örneğin, bir rüzgar türbini sisteminin ekonomik açıdan uygun performansı için sahada minimum bir rüzgar hızı mevcut olması gerekmektedir. Bu aşamada enerji alternatiflerinin çevresel etkileri, ekipman için gereken fiziksel alan miktarı, saha erişimi, sistem uygunluğu, şebeke ara bağlantısı vb. durumlarda potansiyelleri de göz önünde bulundurularak, alanda kullanılabilecek enerji alternatifleri seçilmektedir. 4. adımda YET kullanımı konusunda karar kriterleri ve alt kriterler belirlenmektedir. 5. adımda grup kararı için, AHP modeli kurulmaktadır. AHP yöntemi aracılığıyla elektrik üretimi için belirlenen yenilenebilir enerji alternatifleri (3. adım) ve değerlendirme kriteri hiyerarşik yapıda tanımlanmaktadır (4. adım). Karşılaştırma matrisleri hazırlanmakta ve anketler aracılığıyla aktörler karşılaştırma yapmaktadır. Aktörlerin kararlarıyla kriterler önceliklendirilmekte ve her bir yenilenebilir enerji alternatifi seçilen tüm kriterler açısından değerlendirilmektedir (değerlendirme tablosu elde edilmektedir). Alternatifin değerlendirilmesine ilişkin yapılan tutarlılık hesabı sonrasında uzmanların değerlendirme tablosunun sonuçları analiz edilmektedir. Kriterlerin ağırlıklarının bulunması için AHP yöntemi kullanılmaktadır. Sonrasında kriterlere göre alternatifler sıralanmaktadır.

Karar vericilerin çeşitli nedenlerden dolayı sonuçlarla aynı fikirde olmaması durumunda çatışmaların çözülmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında bu durumla karşılaşılmamıştır fakat ilerleyen çalışmalarda olabilecek bu problemlerin çözümü konusunda da çalışmalar yapılmalıdır.

5. SONUÇ

Dünyanın ortak problemi olan enerji krizi, çevre kirliliği ve iklim değişikliği ile mücadele ettiğimiz bu zamanda, binalarda çevre dostu ve sürdürülebilir teknolojilerin kullanılması gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için oldukça önemlidir. Bu problemi ele alan çalışmada yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanılması konusunda irdelenen literatür çalışmaları ve yapılan uzman grup görüşmeleri ile Türkiye'deki durum, binalarda kullanılması konusunda engeller, fırsatlar, YET konusunda etkili olan aktörler, kriterler ve alternatif teknolojiler ve süreç ortaya konmuştur. AHP yöntemine dayalı olarak Türkiye'de binalarda YET kararı verme modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları ve uzman grup görüşmelerinde, YET'in Türkiye'de kullanımı konusunda, ETKB ve ÇŞİDB tarafından yapılan çalışmalar ile kullanım düzeyinin artırıldığı, binalarda kullanımının ise henüz yaygınlaşmadığı fakat bu konu ile ilgili de pek çok çalışma yapıldığı görülmüştür. Türkiye kaynak potansiyeli açısından çok verimli bir ülke olduğundan teknolojilerin binalarda kullanılması ile ilgili pek çok seçenek mevcuttur. Tüm bu alternatif teknolojilerin binalarda kullanıması konusunda tanımlanan engeller kullanım kriterlerini tarif etmektedir. Aynı zamanda bu kriterler aktörlere göre de değişiklik göstermektedir. Çalışma kapsamında, AHP yöntemi kullanılarak YET uzmanlarından teknolojiler, kriterler ve karar vericiler ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir. Ana kriterlerin, alt kriterlerin, teknoloji alternatiflerinin sonuçları ve tartışmalar sunulmuştur. Literatür taraması ile sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve Türkiye'de YET kullanımının yaygınlaşmasına ve kullanıma karar verme yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Bu çalışma, YET'in binalarda kullanılmasında kriterler ve alt kriterler aracılığı ile uygun olacak teknolojinin seçilmesi ve bina tasarım sürecinde yer alan paydaşların katılımı ile ortak bir kararla binada kullanılabilecek uygun teknolojinin belirlenmesinde öngörüde bulunmasına olanak sağlayacaktır. Bu model çalışması ile YET kullanımına etki eden kriterler ve bu kriterlerin önem dereceleri tespit edilmiştir. Kriterler ve alt kriterler aracılığı ile hangi teknolojilerin seçilmesi gerektiğinin tespit edilebilmesi, doğru teknolojinin proje amaçları ve ilkeleri kapsamında seçilebilmesi ve verimli olması açısından önemlidir. Excel programında kullanılan modelin uygulanması oldukça basittir, karar aşamasında olan tüm aktörlerin kullanabilmesi için uygundur. Konu ile ilgili bina üretim sürecindeki en büyük problem YET'in projeye dahil edilebilme sürecinin karmaşık olmasıdır (karar vericilerin çok

olması, her biri ile ilgili davranışsal engeller, her birinin farklı farkındalık seviyesinde olması, ortaya çıkan kararın ortak karar olabileceği gibi, bir aktörün daha baskın olmasıyla da oluşabileceği vb.). Örneğin; uzman grup kapsamında görüşülen ekiplerin YET uygulaması yaptığı binalarda, mimarların tercih etme sebeplerinin çevresel kaygılar, müşterilerin tercih etme sebeplerinin ekonomik faydalar, kullanıcıların tercih etme sebeplerinin devam eden maliyetlere etkisi olmuştur. Bu sebeple sonuçlar ve tartışmalar aktörler, kriterler ve teknolojiler başlıklarında detaylandırılmıştır.

Aktörler

Bina üretim sürecinde ortaya çıkan sonuç ürün, tüm aktörlerin ortak kararları doğrultusunda inşa edilmektedir. Farklı önceliklere sahip aktörlerin ortak kararlar alabilmesi önem taşımaktadır. Önerilen model, proje sürecinde problemin tanımlanması, aktörlerce ortak kriterlerin belirlenmesi her birinin önceliğinin ortaya konması ve sonucun her bir aktörün ortak fikriyle oluşturulması açısından önemlidir. Hangi teknolojilerin projede kullanılabileceği veya hangi kriterler doğrultusunda karar alınacağını belirleme amacıyla kullanılabilmektedir. Danışman ve mühendislerin uzman grup görüşmelerinde belirttiği gibi, Türkiye'de YET'in kullanıldığı projelerin büyük çoğunluğunda öneri mimarlardan gelmemektedir. Hem lisans aşamasında hem meslek hayatında konu kapsamında, mimarlık eğitim programlarında çalışmalar yapılması gerekmektedir. Estetik kriterinin mimarlar için önemli bir kriter olduğu, bu konuda çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamındaki uzman grup görüşmeden çıkarılan en önemli sonuçlardan biri de, bina üretim sürecindeki aktörler çevrelerinde deneyimledikleri olumlu sonuçlarını gözlemledikleri teknolojileri kullanmaya istekli olmalarıdır. YET'in binalarda kullanımının yaygınlaşmasında ekonomik anlamda uygun hale getirilmesinin yanı sıra kamu yapıları öncülüğünde gözlemlenebilir olmasının da etkili olduğu görülmüştür.

Kriterler

Kriterlerin Türkiye genelinde ağırlıklarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada ekonomi en önemli kriter olarak kabul edilmiş ve Türkiye'de binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçimi ve önceliklendirilmesinde ağırlıkça en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Fakat uzman grup görüşmelerinde belirtildiği gibi farklı proje

örneklerinde, projenin kendi özel koşullarında teknoloji seçimi için farklı motivasyonlar olabilmektedir. Uzman grup görüşmeleri ve literatür çalışmaları, Türkiye'de kamu yapılarında, ekonomi kriteri dışında sosyal sorumluluk anlayışının da büyük önem taşıdığını göstermektedir. Sosyal sorumluluk anlayışının temelinde yatan, iklim değişikliği ve çevre kirliliği kapsamında, Türkiye'de çevre koruma ile ilgili gelişen yasa ve yönetmeliklerle birlikte çevre koruma bilincinin giderek önem kazanmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve çevresel ilkeleri, çok yönlü sürdürülebilirlik hedefiyle, küresel ve ulusal ölçekte, hem hükümetler hem sektörler bazında baskı oluşturmuştur. Geleneksel ekonomik kriterlere dayalı yaklaşımların dışında, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik hedeflerini ve kriterlerini içeren, daha verimli karar alma süreçlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Teknolojiler

Uzman grup görüşmeleri ve literatür araştırmaları kapsamında ele alınan, Türkiye'de kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerinin, model kapsamında çalışılacak proje alanındaki potansiyelinin analizini yapabilmek için ETKB verilerinden yararlanmak gerekmektedir. Bölgeye göre uygun teknoloji alternatiflerinin analizi yapılırken irdelenen ETKB veri sisteminde, biyokütle potansiyeli araştırmasında, Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası (BEPA)'nın gelişmiş sisteminin araştırma sürecini kolaylaştırdığı görülmüştür. Teknoloji analizi yapma konusunda mevcut sistemler BEPA, GEPA ve REPA olmuştur. Ancak, jeotermal ve hidroelektrik enerjisi için de ETKB verileri, diğer enerji veri sistemleri gibi geliştirilmelidir. Teknolojilerin ülke genelinde potansiyel verilerinin geliştirilmesi, resmi kurumlar vasıtasıyla verilere erişilebilmesi teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması için yapılması gereken çalışmalardandır. Bu sistemlerin gelişmiş olması bölgeye göre uygun teknoloji alternatiflerinin hızlıca seçeneklendirilmesi için önemlidir. Tez çalışmasının sonuçları bölgeye göre, su ısıtma için güneş enerjisi, ısınma için jeotermal enerji, ocaklar için biogaz kullanılması gibi hibrit sistem teknolojilerinin de kullanılabileceğini göstermiştir. Gelecek çalışmalarda coğrafi bölgelere göre YET analizleri yapılması konusunun çalışılabileceği öngörülmektedir. Bunların yanı sıra, coğrafi bölgelere ve bina tiplerine göre uygun teknoloji analizi için sistemler geliştirilebilir.

YET'in binalarda kullanılmasında hükümet tarafından karar vermeyi etkileyecek kuvvette politikaların ve teşviklerin oluşturulması oldukça önem taşımaktadır. Örneğin, hükümetler tarafından kullanıcı ve yönetimlerin karşılıklı kazanç sağlamasına yönelik geliştirilen kazan-kazan yaklaşımlar olabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların sadece yeni binaları kapsamaması mevcut yapılarla ilgili çalışmalar yapılması da önemlidir. Konut yapı stoklarında YET kullanılmasının yaygınlaşması için çalışmalar yapılmalıdır. Örneğin, mevcut birden çok hak sahipliği olan konutlarda (apartmanlar, toplu konutlar vb.) kullanılmasının önündeki engellerden biri, herkesin onay vermek zorunda olmasıdır. Yasalarla tekrar düzenlemesi gereken bir konudur.

Çalışma kapsamında geliştirilen model ile, farklı coğrafyalarda ve iklim özelliklerinde binalarda, projede yer alan karar vericiler (aktörler) ve belirlenen kriterler kapsamında bölgede potansiyeli olan teknolojiler arasından, hangi alternatif yenilenebilir enerji teknolojisinin kullanılabileceğine karar verilebilir. İleriki çalışmalarda, örnek proje kapsamında, modelin daha hızlı uygulanabilmesi için, proje alanına göre alternatif teknolojilerin belirlenmesi aşamasında ETKB verilerine dayanan, teknolojilerin il ve ilçeye göre potansiyelini gösteren bir yazılım oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

Ai, Z. G. (2009). Design strategy based on the integration of high-rise building and wind power generation. *Architectural Journal, 5*, 74-75.

Alfonso, D., Perpiñá, C., Pérez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., & Cárdenas, R. (2009). Methodology for optimization of distributed biomass resources evaluation, management and final energy use. *Biomass and Bioenergy, 33*(8), 1070-1079.

Alshuraiaan, B. (2021). Energy-efficient buildings with renewable energy technologies: The case of Kuwait. *Energies, 14*(15), 4440. https://doi.org/10.3390/en14154440

Anadolu Ajansı (AA). (2022). Güneş enerjisinde 8 bin megavatı aşan kapasite Türkiye'nin 78 iline yayıldı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/gunes-enerjisinde-8-bin-megavati-asan-kapasite-turkiyenin-78-iline-yayildi/2561384#:~:text=Konya%2C%201167%2C50%20megavatla%20g%C3%BCne%C5%9F,9%20megavatla%20%C4%B0zmir%20takip%20ediyor.

Arnfield, A. J. (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *International Journal of Climatology, 23*, 1–26.

Arıkan Kargı, V. S. (2015). *Yöneticilerin Fasoncu Seçim Kararında Analitik Hiyerarşi Süreç Modeli*. Ekin Basım Yayın.

Bae, S., & Nam, Y. (2022). Feasibility analysis for an integrated system using photovoltaic-thermal and ground source heat pump based on real-scale experiment. *Renewable Energy, 185*, 1152-1166.

Behzadi, A., Thorin, E., Duwig, C., & Sadrizadeh, S. (2023). Supply-Demand Side Management of a Building Energy System Driven by Solar and Biomass in Stockholm: A Smart Integration with Minimal Cost and Emission. *Energy Conversion and Management, 292*, 117420.

Bezir Nalan, Ç., Murat, Ö., & Nuri, Ö. (2009). Renewable energy market conditions and barriers in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*(6–7), 1428-1436.

Bolloju, N. (2003). Aggregation of Analytic Hierarchy Process models based on similarities in decision makers' preferences. *European Journal of Operational Research, 128*(3), 499-508.

Büyüközkan, G., Karabulut, Y., & Güler, M. (2018). Strategic renewable energy source selection for Turkey with hesitant fuzzy MCDM method. *Studies in Systems, Decision and Control, 149*, 229-250. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75690-5_11

Catalina, T., Virgone, J., & Blanco, E. (2011). Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology. *Renewable Energy, 36*(8), 2245-2252.

Chel, A., & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy-efficient building. *Alexandria Engineering Journal, 57*(2), 655-669. [DOI: 10.1016/j.aej.2017.02.027]

Chen, Y. J., & Meng, H. (2007). The present situation and countermeasures for bioenergy development in China. *Chinese High Technology Letters, 17*(12), 1312-1316.

Chena, M., & Wang, S.-C. (2010). The critical factors of success for information market: Using Analytic Hierarchy Process (AHP) approach. *Expert Systems With Applications, 37*(1), 694-704.

Chenic, A., Cretu, A. I., Burlacu, A., Moroianu, N., Vîrjan, D., Huru, D., et al. (2022). Logical Analysis on the Strategy for a Sustainable Transition of the World to Green Energy—2050. Smart Cities and Villages Coupled to Renewable Energy Sources with Low Carbon Footprint. *Sustainability, 14*, 8622.

Chin, K. S., Chiu, S., & Tummala, V. M. R. (1999). An Evaluation of Success Factors Using the AHP to Implement ISO 14001-Based EMS. *The International Journal of Quality and Reliability Management*, 16(4), 341-361.

Chinese, D., Nardin, G., & Saro, O. (2011). Multi-criteria analysis for the selection of space heating systems in an industrial building. *Energy, 36*(1), 556-565.

Cooke, R., Cripps, A., Irwin, A., & Kolokotroni, M. (2007). Alternative energy technologies in buildings: Stakeholder perceptions. *Renewable Energy, 32*(14), 2320-2333.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞBM). (2014). *Yeni Binalarda Enerji Verimliliği Kontrol Formu Açıklama Kılavuzu*. Ankara. Baskı: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Matbaası.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). (2020). *Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (Nseb) İçin Rehber Kitap*. Ankara.

Dağdeviren, M., Akay, D., & Kurt, M. (2004). İş değerlendirme sürecinde Analitik Hiyerarşi Süreci ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19*(2), 131-138.

Deniz, Ö.Ş. (1999). Çok Katlı Konut Tasarımında Kullanıcıların Esneklik Taleplerini Karşılayacak Yapı Elemanlarının Seçimine Yönelik Bir Karar Verme Yaklaşımı [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. İstanbul.

EC. (1995). *Externalities of Energy' Externe Project, DGXII, JOULE, Report No EUR 16520 EN*.

EC. (1997). Energy for the future: Renewable Sources of Energy. White Paper, *European Commission, DG XVII*.

EC. (2019). The European Green Deal. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN ve https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

EC. (2021). Fit for 55. Erişim adresi: https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/ ve https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en

EC. (2022). *RePowerEU - Affordable, Secure, and Sustainable Energy for Europe*. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

Foxon, T. J., Gross, R., Chase, A., Howes, J., Arnall, A., & Anderson, D. (2005). UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures. *Energy Policy, 33*, 2123-2137.

Gann, D. M. (2003). Trading places—sharing knowledge about environmental building techniques. In *Building culture & environment—informing local & global practices* (pp. 37-56). Blackwell, Oxford.

Gao, Y. C., Kuang, Z. S., Pan, M. S., Huang, X. G., Chen, W., Ye, M. Q., et al. (2006). Development progress and current situation analysis of the rural household biogas in China. *Guangdong Agricultural Science, 11*, 22-27.

GlobalABC, IEA, & UNEP. (2020). GlobalABC roadmap for buildings and construction 2020-2050. IEA, Paris. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/globalabc-roadmap-for-buildings-and-construction-2020-2050 License: CC BY 4.0

Golić, K., Kosorić, V., & Furundžić, A. K. (2011). General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment—potential energy savings and environmental impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(3), 1533-1544.

Government of the Netherlands. (2023). *Renewable Energy*. Erişim adresi: https://www.government.nl/topics/renewable-energy

Gülenç, İ. F., Bilgin, G. A. (2010). Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: Ahp Yöntemi- A Model Proposal for Investment Decısıons: Ahp Method. *Öneri Dergisi*, *9*(34), 97-107.

Güney, T. (2019). Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 26*(5), 389-397. [DOI: 10.1080/13504509.2019.1595214]

Han, B. (2023). Studies and Recommendations on Sustainable Architecture and Energy Efficiency. *Hars Akademi, 6*(1), 57-72.

Himri, Y., Malik, A. S., Stambouli, A. B., Himri, S., & Draoui, B. (2009). Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*(6), 1584-1591.

IEA. (2022). *Buildings*. IEA, Paris. Erişim adresi: https://www.iea.org/reports/buildings

Ike, G. N., Usman, O., Alola, A. A., & Sarkodie, A. S. A. (2020). Environmental quality effects of income, energy prices and trade: the role of renewable energy consumption in G-7 countries. *Science of the Total Environment, 721*, 137813. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137813]

International Energy Agency. (2020). GlobalABC roadmap for buildings and construction 2020-2050: Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector.

International Energy Agency. (2022). Funding for thin film technologies for solar PV. https://www.iea.org/policies/13275-funding-for-thin-film-technologies-for-solar-pv (Erişim tarihi: 9 Eylül 2023).

International Energy Agency (IEA). (2022, Ağustos). World Energy Balances 2020: Extended Energy Balances. Erişim adresi: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances, all rights reserved, as modified by the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21).

International Energy Agency. (2022, March 21). Funding for thin film technologies for solar PV. Erişim adresi: https://www.iea.org/policies/13275-funding-for-thin-film-technologies-for-solar-pv (Erişim tarihi: 9 Eylül 2023).

International Energy Agency (IEA). (2022, Ekim). World Energy Outlook 2022.

International Energy Agency (IEA). (2023). Global Energy Crisis. Retrieved from www.iea.org/topics/global-energy-crisis (Erişim adresi: 8 Mart 2023).

IRENA. (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA. (2018). *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050*. International Renewable Energy Agency, Masdar.

IRENA. (2018). *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA. (2021). *Renewable Energy Policies for Cities: Buildings*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, s. 6.

IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook, Edition 2020*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA. (2021). *Renewable Energy Policies for Cities: Buildings*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook, Edition 2020*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Kara, B., & Akın, M. (2017). Sürdürülebilir mimari tasarım ve su tasarrufu. *Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 7*(1), 34-42.

Kaynak, T., & Kaya, F. (2018). Sürdürülebilir mimari tasarımın enerji verimliliği üzerine etkisi. *Journal of Energy and Power Engineering, 12*(2), 98-107.

Kılıç, H. (2007). Akıllı Binalar, Kurulmaları ve İşletilmeleri. Yayınlanmış Yüksek Lisans. Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kontu, K., Rinne, S., Olkkonen, V., Lahdelma, R., & Salminen, P. (2015). Multicriteria evaluation of heating choices for a new sustainable residential area. *Energy and Buildings, 93*, 169-179.

Kuşkaya, S., Bilgili, F., Muğaloğlu, E., Khan, K., Hoque, M. E., & Toguç, N. (2023). The role of solar energy usage in environmental sustainability: Fresh evidence through time-frequency analyses. *Renewable Energy, 206*, 858-871. [DOI: 10.1016/j.renene.2023.02.063]

Kwok, K. C. S., & Hu, G. (2023). Wind Energy System for Buildings in an Urban Environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 234*, 105349.

Lancaster University. (2023). Lancaster Hydrogen Hub. [Online]. Erişim adresi: https://www.lancaster.ac.uk/energy-lancaster/research/hydrogen-hub/ (erişim tarihi: 12 Aralık 2023).

Lang, S. W. (2004). Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China. *Energy and Buildings, 36*(12), 1191-1196.

Li, Q. (2010). Ground source heat pump and its advantages. *Shanxi Architecture, 36*(19), 170-171.

Liu, L. (2010). Discussion on the development of biomass engineering in China. *Science & Technology Information, 26*, 343-344.

Lin, R., Lin, J., Chang, J., Chao, H., & Julian, P. (2008). Note on group consistency in Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research, 190*(3), 672-678.

Lin, W. J., Lin, L. J., & Wang, G. L. (2010). Research on the status quo, problems and countermeasures on shallow geothermal resources utilization in China. In *Symposium of Urban Geological Environment and Sustainable Development Forum*, 356-360.

Ma, L. X., & Tian, S. (2006). Current situation and development of geothermal energy utilization in China. *Natural Resource Economics of China*, *19*(9), 19-21.

Ma, Z., Awan, M. B., Lu, M., Li, S., Aziz, M. S., Zhou, X., ... Li, Y. (2023). An Overview of Emerging and Sustainable Technologies for Increased Energy Efficiency and Carbon Emission Mitigation in Buildings. *Buildings*, *13*(10), 2658. [DOI: 10.3390/buildings13102658]

Maldonado, P., & Márquez, M. (1996). Renewable energies: An energy option for sustainable development. *Renewable Energy, 9*(1–4), 1072-1075.

Malik, P., Awasthi, M., & Sinha, S. (2022). A techno-economic investigation of grid integrated hybrid renewable energy systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 51*, 101976.

Mastrocinque, E., Ramírez, F. J., Honrubia-Escribano, A., & Pham, D. T. (2020). An AHP-based multi-criteria model for sustainable supply chain development in the renewable energy sector. *Expert Systems with Applications, 150*, 113321.

National Renewable Energy Laboratory. (2006). Nontechnical Barriers to Solar Energy Use: Review of Recent Literature. Erişim adresi: https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40116.pdf

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022, June). *Decarbonising Buildings in Cities and Regions*. Retrieved from https://read.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/decarbonising-buildings-in-cities-and-regions_a48ce566-en.

Painuly, J. P. (2001). Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. *Renewable Energy*, *24*(1), 73-89.

Palabiyik, S., Colakoglu, B. (2012). Evaluation of end-products in architecture design process: a fuzzy decision-making model/ Mimari tasarim surecinde son urunun degerlendirilmesi: bir bulanik karar verme modeli. *Megaron Architecture, 7*(3), 191-207.

Pillai, U. (2015). Drivers of cost reduction in solar photovoltaics. *Energy Economics, 50*, 286-293.

Rapier, R. (2022). *The Year in Energy Prices.* Forbes. https://www.forbes.com/sites/rrapier/

Reddy, S., & Painuly, J. P. (2004). Diffusion of renewable energy technologies—barriers and stakeholders' perspectives. *Renewable Energy*, *29*(9), 1431-1447.

Ren, H., Gao, W., Zhou, W., & Nakagami, K. (2009). Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan. *Energy Policy, 37*(12), 5484-5493.

REN21. (2023). *Renewables 2023 Global Status Report. Renewables in Energy Demand.* REN21. 2023. Renewables 2023 Global Status Report Collection. Erişim adresi: https://www.ren21.net/gsr-2023/

Resmi Gazete. (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.htm

Resmi Gazete. (2007). Enerji Verimliliği Kanunu. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm

Resmi Gazete. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm

Resmi Gazete. (2016). ETKB, Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm ve https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=22923&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

Resmi Gazete. (2018). ETKB, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180201M1-1.htm ve https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliligi-ulusal-enerji-verimliligi-eylem-plani

Resmi Gazete. (2019). EİGM: Yenilenebilir Enerji Üretim Faaliyetleri Lisanssız Elektrik Üretimi. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm

Resmi Gazete. (2022). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220219-2.htm ve https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=13594&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5

Resmi Gazete. (2023). ETKB, Biyokütle Enerjisine Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesine Dair Yönetmelik. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/01/20230126-21.htm

Saaty, L. T., & Vargas, G. L. (1987). Uncertainty and rank order in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research, 32*(1), 107-117.

Saaty, L. T. (1990). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process* (2nd ed.). Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process* (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6). RWS Publications, Pittsburgh.

Saaty, L. T. (2001). *Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, L. T., & Vargas, G. L. (2001). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Saaty, L. T. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research, 48*(1), 9-26.

Saaty T.L. (1986). "Axiomatic Foundation of The Analytic Hierarchy Process", *Management Science, 32*(7): 842-843.

Saaty T.L. (1990). "An Exposition of The AHP in Reply To The Paper "Remarks On The Analytic Hierarchy Process", *Management Science, 36*(3): 259-268.
Saaty T.L. (1994). "How To Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *Interfaces, 24*(6): 19-43.

Saaty T.L. (1999). "Fundamentals of The Analytic Network Process", *The International Symposium on The Analytic Hierarchy Process (ISAHP), 12-14 August 1999*.

Saaty T.L. (2008). "Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons Are Central in Mathematics For The Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process", *Review Of The Royal Spanish Academy Of Sciences Series A Mathematics, 102*(2): 251-318.

Saaty T.L., & Ozdemir, S.M. (2003). "Why The Magic Number Seven Plus or Minus Two", *Mathematical and Computer Modelling, 38*(3-4): 233-244.

Saaty, T. L., & Shıh, H-S. (2009). Structures in Decision Making: On The Subjective Geometry of Hierarchies and Networks. *European Journal of Operational Research, 199*(3), 867-872. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/203388

Savaş, S., & Gül, M. (2018). Sürdürülebilir mimari tasarım ve malzeme seçimi. *Journal of Materials Science and Engineering, 12*(3), 109-118.

Seddiki, M., & Bennadji, A. (2019). Multi-criteria evaluation of renewable energy alternatives for electricity generation in a residential building. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110*, 101-117.

Sharifishourabi, M., Dincer, I., & Mohany, A. (2023). Development and assessment of a new solar-geothermal based integrated energy system with sonic hydrogen generation for buildings. *Journal of Building Engineering, 80*, 107944. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107944

Shove, E. (1998). Gaps, barriers and conceptual chasms: theories of technology transfer and energy in buildings. *Energy Policy, 26*(15), 1105-1112.

SHURA. (2020). Rooftop solar energy potential in buildings – financing models and policies for the deployment of rooftop solar energy systems in Turkey. Energy Transition Center. www.shura.org.tr, p. 16-58.

Statista. (2023). Grid-Connected Solar PV Capacity by Select Country. Erişim tarihi Eylül 28, 2023, erişim adresi: https://www.statista.com/statistics/665864/solar-capacity-in-selected-countries-by-grid-connection/

Stambouli, A. B., Khiat, Z., Flazi, S., & Kitamura, Y. (2012). A review on the renewable energy development in Algeria: current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(7), 4445-4460.

Stambouli, A. B. (2011). Algerian renewable energy assessment: the challenge of sustainability. *Energy Policy, 39*(8), 4507-4519.

Şimşek, S., & Demir, İ. (2019). Sürdürülebilir mimari tasarımın enerji performansı değerlendirme sistemleri üzerine etkisi. *Journal of Building Assessment and Performance, 8*(2), 76-83.

Tas, N., Cosgun, N., & Tas, M. (2007). A qualitative evaluation of the after earthquake permanent housings in Turkey in terms of user satisfaction- Kocaeli, Gundogdu Permanent Housing model. *Building and Environment, 42*(9), 3418-3431.

The White House. (2022). *Inflation Reduction Act Guidebook*. Erişim adresi: https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/ and https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from solar energy technologies. *Energy Policy, 33*(3), 289-296. [DOI: 10.1016/S0301-4215(03)00241-6]

Toprak, M. E., & Küçük, Y. (2018). Sürdürülebilir enerji kaynakları ve binaların enerji performansı. *Journal of Energy Technologies and Policy, 6*(1), 56-63.

Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). *2022-2023 Stratejik Plan*. Erişim: https://webdosya.csb.gov.tr/db/strateji/haberler/cevre-seh-rc-l-k-ve-ikl-m-deg-s-kl-g--bakanligi_sp_2022-2023-20221111154234.pdf

Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (Nseb) İçin Rehber Kitap. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kasım 2020, Ankara

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2016, Mayıs). *Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu*. Ankara.

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Elektrik Enerjisi*. Erişim: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik (Erişim tarihi: 02.02.2023)

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Türkiye Ulusal Enerji Planı,* https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *İklim Değişikliği ve Uluslararası Müzakereler*. Erişim: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-iklim-degisikligi-ve-uluslararasi-muzakereler

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Yenilenebilir Enerji*. Erişim: https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *İklim Değişikliği ve Uluslararası Müzakereler*. Erişim: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-iklim-degisikligi-ve-uluslararasi-muzakereler

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Enerji Diplomasisiı*. Erişim: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-diplomasisi-detay

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*. Erişim: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliligi-ulusal-enerji-verimliligi-eylem-plani

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliği Hakkında*. Erişim: https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-iklim-degisikligi-hakkinda

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Ritm.* Erişim: https://ritm.enerji.gov.tr/root/index.php

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). Ankara. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). Ankara. Erişim adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/11/20231101M1-1-1.pdf

Tüzemen, A., & Özdağoğlu, A. (2007). Doktora öğrencilerinin eş seçiminde önem verdikleri kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 21*(1), 215-232.

UEVEP. (2022). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2022 Gelişimi. https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP2022Gelisimi.pdf

Umar, M., Ji, X., Kirikkaleli, D. D., & Alola, A. A. A. (2021). The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consumption and growth. *Journal of Cleaner Production, 285*, 124863. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124863]

UN. (2015). Sustainable Development Goals. Erişim adresi: https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/

UN. (2023). The Sustainable Development Goals Report 2023: Special edition Towards a Rescue Plan for People and Planet. Erişim adresi: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf

United Nations Conference on Human Settlements (Habitat 2). (1996). *Report of the United Nations Conference on Human Settlements.* Erişim adresi: https://www.un.org/en/conferences/habitat/istanbul1996

United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.* Nairobi. p. 4. Erişim adresi: www.globalabc.org

UNFCC. (2022). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (COP27)

Uslusoy, S. (2012). Examination of Energy Efficient Buildings that Use Renewable Energy Resources from the Viewpoint of Building Components.

Wall, M., Munari Probst, M. C., Roecker, C., Dubois, M. C., Horvat, M., Jørgensen, O. B., & Kappel, K. (2012). Achieving Solar Energy in Architecture-IEA SHC Task 41. *Energy Procedia, 30*, 1250-1260.

Weber, L. (1997). Some reflections on barriers to the efficient use of energy. *Energy Policy, 25*(10), 833-835.

Winch, G. (1998). Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction. *Building Research and Information, 26*(4), 268-279.

Wu, Y., & Zhong, L. (2023). An Integrated Energy Analysis Framework for Evaluating the Application of Hydrogen-Based Energy Storage Systems in Achieving Net Zero Energy Buildings and Cities in Canada. *Energy Conversion and Management, 286*, 117066.

Yaqoot, M., Diwan, P., & Kandpal, T. C. (2016). Review of barriers to the dissemination of decentralized renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58*, 477-490.

Yıldız, M. E., & Bayram, Ö. F. (2019). Sürdürülebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji teknolojileri. *Journal of Renewable Energy and Sustainable Development, 6*(2), 34-42.

Yuan, X., Wang, X., & Zuo, J. (2013). Renewable energy in buildings in China—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24*, 1-8. [DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.022]

Yu, J., Tang, Y. M., Chau, K. Y., Nazar, R., Ali, S., & Iqbal, W. (2022). Role of solar-based renewable energy in mitigating CO2 emissions: evidence from quantile estimation. *Renewable Energy, 182*, 216-226. [DOI: 10.1016/j.renene.2021.10.002]

Zafar, M. W., Shahbaz, M., Sinha, A., Sengupta, T., & Qin, Q. (2020). How renewable energy consumption contributes to environmental quality? The role of education in OECD countries. *Journal of Cleaner Production, 268*, 122149. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122149]

Zhang, M. J., Wang, J. G., & Bao, L. L. (2008). Development situation of ground-source heat pump in China and the popularizing policy of heat pump in foreign country. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 25*(2), 25-28.

Zhu, Y., Li, W., Li, J., Li, H., Wang, Y., & Li, S. (2020). Thermodynamic Analysis and Economic Assessment of Biomass-Fired Organic Rankine Cycle Combined Heat and Power System Integrated with CO2 Capture. *Energy Conversion and Management, 204*, 112310.

EKLER

EK 1 Modele ilişkin tüm ikili karşılaştırma matrisleri

EK 1- Modele ilişkin tüm ikili karşılaştırma matrisleri

Ek Çizelge 1.1. Ana kriterleri ikili karşılaştırma

	Teknik-Teknolojik Arge	Ekonomi-Maliyet	Sosyo Kültürel	Çevresel etki	Kurumsal Politik	Zaman	Estetik
Teknik-Teknolojik Arge		1/9	6	2	6	6	3
Ekonomi-Maliyet			7	7	5	9	7
Sosyo Kültürel				1	2	4	3
Çevresel					2	9	3
Kurumsal Politik						9	3
Zaman							1
Estetik							

Ek Çizelge 1.2. Teknik-teknolojik arge ana kriterine ilişkin alt kriterlerin karşılaştırılması

Teknik-Teknolojik Arge	Uygulama kolaylığı	Bilgi tecrübe	Arıza tespit ve müdahale Arıza olasılığı sıklığı Bakım kolaylığı	Sistem ömrü ve garanti	Üretim hacmi süresi ürün çeşitliliği
Uygulama kolaylığı		9	5	3	9
Bilgi tecrübe			1/3	1/3	1/3
Arıza tespit ve müdahale Arıza olasılığı sıklığı Bakım kolaylığı				1	1/3
Sistem ömrü ve garanti					1/3
Üretim hacmi süresi ürün çeşitliliği					

Ek Çizelge 1.3. Ekonomi –maliyet kriterine ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Ekonomi maliyet	İlk yatırım maliyeti	Yatırımın geri dönüş süresi	Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi	Kullanımda Bakım onarım maliyeti	Teşvik ve Krediler
İlk yatırım maliyeti		9	9	9	9
Yatırımın geri dönüş süresi			8	8	1
Kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi				4	9
Kullanımda Bakım onarım maliyeti					9
Teşvik ve Krediler					

Ek Çizelge 1.4. Sosyo- Kültürel kriterine ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Sosyo- Kültürel	Paydaşların ilgi bilgi deneyimi	Toplumsal değerler Paydaşların değer algıları Paydaşlar açısından konunun lüks algılanıyor olması	İmaj faydaları	Sosyal sorumluluk	Yeniliklerin kabulü Kullanıcılar tarafından kabul edilmesi
Paydaşların ilgi bilgi deneyimi		6	1/3	1	3
Toplumsal değerler Paydaşların değer algıları Paydaşlar açısından konunun lüks algılanıyor olması			1	1	1
İmaj faydaları				3	3
Sosyal sorumluluk					1
Yeniliklerin kabulü Kullanıcılar tarafından kabul edilmesi					

Ek Çizelge 1.5. Çevresel kriterine ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Çevresel	İklim şartları Coğrafi avantaj	Enerji talebinin yönetilmesi	Enerjinin çevre dostu üretimi/ Doğa dostu teknolojiler	Sistemin geri dönüştürülebilirliği	İklim değişikliği ile mücadele Ekolojik değerler
İklim şartları Coğrafi avantaj		1/8	1/8	9	8
Enerji talebinin yönetilmesi			8	9	9
Enerjinin çevre dostu üretimi/ Doğa dostu teknolojiler				4	1
Sistemin geri dönüştürülebilirliği					1
İklim değişikliği ile mücadele Ekolojik değerler					

Ek Çizelge 1.6. Kurumsal Politik kriterine ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Kurumsal Politik	Banka kredileri	Enerji fiyatlandırması	Enerji talebinde değişim Artan enerji talebi	Devlet politikaları destekler Devlet teşviği	Küresel anlaşmalar	Yerli olma cari açık oluşturmama	Yerel Yönetmelikler
Banka kredileri		1/9	1/8	1/9	3	3	9
Enerji fiyatlandırması			1	1	9	9	9
Enerji talebinde değişim Artan enerji talebi				9	9	9	9
Devlet politikaları destekler Devlet teşviği					9	9	9
Küresel anlaşmalar						1	1/9
Yerli olma cari açık oluşturmama							1/9
Yerel Yönetmelikler							

Ek Çizelge 1.7. Estetik kriterine ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Estetik	Konumlandırma (çatı cephe)	Görsel etki /estetik kaygıları	Binaya entegrasyon sorunları	Tasarımla bütünleşememe Standart /özel üretim
Konumlandırma (çatı cephe)		1/3	1/3	1/9
Görsel etki /estetik kaygıları			1/7	5
Binaya entegrasyon sorunları				7
Tasarımla bütünleşememe Standart /özel üretim				

Ek Çizelge 1.8. Teknik-Teknolojik Arge ana kriterine ait uygulama kolaylığı alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	3	7	9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	3	7	9
Fotovoltaik				1	3	7	9
Rüzgar enerjisi					3	7	9
Jeotermal						5	5
Biyokütle							3
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.9. Teknik-Teknolojik Arge ana kriterine ait bilgi tecrübe alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma Kolay	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik En kolay	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1/3	3	1/5	1/7	1/9	1/9
Güneş enerjili su ısıtma			3	1/3	1/5	1/7	1/9
Fotovoltaik				1/3	1/5	1/7	1/9
Rüzgar enerjisi					1/3	1/5	1/7
Jeotermal						1/3	1/5
Biyokütle							1/3
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.10. Teknik-Teknolojik Arge ana kriterine ait arıza tespit ve müdahale (bakım onarım kolaylığı) arıza olasılığı- sıklığı (arıza olma olasılığı) bakım kolaylığı (rutin bakımlar) alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle En zor	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1/9	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1/9	
Fotovoltaik				1	1	1/9	
Rüzgar enerjisi					1	1/9	
Jeotermal						1/9	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.11. Teknik-Teknolojik Arge ana kriterine ait sistem ömrü ve garanti alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma 15	Güneş enerjili su ısıtma 20	Fotovoltaik 25	Rüzgar enerjisi 20	Jeotermal 15/20	Biyokütle 20	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	
Fotovoltaik				1	1	1	
Rüzgar enerjisi					1	1	
Jeotermal						1	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.12. Teknik-Teknolojik Arge ana kriterine ait üretim hacmi, süresi ve ürün çeşitliliği alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1/5	1/5	1/5	3	3
Güneş enerjili su ısıtma			1/5	1/5	1/5	3	3
Fotovoltaik				1	1	3	3
Rüzgar enerjisi					1	3	3
Jeotermal						3	3
Biyokütle							3
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.13. Ekonomi maliyet ana kriterine ait ilk yatırım maliyeti alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1/3	1/3	1/5	1/9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1/3	1/3	1/5	1/9
Fotovoltaik				1/3	1/3	1/5	1/9
Rüzgar enerjisi					1	1/3	1/5
Jeotermal						1/3	1/5
Biyokütle							1/3
Hidrojen							

*Rüzgar ilk yatırım maliyeti yüksek ama kurulması kolay ve verimli
*Biyokütle ilk yatırım maliyeti yüksek fakat atıkları bertaraf etmede çok etkili

Ek Çizelge 1.14. Ekonomi maliyet ana kriterine ait yatırımın geri dönüş süresi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1		
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1		
Fotovoltaik				1	1		
Rüzgar enerjisi					1		
Jeotermal							
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.15. Ekonomi maliyet ana kriterine ait kullanım aşamasında devam eden maliyetlere etkisi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	
Fotovoltaik				1	1	1	
Rüzgar enerjisi					1	1	
Jeotermal						1	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.16. Ekonomi maliyet ana kriterine ait kullanımda bakım onarım maliyeti alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1/3	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1/3	
Fotovoltaik				1	1	1/3	
Rüzgar enerjisi					1	1/3	
Jeotermal						1/3	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.17. Ekonomi maliyet ana kriterine ait teşvikler ve krediler alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.18. Sosyo- kültürel ana kriterine ait paydaşların ilgi bilgi deneyimi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.19. Sosyo- kültürel ana kriterine ait toplumsal değerler / paydaşların değer algıları / paydaşlar açısından konunun lüks algılanıyor olması alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.20. Sosyo- kültürel ana kriterine ait imaj faydaları alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen	Geleneksel yenilenebilir olmayan
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1	9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1	9
Fotovoltaik				1	1	1	1	9
Rüzgar enerjisi					1	1	1	9
Jeotermal						1	1	9
Biyokütle							1	9
Hidrojen								9
Geleneksel yenilenebilir olmayan								

Ek Çizelge 1.21. Sosyo- kültürel ana kriterine ait sosyal sorumluluk alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen	Geleneksel yenilenebilir olmayan
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1	9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1	9
Fotovoltaik				1	1	1	1	9
Rüzgar enerjisi					1	1	1	9
Jeotermal						1	1	9
Biyokütle							1	9
Hidrojen								9
Geleneksel yenilenebilir olmayan								

Ek Çizelge 1.22. Sosyo- kültürel ana kriterine ait yeniliklerin kabulu /kullanıcılar tarafından kabul edilmesi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen	Geleneksel yenilenebilir olmayan
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1	9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1	9
Fotovoltaik				1	1	1	1	9
Rüzgar enerjisi					1	1	1	9
Jeotermal						1	1	9
Biyokütle							1	9
Hidrojen								9

Ek Çizelge 1.23. Çevresel ana kriterine ait iklim şartları alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	9	3	9	9
Güneş enerjili su ısıtma			1	1/9	5	5	5
Fotovoltaik				1/5	3	5	5
Rüzgar enerjisi					9	9	9
Jeotermal						3	3
Biyokütle							1
Hidrojen							

*Rüzgar için iklim en önemli
*Güneş için Türkiye bakımından her yer uygun, çok az farkla her noktada verimli
*Jeotermalde iklimden ziyade yer altı kaynakları
*Biyokütle ve hidrojen iklimden bağımsız

Ek Çizelge 1.24. Çevresel ana kriterine ait enerji talebinin yönetilmesi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1/7	1/5	3	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1/7	1/5	3	
Fotovoltaik				1/5	1/5	3	
Rüzgar enerjisi					1	5	
Jeotermal						5	
Biyokütle							
Hidrojen							

*Rüzgar ve jeotermal yüksek enerji talebini en fazla talebi karşılayan teknolojiler, talep küçük ise güneş daha verimli oluyor

Ek Çizelge 1.25. Çevresel ana kriterine ait enerjinin çevre dostu üretilmesi/doğa dostu teknolojiler alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.26. Çevresel ana kriterine ait sistemin geri dönüştürülebilirliği alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	3	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	3	
Fotovoltaik				1	1	3	
Rüzgar enerjisi					1	3	
Jeotermal						3	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.27. Çevresel ana kriterine ait iklim değişikliği ile mücadele/ ekolojik değerler alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.28. Kurumsal Politik ana kriterine ait banka kredileri alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.29. Kurumsal Politik ana kriterine ait enerji fiyatlandırması alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

*Ne şekilde üretirsek üretelim güncel durumda kullanım fiyatları üzerinden enerji fiyatlandırması yapılıyor.

Ek Çizelge 1.30. Kurumsal Politik ana kriterine ait enerji talebinde değişim/ artan enerji talebi alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	3	5	5	1	
Güneş enerjili su ısıtma			1/3	1/5	1/5	1	
Fotovoltaik				1/5	1/5	3	
Rüzgar enerjisi					1	5	
Jeotermal						5	
Biyokütle							
Hidrojen							

*En verimli rüzgar ve jeotermal oluyor, artan enerji talebini karşılamakta biyokütle zayıf kalsa da atık sorunu açısından olumlu etkisi ön plana çıkıyor

Ek Çizelge 1.31. Kurumsal Politik ana kriterine ait devlet politikaları teşvikler alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.32. Kurumsal Politik ana kriterine ait küresel anlaşmalar alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1/9	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1/9	1
Fotovoltaik				1	1	1/9	1
Rüzgar enerjisi					1	1/9	1
Jeotermal						1/9	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.33. Kurumsal Politik ana kriterine ait yerli olma cari açık oluşturmama alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	1	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	1	1
Fotovoltaik				1	1	1	1
Rüzgar enerjisi					1	1	1
Jeotermal						1	1
Biyokütle							1
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.34. Kurumsal Politik ana kriterine ait yerel yönetmelikler alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1	1	8	1
Güneş enerjili su ısıtma			1	1	1	8	1
Fotovoltaik				1	1	8	1
Rüzgar enerjisi					1	8	1
Jeotermal						8	1
Biyokütle							8
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.35. Estetik ana kriterine ait konumlandırma (çatı cephe) alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	3	9	9	
Güneş enerjili su ısıtma			1	3	9	9	
Fotovoltaik				3	9	9	
Rüzgar enerjisi					9	9	
Jeotermal						9	
Biyokütle							
Hidrojen							

*Güneş enerji teknolojileri çatı ve cephede konumlandırılırken, rüzgar daha zor, diğer sistemler ise konumlandırılamaz niteliktedir.

Ek Çizelge 1.36. Estetik ana kriterine ait görsel etki /estetik kaygıları alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1/3	1	1/9	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1/3	1	1/9	
Fotovoltaik				1/3	1	1/9	
Rüzgar enerjisi					3	1/9	
Jeotermal						1/9	
Biyokütle							
Hidrojen							

*Biyokütle için ayrı bir yapı yapmak gerekmektedir.

Ek Çizelge 1.37. Estetik ana kriterine ait binaya entegrasyon sorunları alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1/3	1	1/9	
Güneş enerjili su ısıtma			1	1/3	1	1/9	
Fotovoltaik				1/3	1	1/9	
Rüzgar enerjisi					3	1/9	
Jeotermal						1/9	
Biyokütle							
Hidrojen							

Ek Çizelge 1.38. Estetik ana kriterine ait tasarımla bütünleşememe standart/özel üretim alt kriteri için yenilenebilir enerji teknolojilerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Güneş enerjili ısıtma	Güneş enerjili su ısıtma	Fotovoltaik	Rüzgar enerjisi	Jeotermal	Biyokütle	Hidrojen
Güneş enerjili ısıtma		1	1	1			
Güneş enerjili su ısıtma			1	1			
Fotovoltaik				1			
Rüzgar enerjisi							
Jeotermal							
Biyokütle							
Hidrojen							