T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEM SEÇİMİ İÇİN BİR YÖNTEM

Abdullah Umur GÖKSU

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Eylül, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEM SEÇİMİ İÇİN BİR YÖNTEM

Abdullah Umur GÖKSU tarafından hazırlanan tez çalışması 27.09.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Togan TONG, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Suzi Dilara MANGAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Şule Filiz AKŞİT, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Yapılarda Yenilenebilir Enerji Sistem Seçimi İçin Bir Yöntem" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

A. Umur GÖKSU

İmza

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e doktora tez sürecimdeki emekleri için teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli katkıları için tez sürecime eşlik eden tez izleme komitesi üyelerine ve tez savunma jürisi üyelerine değerli görüşleri için teşekkür ederim. Doktora sürecimdeki desteğinden dolayı annem Fatma Nurhan GÖKSU'ya teşekkür etmek istiyorum.

A. Umur GÖKSU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1 GİRİŞ 1
1.1 Hipotez 1
1.2 Amaç 1
1.3 Kapsam 2
1.4 Literatür Taraması 2
2 MİMARİDE YENİLENEBİLİR ENERJİ 7
2.1 Enerji ve yenilenebilir enerji 7
2.2 Yenilenebilir Enerjiler ve Tanımları 8
2.3 Yenilenebilir Enerji ve Mimari 10
2.4 NZEB Mimaride Yenilenebilir Enerji Mevzuat Örneği 11
3 YÖNTEM 15
3.1 Kılavuz Yöntemin Akış Sistematiği ve Ana Bölümleri 15
3.2 Veri Toplama 17
3.3 Enerji Üretim ve Enerji Tüketim Hesabı için Bina Modelleme 19
3.4 Binanın Mevcut Enerji Tüketim Profilini Belirleme 20
3.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı ve Dönüşüm Teknolojisi Seçeneklerini Belirleme 21
3.6 Y. E. Entegrasyonu için Konum Seçeneklerini Oluşturma 23
3.7 Y. E. Konumu - Donanım Fizibilitesi 25
3.8 Yenilenebilir Konumunun Potansiyelini Belirleme 26
3.9 Y. E. Konumu - Enerji Fizibilitesi 27
3.10 Y. E. Donanımının Uygulama Alanına Entegrasyonu 28
3.11 Y. E. Senaryolarını Planlama 29
3.12 Tek Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma 30
3.13 Y.E. Üretimini ve Bina Net Enerji İhtiyacını Belirleme 32

3.14 Hibrid Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma ve Net Enerji İhtiyacını Belirlenme 33
3.15 Senaryoları Değerlendirme Kriterleriyle Karşılaştırma 35
3.16 Uygulama Seçeneklerinden Amaca Uygun Olan Senaryoyu Seçme 37
4 KILAVUZ YÖNTEMİN UYGULANMASI 39
4.1 Uygulama Çalışmasının Amacı ve Kapsamı 39
4.2 Veri Toplama 39
4.3 Enerji Üretim ve Enerji Tüketim Hesabı için Bina Modelleme 45
4.4 Binanın Mevcut Enerji Tüketim Profilini Belirleme-Bina Enerji Sistemlerini Çözümleme 46
4.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı ve Dönüşüm Teknolojisi Seçeneklerini Belirleme 49
4.6 Y. E. Entegrasyonu için Konum Seçeneklerini Oluşturma 51
4.7 Y. E. Konumu - Donanım Fizibilitesi 55
4.8 Yenilenebilir Konumunun Potansiyelini Belirleme 58
4.9 Y. E. Konumu - Enerji Fizibilitesi 63
4.10 Y. E. Donanımının Uygulama Alanına Entegrasyonu 66
4.11 Y. E. Senaryolarını Planlama 71
4.12 Tek Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma 74
4.13 Y.E. Üretimini ve Bina Net Enerji İhtiyacını Belirleme 86
4.14 Hibrid Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma ve Net Enerji İhtiyacını Belirlenme 99
4.15 Senaryoları kriterlerle Değerlendirme 104
4.16 Uygulama Seçeneklerinden Amaca Uygun Olan Senaryoyu Seçme 115
5 SONUÇ 121
KAYNAKÇA 127
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 132

SİMGE LİSTESİ

CO_2	Karbondioksit

KISALTMA LİSTESİ

CHP	Combined Heat and Power (Kojenerasyon)
DART	Düşey Akslı Rüzgar Türbini
DHW	Domestic Hot Water (Sıcak Kullanım Suyu)
D-TKIP	Düşey Toprak Kaynaklı Isı Pompası
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive (Binaların Enerji Performansı Direktifi)
HKIP	Hava Kaynaklı Isı Pompası
kWh	Kilovatsaat
m^2	Metrekare
NZEB	Nearly-Zero Energy Building (Neredeyse Sıfır Enerjili Bina)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
Y.E.	Yenilenebilir Enerji

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Kılavuz akış diyagramı.....16
Şekil 3.2 Amaç ve kapsamla ilgili belirleme & veri toplama aşama paketi…..….18
Şekil 3.3 Enerji üretim ve enerji tüketim hesabı için bina modelleme aşama paketi ……20
Şekil 3.4 Binanın mevcut enerji tüketim profilini belirleme aşama paketi ……...21
Şekil 3.5 Yenilenebilir enerji kaynağı ve dönüşüm teknolojisi seçeneklerini belirleme aşama paketi…….……..22
Şekil 3.6 Y. e. entegrasyonu için konum seçeneklerini oluşturma aşama paketi .23
Şekil 3.7 Y. e. konumu - donanım fizibilitesi aşama paketi …….25
Şekil 3.8 Yenilenebilir konumunun potansiyelini belirleme aşama paketi ……...26
Şekil 3.9 Y. e. konumu - enerji fizibilitesi aşama paketi ……..27
Şekil 3.10 Y. E. donanımının uygulama alanına entegrasyonu aşama paketi 28
Şekil 3.11 Y. E. senaryolarını planlama aşama paketi 29
Şekil 3.12 Tek teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma aşama paketi 31
Şekil 3.13 Y.E. üretimini ve bina net enerji ihtiyacını belirleme aşama paketi 32
Şekil 3.14 Hibrit teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma ve net enerji ihtiyacını belirlenme aşama paketi.....34
Şekil 3.15 Senaryoları değerlendirme kriterleriyle karşılaştırma aşama paketi 35
Şekil 3.16 Uygulama seçeneklerinden amaca uygun olan senaryoyu seçme aşama paketi.....38
Şekil 4.1 Yerleşke model vaziyet planı ve çalışılan bina 40
Şekil 4.2 Yerleşkenin (üstte) ve çalışılan tipteki binanın (altta solda ve sağda) perspektif görünüşleri ……40
Şekil 4.3 Kesit ve planda binanın yerleşkedeki konumu ……..41
Şekil 4.4 Binanın yakın çevresi (üstte plan altta perspektif) ……42
Şekil 4.5 Bina zemin kat planı (solda) ve normal kat planı (sağda) ……45
Şekil 4.6 Bina enerji modeli görünüşleri (soldan sağa yan ön ve arka görünüşler) …….....……46
Şekil 4.7 Mevcut durum HVAC sistem şeması ……47
Şekil 4.8 Son kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre bina mevcut durum enerji ihtiyacı (bina birim alanında) ……..48
Şekil 4.9 Son kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre bina mevcut durum enerji ihtiyacı (bina toplam alanında) ……...49

Şekil 4.10 Kullanılabilir alan kodları 52

Şekil 4.11 Yapı kabuğu yüzeyleri üzerindeki yıllık güneş ışınımı (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri) 59

Şekil 4.12 Yapı kabuğu gölgeli alanları (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri)..... 59

Şekil 4.13 Yapı kabuğu dış yüzey sıcaklıkları (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri)..... 60

Şekil 4.14 Çatı yüzeylerinin yönleri, yıllık güneş ışınımı, gölgeli alanları ve sıcaklıkları..... 60

Şekil 4.15 Yerleşkenin yeşil alanları 61

Şekil 4.16 İstanbul'daki biyodizel işleme sahibi firmaların konumları [63]..... 62

Şekil 4.17 Yerleşkenin yer üstü ve yer altı yapılaşmamış arazisi 62

Şekil 4.18 D1, D2 ve D3'ün konuma yerleşim planları 66

Şekil 4.19 D4'ün konuma yerleşim planı 67

Şekil 4.20 D4'ün teknik kurulum gereksinimleri [51] 67

Şekil 4.21 D5'in konuma yerleşim planı 68

Şekil 4.22 D6'nın konuma yerleşim planı ……69

Şekil 4.23 D6'nın teknik kurulum gereksinimleri [55] ……69

Şekil 4.24 D7'nin konuma yerleşim planı ……70

Şekil 4.25 D7'nin teknik kurulum gereksinimleri [58] ……70

Şekil 4.26 D8'in konuma yerleşim planı ……..71

Şekil 4.27 D8'in teknik kurulum gereksinimleri [60] ……...71

Şekil 4.28 Enerji akış diyagramı ……...…73

Şekil 4.29 Örnek D1-2-3 (PV) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [69] ……..……76

Şekil 4.30 Örnek D4 (güneş toplacı) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [70] ……..78

Şekil 4.31 Örnek D4 (güneş toplacı) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [70]..... 79

Şekil 4.32 Örnek D5 (rüzgar türbini) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [53] ……..……..81

Şekil 4.33 Örnek D6 (kojenerasyon) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [55] ……..……..82

Şekil 4.34 Örnek D7 (tkıp) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [71], [58] ……..……84

Şekil 4.35 Örnek D8 (hkıp) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [72] ……..……..85

Şekil 4.36 S1-2-3-4 HVAC sistem şeması ……87
Şekil 4.37 S1'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……...87
Şekil 4.38 S2'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……88
Şekil 4.39 S3'ün Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……..88
Şekil 4.40 S4'ün Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……..89
Şekil 4.41 S5 HVAC sistem şeması 90
Şekil 4.42 S5'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……...90
Şekil 4.43 S6 HVAC sistem şeması ……..91
Şekil 4.44 S6'nın Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……92
Şekil 4.45 S7'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……93
Şekil 4.46 S8 HVAC sistem şeması ……..94
Şekil 4.47 S8'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……...94
Şekil 4.48 S9 HVAC sistem şeması ……..95
Şekil 4.49 S9'un Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……..96
Şekil 4.50 S10 HVAC sistem şeması ……97
Şekil 4.51 S10'un Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi 97
Şekil 4.52 Bina mevcut durum ve yenilenebilir enerji senaryolarının ikincil net enerji ihtiyaçları ……98
Şekil 4.53 Yenilenebilir enerji senaryolarının NZEB a-b-c kriterleri değerleri .100
Şekil 4.54 Yenilenebilir enerji senaryolarının NZEB d kriter değerleri …….101
Şekil 4.55 S11'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……...103
Şekil 4.56 S12'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi ……103
Şekil 4.57 Bina mevcut durum ve yenilenebilir enerji senaryolarının yenilenebilir oranları ……104
Şekil 4.58 Senaryoların NZEB kriter a-b-c değerleri …….107
Şekil 4.59 Senaryoların NZEB kriter d değerleri ……108
Şekil 4.60 Senaryoların NZEB kritera değerleri ve NZEB eşikleri ……109
Şekil 4.61 Senaryoların NZEB kriterb değerleri ve NZEB eşikleri ……110
Şekil 4.62 Senaryoların NZEB kriterc değerleri ve NZEB eşikleri ……111
Şekil 4.63 Senaryoların NZEB kriterd değerleri ve NZEB eşikleri ……112

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Yapı kabuğu konstrüksiyonları ve TS 825 U değerleri……...43
Tablo 4.2 Bina enerji sistemleri ve kullanım verileri……..44
Tablo 4.3 Mevcut durum HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları……47
Tablo 4.4 Bina enerji tüketim profili verileri…….48
Tablo 4.5 Yenilenebilir enerji seçenekleri ve seçimleri…….50
Tablo 4.6 Y. E. konum donanım kombinasyon önerileri……54
Tablo 4.7 Yenilenebilir enerji sistem bileşenleri ve konumları……..55
Tablo 4.8 Yenilenebilir enerji donanımlarının fiziksel özellik ve gereksinimleri.56
Tablo 4.9 Kullanılabilir alanların fiziksel özellik ve gereksinimleri…….57
Tablo 4.10 Fizibil konum/donanım kombinasyonları……58
Tablo 4.11 Enerji sistemlerinin enerji türü ve faaliyet zamanı……..72
Tablo 4.12 Yenilenebilir enerji sistemlerinin binanın mevcut enerji sistemleri ile uyumluluğu……...74
Tablo 4.13 Tek teknolojili yenilenebilir enerji senaryolarının tanımları ve kodları…….……..……...75
Tablo 4.14 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 1 ve özellikleri…….76
Tablo 4.15 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 2 ve özellikleri…….77
Tablo 4.16 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 3 ve özellikleri…….77
Tablo 4.17 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 4 ve özellikleri…….78
Tablo 4.18 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 5 ve özellikleri…….79
Tablo 4.19 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 6 ve özellikleri…….80
Tablo 4.20 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 7 ve özellikleri…….80
Tablo 4.21 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 8 ve özellikleri…….82
Tablo 4.22 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 9 ve özellikleri…….83
Tablo 4.23 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 10 ve özellikleri……85
Tablo 4.24 S1-2-3-4 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları……87
Tablo 4.25 S5 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları…….89
Tablo 4.26 S6 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları…….91
Tablo 4.27 S7 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları…….92
Tablo 4.28 S8 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları…….93
Tablo 4.29 S9 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları…….95
Tablo 4.30 S10 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları……96

Tablo 4.31 Hibrit teknolojili yenilenebilir enerji senaryolarının tanımları ve kodları……..…….102

Tablo 4.32 Senaryoların NZEB kriterlerindeki değerleri ve eşik geçme durumları……...……113

Tablo 4.33 Değerlendirme (NZEB) eşiklerini geçen yenilenebilir enerji senaryoları……...……..115

Tablo 4.34 Senaryoların NZEB kriterlerindeki başarı sıraları……116

Tablo 4.35 Senaryoların başarılı oldukları kriterlerin sayısı……...116

Tablo 4.36 NZEB kriterlerinin uygulama çalışmasına göre sıralanması……116

Tablo 4.37 Yenilenebilir enerji senaryolarının başarı sıralaması……117

Tablo 4.38 Mevcut durum ile NZEB kriterlerinden geçen senaryolar karşılaştırılması……...……..118

ÖZET

Yapılarda Yenilenebilir Enerji Sistem Seçimi İçin Bir Yöntem

A. Umur GÖKSU

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

Tez çalışması toplam beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan giriş tezin hipotez, amaç, kapsam ve literatür taraması başlıklarını içermektedir. İkinci bölümde tezde ele alınan konular hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Üçüncü bölümde tezin on altı aşamalı yöntemi on altı başlık ile açıklanmıştır. Dördüncü bölümde yöntem bölümüne paralel olarak çalışmanın uygulaması yapılmıştır. Sonuncu bölümde ise önce tez çalışması genel olarak ardından uygulama çalışması ve yöntem detaylı olarak değerlendirilmiştir, son kısımda kapanış yapılmıştır.

Tez kapsamında öncelikle, yenilenebilir enerji üreten ve kullanan enerji etkin binaları yaygınlaştırmak için binaları yenilenebilir enerji sistemleriyle bütünleştirme sürecini tanımlayan ve uygulama senaryosunu oluşturmaya rehberlik eden bir yöntem geliştirilmiştir.

Tezde geliştirilen rehber yöntem, mevcut binalar ve aktif yenilenebilir enerji sistemleri ile sınırlandırılmıştır.

Tezin hipotezinde öngörüldüğü gibi, binalarda yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek değerlendirilebilmekte ve

konuma göre özgün yenilenebilir enerji sistemleri ile bütünleşik bina uygulamaları ortaya konulabilmektedir. Fosil kaynaklı enerji kullanan enerji sistemlerine sahip mevcut binaları alternatif enerji sistemleri ile bütünleştirip bu ısı yalıtımlı enerji korunumlu binaları yaklaşık sıfır enerjili binalara dönüştürmeyi hatta net enerji ihtiyacında sıfır enerjili bina ve ötesini yakalamayı başarmıştır.

İstanbul'da mevcut bir toplu konut mahallesindeki binada yenilenebilir enerji sistemleri ile enerji etkin iyileştirme uygulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışılan yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji, hava ve toprak ısı enerjileridir.

Uygulama çalışmasının sonucunda, NZEB kriterlerinde başarılar gösteren uygulama senaryolarının yenilenebilir enerji oranları %123 ile %11 arasında değişmektedir.

Çalışmanın sonucunda, teknolojileriyle, ürünleriyle, Y. E. sistem boyutuyla ve fizibil konumlarda bina ile ürün bütünleştirmesiyle yenilenebilir enerji sistemini belirleyerek uygulama senaryoları kurgulanabilmesini sağlayan, uygulama sürecini kolaylaştıran özgün bir rehber oluşturulmuştur. Tezin yönteminin uygulanıp yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesiyle mevcut binalar iyileştirilerek enerji etkin binalar artırılabilir. Geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmesiyle binalara yenilenebilir enerji sistem entegrasyonu uygulamalarını artırıcı etki oluşturmaktadır. Kılavuzun tüm bu faydaları yenilenebilir enerjiyle enerji etkin bina artışına hız kazandıracak, yaygın ve kalıcı bir sistem oluşturacak potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Bina bütünleşik yenilenebilir enerji, bina net enerji tüketimi, yenilenebilir enerji, enerji etkin binalar, yenilenebilir enerji potansiyeli.

ABSTRACT

A METHOD FOR SELECTION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS IN BUILDINGS

A. Umur GÖKSU

Department of Architecture

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK

The thesis study consists of a total of five sections. The first section, the introduction, includes the thesis's hypothesis, purpose, scope and literature review titles. In the second section, information is provided about the topics covered in the thesis. In the third section, the thesis's sixteen step method was explained with sixteen titles. In the fourth section, the application of the study was made parallel to the method section. In the last section, the thesis study was evaluated in general, then the application study and method were evaluated in detail, and the closing was made in the last section.

Within the scope of the thesis, first of all, a method has been developed that defines the process of integrating buildings with renewable energy systems and guides the creation of the application scenario in order to popularize energy-efficient buildings that produce and use renewable energy.

The guide method developed in the thesis was limited to existing buildings and active renewable energy systems.

As envisaged in the hypothesis of the thesis, renewable energy source potential in buildings can be evaluated by converting it into usable energy and unique building applications integrated with renewable energy systems can be put forward

according to the location. It has managed to integrate existing buildings with fossil energy-using energy systems with alternative energy systems and transform these heat-insulated energy-saving buildings into nearly zero-energy buildings, and even reach zero-energy buildings and beyond in terms of net energy needs.

Energy-efficient improvement application studies were carried out with renewable energy systems in an existing mass housing neighborhood building in Istanbul. The renewable energy sources studied were solar energy, wind energy, bioenergy, air and ground heat energies.

As a result of the application study, the renewable energy rates of the application scenarios that showed success in the NZEB criteria ranged between 123% and 11%.

As a result of the study, an original guide has been created that enables the construction of application scenarios by determining the renewable energy system with its technologies, products, renewable energy system size and product integration with the building in feasible locations, and facilitates the application process. By applying the thesis method and evaluating the renewable energy potential, existing buildings can be improved and energy efficient buildings can be increased. By appealing to a wide range of users, it creates an increasing effect on renewable energy system integration applications in buildings. All these benefits of the guide have the potential to accelerate the increase in energy efficient buildings with renewable energy and create a widespread and permanent system.

Keywords: Building integrated renewable energy, building net energy consumption, renewable energy, energy efficient buildings, renewable energy potential.

1
GİRİŞ

1.1 Hipotez

Tezin hipotezine göre, binaların özgün tasarımlar olmasını sağlayan yer parametresi, yerin doğal ve yapılı çevre bileşenleriyle yenilenebilir enerji kaynak potansiyelinin etkin kullanımını sağlamak için değerlendirilebilir. Bu durum, yere göre alternatif enerji kaynağının/kaynaklarının binayla bütünleşmesinin planlaması, fizibilitesi, sisteminin uygulaması ve seçimi ile konvensiyonel yakıt kullanan, yalıtımlı, enerji korunumlu binaları (net) sıfır enerjili binalara dönüştürebilir ya da çeşitli enerji etkinliği kategorilerinde basamak atlamasını sağlar. Yerin potansiyeline göre temiz enerji kullanımının planlamasında tasarımcıya/kullanıcıya rehber olacak bir kılavuz gereksinimi vardır ve önemlidir.

Sonuçta, bütünsel bir yaklaşımla kılavuzluk yapılmasının, enerji etkin bina uygulamalarını katalizör etkisiyle kolaylaştırarak, sürdürülebilir bina artışına ivme kazandıracağı beklenmektedir.

1.2 Amaç

Bu araştırmanın amacı, binalarda yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirerek enerji etkin binaları artırabilmek için yenilenebilir enerji sistemlerinin yerleşim alanlarına (bina ve arsası) entegrasyonunu sağlayan, sistematik bir yaklaşım oluşturmaktır.

Bir diğer deyişle (yani), binalarda yerinde üretim ile temiz enerji kullanmak için fizibıl alternatif enerji sistemlerinin mimariyle bütünleştirilmesine kılavuzluk etmek amaçlanmaktadır.

Burada, ‘rehber kullanıcısının’ tasarım tercihlerine göre şekillenen, yenilenebilir enerji kullanım hedeflerine yanıt veren süreç sonucunda yenilenebilir enerji sisteminin belirlenmesi alt amaçtır.

1.3 Kapsam

Tezin yöntemi tasarım aşamasındaki ve iyileştirmek istenen binalar için kullanılabilir olmakla beraber tezin kapsamı mevcut binalarla sınırlı tutulmuştur. Ayrıca yenilenebilir enerjiden yararlanmada aktif yenilenebilir enerji sistemlerini içeren kılavuz, pasif yenilenebilir enerji sistemlerine de uyarlanabilir. Tek yapı ölçeğinden bölge ölçeğine kadar kullanılabilir.

1.4 Literatür Taraması

2021 yılında binaların işletilmesi, küresel nihai enerji tüketiminin %30'unu ve toplam enerji sektörü emisyonlarının %27'sini oluşturdu. [1]. Uluslararası Enerji Ajansı, 2040 yılına kadar sera gazı emisyonlarında %30'luk ek bir artış öngörüyor [2]. CO_2 gibi sera gazlarının atmosferde normal düzeylerin üzerine çıkması hava sıcaklığının yükselmesine neden olur ve bu durum iklim değişikliğinde etkilidir. Sürdürülebilir kalkınma için iklim değişikliği konusunda küresel ölçekte ilk adım Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile 1992 yılında atılmıştır. 1997 yılında ise sera gazlarının azaltılmasına yönelik yaptırım ilkelerini getiren Kyoto Protokolü hazırlanmıştır. 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması'nın hedefi ise, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi dönemden 2°C artış ile sınırlı tutmak ve 2100 yılından önce karbon nötrlüğe ulaşmaktır [2].

2021 yılında toplam bina enerji talebinin en az %35'i fosil yakıtlardan karşılanmaya devam etti [1]. Fosil enerji kaynaklarının (kömür, doğalgaz, petrol vb.) kullanımı ise doğrudan ve dolaylı yollarla, bu kaynakların tükenme riski, insan sağlığını bozması, $C0^2$ salınımı çevre kirliliği, enerji ithal edilen ülkelere bağımlılık, iklim değişikliği [3], küresel ısınma gibi çok çeşitli sorunlar oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil yakıt sorunlarının karşısında bir çözüm olarak yer alır.

Binaların enerji performansını artırmak için AB (Avrupa Birliği), Binaların Enerji Performansı Direktifi 2010/31/EU ve Enerji Verimliliği Direktifi 2012/27/EU'yu içeren bir yasal çerçeve oluşturmuştur [4]. Binaların enerji performansı yönetmeliği 2018 yılında (recast of the Energy Performance in Buildings Directive, EPBD) revize edilmiştir. Bu direktif yaklaşık Sıfır Enerji Binalar (nearly Zero Energy Buildings, NZEB) ve maliyet-optimalite kavramlarını getirdi.

NZEB, yıllık enerji üretiminin yenilenebilir enerjiler yoluyla yıllık enerji tüketimini dengelediği düşük enerjili bir binadır [5]. NZEB'in genel tasarım ilkeleri, önce enerji talebini azaltmak için pasif önlemler almak, enerji tüketimini azaltmak için enerji verimli teknolojileri kullanmak ve ardından kalan bina enerji tüketimini dengelemek için yenilenebilir enerji kaynakları (kullanım teknolojileri) sağlamaktır [6]. Marszal ve arkadaşları literatürdeki NZEB tanımlarını inceleyerek ikincil Sıfır Enerjili Bina (ZEB), birincil ZEB, Maliyet ZEB ve Emisyon ZEB olmak üzere dört ana gruba ayrılmayı önerdiler [7].

Moran ve diğerleri NZEB'in minimum enerji talebiyle süper yalıtımlı bir bina olarak tasarlanması veya daha az yalıtım ancak büyük bir yenilenebilir enerji sistemi sağlanması olmak üzere iki farklı NZEB stratejisi türünün ekonomik ve çevresel performansını analiz etti. Binalarda yenilenebilir enerji sistem kullanımı spesifik olarak NZEB'e ulaşma kapsamında ele alındığında bina enerji talebini düşürme stratejilerinin de bu alandaki çalışmalarda birlikte ele alınabildiği görülmektedir [8].

Türkiyede 2008 yılında yayınlanan Binalarda Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği iklim değişikliği ve sera etkisini azaltmak hakkında konuları içermektedir. BEP Yönetmeliği, Avrupa Birliği'nin Binalar için Enerji Performansı Direktifinden (Avrupa Komisyonu, 2018) uyarlanmıştır. Türkiye'deki mevcut binalar, binaların enerji ve emisyon sınıflarını belirleyen BEP sertifikalarını almalıdır. Enerji Kimlik Belgesi (EKB), 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve buna bağlı olarak çıkartılan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasını binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, sera gazı salımı seviyesi, yalıtım özellikleri vd bilgileri içeren belgedir.

Jon Terés-Zubiaga ve diğerlerinin [9] çıkarımlarına göre, bölge ölçeği yaklaşımı yapı sektöründe sera gazı emisyonlarını azaltma sürecini hızlandırmak için potansiyel olarak en etkili yaklaşımlardan biri kabul edilmektedir. Ayrıca, bu yaklaşım, farklı binalar arasındaki etkileşim ve sinerjilerden yararlanmaya da izin verebilir.

Olcay KINCAY ve diğerlerinin rüzgâr, güneş ve toprak yenilenebilir enerji kaynakları ile oluşturulan hibrid sistemler üzerine yaptıkları review çalışmalarında,

yazarların vardıkları sonuca göre, bölgesel iklim ve şartlar gözetilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının tümünün optimum oranda kullanılarak tüm enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik hibrid sistem kurulumuna yönelik çalışmaların yapıldığı ve sistemlerin birleşme eğiliminde olduğu saptanmıştır. [10]

Yenilenebilir enerji sistemleri olan akıllı binalarda enerji yönetim algoritması ile yük ve üretim miktarlarının zamansal eşleşmesi ile enerji dengesinin sağlanması, binalarda yenilenebilir enerji çalışma alanlarındandır.

Yenilenebilir enerji çalışmalarının önemli bir bölümü spesifik bir kaynak/teknoloji üzerine yapılmıştır. Örneğin, tasarımcıların PV bina entegrasyonunun mimari kalitesini değerlendirmek için nicel ve nitel yönleri değerlendirmelerine yardımcı olacak bir yöntem oluşturulmuştur [11]. Kapsamı güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemi ile sınırlıdır.

Yenilenebilir enerjiden binalarda aktif sistemler ile yararlanılması hakkındaki çalışmalarda net sıfır enerjili binalar [12], bina entegrasyonu [13], yeni yapı tasarımı [14], mevcut yapı renovasyonu [9], kentsel bağlamda kullanım [15], [9], fizibilite [16], [17], [18], [19], enerji potansiyeli [20], teknoloji seçimi [21], yenilenebilir enerji seçimi [22], optimal hibrid kombinasyonlar [23], [10], maliyet [24], [25], iklim değişikliği [26], [27] ve rehberlik [28], [29] işlenen/ele alınan konular arasındadır.

Fatima Harkouss ve diğerlerinin yaptıkları çıkarıma göre başarılı NZEB'ler tasarlamak bir zorluğu temsil eder çünkü her iklim için NZEB'lerde YE sistemleri önermek için küreselleştirilmiş bir standart yoktur [30].

Hirushie Karunathilake ve diğerleri [31], optimal R.E. kombinasyonunu belirlemek için model önerdikleri çalışmalarında net-sıfır enerji gelişim rehberliğinin sınırlı olduğunu belirtmişler. Rehberlik edeceği açıklanan bu söz konusu çalışmada sadece yenilenebilir enerjinin potansiyeli analiz edilmektedir.

Ek 52 ‘Net Sıfır Enerjili Güneş Enerjili Binalara Doğru’ projesinin amacı, mevcut net sıfır, net sıfıra yakın ve çok düşük enerjili binaları incelemek ve ortak bir anlayış, metodoloji, araçlar, yenilikçi çözümler ve endüstri yönergeleri geliştirmekti. **Projenin kapsamı güneş enerjisi ile sınırlı tutulmuştur**. [32]

2017’de başlayan ve devam etmekte olan IEA EBC annex 75 projesi, hem enerji verimliliği önlemlerini hem de yenilenebilir enerji önlemlerini birleştirerek, bölge

düzeyinde şehirlerdeki binalarda sera gazı emisyonlarını ve enerji kullanımını azaltmak için uygun maliyetli stratejileri araştırmayı amaçlıyor. Bu projenin kapsamı, bölge ölçeği, mevcut binalar, düşük enerjili çözümler ile sınırlandırılmıştır. [28]

Ahmed A. Hassan ve Khaled El-Rayes, yerinde yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılmasının, bina tasarımcılarına ve karar vericilere mevcut binalara entegre etme gereksinimlerini karşılama, optimal bir kombinasyonu belirleme ve işlevsel gereksinimler, inşa edilebilirlik vb. kısıtlamaları göz önünde bulundurma zorlukları sunduğunu belirtirler [33]. Bu çalışmada, yerinde yenilenebilir enerjinin mevcut binalara entegrasyonu hakkında yapılan çeşitli çalışmaları üç gruba ayırmışlardır bunlar, enerji verimli stratejilerin ve yenilenebilir enerji önlemlerinin seçimi; dağıtılmış üretim için tesis dışı (offsite) hibrit yenilenebilir enerji tedarik sistemi; ve yerinde yenilenebilir enerjinin seçimi ve entegrasyonu'dur. Yapılan çalışmaların 'karmaşık bina cephesi ve çatı tasarımlarının yenilenebilir enerji önlemlerinin seçimindeki etkisini göz önünde bulundurma' özelliğinin yetersiz olduğunu belirtirler. **Bu tez çalışması literatürdeki bu yetersizliklerin tespiti üzerine kurgulanmıştır.**

Seung-Hoon Park ve diğerlerinin [25] yaptıkları bir saptamaya göre, 2019'dan önceki RES tasarım yöntemleri ile ilgili çalışmalarda, sistem bileşenlerinin boyutlandırma optimizasyonu veya optimal kontrol stratejisi yapıldı. Bu çalışmalarda, YEK tasarımının ekonomik fizibilitesi için ilk yatırım maliyetini, işletme maliyetini veya CO_2 emisyonlarını en aza indirmek için YEK kurulum kombinasyonları önerildi.

Mostafa M. Saad ve Mohamad T. Araji [34], bina yoğunluk kısıtlamaları, pencere-duvar oranı, gelen güneş radyasyonu ve cephelerde enerji üretim potansiyeli ile kentsel formların incelenmesiyle ilgili beş aşamalı bir optimizasyon süreci çalışmışlardır. **Makalenin kapsamında yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisi ile sınırlandırılmıştır ve cephelerde enerji üretim potansiyeli ele alınmıştır.**

Bina kümeleri kompozisyonunun, enerji kaynaklarının optimal kombinasyonu üzerindeki etkisine çalışan Caroline Hachem-Vermette ve Kuljeet Singh'in saptamasına göre, kentsel gelişimin özelliklerinin öngörülen enerji kaynakları

üzerindeki etkisi ve belirli bir kentsel gelişim içindeki optimal kombinasyonu henüz keşfedilmeyi bekliyor. [35]

Z. Huang ve diğerleri, enerji sistemi planlamasını bütünsel, pratik ve sistematik bir süreç olarak ele alan karar araçları ve kılavuzların eksikliği bildirmektedirler [36]**.**

Yapılan literatür taraması çıkarımlarına göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından binalarda enerji üretimi ve kullanımı üzerine yol gösterici çalışma sayısının yetersizliği ve kapsamlarının tasarımcı için sınırlılığı gösterilerek bu alandaki boşluk saptanmıştır. Binalarda yenilenebilir enerji seçimi ve uygulaması için iklime göre küresel optimal bir reçetenin olamaması bu alanda çözüme götürecek bütünsel ve sistematik bir rehber gereksiniminin önemini artırmaktadır.

Bu alanda yapılan çalışmaların çoğu güneş enerjisi gibi tek bir kaynak ile sınırlıyken bu çalışmanın uygulamasında ise güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji ve doğa ısı enerjileri kullanılmıştır. Bunun yanında fotovoltaik, güneş toplacı, rüzgar türbini, kojenerasyon, toprak kaynaklı ısı pompası ve hava kaynaklı ısı pompası teknolojilerini içermektedir. Çalışmada, yenilenebilir enerjiyle ilgili geniş kapsamlı çalışmalar yapılabilmesini sağlayacak özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem, mimaride yenilenebilir enerji üretilip kullanımı sürecindeki kaynak, teknoloji vb. unsurlarında çeşitlilikle çalışılabilmesini kolaylaştıran rehber şeklindedir.

2
MİMARİDE YENİLENEBİLİR ENERJİ

2.1 Enerji ve yenilenebilir enerji

- **Enerji tür ve dönüşümleri**

Enerji biçimleri temel olarak kinetik enerji ve potansiyel enerji türlerinden oluşmaktadır. Enerji farklı biçimlere dönüştürülebilir. Enerji biçimlerinden bazıları termal enerji, elektrik enerjisi, ışınım enerjisi, mekanik enerji ve kimyasal enerjidir.

- **Enerjide yenilenebilir enerji kategorisi**

Enerji kaynakları yenilenebilirliklerine göre sınıflandırıldıklarında yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada varolan, tükenmeyen, doğal süreçlerle oluşan yenilenen enerji kaynaklarıdır [37].

Güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal, hidrolik, gelgit, dalga, akıntı vb. yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

- **Yenilenebilir enerjinin özellikleri**

Yenilenebilir enerjinin önemini oluşturan özelliklerinin yanında zorlukları da bulunmaktadır, bu özellikler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ülkelerin enerjide dışa bağımlılıklarını azaltır. Enerji kaynak seçeneklerini artırarak enerji arz güvenliğini arttırır.
- Şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde enerji sağlar.
- Şebekenin yükünü düşürür. Şebekeye bağlı kayıplar azaltılır.
- Şebekeye satış seçeneği şebeke altyapısı ve mevzuata bağlıdır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının emisyon ve iklim değişikliği gibi çevresel etkileri yoktur. CO_2 salımlarını azaltarak çevrenin korunmasını sağlar.
- hava kirliliği etkisi yoktur, sağlığa zararlı değillerdir,
- rüzgar güneş gibi her yerde olan kaynaklar bedavadır, bu kaynaklara doğrudan erişilebilir
- İlk yatırım maliyetleri daha fazladır.
- Sürdürülebilirdir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, belirsiz iklim koşullarından dolayı kesikli ve değişken özelliklerdedir. Yenilenebilir enerjinin bu özellikleri şebeke bağlantı durumuna (ongrid, offgrid) göre, enerji tüketiminin belirlenmesi, pik yükün belirlenmesi, enerjinin depolanması, yenilenebilir enerji teknolojisinin boyutlandırılması gibi konuları dikkate almayı gerektirmektedir.

2.2 Yenilenebilir Enerjiler ve Tanımları

Bu bölümde, bu tez çalışmasının uygulaması kapsamında ele alınan yenilenebilir enerjiler tanımlanmıştır.

- **Güneş enerjisi**

Güneşin çekirdeğindeki füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir.

Güneş enerjisinden ısı ve elektrik enerjileri elde edilebilir. Elektrik üretme yöntemleri güneş termik elektrik üretimi veya fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik dönüştürücülerle olur. Güneş ısıl sistemleri düşük, orta ve yüksek sıcaklıkta uygulama alanları vardır. Güneş ışınımı toplaçlar ile ısı enerjisine ya da güneş pilleri ile elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güneş ısıl&elektrik sistemleri (PVT) ise fotovoltaik (PV) ve güneş ısıl sistemlerinin (Termal) birleşiminden oluşur. PVT sistemde elektrik ve ısı birlikte üretilir.

- **Rüzgar enerjisi**

Rüzgar, yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine yer değiştiren hava akımıdır. Rüzgarı tanımlayan iklimsel özellikleri yönü, hızı (şiddeti) ve esiş sıklığıdır. Yerin topoğrafik özelliklerine göre farklı yüksekliklerde ölçümler yapılmalıdır.

Rüzgar türbini rüzgarın kuvvetini kanatları ile değiştirerek dönme kuvvetine dönüştüren mekanizmadır. Türbinde rüzgardan sağlanacak enerji kanat yüzey alanı, hava yoğunluğu ve rüzgar hızına bağlıdır.

- **Biyoenerji**

Fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemeler genel olarak biyokütleyi oluşturur. Bitkisel ve hayvansal kökenli olarak ikiye ayrılır. Biyokütle kaynakları ise klasik biyokütle ve modern biyokütledir.

Biyokütleden ısı veya elektrik üretmek amacıyla yakıt olarak yaralanılabilir. Biyoenerjinin kullanılabilmesi için termokimyasal, biyokimyasal, fizikokimyasal ve fiziksel çevrim yöntemleri kullanılarak biyokütleden farklı yakıt türleri elde edilmektedir [37].

Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların, kullanılmış atık yağların veya hayvansal yağların baz ve alkolle tepkimesi sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Kızartma yağları, donmuş yağ ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılır. Biyodizel jeneratör yakıtı olarak kullanılabilir.

Termodinamik enerji korunumunu en iyi şartlar da sağlayan tekniklerden biri; mekanik ve ısı enerjisinin eş zamanlı olarak üretilmesidir [38]. Kojenerasyon; enerjinin, hem elektrik hem de ısı türlerinde aynı sistemden birlikte üretilmesidir. Jeneratörde yakıttaki kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüşürken; egzoz enerjisinden, motor bloğu ve aftercooler'dan da kullanılabilir ısı elde edilir [38]. Bir yılda üretilen elektrik ve ısı enerjilerinin toplamının tüketilen yakıt enerjisine oranı elektrik üretilen santrallerde %25-40 arasındayken, kojenerasyon santrallerinde bu değer %90'lara ulaşabilmektedir [38].

- **Doğadaki (yer-su-hava) ısı enerjisi**

Toprak altındaki sıcaklık yüzeyden derine inildikçe mevsimsel sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenir ve [39] sabit sıcaklıklara ulaşılır. Yerin çekirdeğine doğru inildikçe ise bu sabit sıcaklık artış gösterir. Hava sıcaklıkları ise gece-gündüz mevsimlere göre değişebilir.

Isı pompası sistemleri havadaki, topraktaki ve sudaki termal enerjilerden yaralanılmasını sağlar. Isı pompaları, doğada var olan ısıyı transfer ederek ısı enerjisini elde eder. Isı pompası, ısı kaynağından aldığı düşük sıcaklıktaki enerjiyi ısı aktarım yerine yüksek sıcaklıkta veren cihazdır [39]. Isı pompalarında genel olarak, ısı kaynağının sürekliliği, sıcaklığı ve kapasitesi önemlidir.

Sondaj tipi dikey daldırma sistemleri sonradan uygulanması daha kolay sistemlerdir. Dikey uygulamalarda sondaj tekniği ile açılan kuyuya sarkıtılan borular ile ısı transferi sağlanır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında dikkat edilmesi gereken değişkenlerden başlıcaları toprak tipleri, uygulamanın yapılacağı derinlik,

topraktaki su miktarı ve uygulamanın yapılacağı bölgedeki toprak ısı kapasitesidir [39]. Toprak yapısına göre borular arası mesafeye karar verilmesi gerekmektedir.

Hava kaynaklı ısı pompası, ortam havasını soğutup buradaki enerjiyi soğutucu akışkana aktararak çalışan sistemdir [39]. Hava kaynaklı ısı pompalarının kurulumlarının kolaydır. Hem hava şartlandırması yapıp hem de sıcak kullanım suyu üreterek bu ihtiyaçları tek bir sistem ile karşılayabilmektedir. Ayrıca kalorifer sistemine entegre edilebilirler.

2.3 Yenilenebilir Enerji ve Mimari

- **Mimaride aktif sistemler**

Binalarda yenilenebilir enerjiden pasif ve aktif sistemler ile yararlanılabilir. Aktif sistemler mekanik elemanlarla pasif sistemler ise yapı elemanları ile kurulur. Pasif önlemlerle yenilenebilir enerji kullanılarak bina enerji tüketimi düşürülebilirken, aktif sistemler yani yenilenebilir enerji kaynağından kullanılabilir enerji üreten teknolojilerle bina enerji ihtiyacı karşılanabilir.

- **Mimaride yenilenebilir enerji üretim ve tedarik seçenekleri**

Mimaride kullanılacak yenilenebilir enerji, hem mimari alanda enerjinin üretimini hem de mimari alana taşınabilecek yenilenebilir enerjiyi içerir. NZEB için mimari alan dışından tedarik edilen yenilenebilir enerji de koşulları sağlamaktadır [40].

Binaya yenilenebilir enerji sağlama seçenekleri sırasıyla, yapı alanında üretim (yapı kabuğu üzerinde vb.), arsa alanındaki yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yapı arsasında üretim, arsa alanı dışından yenilenebilir enerji kaynakları/yakıtları (biyodizel, odun peletleri vb.) tedarik edip alan içinde dönüştürerek yenilenebilir enerji üretimi, alan dışında üretilen yenilenebilir enerjinin satın alımıdır [7].

- **Şebeke bağlantısı**

Üç temel enerji sistem konfigürasyonundan biri dağıtılmış enerji sistemleridir [41]. ve yenilenebilir enerjiden aktif yararlanma, dağıtık enerji sistemi ile tanımlanır. Dağıtık üretim (yerinde üretim, dağıtık enerji), dağıtım şebekesine bağlı veya tek başına çalışabilen üretim tesisleri ile coğrafi olarak yayılı kaynakları içeren, yerinde (son kullanıcıya yakın) enerji üretim yoludur. İletim ve dağıtım ile ilişkili maliyeti, verimsizlikleri ortadan kaldırır. Bu sistemde, son kullanıcı kendisi için üretim tesisi

kurabilirken, birden fazla kullanıcı da bir araya gelerek daha büyük kapasitelerde santraller kurabilir (mikro şebeke).

Yenilenebilir enerji üreten binalar şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olabilirler. Yerinde üretilen yenilenebilir enerjinin ihtiyaç fazlası sonra kullanılmak üzere depolanabilir veya satın alıma uygun şebeke bağlantısı var ise aktarılabilir. Yenilenebilir enerjinin yetersiz olduğu durumlarda şebekeden enerji alınır. Şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde ise binanın yenilenebilir enerji sistemi projelendirilmesinde enerji ihtiyacı karşılayacak kadar boyutlandırma, enerji üretiminin olmadığı zamanlar için depolama, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanma konuları ele alınmalıdır.

2.4 NZEB Mimaride Yenilenebilir Enerji Mevzuat Örneği

- **Mevzuatta NZEB tanımı**

EPBD NZEB tanımı, çok yüksek enerji performansına sahip olan bina anlamına gelir [40].

Gerekli yaklaşık sıfir veya çok düşük miktar, çok önemli ölçüde, yerinde veya yakınında üretilen yenilenebilir kaynaklar dahil, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji ile karşılanmalıdır [40].

EPBD'deki NZEB'in çerçeve tanımı, yeni ve mevcut binalar arasında ayrım yapmamaktadır. Yeni ve mevcut binalar için ayrı Enerji Kimlik Belgesi derecelendirmelerinin olması durumunda olduğu gibi, bu tür bir farklılaşma tüketicileri yanıltıcı olabilir. Bu nedenle 'NZEB'de yenileme', NZEB seviyesinin enerji performansı gereksinimlerinin karşılanmasına olanak tanıyan büyüklükte bir yenileme anlamına gelir [42].

Üye devletler, binalar büyük bir yenilemeye tabi tutulduğunda, binanın veya yenilenen kısmının enerji performansının, teknik açıdan gerekli olduğu ölçüde Madde 4 uyarınca belirlenen minimum enerji performansı gerekliliklerini karşılayacak şekilde yükseltilmesini sağlamak için işlevsel ve ekonomik olarak uygulanabilir gerekli önlemleri alacaklardır.

NZEB kavramı, yenilenebilir enerji ve verimlilik önlemlerinin birlikte çalıştığı gerçeğini yansıtmaktadır. Çoğu durumda, daha fazla enerji verimliliği önlemi ya da tesis dışı yenilenebilir enerji kaynakları alınmadan birincil enerji faktörlerinde

önemli bir azalma sağlanmadan tesis içi yenilenebilir enerji, enerji ihtiyacını sıfıra yaklaştırmak için yeterli olmayacaktır [42].

EPBD'nin hükümleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını özellikle binada üretilen enerji, teslim edilen enerjiyle ilişkili birincil enerjiyi azalttığından yerinde üretimi teşvik etmektedir.

- **Mevzuatta tavsiye edilen değerler**

Avrupa Komisyonu, 2016 NZEB tavsiyelerinde, AB genelinde birincil enerjiye yönelik dört ana iklim bölgesine (Akdeniz, Okyanus, Karasal ve İskandinav) göre farklılaştırılmış referans eşik değerlerini [40] yayınladı.

Örneğin Akdeniz (tek aile evi) ikliminde, net birincil enerji aralığı 0-15 kWh/m^2, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji 50 kWh/m^2, toplam birincil enerji aralığı 50-65 kWh/m^2 ve toplam birincil enerjideki yenilenebilir yüzdesi %87 olarak tavsiye edilmektedir.

- **AB devletlerindeki uygulamaları**

EPBD, NZEB'lerin çerçeve tanımını belirlerken, pratikteki ayrıntılı uygulamasını (örneğin, 'çok yüksek enerji performansı' nedir ve 'yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji'nin önerilen önemli katkısının ne olacağı) Üye Devletlerin sorumluluğuna bırakmıştır.

EPBD Madde 9'a 3'te, Üye Devletlerin, yıllık kWh/m^2 cinsinden ifade edilen birincil enerji kullanımına ilişkin sayısal bir gösterge de dahil olmak üzere, ulusal planlarında NZEB gerekliliklerini tanımlamalarını gerektirmektedir. Bunlar, iklim bölgesi, ısıtma sistemi, bina geometrisi ve diğer faktörlere bağlı olarak bir ülkedeki farklı bina tipolojilerine göre değişiklik gösterebilir. Buna göre, birçok Üye Devlet belirli bir bina tipi için bir değer aralığı tanımlamıştır.

EPBD ilkelerine uygun olarak, enerji talebinin etkili önlemler yoluyla azaltılması ve kalan talebin karşılanması için yenilenebilir enerji kullanılması, Avrupa'daki NZEB uygulamasında ortak bir anlaşmadır. Yenilenebilir kaynaklardan beklenen enerji talebinin en düşük oranına yönelik birçok ulusal mevzuatlarda eksik vardır. Çoğu üye devletteki NZEB değerlerinin hem konut hem de konut dışı, yeni ve mevcut binalarda referans değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir [43].

Sonuç olarak, AB mevzuatının ulusal mevzuatlara tüm ülkelerde ve tüm kriterlerde yansımadığı görülmektedir.

AB devletlerinin uygulamadaki eşik değerlerine örnekler aşağıda sunulmuştur.

Üye devletlerin mevcut konut binaları için belirledikleri NZEB seviyeleri 20 kWh/m^2y (Belçika Flanders) ile 157 kWh/m^2y (Estonya) arasında değişmektedir [43]. Güney Kıbrıs Rum Yönetimi ve Bulgaristan 95-100 kWh/m^2 birincil enerji kullanımı ortalamasını talep etmektedirler.

Yenilenebilir enerji kriteri açısından ise, Bulgaristanda %55 ve Fransa'da çok aileli konut için %20 [40]. Almanya'nın yenilenebilir enerji gereklilikleri çeşitli seçeneklere dayanmaktadır. Almanya'da güneş ısı enerjisi veya PV elektrik enerjisi %15 ve jeotermal, atık ısı veya biyokütle %50 olmalıdır [40]. Bir kısım üye devletler ya sayısal bir değer belirtmediler ya da NZEB standartlarının etkin bir şekilde yenilenebilir kaynaklardan önemli bir katkının zorlu olduğunu savundular.

NZEB öncelikle yeni evler için tanımlanmıştır. Bazı ülkeler mevcut binalar için değerler tanımlamıştır. Müstakil ev ve apartman tipi konut ayrımı yine ülkelere göre değişkenlik göstermektedir.

NZEB'de en sık uygulanan yenilenebilir enerji sistemleri bina güneş enerjisi ve PV sistemleridir. Kullanılan diğer yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal (yer kaynaklı ısı pompalarından) ve biyokütledir.

- **Türkiyede yapılan çalışmalar**

Amacı Türkiyedeki binalarda enerji performansı iyileştirme politikaları kapsamında neredeyse sıfır enerjili binalar (nSEB) uygulamasına yönelik bilgi sağlamak olan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın nSEB için rehber kitabı [44] Türkiye için nSEB tanımının nasıl oluşturulduğu hakkında bilgi vermektedir. Neredeyse sıfır enerji binalar, kalan enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerji ile desteklenen yüksek enerji verimli binalar olarak kabul edilmektedir (Avrupa Parlamentosu Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD), Direktif (EU) 2010/31/EU). Direktifte enerji performansı; binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, aydınlatma ve diğer teknik bina sistemleri enerji talebini karşılamak için gereken enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bakanlığın belirttiği üzere konut binaları için çoğu üye devlet, 50 kWh/(m^2.y)'den daha yüksek

olmayan birincil enerji kullanımına sahip olmayı amaçlamaktadır (Letonya'da 95 kWh/(m^2.y)). Yenilenebilir enerjinin payı belirlemeleri çeşitlidir; birkaç ülke alt yüzdeyi tanımlamaktadır ve çoğunluğu nitel açıklamalar yapmaktadır.

nSEB tanımları ve bina tipleri karşılaştırmasında Türkiye iklim bölgelerine en yakın özelliklere sahip ülkeler olarak İspanya, Yunanistan, Fransa ve Almanya ele alınmıştır [44]. Bakanlığın karşılaştırma yaptığı ülkelerdeki durum, mevcut konut binalarında, yenilenebilir olmayan birincil enerji İspanya'da (yeni binalarda) 50 kWh/m^2y, Yunanistan'da 75 kWh/m^2y, Fransa'da 100 kWh/m^2y ve Almanya'da 65 kWh/m^2y'dır [43]. Yenilenebilir enerji kaynağı eşiği Yunanistan'da %15–60 [43], Fransa'da çok aileli konut için %20 [40] belirlenmiştir, diğerlerinde ise belirtilmemiştir.

3
YÖNTEM

Tezin, yenilenebilir enerji çevrim teknolojisi, uygulama alanı ve yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli fizibilitelerini yapıp bina enerji ihtiyacı ve enerji üretimine göre oluşturulan yenilenebilir enerji seçeneklerini değerlendirerek aktif sistemlerin yerleşim alanına entegrasyonunu sağlayan kılavuz şeklinde bir yöntemi vardır.

Bir diğer deyişle, binalarda ve arazilerinde kurulum ve kullanım için yenilenebilir enerji sistemi seçmede önerilen bir karar destek sistemidir. Kısacası, sistematik bir süreç önderliğinde türetilen alternatif enerji uygulama seçenekleri arasından kullanıcının hedefine uygun olanını belirler. Bu kılavuz aynı zamanda planlama, tasarım ve uygulamada ele alınacak parametreleri göstermekte, örnekler ve kaynaklar da vererek kullanıcısına yol göstermektedir. Kılavuz, akış diyagramından ve aşama komutlarını açıklayan paketlerden oluşmaktadır.

3.1 Kılavuz Yöntemin Akış Sistematiği ve Ana Bölümleri

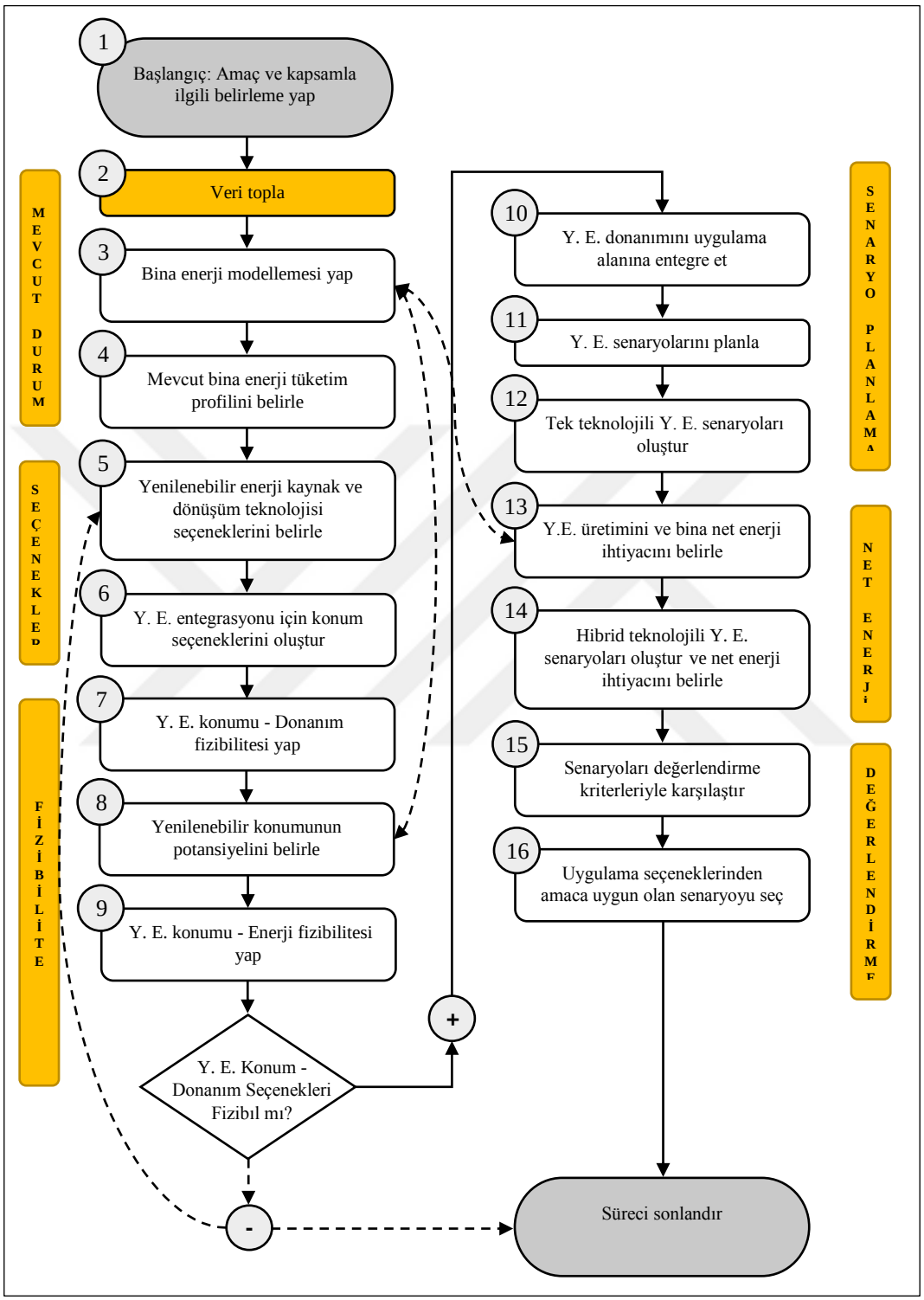
Çalışmanın yönteminde, temiz enerji potansiyeli, bina enerji ihtiyaç profili ve yenilenebilir enerji sistemlerinin binayla bütünleştirilme uygunlukları değerlendirilmektedir.

Kılavuzun ilk bölümlerinde tasarımcının yer ve temiz enerji sistem seçenekleri önerileriyle, kullanıcı tercihleri sürece katılarak yenilenebilir enerji sistem uygulama seçenekleri türetilir. Sonraki bölümlerde değerlendirme yöntemlerine göre uygun olmayan seçenekler elenir. Son aşamada ise bir veya birden fazla seçenek olması durumunda seçenekler sıralanarak öncelikli hedefe göre seçim yapılır.

Akış diyagramında ‘Yenilenebilir Enerji Fizibilitesi’ aşaması kılavuzun dönüm noktasıdır. Yenilenebilir enerji potansiyeli bağlamında uygulanabilir konum-donanım seçenekleri çıkmıyorsa kılavuz kullanıcısı önce geriye yönlendirilir eğer tekrar edebilen süreçte farklı seçenek önerilmiyorsa akış sonlandırılır.

Kılavuzun yöntem akış diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir. Akış şeması aşamaları gösterir, aşamalar da bölümleri oluşturur. Çalışma yöntemi bölümleri veri toplama,

mevcut durumu ortaya koyma, yenilenebilir enerji seçenekleri belirleme, fizibilite yapma, senaryo planlama, net enerji hesaplama ve değerlendirmedir.



Şekil 3.1 Kılavuz akış diyagramı

Kılavuz, aşama diyagramlarını ve kullanım açıklamalarını içermektedir. Aşağıda kılavuzun detaylandırılmış basamakları onaltı aşama paketi olarak sırasıyla verilmiştir.

Aşama 1 amaç ve kapsamla ilgili belirlemelerin yapıldığı başlangıç aşamasıdır.

3.2 Veri Toplama

Kılavuzun aşamalarına ve çalışma sürecine göre gerekli olacak girdiler belirlenir ve derlenir. Girdiler, bina çalışma modeli, bina enerji tüketim profili, yenilenebilir enerji kategorileri altında belirlenmektedir.

Veri toplama ilk aşama olmasının yanı sıra süreç içerisindeki yol ayrımlarıyla beliren (ortaya çıkan) ihtiyaçlara göre diğer aşamalarda da veri toplanabilir.

3.2.1 Bina çalışma modeli girdileri

- Bina ve çevre: bina (uygulama) projesi (plan, yön vb. verileri içeren), yakın çevrenin doğal ve yapay nesneleri, yapı kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri, vb.

3.2.2 Bina enerji tüketim profili girdileri

- Yer: location data dosyası veya zemin örtüsü (Albedo-güneş ışınımı yansıtma çarpanı), coğrafi koordinatlar (enlem, boylam), deniz seviyesinden yükseklik (rakım), vb.
- İklim: weather data dosyası (TMY (local hourly weather data for a typical meteorological year), vd.) veya güneş verileri (güneşlenme süresi, güneş ışınımı (KWh/m^2-yıl), vb.), rüzgar verileri (hakim rüzgar yönü, rüzgar hızı, vb.), sıcaklık verileri (dış ortam hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, vb.), nem verileri (bağıl nem, vb.) vb.
- Bina enerji sistemleri: aydınlatma sistemi, HVAC sistemi (ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak kullanım suyu, vb.), diğer ev cihazları, vb.

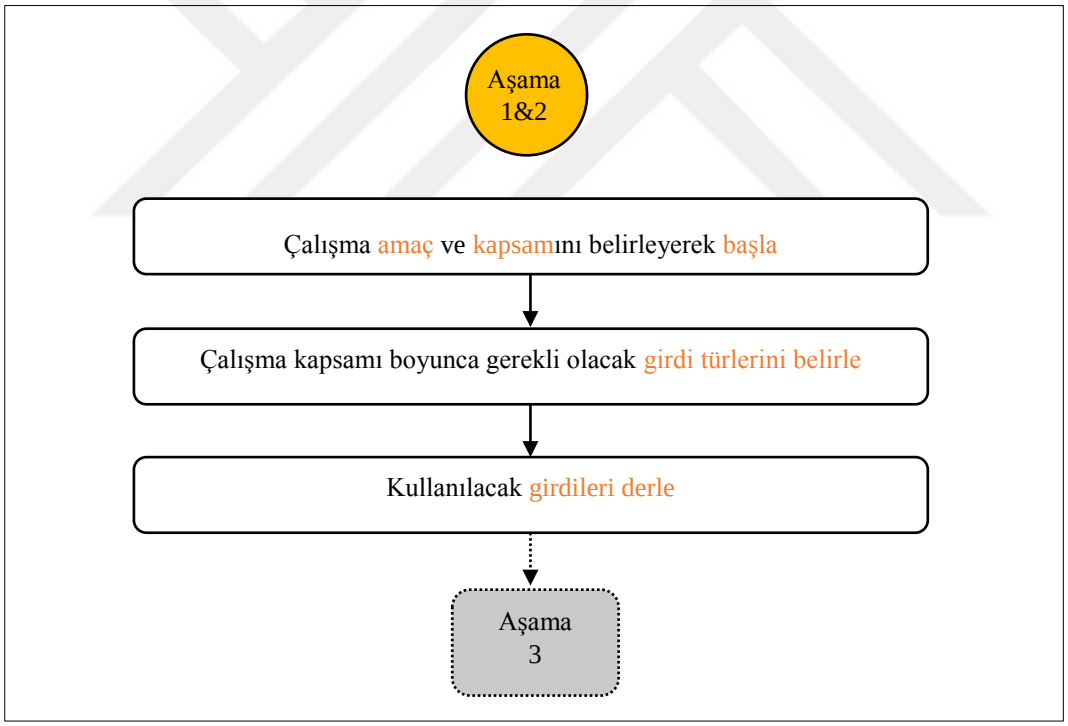
  Bu sistemler cihazlardan oluşur. Mevcut enerji sistem altyapısı korunacaksa, kullandığı yakıt/enerji türü, sistem enerji boyutu/kapasitesi vb. özellikleri ortaya konulmalıdır.
- Kullanıcı profili: İşlev, kullanım gün ve saatleri, kullanıcı sayısı veya yoğunluk, vb.

3.2.3 Yenilenebilir enerji girdileri (aşama)

- Yenilenebilir enerji kaynakları.
- Mevzuat ve standartlar: Enerji ve bina alanında yerel ve uluslararası standartlar, yerel yasa ve yönetmelikler, vb.

  Yerel mevzuattan yenilenebilir enerji tesis (donanım) kurulumlarını etkileyebilecek yükümlülükler belirlenir. Örneğin, yapı çıkıntı limitleri, parsel alanının ve hacminin kullanılabilirlik limitleri, mecburi bahçe mesafeleri içerisinde yenilenebilir enerji donanım kurulumunun toprakaltı ve topraküstü için yapılabilirliği, emsal alanına giren yenilenebilir enerji tesis (donanım kurulumu) özellikleri vb. yenilenebilir enerji tesis kurulumlarını etkileyebilecek (kısıtlayabilecek) durumlar-koşullar saptanır.

Amaç ve kapsamla ilgili belirleme ve veri toplama süreç basamakları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Amaç ve kapsamla ilgili belirleme & veri toplama aşama paketi

Girdi kaynaklarına örnek olarak haritalar, yenilenebilir enerji potansiyel atlasları, yerel yönetim arşivleri, ilgili güncel literatür, meteoroloji istasyonu (genel müdürlüğü), mülk sahibi, yenilenebilir enerji sistem firmaları, alternatif enerji ürün katalogları-broşürleri vb. verilebilir.

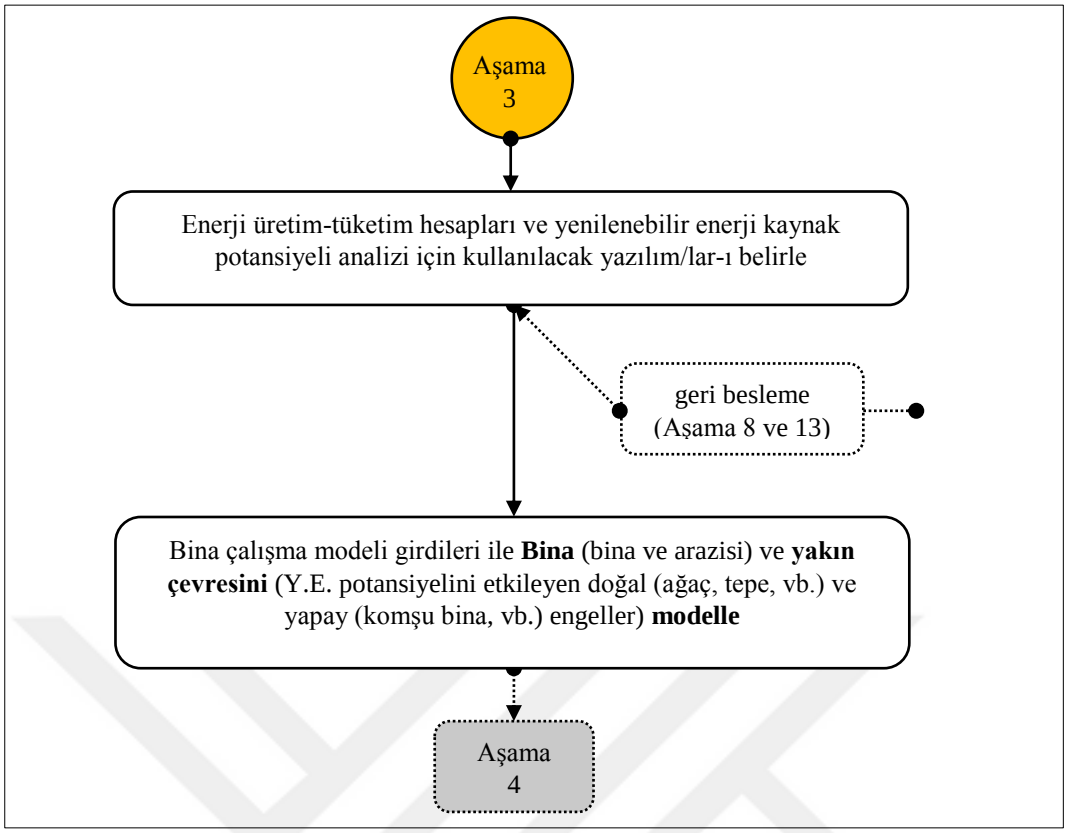
3.3 Enerji Üretim ve Enerji Tüketim Hesabı için Bina Modelleme

Kılavuz sürecinde yapılacak enerji üretim-tüketim hesapları ve yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli analizleri için kullanılacak bilgisayar pogramları (yazılımlar) belirlenir. Ilerleyen aşamalarda belirlenecek yenilenebilir enerji çalışma seçeneklerine göre Y.E. enerji üretim ve potansiyel analizleri için ek programlar belirlemek gerekebilir. Bir sonraki aşamada bina enerji ihtiyacı hesaplanacağı için öncelikle bu simülasyonu yapacak özelliklerde yazılım belirlenir. Kılavuz kullanıcısı ele almayı düşündüğü yenilenebilir enerjiyle ilgili kullanacağı programı da seçebilir.

Bina enerji üretim hesabı, yenilenebilir enerji sistemleri ile enerji üretim hesabı ve Y.E. potansiyel analizleri yapan program olabileceği gibi bunları ayrı programlarda yapmak gerekebilir. Ayrı programlar kullanılması durumunda içe aktarma ve dışa aktarma özelliklerini kullanarak programlar arası aynı dosyanın kullanılabilmesi önemlidir, aynı model farklı programlarda kullanılabilirse zamanın verimli kullanımını sağlar.

Örneğin, dosya uzantıları uyumlu (örneğin gbXML gibi), 2D çizim, 3D modelleme ve enerji simülasyon (benzetim) programları modelleme ve simülasyon için bir arada kullanılabilir. CAD çizim araçlarıyla (AutoCAD, Rhino gibi) çizilen bina projesi, 3D modelleme yazılımlarına (Rhino ve SketchUp gibi) aktarılabilir. Aynı zamanda ‘building energy modeling-BEM’ (DesignBuilder gibi) ve ‘building information modeling-BIM’ (Revit gibi) araçlarıyla modelleme yapılabilir ve aynı program diğer aşamalarda da kullanılabilir.

Enerji üretim ve enerji tüketim hesabı için bina modelleme süreç basamakları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

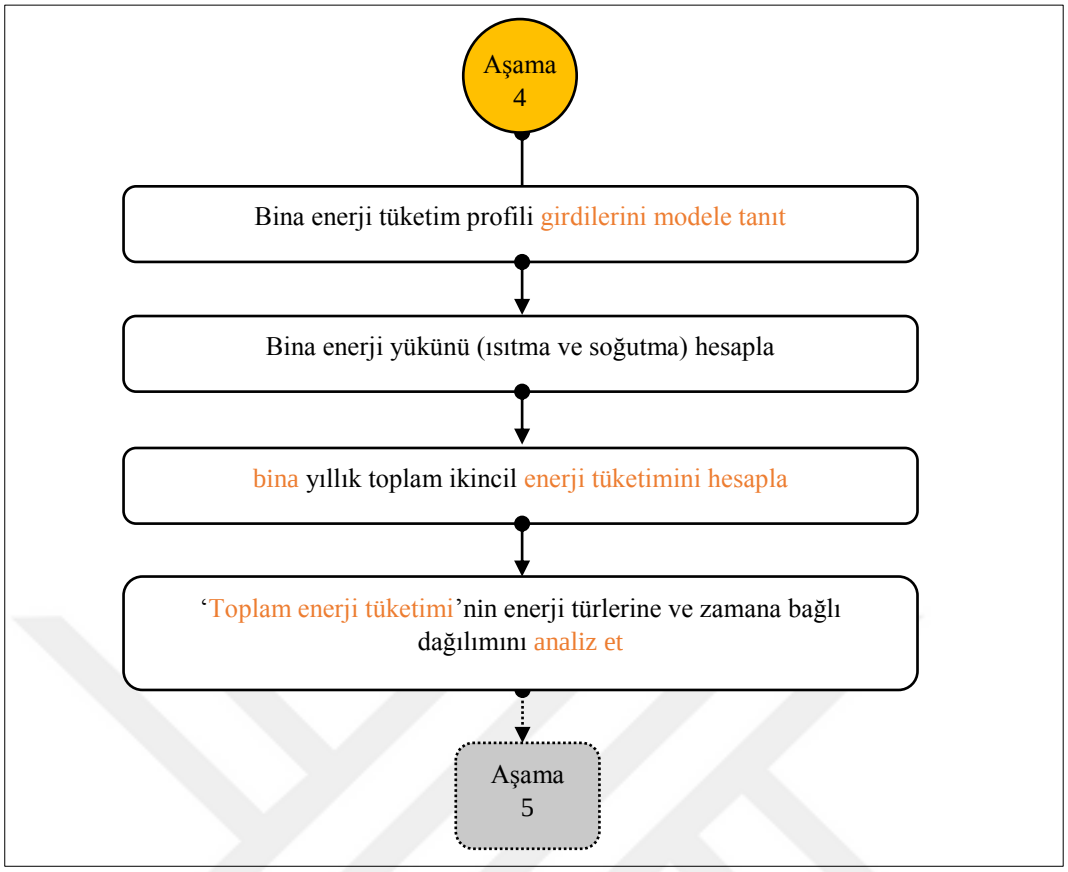


Şekil 3.3 Enerji üretim ve enerji tüketim hesabı için bina modelleme aşama paketi

3.4 Binanın Mevcut Enerji Tüketim Profilini Belirleme

- Toplam enerji tüketim: Bina ve çevre özellikleriyle birlikte bina işlevine ve kullanıcıya bağlı olarak bina kullanımı sırasındaki enerji ihtiyacı belirlenir.
- Enerji türlerine bağlı dağılım: Yıllık bina toplam enerji tüketim miktarının yanında tüketilen enerji türleri de (termal enerji, elektrik/mekanik enerji, vb.) saptanır.
- Zamana bağlı dağılım: Pik enerji tüketimi ise yılın günlerine ve saatlerine göre değişir. Sistemlerin kullanım dönemleri de ele alınmalıdır.

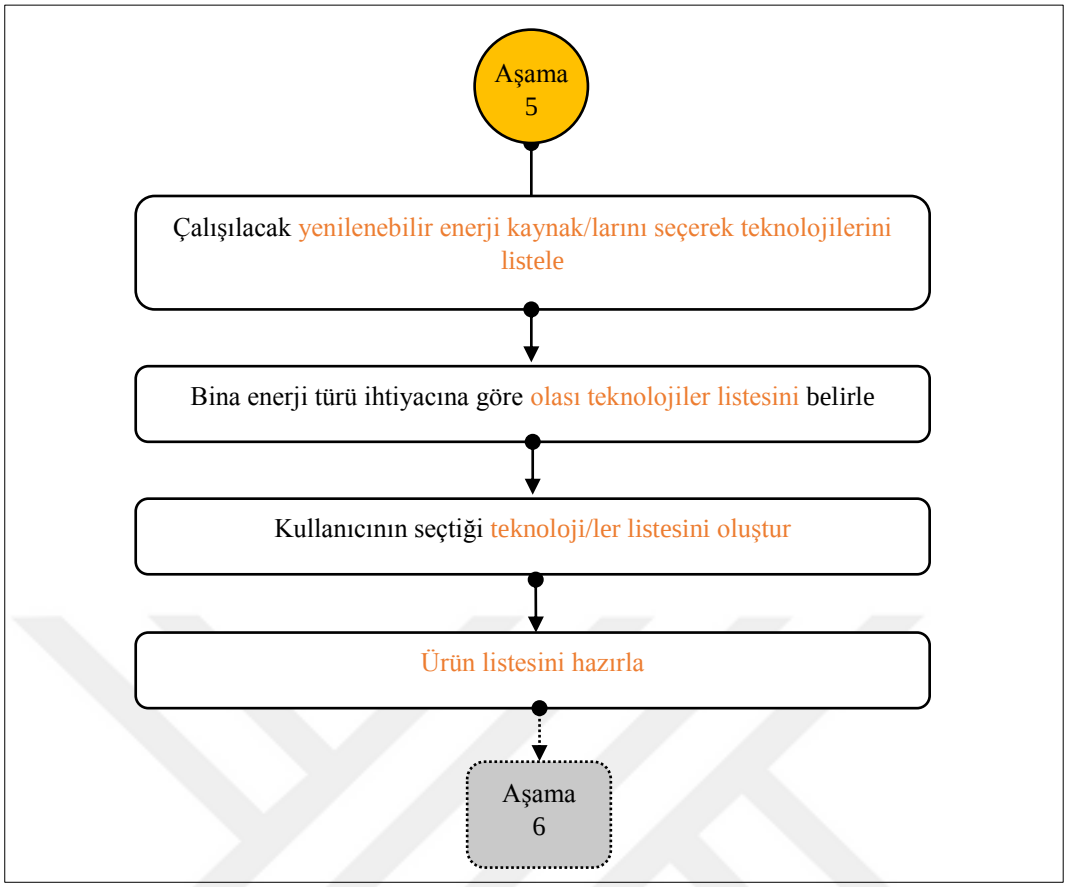
Bina enerji tüketim profilini belirleme süreç basamakları Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Binanın mevcut enerji tüketim profilini belirleme aşama paketi

3.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı ve Dönüşüm Teknolojisi Seçeneklerini Belirleme

Yenilenebilir enerji kaynağı ve dönüşüm teknolojisi seçeneklerini belirleme süreç basamakları Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Yenilenebilir enerji kaynağı ve dönüşüm teknolojisi seçeneklerini belirleme aşama paketi

Süreç içerisinde ele alınacak yenilenebilir enerji teknolojisi/leri, sırasıyla olası teknolojiler (possible seçenekler) listesi, seçilen teknoloji/ler listesi ve ürün listesi oluşturularak adım adım belirlenir.

- Y. E. Kaynakları: Kullanıcı tüm yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışmayı tercih ederek hepsini karşılaştırabileceği gibi estetik vb. açılardan seçim de yapabilir.

  Örneğin, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji, jeotermal enerji bina ölçeğinde kullanılabilen alternatif enerji kaynaklarındandır.
- Olası Teknolojiler: Olası teknolojiler listesi, piyasada bulunan, kullanıcının ulaşabileceği, çalışma alanının ölçeğine (bina, site, mahalle, yerleşim ölçeği vb.) ve bina enerji türü ihtiyacına göre belirlenir.
- Ürünler: Yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanılabilir enerjiye çeviren sistemler, bir diğer deyişle teknolojiler, teknolojinin tipiyle beraber ürün olarak da belirlenmelidir. Yani teknoloji saptama süreci tür ve piyasada bulunabilen özelliklerde ürün (donanım) belirlemeyi de içerir. Sistematik

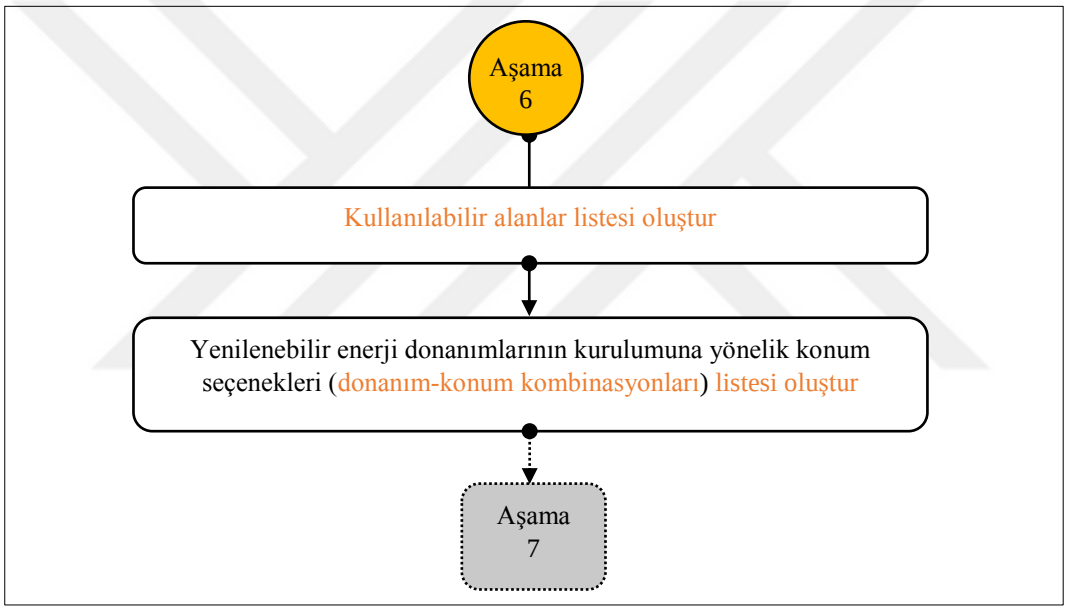
olarak önce sistem (fotovoltaik, vb.) sonra türü (İnce Film Hücre/ CIS, vb.) ardından firmadan ürün (Shell ST40 module) belirlenir.

Uygulanabilir teknolojiler (fizibil alternatifler), 'Y. E. konumu - Donanım Fizibilitesi' ve 'Y. E. konumu - Enerji Fizibilitesi' aşamaları sonrasında saptanır.

Yenilenebilir enerji sistem bileşenleri de (konvertör, kablo, vd.) bu aşamada ortaya konulmalıdır.

3.6 Y. E. Entegrasyonu için Konum Seçeneklerini Oluşturma

Y. E. entegrasyonu için konum seçeneklerini oluşturma süreç basamakları Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Y. E. entegrasyonu için konum seçeneklerini oluşturma aşama paketi

Y. E. donanım/larının, binada/sitede kurulumu için alan (yer) seçenekleri önerilir, bir diğer deyişle yer gösterilir.

- Kullanılabilir alanlar listesi: binadaki/sitedeki mevcut alanlar arasından estetik kaygılar, mevzuata uygunluk, yüzeylerin kullanılıyor olması vb. kriterlerle kullanıcı tercihine göre oluşturulabilir.
- Donanım-konum kombinasyonları: Kullanıcı tercihlerine göre kullanılabilir alan (yer) seçenekleri ile donanımları (ürün/ler listesi) eşleştirir. Bir konum için birden fazla donanım önerisi getirilebilir. Örneğin site sosyal tesisinin

teras çatısında rüzgar türbini, arazi toprak alanlarında toprak kaynaklı ısı pompası, balkon korkuluğunda düz toplaç, pencere camında PV, vb.

Donanım uygulanabilir (kurulabilir) alanlar, 'Y. E. konumu - Donanım Fizibilitesi' ve 'Y. E. konumu - Enerji Fizibilitesi' aşamaları sonrasında saptanır.

Konum türleri: Konumlandırma yapı kabuğunda (yapı kabuğuyla bütünleşme, yapı kabuğundan ayrık), bina arazisinde (yer üstü/yer altı) ve iç mekanlarda olabilir. Konuma göre farklı bütünleşme öncelikleri olabilir. Örneğin, yenilenebilir enerji sistem bileşenine (fotovoltaik panel) yapı kabuğu olarak ikincil işlev (cephe kaplama vb.) verilebilir. Bu tür mimari bütünleşme durumları tasarım açısından da ele alınır. Yapı kabuğu uygulamalarında estetik bütünleşme öne çıkarken, tesisat hacmi gibi iç mekan kurulumlarını mekan işlevine uygun tefriş etmek gerekir. Bina arazisinde ise çevreye uyum dikkate alınmalıdır.

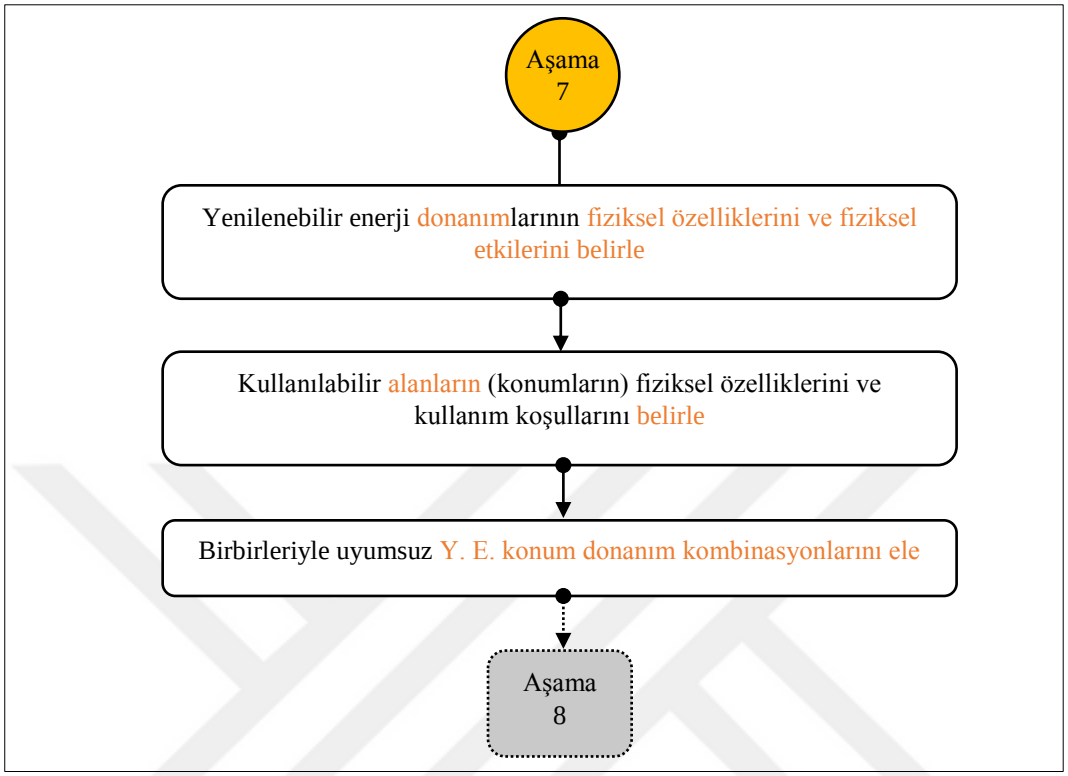
Donanım geometrisi: Donanımların geometrileri iki boyutuyla (düzlemsel) veya üç boyutuyla (nesne) öne çıkabilir, bu açıdan kullanılabilir alanlar yüzey veya hacim düzeyinde olabilir. Düzlemsel donanımlar için yüzeysel alanlar yer gösterililebilirken, nesne donanımlar için ise hacimsel alanlar belirlemek gerekebilir-ele alınabilir.

Engeller: Çevredeki ve binadaki (anten, klima, vb.) engeller yenilenebilir enerji potansiyelini düşürür, kurulum yapılabilir alanları kısıtlar, yer seçenekleri oluşturulurken y. enerji kaynak tipine göre engeller göz önüne alınmalıdır. Aşağıda enerji kaynak tiplerine göre engellere örnekler verilmiştir.

- Güneş enerjisine yönelik engeller: ele alınan alana gölge atan nesneler, vb.
- Rüzgar enerjisine yönelik engeller: hava akışını engelleyen, akış yönünü değiştiren, akış hızını azaltan nesneler, vb.
- Yer ısısına yönelik engeller (Toprak kaynaklı ısı pompası): toprak arazi alanını kullanan nesneler, vb.
- Hava ısısına yönelik engeller (hava tipi ısı pompası): dış ortam sıcaklığına etki eden nesneler, vb.

3.7 Y. E. Konumu - Donanım Fizibilitesi

Y. E. konumu - donanım fizibilitesi süreç basamakları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

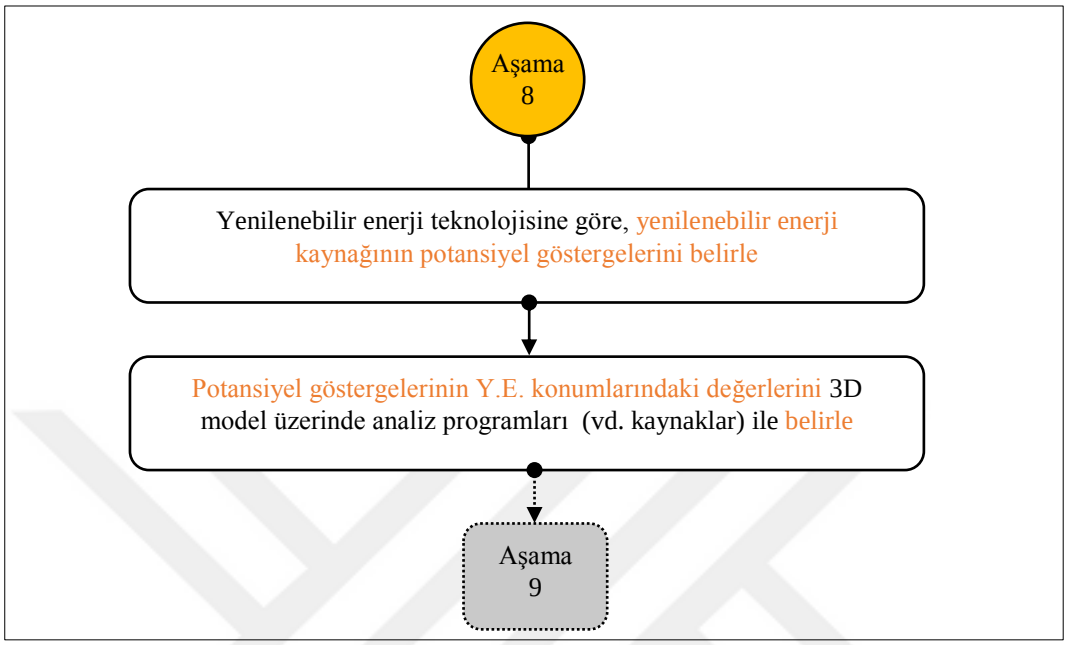


Şekil 3.7 Y. E. konumu - donanım fizibilitesi aşama paketi

- Fiziksel özellikler: Y. E. donanımlarının boyut, alan, hacim, yön (tilt-eğim, azimuth), yerden yükseklik, mekan tipi (açık mekan, kapalı mekan, toprak altı) vb. gereksinimleri belirlenir. Bina konumlarının kullanım koşullarını tanımlayan parametreler ise işleve bağlı olarak aşılmaması gereken gürültü düzeyi, saydamlık oranı (günışığı, manzara), yük (Donanım birim alanı başına ağırlığı/bina maksimum yapısal yük), vb.'dir.
- Fizibilite: Yenilenebilir enerji donanımının (Y.E. ürünü) kurulum için alan gereksinimlerinin önerilen alanda karşılanması ve bina (arazi) kullanılabilir alanlarının kullanım şartlarına donanımların uygunluğu değerlendirilerek kombinasyonlardaki konum ile donanımın fizibilitesi yapılır yani birbirlerine uygun olanlar belirlenir. Bir diğer deyişle, donanımlarının fiziksel özellikleri ile kullanılabilir alanların fiziksel özellikleri karşılaştırılarak birbirlerine uyumsuz bulunan konum donanım kombinasyon önerileri elenir.

3.8 Yenilenebilir Konumunun Potansiyelini Belirleme

Yenilenebilir konumunun potansiyelini belirleme süreç basamakları Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Yenilenebilir konumunun potansiyelini belirleme aşama paketi

Fizibıl konum-donanım alanlarında, yerin kullanılmak istenen yenilenebilir enerji potansiyeli belirlenir.

- Yenilenebilir enerji potansiyeli göstergeleri: Enerji kaynağına göre potansiyel göstergelerine (eşik değerlendirme değişkenleri) örnekler aşağıda verilmiştir.

  Güneş enerjisi: (yüzeyin) yıllık güneş ışınımı, (yüzeyin) güneşlenme süresi, (yüzeyin) gölgelenmesi (1 veya 0), vd.

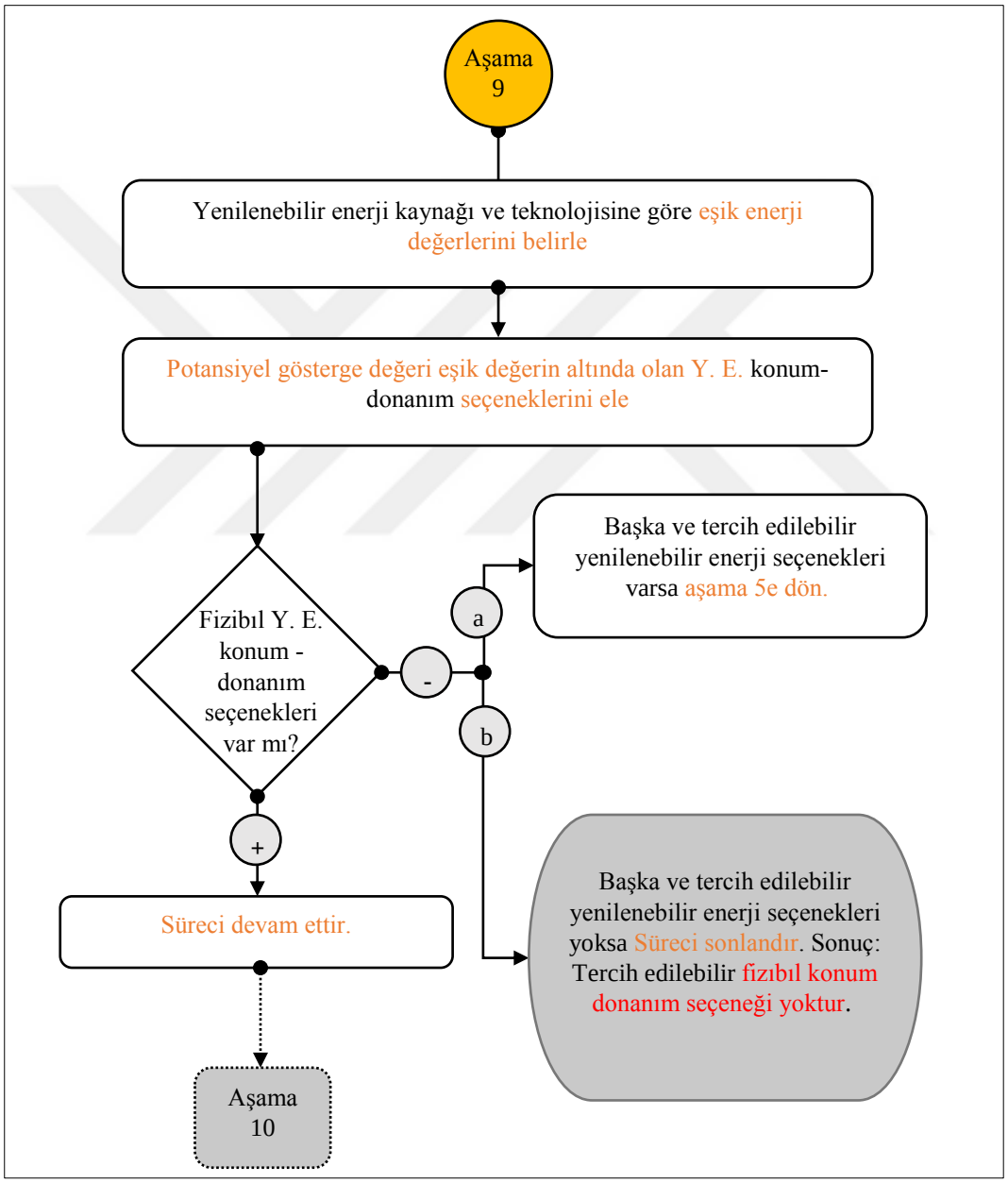
  Rüzgar enerjisi: rüzgar hızı (yükseklik tanımlı), hakim rüzgar yönü, effective wind direction range, kapasite faktörü, wind power density, vd.

  Toprak ısı enerjisi: toprak sıcaklığı, vd.
- Y.E. konumlarındaki potansiyel analizleri: Ladybug (Grasshopper eklentisi) gibi iklim verilerini, bina ve arazi geometrilerini analiz edebilen programlar kullanılabilir. Rüzgar enerjisi analizleri için CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) simülasyonları kullanılabilir. Güneş ışınım analizleri yapabilen Insight (Revit eklentisi) gibi yazılımlar bulunmaktadır.

Potansiyel belirleme yöntemlerinden biri de yenilenebilir enerji çeşitlerine göre oluşturulmuş enerji potansiyel atlaslarını kullanmaktır. Bu yöntemin dezavantajı genel bir bilgi vermesidir, yapı ve arazisi üzerinde belirleme yapamamasıdır.

3.9 Y. E. Konumu - Enerji Fizibilitesi

Y. E. konumu - enerji fizibilitesi süreç basamakları Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Y. E. konumu - enerji fizibilitesi aşama paketi

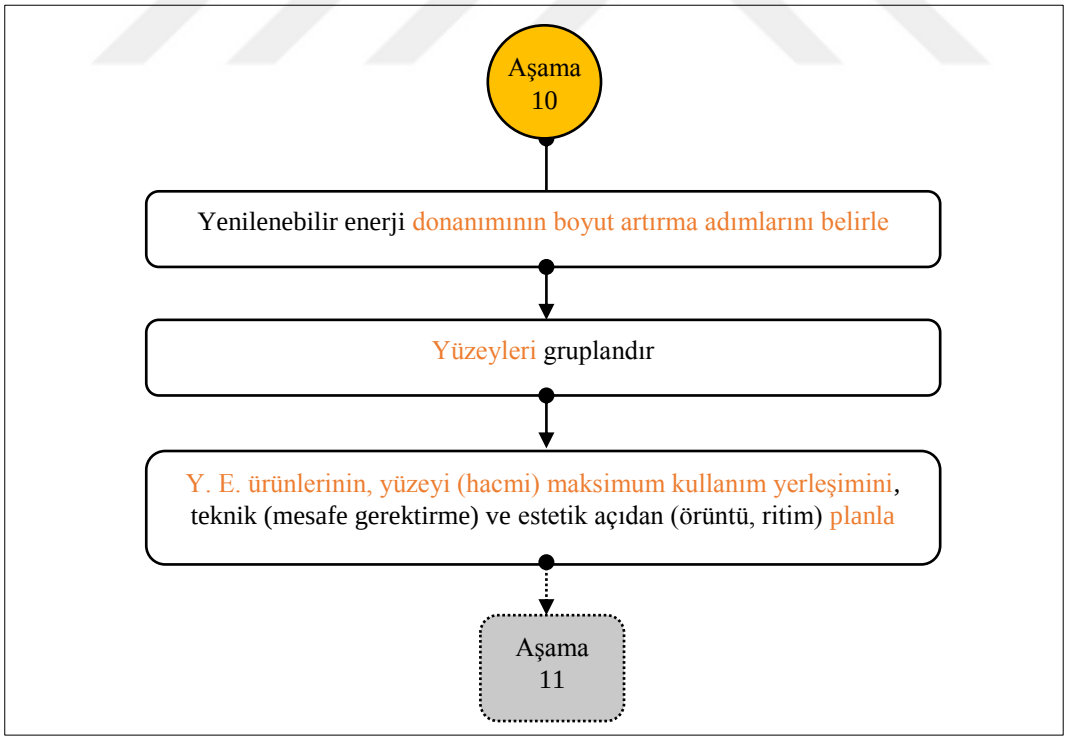
Potansiyel değerlendirmesi, göstergelerin mevcut değerleri eşik değerlerle karşılaştırılarak yapılır.

- Enerji eşikleri: Eşik değerler yenilenebilir enerji çevirim teknolojileri üreten firmalardan (piyasadan), güncel literatürden, vb. kaynaklardan elde edilir. STC (Standart test conditions) değerlerinden yararlanılabilir.

  Örneğin güneş enerjisi uygulamaları için bir eşik değer: bir fotovoltaik panel tarafından alınan ortalama güneş radyasyonu makul seviyesi 3-3,5kWh/m^2/gün tavsiye edilmiştir. [45]
- Dönüm Noktası: Y. E. konum-donanım seçeneklerinin tümünün bu aşamada elenmesi durumunda eğer ele alınmayan başka yenilenebilir enerji kaynak/teknoloji seçeneği yoksa veya kullanıcı diğer seçenekleri tercih etmiyorsa kılavuz kullanımı sonlandırılır. Bu aşama sonucunda uygulanabilir (kurulabilir, fizibıl) alan-donanım seçenekleri belirlenmiş olur.

3.10 Y. E. Donanımının Uygulama Alanına Entegrasyonu

Y. E. donanımının uygulama alanına entegrasyonu süreç basamakları Şekil 3.10'de gösterilmiştir.



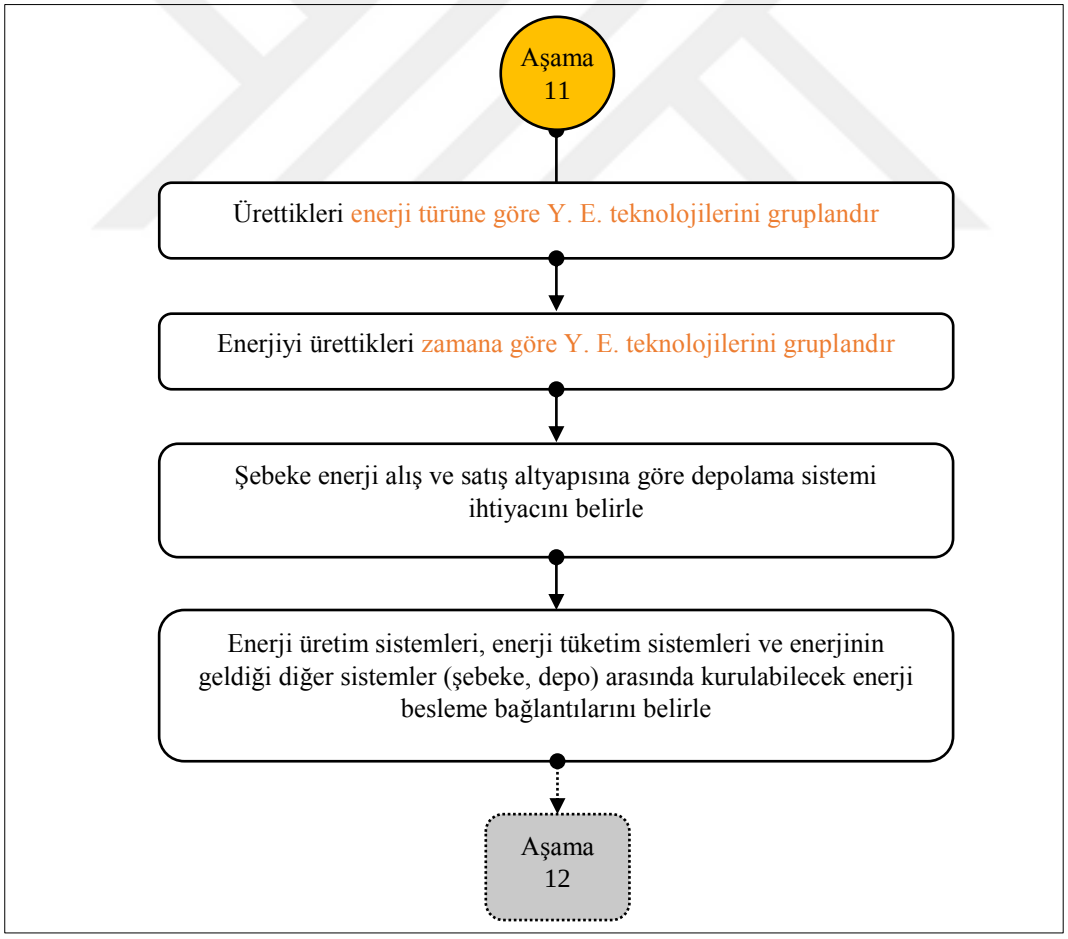
Şekil 3.10 Y. E. donanımının uygulama alanına entegrasyonu aşama paketi

Donanımın alandaki konumu, alana donanım yerleşimi ve boyut artırma adımları belirlenerek yenilenebilir enerji sisteminin bina ile bütünleşmesi tasarlanır.

- Donanım boyut artırma adımları: Tasarımsal boyut artırma adımları donanımın modüler olma, minimum boyut, teknik boyut artırma adımları, yüzeysel olma, mesafe gerektirme, vb. özelliklerine göre belirlenir.
- Yüzeyleri grupları: Bina üzerinde tekrar eden elemanlar veya katlar, modüller olarak ele alınabilir (alanın modülerleştirilmesi) ve bu alan grubu modüllerine donanım entegrasyon tasarımı yapılabilir. Modüllerin konumlarına göre değişen yenilenebilir enerji fizibilitelerine göre her modüldeki (katlar, vb.) donanımın yerleştirme tasarımı (konum- kurulum yapılacak kısımları) ve kurulum boyutu ayrı ayrı değerlendirilip değiştirilebilir.

3.11 Y. E. Senaryolarını Planlama

Y. E. senaryolarını planlama süreç basamakları Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



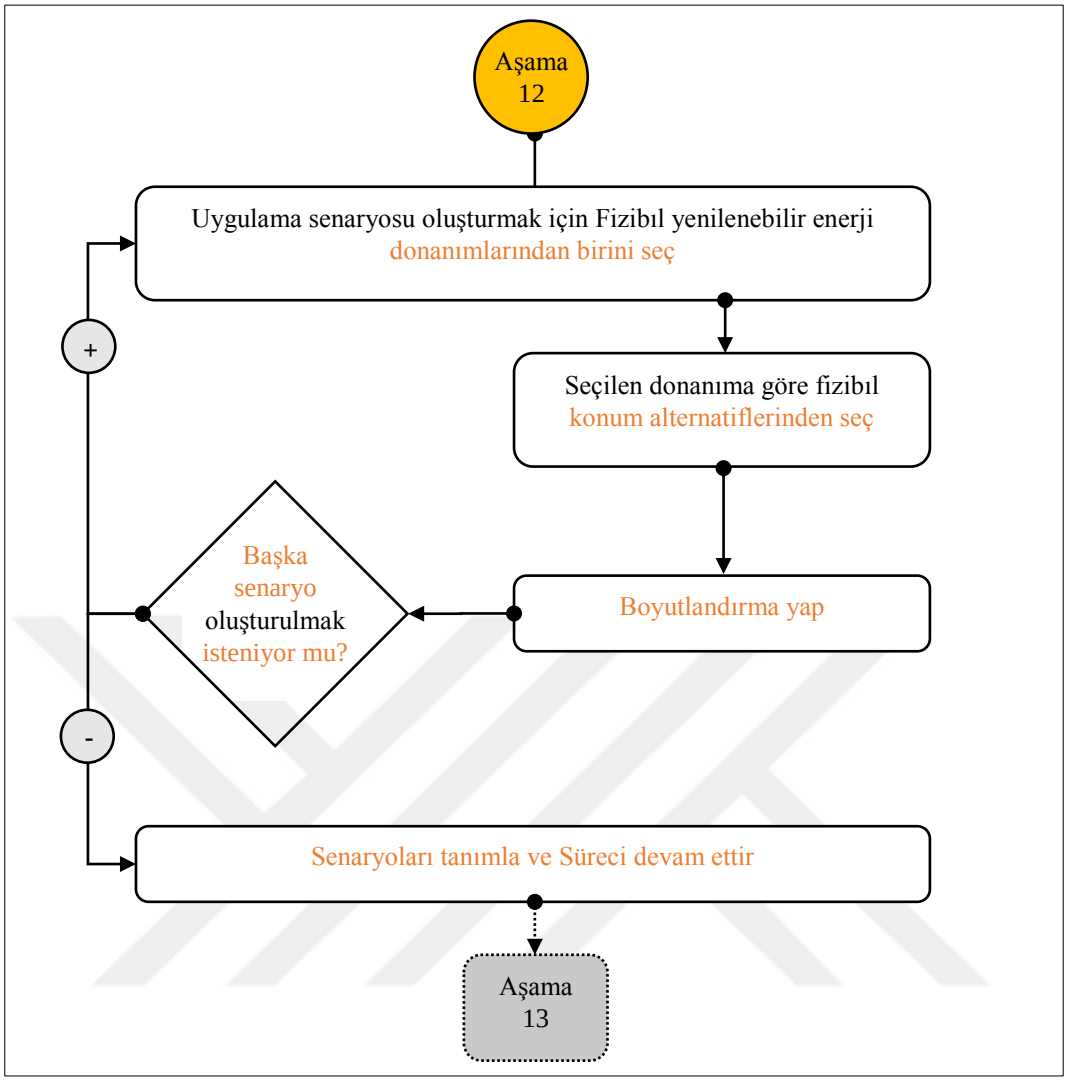
Şekil 3.11 Y. E. senaryolarını planlama aşama paketi

Bu aşama, bina enerji tüketim profiline (enerji türü ve enerji tüketim zamanları) göre ihtiyaç duyulan enerji üretimi için gerekli yenilenebilir enerji üretim profilini (enerji türü ve enerji üretim zamanları) belirleyerek yenilenebilir enerji senaryolarını etkin şekilde oluşturabilmeyi sağlar. Ayrıca enerji üretim ve tüketim sistemleri arasında uyumluluk gibi kurulabilir bağlantılar belirlenir.

- Şebeke ve enerji depolama: yakıt (doğalgaz, vb.) ve enerji (elektrik, vb.) şebekelerine erişilebilirlik veya şebekeye enerji satış altyapısının olmadığı durumlarda enerji depolama sistemlerinin gerekliliği ortaya çıkar.
- Enerji besleme bağlantıları: Bina HVAC sistemi ve diğer enerji tüketen bina sistemlerinin (ısıtma sistemi, soğutma sistemi, sıcak kullanım suyu sistemi, aydınlatma sistemi, mekanik havalandırma sistemi, diğer cihazlar) yenilenebilir enerji teknolojileri ve şebeke tarafından (kaynaklar) beslenebilme bağlantıları belirlenir yani enerji akışı planlanır. Binaların mevcut enerji tüketim sistemleri korunacaksa enerji üreten sistemlerin mevcut sistemler ile bütünleştirilebilme özelliğinin olup olmadığı saptanmalıdır.

3.12 Tek Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma

Tek teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma süreç basamakları Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Tek teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma aşama paketi

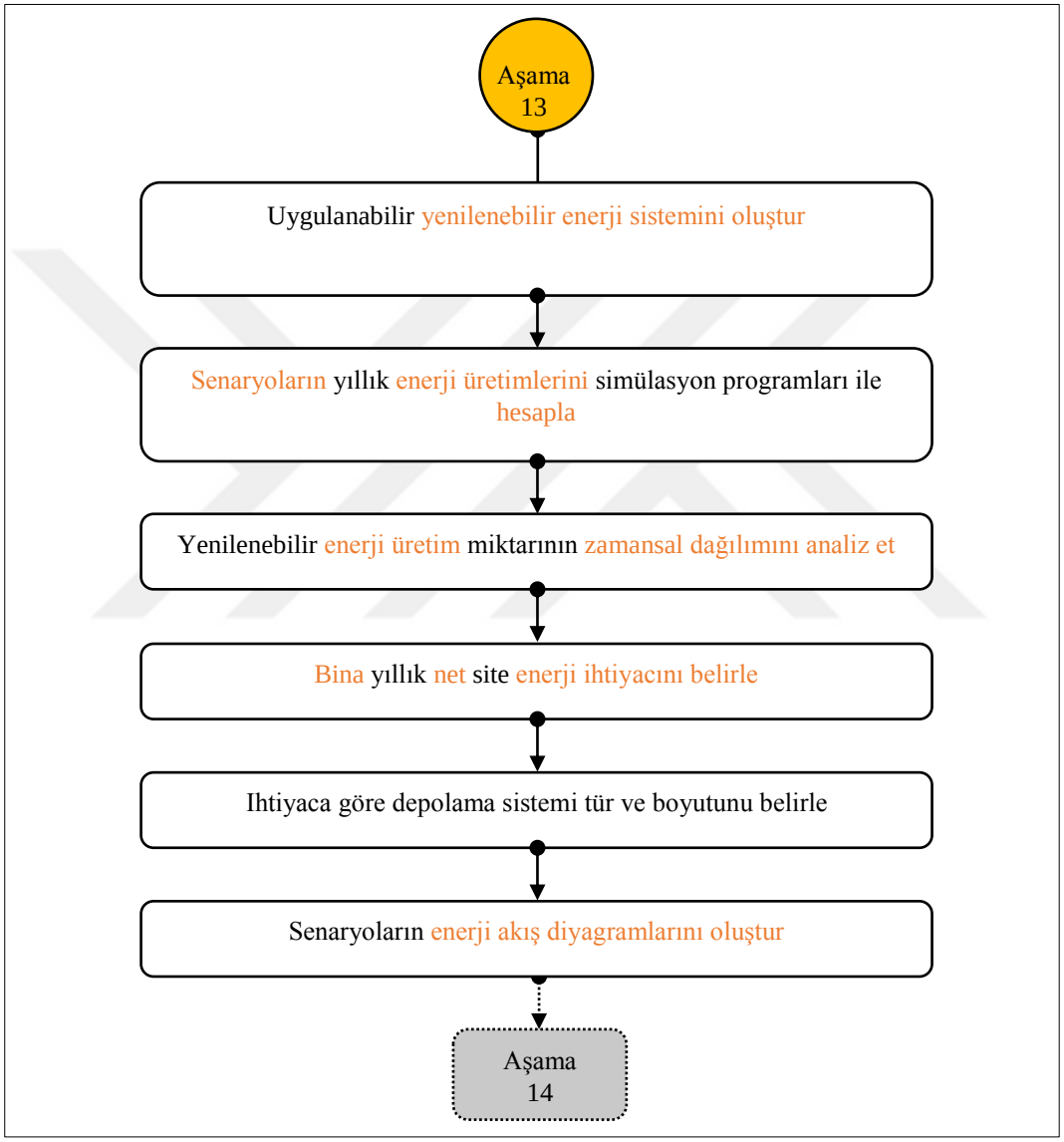
Fizibıl donanımlardan birini kullanan tek teknolojili senaryolar, kullanıcı tercihine göre istenen fizıbıl konumlarda ve boyutlarda (boyut artışı kurulum yapılabilir alan seçimlerine bağlıdır) oluşturulur. Senaryolarda boyutlandırma bina enerji tüketimine ve donanım gücüne göre yapılabilir.

- Senaryo seçenekleri: Aynı donanımın farklı boyutlandırmaları veya farklı kurulum alanları ile çok sayıda senaryosu oluşturulabilir. Örneğin bir yenilenebilir enerji teknolojisi ile binada/sitede üretilebilecek enerjinin üst sınırını değerlendirebilmek için tüm fizıbıl alanları tam kapasitede kullanan maksimum kurulu güç senaryo varyasyonu oluşturulabilir.
- Senaryo künyesi: senaryolar numaralandırılır ve tanımlanır. Oluşturulan senaryoların kurulu gücü, kullanılan donanımın teknik ve operasyonel

özellikleri, uygulama alanları, bina ile bütünleşme özellikleri ve ürün ile uygulama görseli bir tabloda gösterilir.

3.13 Y.E. Üretimini ve Bina Net Enerji İhtiyacını Belirleme

Y.E. üretimini ve bina net enerji ihtiyacını belirleme süreç basamakları Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Y.E. üretimini ve bina net enerji ihtiyacını belirleme aşama paketi

- Enerji üretim simülasyonu: Yenilenebilir enerji üretimi, PVsyst gibi sadece ilgili yenilenebilir enerji teknolojisi için hesap yapabilen programlarla veya DesignBuilder gibi yenilenebilir enerji üretimini hesaplayabilen tüm bina enerji simülasyon programlarıyla hesaplanabilir.

- Bina net enerji ihtiyacı: Bina enerji tüketiminden yerinde enerji üretim miktarı çıkartılarak bina yıllık net enerji ihtiyacı belirlenir. Şebekeden alınan toplam enerji (şebeke enerjisi ihtiyaç miktarı), şebekeye satılan enerji bu aşama sonucunda ortaya çıkar.
- Depolama sistemi: Kullanım fazlası enerji üretim miktarına göre, depolanacak enerji türüne göre depolama sistemi oluşturulur.
- Enerji akış diyagram: Gelen enerjinin (Y.E. kaynakları, şebeke) enerjinin tüketildiği sistemler arasında enerji miktarı, şebekeden satın alınan enerji, şebekeye satılabilir enerji, vd. parametreler arası enerji girdisi ve enerji çıktısını gösteren enerji akış diyagramı oluşturulur.

  Enerjiye ihtiyaç duyulan zaman ve enerji üretim zamanının eşleştirilmesi bir diğer uyumluluk boyutudur. Aylık şebeke faturalandırılması göz önüne alınarak aylık net enerji tüketimi kontrol edilebilir. Şebeke bağlantısının olmaması, depolama boyutunun artmaması gibi konularda detaylı ele alınması gerekebilir. Akıllı ev/bina sistemlerinde enerji tüketim yükünün enerjinin üretildiği döneme denk getirilmesi de ayrı bir alandır.

3.14 Hibrid Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma ve Net Enerji İhtiyacını Belirlenme

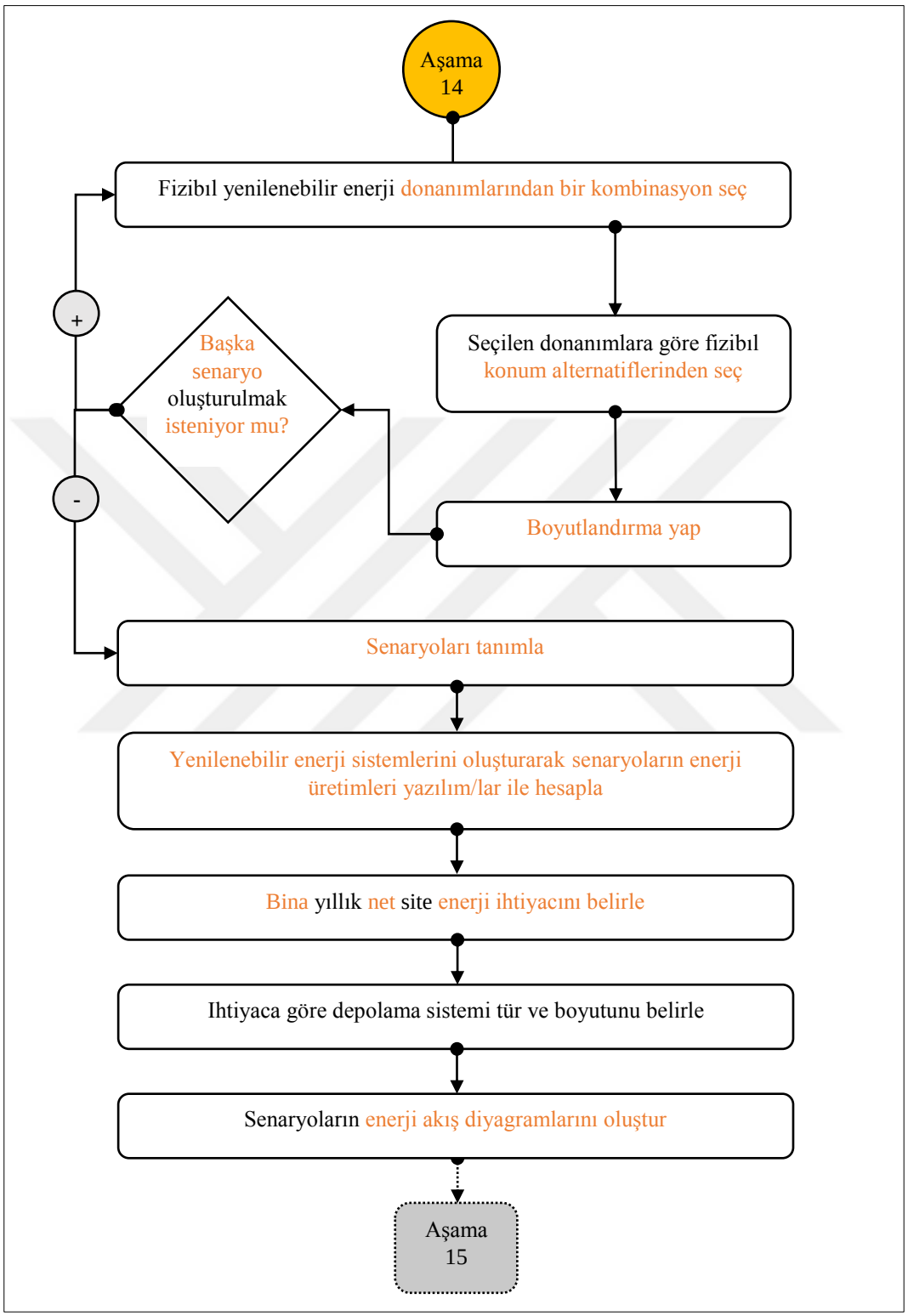
Hibrid teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma ve net enerji ihtiyacını belirlenme süreç basamakları Şekil 3.14'de gösterilmiştir.

- Ortak fizıbıl alanlar: Ortak fizıbıl alan kullanımı varsa boyutlandırmada alan paylaşımı yapılabilir.

Tek çeşit teknolojili-ürünlü senaryo çıktılarından yararlanmak: Tek teknolojili senaryolar bir yenilenebilir enerji kaynağın/teknolojisi uygulamasının tekil etkisini değerlendirebilmeyi sağlar. Hibrid senaryo oluştururken donanımın (belirlenen konumda) ürettiği enerjinin miktarı ve oluşum zamanı verilerini sağlar.

Örneğin, tek teknolojili senaryoların bina net enerji ihtiyacı (enerji üretimi ve tüketimi), sezonlara (ısıtma, soğutma dönemleri), aylara (yılın 12 ayı), günlere (21 aralık-21 mart-21 haziran günleri ve pikin yaptığı gün) gece-gündüze ve saatler (öğleden önce-öğlen-öğleden sonra saatleri vb.) gibi zamana, enerji türlerine ve

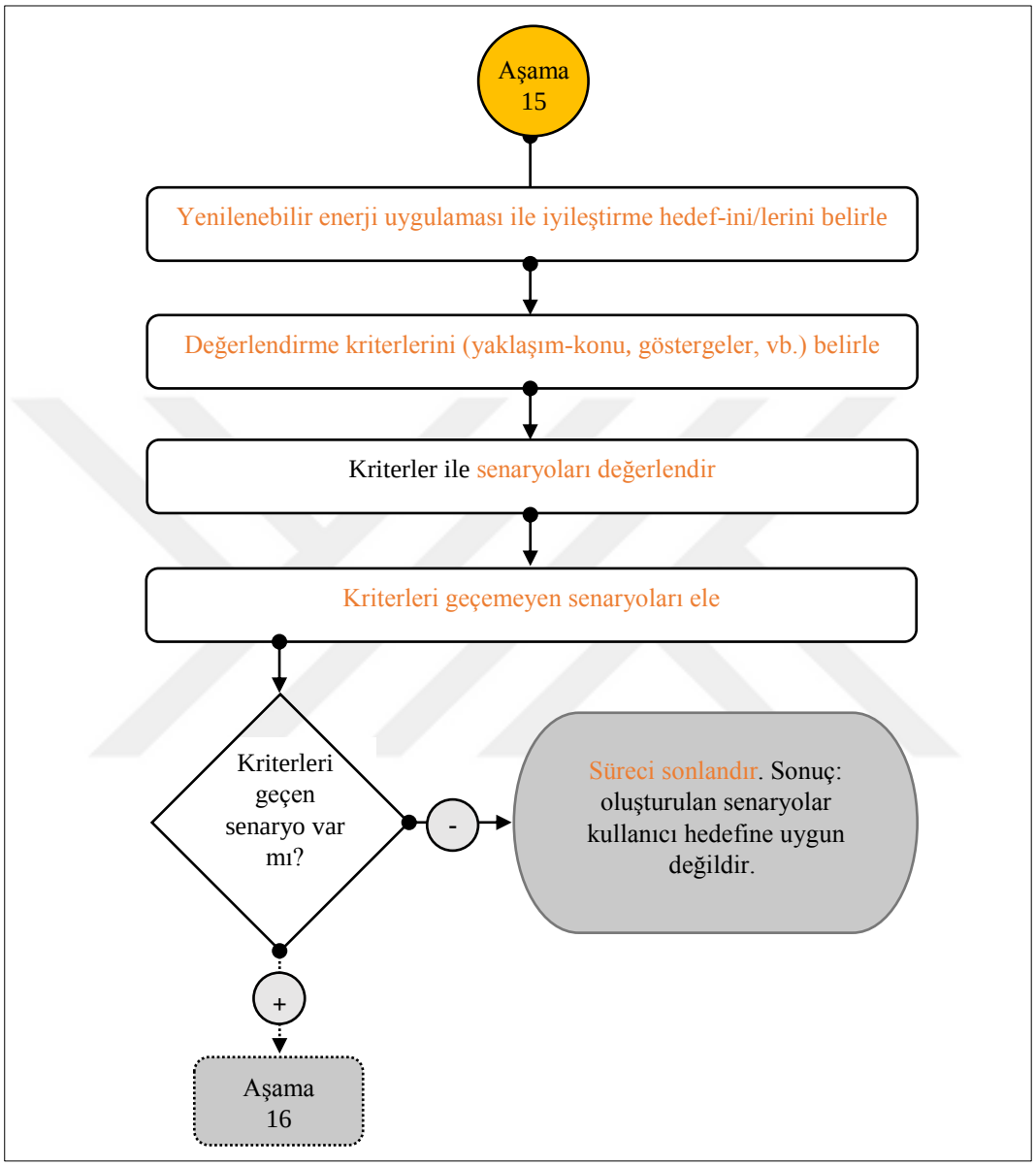
miktarına göre detaylı analiz edilip değerlendirerek enerji dengesine yönelik (üretim-tüketim eşleşmesi) çok teknolojili hibrid senaryolar önerilebilir.



Şekil 3.14 Hibrit teknolojili Y. E. senaryoları oluşturma ve net enerji ihtiyacını belirlenme aşama paketi

3.15 Senaryoları Değerlendirme Kriterleriyle Karşılaştırma

Senaryoları değerlendirme kriterleriyle karşılaştırma süreç basamakları Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Senaryoları değerlendirme kriterleriyle karşılaştırma aşama paketi

- Hedefler: yenilenebilir enerji uygulamasından beklenen sonuçlara yönelik kullanıcı beklentilerini tanımlayan enerji, maliyet vb. alanlarda amaçları tanımlanır. Kullanıcı bir sonraki basamakta hedeflerine uygun uygulama senaryosu değerlendirme kriterlerini belirler.

- Değerlendirme kriterleri: Senaryolar, doğrudan amaca yönelik değerlendirme göstergeleriyle (indeksler) veya çeşitli bina kategori yaklaşımları ile değerlendirilebilir.

  Çeşitli değerlendirme kriterlerini içerebilen bina (enerji) değerlendirme yaklaşımlarında, senaryoların kategori konumları belirlenir.

  Senaryolar örneğin, düşük enerjili binalar, pasif ev, NZEB (Nearly zero-energy buildings), sıfır enerjili bina, enerji plus bina, vb. az enerji tüketen, enerji üreten bina enerji yaklaşımlarına (yasal mevzuat, standart, vb.) göre değerlendirilebilir.

- **Değerlendirme göstergeleri**

- Enerji kriteri göstergeleri: Tüketilen enerji kadar enerji üretmek, satış amaçlı tüketilen enerji miktarından fazla enerji üretmek, vb. enerji hedefleri olabilir.

  Değerlendirme için capacity factor (CF), renewable energy fraction, load matching index, on site energy fraction (OEF), on-site energy matching (OEM), supply cover factor, annual average load cover ratio, energy saving ratio, design mismatch ratio, NZE balance as well as embodied energy, binanın enerji performans göstergesi, yenilenebilir enerji sisteminin enerji göstergeleri, enerji geri ödeme süresi, enerji getirisi faktörü vb. enerji indeksleri kullanılabilir.

- Maliyet kriteri göstergeleri: Maliyet değerlendirmesi senaryonun ekonomik olarak uygulanıp uygulanamayacağını belirlemek için vb. hedeflerle kullanılabilir.

  Değerlendirme için energy cost savings, saving to investment ratio SIR, geri ödeme süresi (sistem ömrü içinde mi), iskonto edilmiş geri ödeme süresi, enerji geri ödeme süresi, Levelized cost of energy (LCOE), cost/benefit ratio, ilk yatırım maliyeti, net güncel değer, enerji maliyeti, adjusted internal rate of return, yaşam döngüsü maliyetleri vb. maliyet indeksleri kullanılabilir.

  En uygun maliyetli seçenek (cost-minimization), maliyet etkinliği (cost-effectiveness), maliyet yarar (cost-benefit) vb. değerlendirme yöntemleri kullanılabilir.

Maliyet değerlendirmesinde teşvikler, tarifeler, şebekeye satış altyapısı vb. konular dikkate alınmalıdır.

Maliyet değerlendirmeleri için yenilenebilir enerji donanımlarının birim (adet, m^2, vb.) fiyatı, yakıt alım fiyatı, şebekeden enerji alım fiyatları, şebekeye enerji satış fiyatları, bakım maliyetleri, kullanım ömrü, vb. verileri toplamak gerekebilir.

- Çevresel etki kriteri göstergeleri: Zero veya near-zero emissions vb. hedefler olabilir, değerlendirme için bina CO_2 salım sınıfı, CO_2 salım azaltım potansiyeli vb. gerekli indeksler kullanılabilir.

  Çevresel etki değerlendirmesi için kullanılan yakıt türüne göre dönüşüm katsayıları kullanılarak enerji tüketimi site (ikincil-enerji faturası) enerjiden source (birincil) enerji cinsine dönüştürülür.

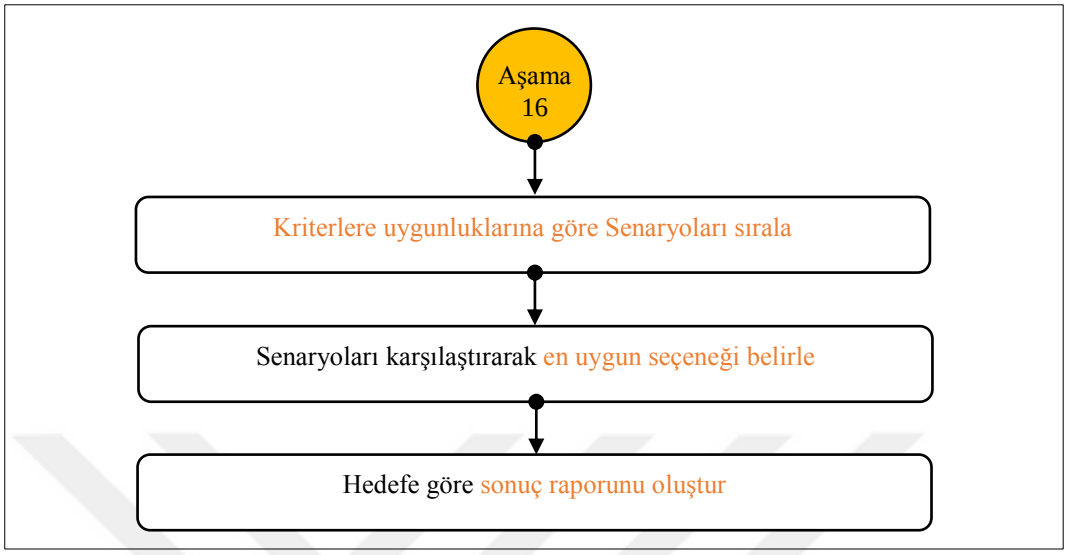
- **Bina Enerji Kategorileri-Yaklaşımları**

- Pasif ev kategorisi: Pasif ev kategorisine göre alan ısıtma enerjisi ihtiyacı 15 kWh/m^2'yi ve evsel uygulamaların tükettiği birincil enerji 120 kWh/m^2'yi geçmemelidir [46].
- NZEB kategorileri: Yaklaşık sıfır enerjili binaların (NZEB) birincil enerji gereksinimleri, konut binaları için 0 ile 160 kWh/m²a arasında değişmektedir.
- Düşük enerjili binalar kategorisi: Düşük enerjili yapı, yıllık toplam enerji tüketimi 120-140 kWh/(m^2a) aralığında (120'ye yakın) olan yapıdır [47].
- Enerji kimlik belgesi kategorileri: Binanın yıllık net toplam (ısıtma, soğutma, sıhhi sıcak su, aydınlatma, havalandırma) birincil enerji tüketimi enerji sınıfı indeksi, enerji sınıfı, emisyon sınıfı indeksi ve emisyon sınıfı göstergeleriyle ele alınır. Bina tipi ve ısıtma bölgesine göre belirlenen referans göstergesi değerlerinin oranları ile enerji performansı karşılaştırılarak bina enerji sınıfı belirlenir.

3.16 Uygulama Seçeneklerinden Amaca Uygun Olan Senaryoyu Seçme

Uygulama seçeneklerinden amaca uygun olan senaryoyu seçme süreç basamakları Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Bu aşamaya kadar oluşturulan tüm hibrit ve tek teknolojili uygulama seçenekleri karşılaştırılır ve amaca uygun olan senaryo belirlenir. Seçilen senaryo mevcut bina ile karşılaştırarak hedefe yönelik sonuç raporu oluşturulur.



Şekil 3.16 Uygulama seçeneklerinden amaca uygun olan senaryoyu seçme aşama paketi

- Hedefe göre senaryoların sıralanması: Değerlendirmeleri geçen senaryolar kriter üst sınırından alt sınırına doğru sıralanır.
  Değerlendirme aşamasında birden çok gösterge ele alındıysa değerlendirme kriterleri önceliklerine göre kendi aralarında sıralanabilir. Kullanıcı çok kriterli karar verme süreci vb. yöntemler kullanabilir.
- Sonuç değerlendirmeleri: Değerlendirme kriterlerini geçen senaryolar bu aşamada farklı yaklaşımlarla da karşılaştırılabilir. Örneğin, Yenilenebilir enerji senaryoları, yalıtımlı yapı tasarımı yaklaşımıyla (mevcut binalarda eski TS825 yalıtımı, yeni TS825 yalıtımı, pasif ev kategorisinde yalıtım vb. senaryolar ile) karşılaştırılarak değerlendirilebilir.

4
KILAVUZ YÖNTEMİN UYGULANMASI

4.1 Uygulama Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Kılavuz bir toplu konut örneğinde binalara uygulanmıştır.

Uygulamanın amacı, mevcut yerleşkede yenilenebilir enerji üretimi yapıp konutlarda temiz enerji kullanarak binaların enerji etkin iyileştirilmesini sağlamaktır.

Bina enerji ihtiyacını NZEB standartlarında karşılayan, mevcutla bütünleşik, uygulanabilir, yenilenebilir enerji sistemi belirlenmek istenmektedir.

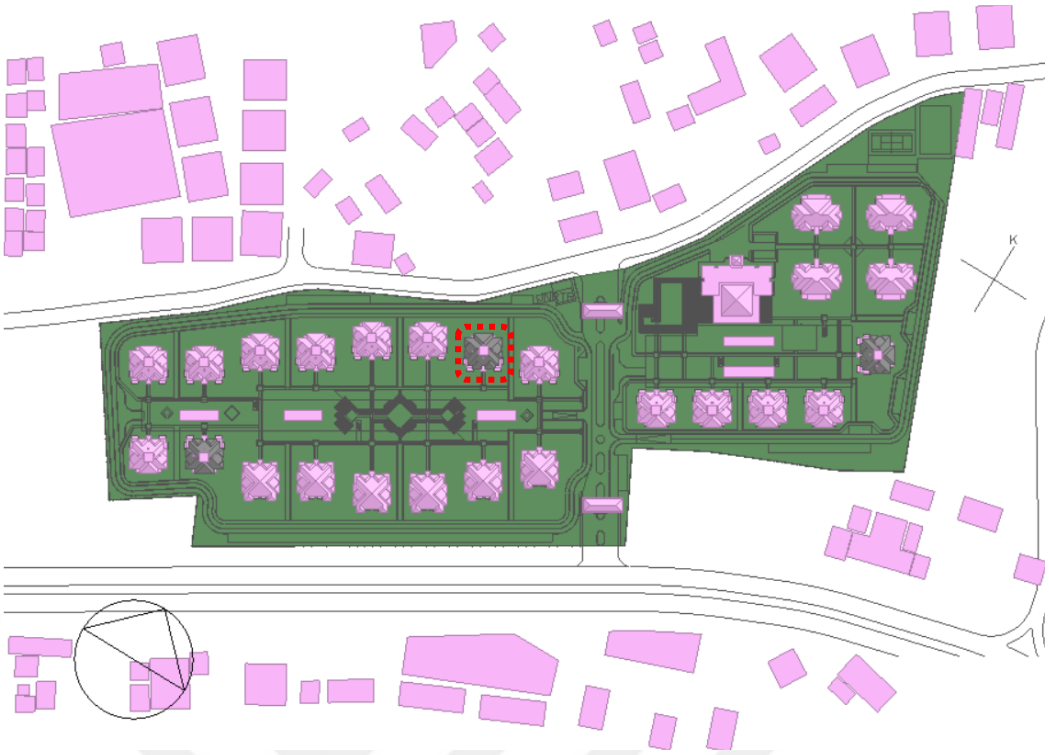
Uygulama çalışması, ılıman/nemli iklim özellikleri gösteren İstanbuldaki mevcut bir konut yerleşkesinde (toplu konut) yapılmıştır.

Alternatif enerji sistemi, birinci enerji kaynağı olarak şebeke bağlantılı mevcut bina enerji sistemiyle uyumlu olarak bütünleştirilecektir. Yeterli enerji üretiminin olmaması durumlarında mevcut altyapı bina enerji sistemine enerji tedariğinde destek olarak kullanılabilecektir.

4.2 Veri Toplama

4.2.1 Bina çalışma modeli girdileri

Yaklaşık 72.000 m^2 alan üzerinde kurulu yerleşkede üç apartman tipi vardır. Konut blok tiplerinden ikisi beşer katlı (zemin kat ve üzerinde dört kat) diğeri dokuz katlıdır. Toplam 25 blokta 354 daire vardır. Ayrıca yerleşkede sosyal donatı binaları da bulunmaktadır. Çalışma alanı kuzeyden batıya 31,4° açı yaparak güneybatı kuzeydoğu doğrultusunda yerleşmektedir. Yerleşkenin vaziyet planı Şekil 4.1'de, perspektifi ve çalışılan blok tipini dört yönden gösteren perspektifler Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Yerleşke model vaziyet planı ve çalışılan bina

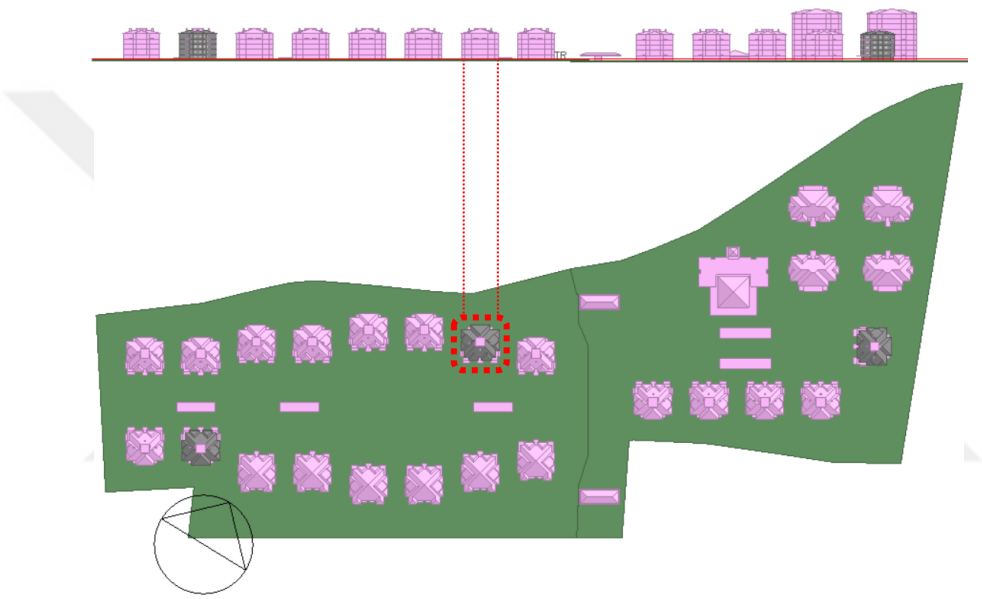


Şekil 4.2 Yerleşkenin (üstte) ve çalışılan tipteki binanın (altta solda ve sağda) perspektif görünüşleri

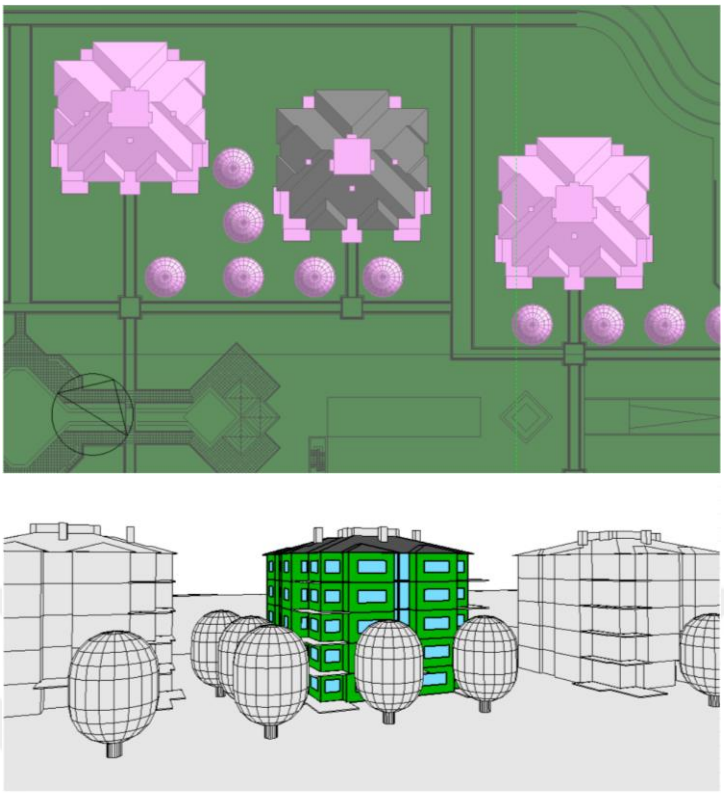
Toplu konutta genelleme yapabilmek için üç konut bloğu tipinden en fazla sayıda olanıyla çalışılmıştır. Bu tip blok hem kat sayısı olarak yerleşkedeki yirmibeş bloktan yirmibirini hem de aynı tipteki onbeşini temsil etmektedir.

Uygulama çalışması aynı zamanda kılavuz kullanımına örnek olması için tüm aşamalarda yapılanlar açıklanarak detaylı olarak verilmiştir.

Toplu konutun güneybatı tarafında, beş katlı binalar arasında yer alan uygulama binası giriş cephesi güneydoğu yönündedir. Şekil 4.3'de binanın yerleşkedeki konumu ve Şekil 4.4'de yakın çevresi gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Kesit ve planda binanın yerleşkedeki konumu



Şekil 4.4 Binanın yakın çevresi (üstte plan altta perspektif)

Bina yakın çevresindeki ağaçları saptamak için web haritalarından yararlanıldı.

Apartmanın kırma tipli çatısının eğimi İstanbuldaki uygulama örnekleri gibi %33 alınmıştır. Kat yüksekliği 3,0m, iklimlendirilen bina (blok) alanı 1921,2m^2 'dir.

Yalıtımlı yapı kabuğundaki opak ve saydam alanların termofiziksel özelliklerinden olan U değerleri tabloda verilmiştir. Projenin tamamlandığı 2008 yılında geçerli olan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında [48] önerilen, İstanbul'un içinde bulunduğu ikinci derece gün bölgesi U değerleri de Tablo 4.1'da gösterilmiştir.

Çift camlı pencerelerin cam alanının termofiziksel ve optik özelliklerinden güneş ısısı kazanç katsayısı (SHGC) 0,703 ve ışık geçirgenliği 0,781'dir.

Yapı kabuğu hava sızdırmazlığı 0,7ac/h'dir.

Tablo 4.1 Yapı kabuğu konstrüksiyonları ve TS 825 U değerleri

Bina konstrüksiyonları	**Yapı kabuğu konstrüksiyonları U değerleri (W/m²K)**	**TS 825 U değerleri (W/m²K)**
U_D (dış duvar U değeri)	0,586	0,6
U_T (tavan U değeri)	0,4 / $U_{çatı}$ 0,411	0,4
U_t (zemine oturan döşeme U değeri)	0,588	0,6
U_P (pencere U değeri)	U_{cam} 2,673	2,4
$U_{Pdoğrama}$ (pencere doğraması U değeri)	3,476	-

4.2.2 Bina enerji tüketim profili girdileri

Uygulama çalışması, Türkiye'de yer alan 41° kuzey enleminde ve 28.8° boylamında bulunan İstanbul şehrinde gerçekleştirilmektedir.

İstanbulun iklimi ılıman ve nemlidir. Koppen iklim sınıflandırmasına göre Temperate-Dry summer-Hot summer (Csa) iklimindedir ve ASHRAE iklim bölgesi 3C'dir. Yıllık ortalama güneş ışınımı 1168kWh/m^2'dir [49]. Ortalama en yüksek hava sıcaklığı Ağustos ayında 26.9°C, ortalama en düşük sıcaklık şubatta 3.1°C ve yıllık ortalama sıcaklık 14.4°C'dir [50].

Bina enerji sistemleri ve bina kullanım verileri Tablo 4.2'da verilmiştir.

Tablo 4.2 Bina enerji sistemleri ve kullanım verileri

Enerji sistemleri	**Donanım**	**Kullanılan enerji / yakıt türü**	**Faaliyet verileri***
Alan ısıtma sistemi	Radyatör / kombi	Doğalgaz	**Kullanıcı yoğunluğu** 0,0196 kişi sayısı/m^2
Kullanım suyu ısıtma sistemi (DHW)	Kombi (boyler)	Doğalgaz	**Kullanım saatleri (zaman çizelgesi)** 8.00-18.00 (haftaiçi ve cumartesi) Kapalı (haftasonu \ pazar)
Soğutma sistemi	-	-	**İşlev** Konut*
Havalandırma sistemi	Doğal havalandırma	-	
Aydınlatma sistemi	led aygıtlar	Elektrik	
Diğer bina içi sistemler	Elektronik çalışma ekipmanları, bilgisayar, yemek hazırlama, vb.	Elektrik	*konutun bir mekanı üzerinden örnek verilmiştir, diğer mekanlarda farklılık gösterebilmektedir.

4.2.3 Yenilenebilir enerji girdileri

Yerleşke ve yakın çevresine bakıldığında binaların ayrık nizamlı olduğu görülmektedir. Toplu konutta çalışılan bina, kendi gibi beşer katlı binalarla komşudur. Yerleşke alanının (toplam 72.000) 62.500 m^2'si sosyal tesis ve yeşil alanlara ayrılmıştır. Çalışılan binanın ve yakın çevresinin özelliklerine doğal kaynakların ulaşımı ve mevcudiyeti açısından bakıldığında rüzgar ve güneşi kesecek durumun olmadığı diğer bir deyişle bu kaynaklardan yararlanmanın sağlanabileceği bir ortam gözlemlenmiştir. Ayrıca, biyokütle için bitki yetiştirebilecek peyzaj alanları ve ısısından yaralanabilecek toprak alanları mevcuttur. Su kaynakları bakımından ise arazi herhangi bir yeraltı veya yerüstü su alanına sahip değildir.

Çalışılan apartman bloğu ile toplu konut arazisinin konumu vb. özellikleri dikkate alınarak konutlarda kullanılmaya uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji, toprak-hava ısı enerjileri çalışmaya değer bulunarak tercih edilmiştir.

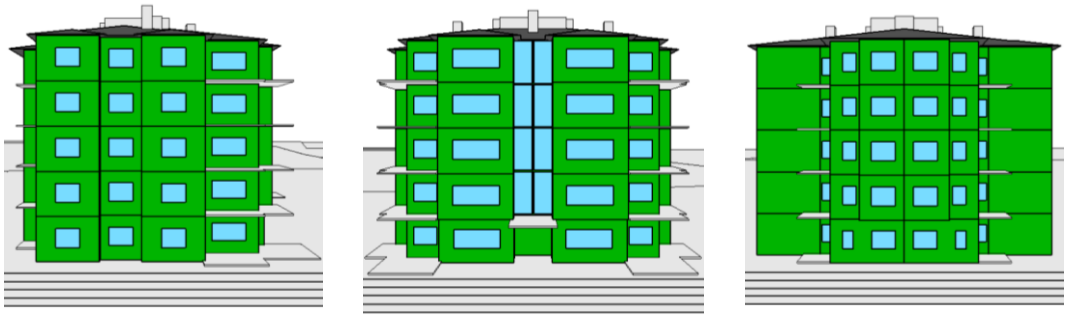
4.3 Enerji Üretim ve Enerji Tüketim Hesabı için Bina Modelleme

Simülasyon uygulama aracı olarak saatlik ve dinamik hesap yapabilen EnergyPlus'ın (whole building energy simulation engine) kullanıcı arayüzü DesignBuilder (building energy modeling-BEM) bina enerji yazılımı kullanılmıştır. AutoCAD programında oluşturulan bina planları ve vaziyet planı dxf uzantısıyla designbuilder yazılımına aktarılmış ve üç boyutlu enerji modellemesi burada yapılmıştır. Bu programda aynı zamanda çeşitli yenilenebilir enerji göstergelerinin analizleri yapılabilmekte, yenilenebilir enerji sistemi kurulup enerji üretimleri hesaplanabilmektedir.

Simülasyon süresini kısaltmak için, belirlenen binanın yakın çevresi ise bu bloğa gölge atan yani enerji hesaplarını etkileyebilecek engellerle sınırlandırılmıştır. Bunun için 21 aralık, 21 mart/21 eylül ve 21 haziran günleri (öğleden önce ve sonra) analiz için seçilmiştir. Enerji modeli oluşturulan örnek binanın kat planları Şekil 4.5'te ve görünüşleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Bina zemin kat planı (solda) ve normal kat planı (sağda)



Şekil 4.6 Bina enerji modeli görünüşleri (soldan sağa yan ön ve arka görünüşler)

4.4 Binanın Mevcut Enerji Tüketim Profilini Belirleme-Bina Enerji Sistemlerini Çözümleme

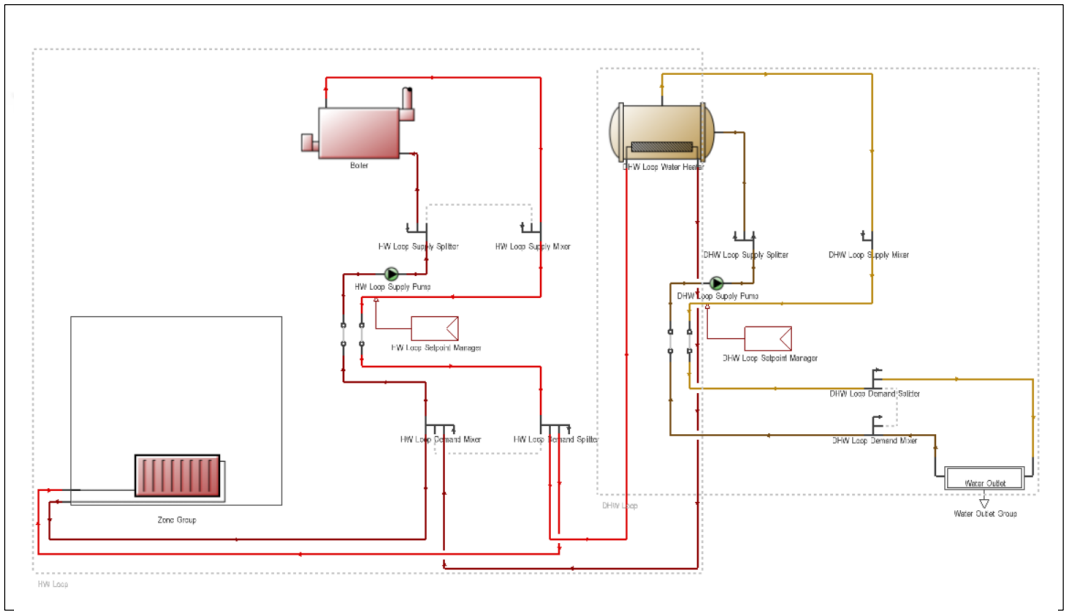
Şebekeye bağlı yerleşkede mevcut bina enerji sistemi enerji şebekesinden elektrik ve doğalgaz almaktadır, yerleşkede (yerinde) yenilenebilir enerji üretimi ve temiz enerji kullanımı yoktur. Her dairenin enerji sistemi özel (birbirinden bağımsız) olarak çalıştırılmaktadır ve enerji harcaması ayrı faturalandırılmaktadır. Daire dışındaki ortak alanların aydınlatılması gibi enerji harcamaları ise paylaşılarak karşılanmaktadır.

Daire içlerinde sıcak sulu ısıtma sistemi kuruludur. Dairedeki bir kombi, doğalgaz yakıtını kullananarak ısıtma sisteminin suyunu ısıtmaktadır. Alan ısıtma için hacimlerde radyatör (kalorifer) kullanılmaktadır. Bu donanımlar ısı transferini konveksiyon yolu ile sağlamaktadır. Kombi tesisatı aynı zamanda ıslak hacimlerdeki sıcak kullanım suyunu da ısıtmaktadır. Toplu konutun orijinalinde (projesinde) mekanik soğutma sistemi ve kanallı HVAC tesisatı bulunmamaktadır. Özel olarak isteyen daireler sonradan klima kurulumu ile istedikleri mekanları iklimlendirebilmektedirler. Bu sebeple toplu konutta soğutma sistemleri genellemesi yapılamayacağı için yenilenebilir soğutma enerjili sistemler çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Gerekli aydınlık düzeyinin sağlanması için günışığından yararlanan aydınlatma sistemi kullanılmaktadır. Led aydınlatma aygıtları ve diğer ev cihazları elektrik tesisatından beslenmektedir.

Bina modeli yazılımda detaylı hvac modunda mevcut bina enerji sistemi oluşturuldu, Şekil 4.7'de mevcut bina HVAC sistem şematik gösterimi ve Tablo 4.3'te sistem bileşenleri verilmiştir.

Tablo 4.3 Mevcut durum HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	**Talep tarafı**	**Tedarik tarafı**
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa



Şekil 4.7 Mevcut durum HVAC sistem şeması

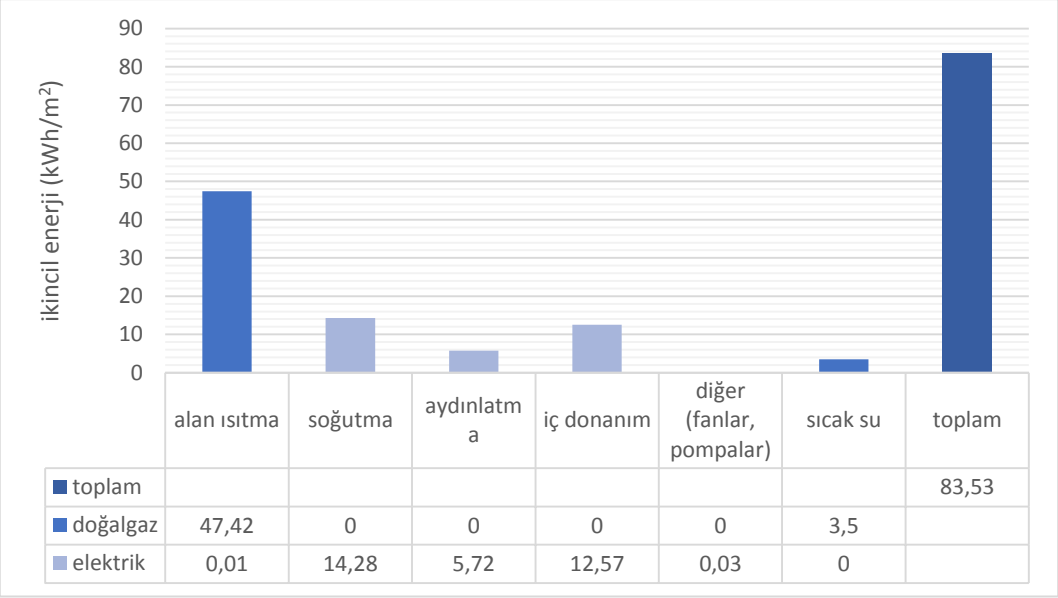
Yazılıma iklim ve yere ait veriler lokasyon ve hava durumu (TMY-local hourly weather data for a typical meteorological year) veri dosyaları ile aktarılmıştır.

Mevcut bina özellikleri (işlev, opak ve saydam alan verileri, aydınlatma, HVAC, vb.) tanımlanarak bina modeli programlanmıştır. Tablo 4.4'te bina enerji tüketim profilini belirleyen veriler verilmiştir.

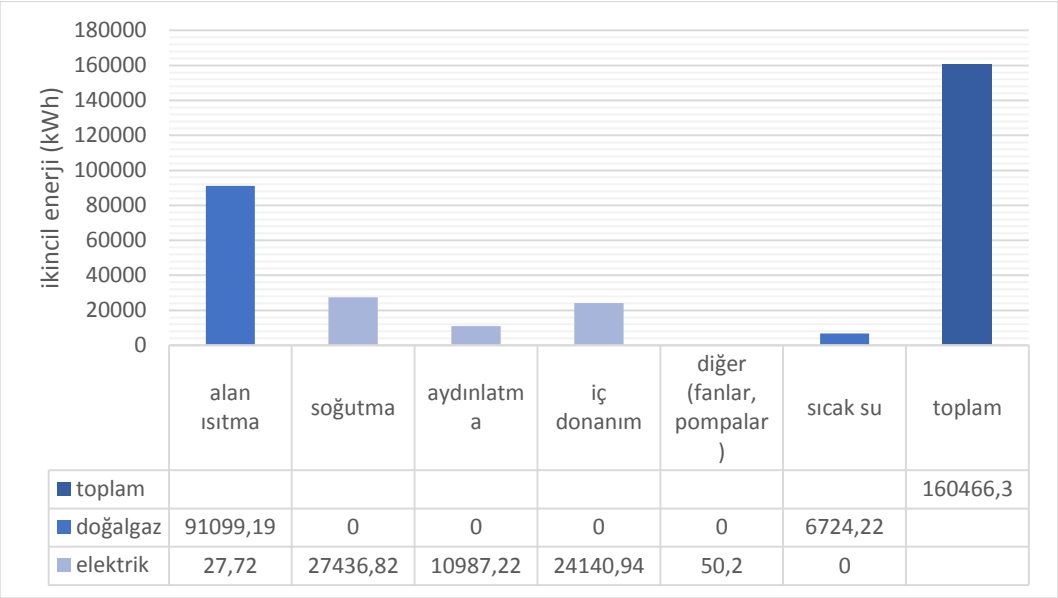
Tablo 4.4 Bina enerji tüketim profili verileri

HVAC (Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme)*		**Etkinlik***	
DHW	Açık	**DHW**	varsayılan tüketim oranı
ısıtma	açık	**Isıtma sıcaklık ayarnoktası**	21C
Soğutma	kapalı	**Isıtma geri ayarı**	12C
Doğal havalandırma	açık	**Doğal havalandırma iç mekan en düşük sıcaklık kontrolü**	26C
Mekanik havalandırma	kapalı	**En düşük temiz hava**	10 l/s-kişi sayısı
Genel aydınlatma **Gün ışığı Aydınlatma kontrol**	Açık açık	**Aydınlık düzeyi** **Normalize güç yoğunluğu**	100 lux 2,5 (W/m^2-100lux)
Diğer ekipmanlar	açık	**Güç yoğunluğu**	2,16 W/m^2

Bina enerji ihtiyacını belirlemek için, oluşturulan bina modeli simüle edilerek bir yıllık (8760 saat) ikincil enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Binanın mevcut durum toplam enerji ihtiyacı ile son kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre enerji ihtiyaçları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da farklı birimlerle verilmiştir.



Şekil 4.8 Son kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre bina mevcut durum enerji ihtiyacı (bina birim alanında)



Şekil 4.9 Son kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre bina mevcut durum enerji ihtiyacı (bina toplam alanında)

4.5 Yenilenebilir Enerji Kaynağı ve Dönüşüm Teknolojisi Seçeneklerini Belirleme

Yerleşke kaynakları dikkate alınarak, bina enerji tür ihtiyacı ve kullanıcı tercihlerine göre yenilenebilir enerji kaynağını kullanılabilir enerjiye dönüştüren teknoloji ürünleri belirlenerek Tablo 4.5'te listelenmiştir. Bina enerji tür ihtiyacı ısı (ısıtma) ve elektrik enerjileridir, tabloda olası teknoloji seçeneklerinden seçilen çevrim teknolojilerine geçiş yaparken bunlar dikkate alınmıştır.

Tablo 4.5 Yenilenebilir enerji seçenekleri ve seçimleri

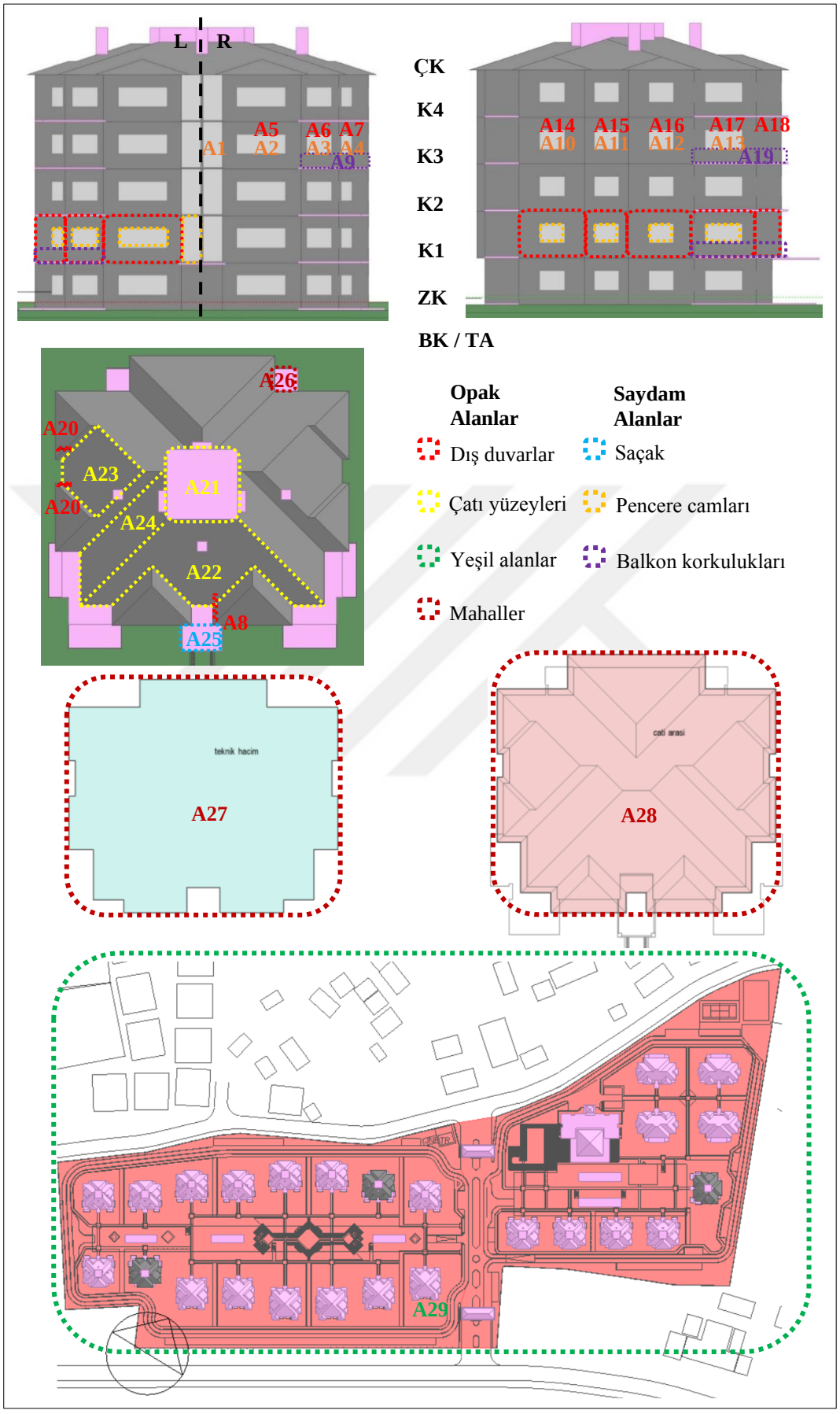
Enerji Kaynağı	**Enerji Çevrim teknolojileri**	**Olası teknoloji seçenekleri / Üretilen enerji çeşidi**	**Seçilen Çevrim teknolojileri**	**Belirlenen Ürün bilgisi (tipi / marka/ kodu)**
Güneş enerjisi	**Isıl Güneş Enerjisi Teknolojileri** *Yoğunlaştırıcılı Sistemler* *Düşük Sıcaklıklı Sistemler:* Güneş kolektörü **Fotovoltaik Güneş Teknolojileri** Fotovoltaik (PV) **PV-Termal**	PV / Elektrik Güneş kolektörü / Isı PV-Termal / elektrik - ısı	Fotovoltaik (PV)	CIS (CuInSe2) ince film Shell ST40 Multikristal Shell S105 Monokristal Shell SP70
			Güneş kolektörü (düz toplaç)	Vitosol 100-F (düz toplaç) SH1A/SH1B tipi Default-varsayılan
Rüzgar enerjisi	**Rüzgar türbinleri** *Düşey akslı rüzgar türbini:* Darrieus Savonius … Yatay akslı rüzgar türbini	Düşey akslı rüzgar türbini (Darrieus) / Elektrik Yatay akslı rüzgar türbini / Elektrik	Düşey akslı rüzgar türbini	Vertical 50000W Wind Turbine for Home Energy System on Grid Wind Generator Trademark Best Model NO. BT-50KH
Biyoenerji	Şömine Soba Biyokütle kazanları **Cogeneration / combined heat and power (CHP) engines:** combustion engines turbine engines	Internal Combustion Engine / elektrik-ısı (ısıtma) Micro Turbine / elektrik-ısı (ısıtma)	Internal Combustion Engine	5000W diesel Generator İnternal combustion engine (tip) Varsayılan marka (kabul edilen tip Dachs HKA HR 5.3)
Düşük sıcaklıklı doğa enerjileri	**Toprak kaynaklı ısı pompası:** Yatay TKIP Düşey TKIP **Hava kaynaklı ısı pompası**	Yatay TKIP / Isı (ısıtma) Düşey TKIP / Isı (ısıtma) Hava kaynaklı ısı pompası / Isı (ısıtma)	Düşey TKIP	Heat pump Heating capacity 104600W ClimateMaster TMW340 – Heating Ground heat exchanger Vertical U-tube 76m 24-boreholes Varsayılan marka
			Hava kaynaklı ısı pompası	Air to water heat pump coil Heating capacity 50994W COP 3,2 Water heater tank volume 0,25m3

4.6 Y. E. Entegrasyonu için Konum Seçeneklerini Oluşturma

- Kullanılabilir alanlar: Yapı kabuğunda duvarlar, pencere camları, balkon korkulukları, kırma çatı, teras çatı, giriş saçağı, iç mekanlarda bodrum kat (teknik hacim), çatı katı, arka cephe balkonları ve yerleşke peyzaj alanalarıyla, kullanılmayan (otopark harici, tesisat vb. olmayan) toprak altı alanları kullanılabilir alanlar olarak belirlenmiştir.

  Seçilen kullanılabilir alanlar yapı kabuğu, kat planları ve vaziyet planı üzerinde kodlandırılarak Şekil 4.10' da gösterilmiştir.

Donanımlar için konum belirlenirken öncelikle genel kararlarla bölgeler belirlenmiştir. Kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirme (güneydoğu ile güneybatı arasında) optimal enerji üretim sonucu verir [51], güneş enerjisi donanımları (PV ve toplaç) için yapı kabuğunda doğrultulu güneş ışınımını daha çok alan güneye bakan yerler tercih edilmiştir. Rüzgar türbinleri için binada rüzgarı daha çok alabilecek ve çevre engellerin azaldığı en yüksek konum önerilmiştir. Kojenerasyon ve ısı pompası sistemleri gibi kurulum için iç mekan gereksinimi olan ve merkezi işletilecek donanımlar için apartmanın ortak mekanları değerlendirilmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin yer altına yerleştirilmesi gereken donanımı kurulumu için (Yer Isı Eşanjörü) yerleşkenin kullanılmayan toprak altı alanlarında (elektrik, gaz, kullanma suyu, kanalizasyon ve haberleşme gibi teknik donatılar ile otopark, ağaç kökleri, yeşil alan tesis temelleri, vb.) ele alınabilir. Split tip hava kaynaklı ısı pompası dış ünitesi için daire alanlarındaki açık mekanlar tercih edilmiştir.



Şekil 4.10 Kullanılabilir alan kodları

- Y. E. Konum-Donanım kombinasyonları: PV'nin dış duvarlarda; cam PV'nin pencere camları, cam korkuluklar ve giriş saçağında; güneş toplacı'nın çatıda; rüzgar türbini'nin çatının teras çatı yüzeyinde; mikro kojenerasyon ünitesi'nin teknik hacimde; düşey toprak kaynaklı ısı pompası iç ünitesi'nin teknik hacimde, dış ünitesi'nin kullanılmayan toprak altında; hava kaynaklı ısı pompası iç ünitesi'nin teknik hacimde ve dış üniteleri'nin daire arka cephe balkonlarında kurulumları önerilmektedir.

  Y. E. konum donanım kombinasyon önerileri Tablo 4.6'da verilmiştir.

  Donanım konum önerileri yapılırken yapı kabuğunda aynı konumun farklı donanımlar tarafından kullanım çakışmalarına, hibrit senaryolara yönelik olarak, yer verilmemiştir. Teknik hacim ise (benzer şekilde çatı katı da) birden fazla ünite tipi tarafından kullanılabilir. Estetik açıdan cephede ve çatıda güneş enerjisi donanımlarından birer ürün tipi görünmesi için, çatıda düz toplaç cephede ise PV konumlandırılmasına karar verilmiştir. Çatının ön görünüm bölgelerinde düz toplaç önerilmemiştir. İnsan sirkülasyonu donanım güvenliğini olumsuz etkileyebileceği için zemin kat kotu yüzeyleri PV kullanımına katılmamıştır. Hava kaynaklı ısı pompası dış ünitelerinin daire alanlarındaki cephe görünüşüne etkisinin görülebilmesi için giriş cephesi görünüşünü etkilemeyecek dairelerin açık mekanlarında konumlandırılması tercih edilmiştir.

Tablo 4.6 Y. E. konum donanım kombinasyon önerileri

Donanım	**Konum**	
	Kot	**Alan Kodu**
Fotovoltaik (PV)	K1-K2-K3-K4	A5-A6-A7-A8-A14-A15-A16-A17-A18-A20
Cam BIPV	K1-K2-K3-K4	A1-A2-A3-A4-A10-A11-A12-A13-A9-A19
	ZK	A25
Güneş Toplacı	ÇK	A22-A23-A24
Düşey akslı rüzgar türbini	ÇK	A21
Internal Combustion Engine (kojenerasyon)	BK	A27
Düşey toprak kaynaklı ısı pompası (D-TKIP)	TA/BK	A29/A27
Hava kaynaklı ısı pompası (HKIP)	ZK-K1-K2-K3-K4 / BK	A26/A27

Tablo 4.7'de örnek yenilenebilir enerji sistem kurguları ve sistem bileşenleri verilmiştir. Yardımcı donanımların genel olarak konumları tabloda gösterilmiştir. Detaylı HVAC sistem ve elektrik yük merkezi tablolarında senaryoların yazılım HVAC şemasında gösterilen HVAC sistem bileşenleri verilmiştir.

Tablo 4.7 Yenilenebilir enerji sistem bileşenleri ve konumları

Yenilenebilir enerji sistemleri	**Yenilenebilir enerji sistem bileşenleri**	**Yardımcı donanım konumu**
Fotovoltaik sistem (elektrik şebekesi bağlantılı)	*PV modüller* - çevirici - şebeke sayacı (alınan) - şebeke sayacı (gönderilen)	A27
düz güneş toplacı DHW sistemi	*Güneş toplaçları* – güneş sirkülasyon döngüsü - hot water cylinders (depolayıcı, su ısıtıcılı kap-tank) – DHW loop - Kollektör sıcaklık sensörü	A28
düz güneş toplacı Alan ısıtma sistemi	*Güneş toplaçları* – güneş sirkülasyon döngüsü - hot water cylinders (depolayıcı, su ısıtıcılı kap-tank) – hw loop - Kollektör sıcaklık sensörü	A28
Rüzgar türbini sistemi (elektrik şebekesi bağlantılı)	*Rüzgar türbini* – şebeke denetleyici – yük boşaltma kutusu – şebeke çevirici – AC yük / şebeke enerjisi	A28
Kojenerasyon (DHW ve alan ısıtma) sistemi (elektrik şebekesi bağlantılı)	Hw loop – *mikro kojenerasyon* - yoğunlaştırma ünitesi – tampon tankı (sistem türüne göre bulunabilir) *mikro kojenerasyon* – elektrik dağıtım paneli	A27 A27
toprak kaynaklı ısı pompası sistemi	*Yer Isı Eşanjörü* - Condender loop HW Loop/yük bağlantıları (sıcak su) – *ısı pompası* - HW Loop/kaynak bağlantıları (boiler, geothermal loop), akış denetleyicisi	A27
hava kaynaklı ısı pompası sistemi	Aux HW Loop – *su ısıtıcı ısı pompası* (*Dış ünite ve iç ünite*) – HX (ısı değiştirici)	A27

Ayrıca yardımcı donanımların dışında kablolar, borular, montaj parçaları vb. sistem bileşenleri olabilir.

4.7 Y. E. Konumu - Donanım Fizibilitesi

- Y. E. donanımlarının ve kullanılabilir alanların fiziksel özellikleri: Karşılaştırma için belirlenen, yenilenebilir enerji donanımlarının fiziksel özellikleri Tablo 4.8'te, kullanılabilir alanların fiziksel özellikleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.8 Yenilenebilir enerji donanımlarının fiziksel özellik ve gereksinimleri

Donanım (D) / gereksinim	**Kısa kenar (cm)**	**Uzun kenar (cm)**	**Derinlik (mm) Yükseklik (cm)**	**Ağırlık (kg)**	**Montaj kısıtı, alan gereksinimi, akustik özelliği, vd.**
D1 (PV) [52] Shell ST40	32,8	129,3	35	7	bağlantı türü: vidalar Yüzey ile modüller arasındaki minimum mesafe 5 cm olmalıdır (tüm Shell modüller için geçerli).
D2 (PV) Shell S105 [52]	85,0	122,0	25	14	bağlantı türü: MC ® - kablolar
D3 (PV) Shell SP70 [52]	52,7	120,0	34	7.6	bağlantı türü: vidalar
D4 (Düz toplaç) Vitosol 100-F [51]	105,6	238	7,2	43	Kollektörler arasındaki mesafe 21mm [51]
D5 (d.a.-rüzgar türbini) Best BT-50KH [53]	500**	1800*			*Rüzgar çarkı çapı 460cm* Bıçak yüksekliği 700cm ***Rotor çapı* **toplam yükseklik* Çalışma ortamı koşulları: en fazla nem %90 ve sıcaklık -40-60C [53]
D6 (mini kojenerasyon) Dachs HKA HR 5.3-biodiesel [54]	72	107	100cm	530	Yapısal kaynaklı gürültüyü önlemek için tüm bağlantıları esnek (su, gaz) veya ayrıştırılmıştır(egzoz). 1m'de gürültü düzeyi 54-58 dB(A)'dır. Mekan gereksinimleri: Ünite arkası 35 Yanlar ve ön 60 [55]
D7 (D-TKIP) heat pump/ ClimateMaster TMW340 [56]	66,9	114,6	163,8	603 [57]	Yan ve önden min. gerekli servis erişimi 91cm [58] İç ortam koşulları: 4-38°C [58] Sound power level (dB re 1pW) 125-250-500-1000-2000-4000-8000 Hz / 65-62-68-57-54-49-47
ground heat exchanger/ *ClimateMaster* Vertical U-tube			7600	-	Vertical U-tube 24-boreholes Delik çapı tipik olarak 10 cm Sondaj delikleri arasında genellikle 3 m min. aralık gereklidir
D8 (HKIP) iç ünite/ vitocal 200-S AWB-M-E / AWB-M-E-AC 201.D8 A7/W35 [59]	37	45	88	44	15cm min. tavan mesafesi 117,1cm alttan tesisat bağlantı ve erişim mesafesi [60]
dış ünite/ [59]	110,9	75,3	54,6	99	Çift, esnek titreşim önleyici bağlantılar Isı pompalarında rahatsızlık verici düşük frekanslı sesler de engellenmektedir 3 m mesafe ile 35 dBAd Gece modunda ses seviyesi düşürülmektedir

Tablo 4.9 Kullanılabilir alanların fiziksel özellik ve gereksinimleri

Yer / gereksinim	Kısa kenar (cm)	Uzun kenar (cm)	Yükseklik (cm)	U değeri (W/m^2K)	Saydamlık (günışığı – manzara)	Yön – Açı
A1	122,5	290	-	2,673	Saydam	-90°
A2	125	310	-	2,673	Saydam	-90°
A3	125	160	-	2,673	Saydam	-90°
A4	70	125	-	2,673	Saydam	-90°
A5	300 (80-125-95)	500 (90-310-100)	-	0,586	Opak	-90°
A6	240 (35-160-45)	300 (80-125-95)	-	0,586	Opak	-90°
A7	190 (15-70-105)	300 (80-125-95)	-	0,586	Opak	-90°
A8	160	300	-	0,586	Opak	-90°
A9	95	400	-	-	Saydam	-90°
A10	125	160	-	2,673	Saydam	-90°
A11	125	160	-	2,673	Saydam	-90°
A12	125	160	-	2,673	Saydam	-90°
A13	125	240	-	2,673	Saydam	-90°
A14	300 (80-125-95)	420 (130-160-130)	-	0,586	Opak	-90°
A15	280 (60-160-60)	300 (80-125-95)	-	0,586	Opak	-90°
A16	300 (80-125-95)	420 (130-160-130)	-	0,586	Opak	-90°
A17	300 (80-125-95)	400 (70-240-90)	-	0,586	Opak	-90°
A18	160	300	-	0,586	Opak	-90°
A19	95	397,5	-	-	Saydam	-90°
A20	50	300	-	0,586	Opak	-90°
A21	530	540	-		Opak	-0°
A22	- 68,797m^2	-	-	0,411	Opak	18°
A23	- 24,909m^2	-	-	0,411	Opak	18°
A24	- 29,862m^2	-	-	0,411	Opak	18°
A25	240	300	-	-	Saydam	-0°
A26	222,5	220	260	-	-	-0°
A27	2120 308,85m^2	420	260	-	-	-0°
A28	2220 331,29m^2	520	260	-	Opak	-0°
A29 (TA)	- ~62500m^2	-	-	-	Opak	-0°

- Uyumsuz konum donanım seçeneklerinin elenmesi: İnsan sirkülasyonu yüzeylere gölge atabileceği için balkon yüzeyleri fizibil listeye alınmamıştır. Manzara ve günışığı işlevlerine etkisi ihmal edilerek pencerelerde PV cam önerilmiştir. Pencere yüzeylerindeki doğrama ve cam alanları PV cam fizibilitesi yapılırken dikkate alınmıştır. Eldeki veriler

kapsamında boyutlar açısından eleme yapılmış ve ortaya çıkan fizibil kombinasyonlar Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Fizibil konum/donanım kombinasyonları

Donanım	**Yer**	
	Kot	**Alan Kodu**
D1 (PV)	K1-K2-K3-K4	A5-A8-A14-A15-A16-A20
D2 (PV)	K1-K2-K3-K4	A5-A8-A14-A15-A16
D3 (PV)	K1-K2-K3-K4	A5-A8-A14-A15-A16
D1 (Cam BIPV)	K1-K2-K3-K4	A1-A2 / A9-A19
D2 (Cam BIPV)	K1-K2-K3-K4	A1-A2 / A9-A19
D3 (Cam BIPV)	K1-K2-K3-K4	A1-A2-A10-A11-A12 / A9-A19
D4 (Düz Toplaç)	ÇK	A22-A23-A24
D5 (d.a. rüzgar türbini)	ÇK	A21
D6 (mini kojenerasyon)	BK	A27
D7 (D-TKIP)	TA/BK	A29/S27
D8 (HKIP)	ZK-K1-K2-K3-K4 / BK	A26/S27

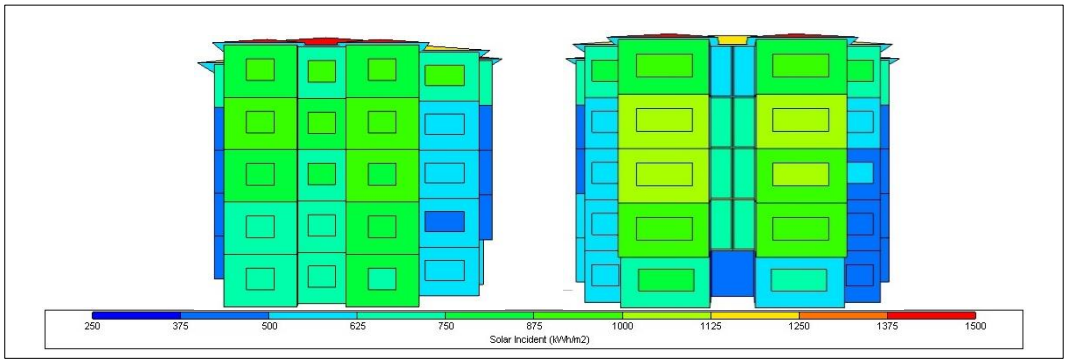
4.8 Yenilenebilir Konumunun Potansiyelini Belirleme

4.8.1 Güneş enerjisi

4.8.1.1 Fotovoltaik-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

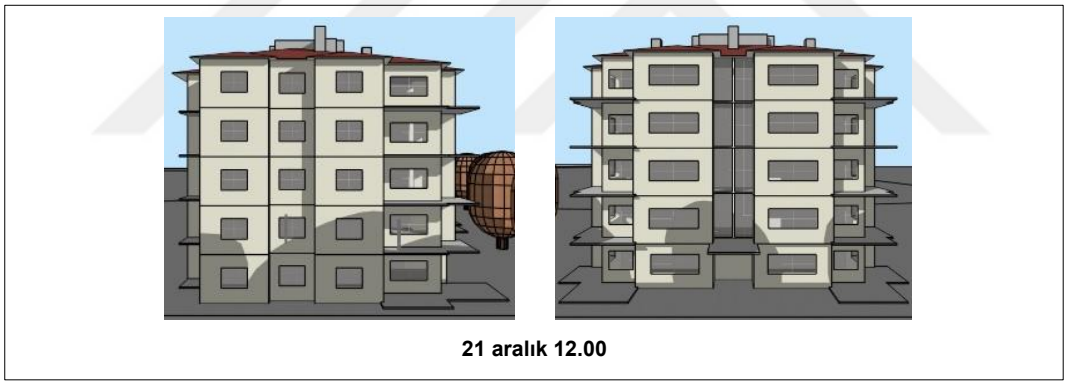
- güneş ışınımı: Güneş enerjisinin potansiyel göstergesi olarak, temel parametrelerden biri güneş ışınımı (KWh/m^2) değeridir.

  Mevcut güneş enerjisi potansiyeli iklim, yapı girinti çıkıntıları ve engellere (yapılı ve doğal çevre) göre ortaya çıkar. Yapı kabuğu üzerine konumlandırılmak istenen güneş enerjisi teknolojileri için yüzeylerinin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Veri görselleştirme simülasyonu ile yıllık güneş ışınım değerleri yapı kabuğu yüzeyleri üzerinde Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



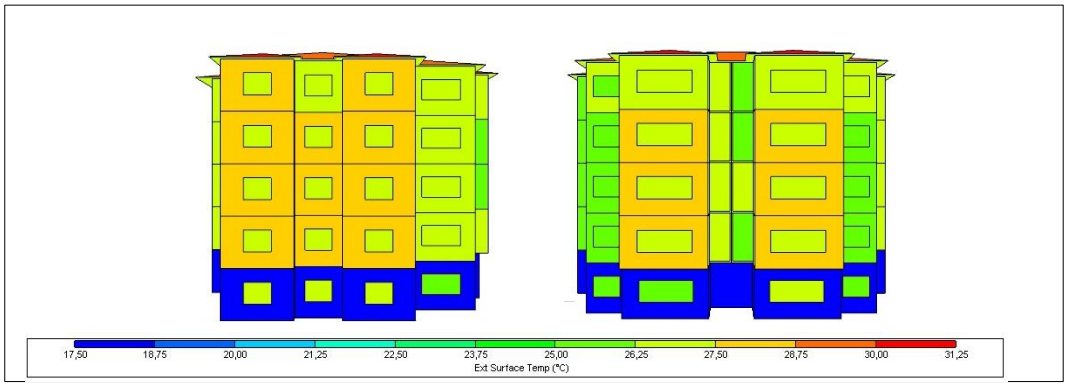
Şekil 4.11 Yapı kabuğu yüzeyleri üzerindeki yıllık güneş ışınımı (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri)

- gölgelenme: Yüzeylere düşen gölgeler PV enerji üretimlerinde büyük kayıplara sebep olabilmektedir. Bu nedenle donanım entegrasyon aşamasında gölgeli yerlerin dikkate alınmasına karar verilmiştir. Yıl boyunca güneş ışınımının doğrultu değişimine göre oluşan gölgeli alanlar (21 haziran, 21 eylül/21 mart, 21 aralık) belirlenerek Şekil 4.12'de 21 aralık örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Yapı kabuğu gölgeli alanları (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri)

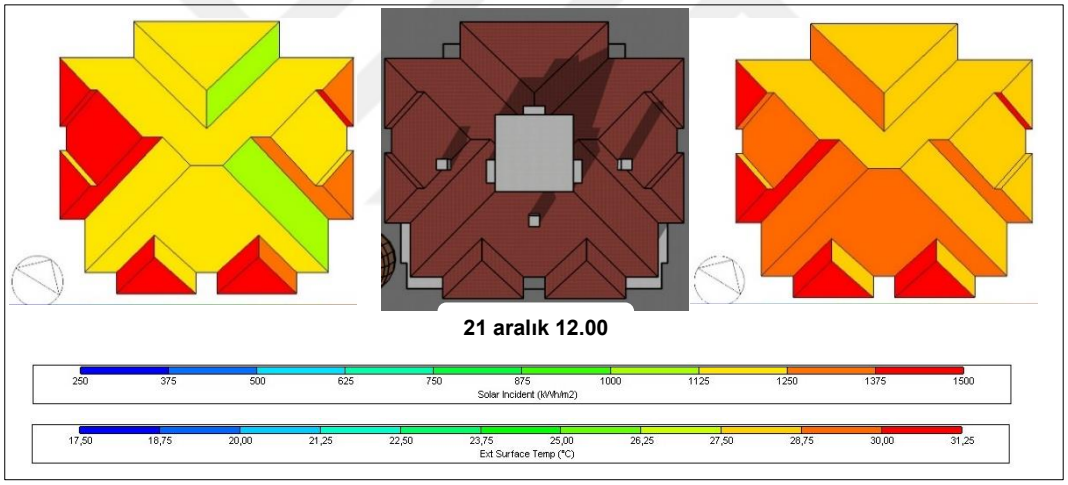
- sıcaklık: PV teknolojisinde göz önünde bulundurulması gereken bir özellik PV ısındıkça veriminin düşmesidir. Yapı kabuğu dış yüzey sıcaklıklarının en yüksek olduğu aydaki sıcaklıkları Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Yapı kabuğu dış yüzey sıcaklıkları (soldan sağa güneybatı ve güneydoğu cepheleri)

4.8.1.2 Düz toplaç-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

- Yönlendirme: çatıdaki yüzeylerin yönleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Ayrıca şekilde, diğer güneş enerjisi göstergelerinin çatıdaki analizleri de verilmiştir.



Şekil 4.14 Çatı yüzeylerinin yönleri, yıllık güneş ışınımı, gölgeli alanları ve sıcaklıkları

4.8.2 Rüzgar enerjisi

4.8.2.1 Düşey akslı rüzgar türbini-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

- yönlendirme
- Rüzgar hızı: Rüzgar enerjisi potansiyel atlasında (REPA) İstanbul [61] için ortalama rüzgar hızı 5,79m/s (en düşük 3,65 ve en yüksek 7,79) verilmiştir.

- Yerden yükseklik: rüzgar türbininin kurulacağı teras çatının yerden yüksekliği 18m'dir. Türbin kanat yüksekliği 7m'dir. Montaj direği ise örneğin 7m uygulanabilir.

4.8.3 Biyoenerji

4.8.3.1 Mini kojenerasyon-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

Üretim yoluyla kaynak oluşturma

- Bitkisel kökenli tarım alanı varlığı: Yerleşke alanının 62.500 m^2'si sosyal tesis ve yeşil alandır. Şekil 4.15'te yeşil alanlar vurgulanarak gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Yerleşkenin yeşil alanları

- Yerin biyokütle (biyodizel) tarımına uygunluğu: T.C. Tarim Ve Orman Bakanlığı'nda yapılan çalışmaya göre [62] hububatta tarımın yaygın olduğu İstanbul'un çeşitli ilçelerinde yüksek kalitede tohumluk kullanılarak ve modern tarım uygulamaları ile Türkiye ortalamasının üzerinde, yüksek verim elde edildiği açıklanmıştır.

  Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre istanbulda Biyodizel işleme sahibi iki firma [63] bulunmaktadır ve Şekil 4.16'da konumları gösterilmektedir.



Şekil 4.16 İstanbul'daki biyodizel işleme sahibi firmaların konumları [63]

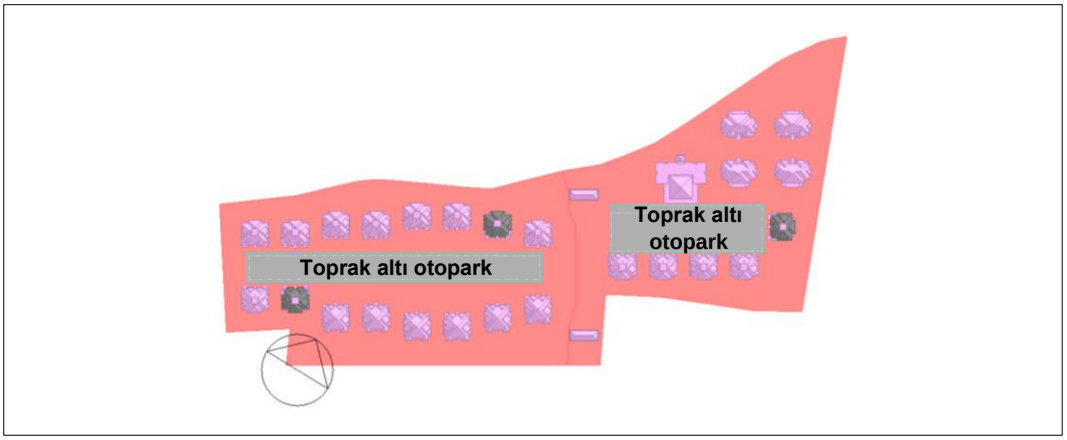
Atıkları kullanma yoluyla kaynak oluşturma

- Bitkisel veya hayvansal kökenli atıklar: uygulama yerleşkesinde düzenli atığı olan konut ve sosyal donatı binaları vardır. Toplu konut bir bütün olarak atıklarını değerlendirebilir. Atık ayrıştırma ile biyodizele uygun kaynaklar değerlendirilecektir.

4.8.4 Düşük sıcaklıklı doğa enerjileri

4.8.4.1 Düşey toprak kaynaklı ısı pompası-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

- ısı kaynağının sürekliliği: uygulama arazisi bir bina arsası ile sınırlı olmayıp toplu konut alanı ısı pompası için değerlendirilebilir. Şekil 4.17'de yerleşkenin binalar ve yer altı otoparkı dışındaki arazisi vurgulanarak gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Yerleşkenin yer üstü ve yer altı yapılaşmamış arazisi

- ısı kaynağının sıcaklığı ve uygulamanın yapılacağı derinlik: Derinlikle ortalama bir sıcaklık sağlayabilen toprak, ısı kaynağı olarak geniş ve neredeyse sonsuz bir ortamdır. Yerin derinliklerine doğru inildikçe sıcaklık artış gösterir.

4.8.4.2 Hava kaynaklı ısı pompası-potansiyel gösterge ve Y.E. konumundaki değer analizi

- ısı kaynağının sürekliliği: hava kaynaklı ısı pompaları hava kaynağı sınırsız denilebilecek bina dış mekanına konumlandırılacaktır.
- ısı kaynağının sıcaklığı: Istanbul iklimi ılıman ve nemlidir. Ortalama en düşük sıcaklık 4.2°C ve yıllık ortalama sıcaklık 15.3°C'dir [50].

4.9 Y. E. Konumu - Enerji Fizibilitesi

4.9.1 Güneş enerjisi

4.9.1.1 Fotovoltaik-eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- Güneş ışınımı: Seçilen PV ürünlerinde düşük ışınım 200W/m^2 ile tanımlanmaktadır [64], bina güneş ışınım analizlerinde ise alt sınır 250W/m^2 belirlenmiştir. Güneş ışınımı yüksek değerlerinin, enerji üretiminde artış sağlayacağı anlaşılmaktadır. PV ürünleri hem standart test koşullarında (STC - ışınım seviyesi 1000W/m^2, hücre sıcaklığı 25°C ve AM 1.5 spektrumunda) hem de 200W/m^2'lik ışınımda test edilmiştir. 25°C hücre sıcaklığında, 1000W/m^2'ye göre 200W/m^2'lik bir düşük ışınımda modül veriminin göreli azalması %5-9 arasındadır. [64]

  Literatürde, enleme eşdeğer eğimli, güneye bakan bir PV paneline gelen ortalama güneş ışınımı, 3-3,5kWh/m^2/gün (1.095 kWh/m^2/yıl) olursa orta derecede bir potansiyelin olduğu belirtilmiştir. [45]
- Gölgelenme: Bilhassa PV'lerde enerji üretimine olumsuz yönde etkisi olan gölgede kalan alanların elenmesine karar verilmiştir. Spesifik günlerde (21 aralık-mart/eylül-haziran) gölge boylarının en kısa olduğu 12.00'de bile gölgede kalan alanlar PV kurulumları için tercih edilmeyecektir. A ile kodlanan yüzeyler kısmi olarak gölgede kalabildiğinden yüzeylerin elenmesi yerine, senaryo oluşturma aşamasında alt alanlar olarak bu kısımların kullanımlarından kaçınılacaktır.

- Sıcaklık: Seçilen PV ürünlerin 20°C ve 60°C'ye kadar çeşitli PV hücre sıcaklıklarında PV modül performansları test edilmiştir [64]. Fizibil alanların yüzey sıcaklıklarının ise üst sınırının 30°C olduğu analiz edilmiştir.

4.9.1.2 Düz toplaç- eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- Yönlendirme: Kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirme (güneydoğu ile güneybatı arasında) optimal enerji üretim sonucu verir. Uygulamada da çatıda güneye bakan yönler tercih edilmiştir.

4.9.2 Rüzgar enerjisi

4.9.2.1 Düşey akslı rüzgar türbini- eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- Yönlendirme: dikey eksenli rüzgar türbinlerinde kanatların rüzgarı yakalamak için yönlendirilmeye ihtiyacı bulunmaz [65]. Yatay esen rüzgar her durumda kanatları döndürür.
- Rüzgar hızı: 6,5 m/s'nin altında rüzgar hızları düşük seviye ve 6,5-8 m/s aralığı ise orta seviye olarak ele alınmaktadır [45]. 3m/s ve üzeri rüzgar hızından elektrik üretimi gerçekleştirilebilir [45]. İstanbulda ise ortalama rüzgar hızı 5,79m/s'dir (en düşük 3,65 ve en yüksek 7,79).

  DART, rüzgar hızı düşük yerlerde ve rüzgar yönünün dikkate alınmadığı uygulamalarda kullanılabilir.

  Çalışmada uygulamak üzere seçilen rüzgar türbini başlatma rüzgar hızı 1,5m/s, survival (dayanabileceği en yüksek hız) rüzgar hızı ise 65m/s'dir [53] ve İstanbul rüzgar özelliklerine uygundur.
- Yerden yükseklik: Kapasitesi 100 kW'ın altında olan küçük boyutlu rüzgar türbinleri ev uygulamalarına uygundur ve çalışılan rüzgar türbini 50kW'tır. Küçük rüzgar türbinleri tipik olarak 15 ile 40m yüksekliğe kurulur. Bir diğer çalışmada, küçük rüzgar enerjisi türbini (10kW) kurulumunda motor yeri yüksekliğinin 30 m ve orta rüzgar enerjisi türbini (100kW) için ise 50m varsayılmıştır [66]. Uygulamada ise rüzgar türbini 18m'den yükseğe kurulacaktır.

  Türbin çalışma rakımı en fazla 4500m olabilir [53] ve İstanbulun deniz seviyesinden yüksekliği 40m'dir.

4.9.3 Biyoenerji

4.9.3.1 Mini kojenerasyon- eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- Bitkisel kökenli tarım alanı varlığı: toplu konut arazisindeki yeşil alanların peyzajı biyodizel bitki tarımı alanları olarak değerlendirilecektir.
- Yerin biyokütle (biyodizel bitkileri) tarımına uygunluğu: Kolza, pamuk, keten, yerfıstığı, zeytin, ayçiçeği, aspir, soya, susam vb. bitkilerden biyodizel elde edilmektedir. [67] Bitkisel üretim verilerine göre buğday, ayçiçeği, arpa, kolza (kanola) ve çeltik istanbulda yetiştirilmektedir. [62]
- Bitkisel veya hayvansal kökenli atıklar: evsel atıklardan kullanılmış atık yağlar (Kızartma yağları ve balık yağı gibi hayvansal yağlar da) biyodizel hammaddesi olarak kullanılır. Uygulama alanında toplam 354 daire ve diğer sosyal donatı binaları bulunmaktadır. Buralardan sürdürülebilir şekilde atık çıkışı olmaktadır.

4.9.4 Düşük sıcaklıklı doğa enerjileri

4.9.4.1 Düşey toprak kaynaklı ısı pompası- eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- ısı kaynağının sürekliliği: toprak, ısı kaynağı olarak neredeyse sonsuz bir ortamdır [39]. Yerleşkede uygulama yapılabilecek toprak alanı bulunmaktadır.
- ısı kaynağının sıcaklığı ve uygulamanın yapılacağı derinlik: düşey toprak kaynaklı ısı pompası uygulamasında sondaj yapılırken toprakta sisteme göre gerekli sıcaklığın olduğu derinliğe inilebileceği kabul edilmiştir.

4.9.4.2 Hava kaynaklı ısı pompası- eşik değer ve potansiyelin değerinin karşılaştırılması

- ısı kaynağının sürekliliği: Hava kaynaklı ısı pompalarının yerleşiminde, havayı ortamdan aldığı için hava sirkülasyonuna izin veren, firma dokümanlarında belirtilen kurulum mesafelerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Entegrasyon aşamasında donanımın kurulum gereksinimlerine dikkat edilecektir.
- ısı kaynağının sıcaklığı: hava kaynaklı bir ısı pompası ile ekonomik çalışma yaklaşık -20C'ye kadar sağlanabilir [68]. Istanbulda ortalama en düşük

sıcaklık ise 4.2°C'dir. Kurulum bölgesine göre buzlanma olması durumunda, buzlanma giderici sistemle donatılmış olmalıdır. [39]

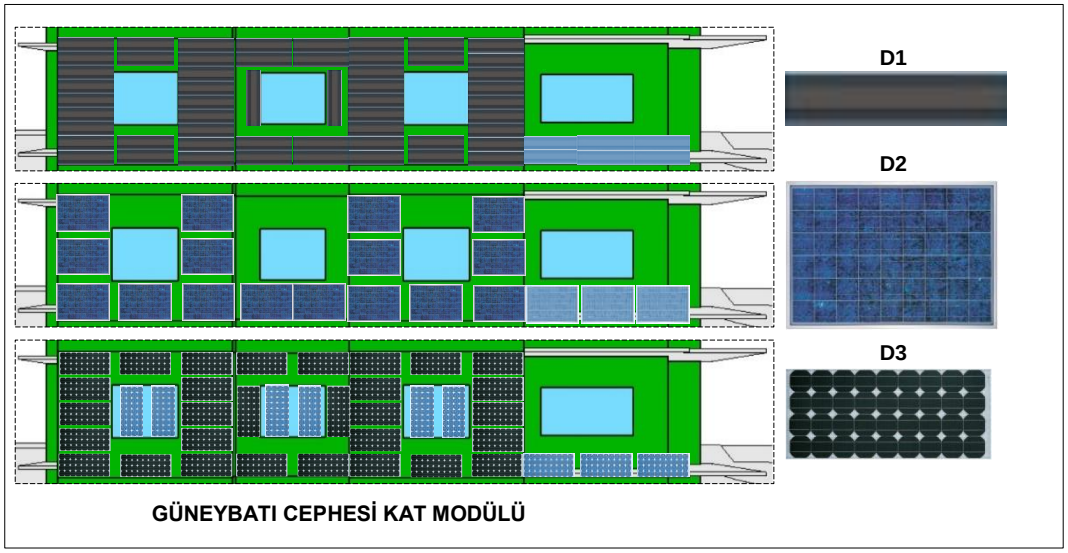
- Fizıbıl konum - donanım seçenekleri: Aşama sonucu olarak, Tablo 4.10'daki kullanılabilir alanlar ile sürece devam edilebileceği görülmektedir.

4.10 Y. E. Donanımının Uygulama Alanına Entegrasyonu

4.10.1 Güneş enerjisi

4.10.1.1 Fotovoltaik

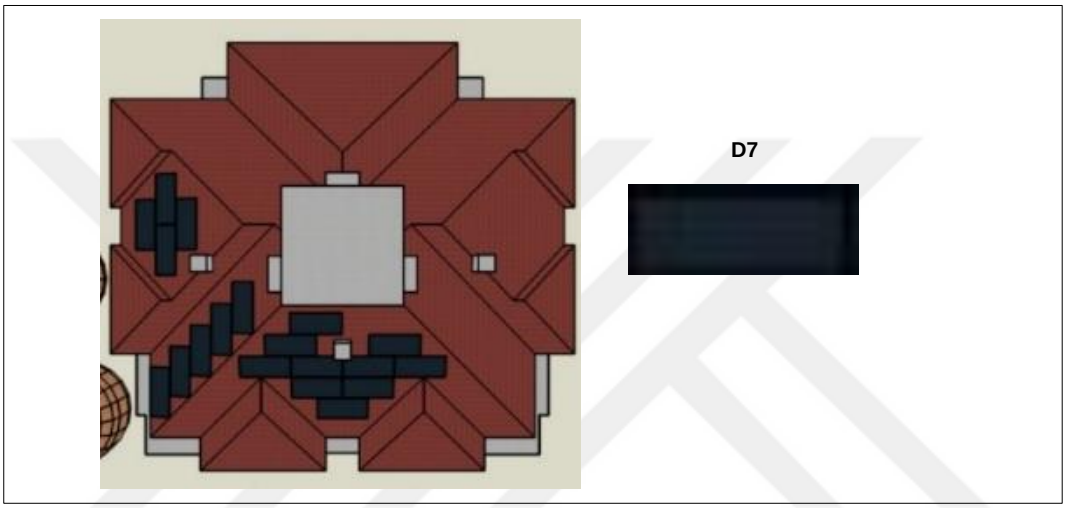
- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: PV'ler paneller şeklinde üretildiği için boyut artırma adımları birer modül boyutudur. Ürün modülleri şekilde verilmiştir.
- Konumların gruplandırılması (yüzeyin modülerleştirilmesi): Çalışmadaki binada, üretilen enerjinin paylaşımını kolaylaştırmak için tekrar eden katlar modüller olarak ele alınmıştır.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): Donanımların kullanılabilir alanlara entegrasyonu teknik (boyut) ve estetik açıdan planlanmış ve örnek olarak güneybatı cephesi kat modülü ve çatı planı Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



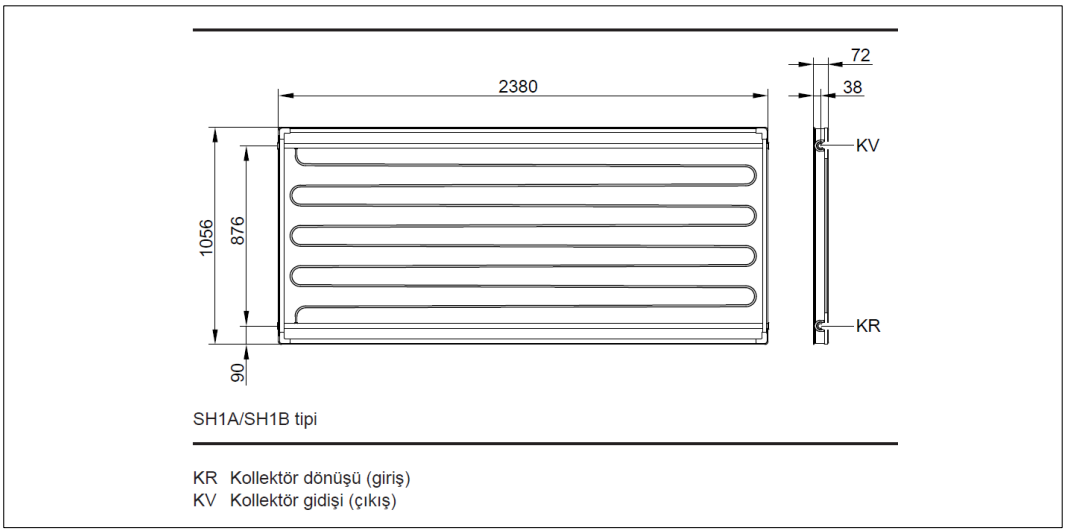
Şekil 4.18 D1, D2 ve D3'ün konuma yerleşim planları

4.10.1.2 Düz toplaç

- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: toplaçlar paneller şeklinde üretildiği için boyut artırma adımları birer modül boyutudur. Ürün modülü şekilde verilmiştir.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): Donanımın kullanılabilir alanlara entegrasyonu teknik (boyut) ve estetik açıdan planlanmış ve çatı planı Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Teknik kurulum gereksinimleri ise Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.19 D4'ün konuma yerleşim planı

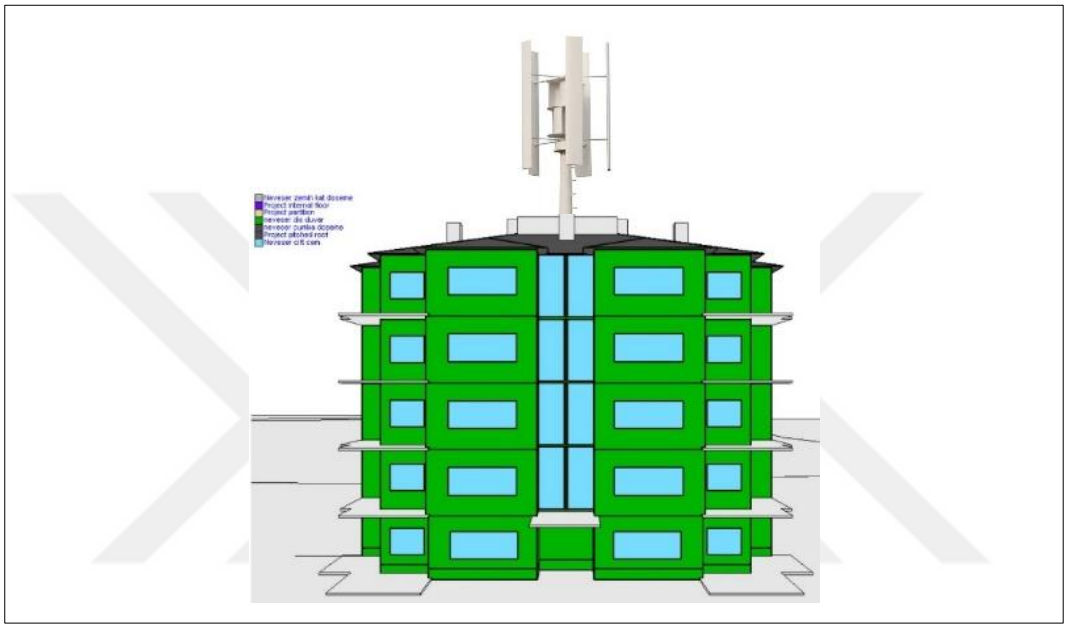


Şekil 4.20 D4'ün teknik kurulum gereksinimleri [51]

4.10.1 Rüzgar enerjisi

4.10.1.1 Düşey akslı rüzgar türbini

- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: türbinin boyut artırma adımları adet artışı şeklindedir. Ürün şekilde verilmiştir.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): Donanımın kullanılabilir alanlara entegrasyonu teknik (boyut) ve estetik açıdan planlanmış ve teras çatı görünüşü Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

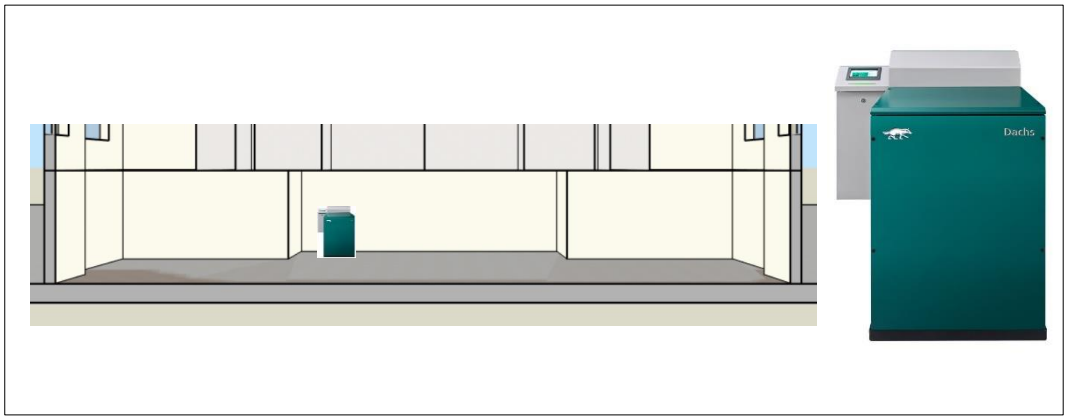


Şekil 4.21 D5'in konuma yerleşim planı

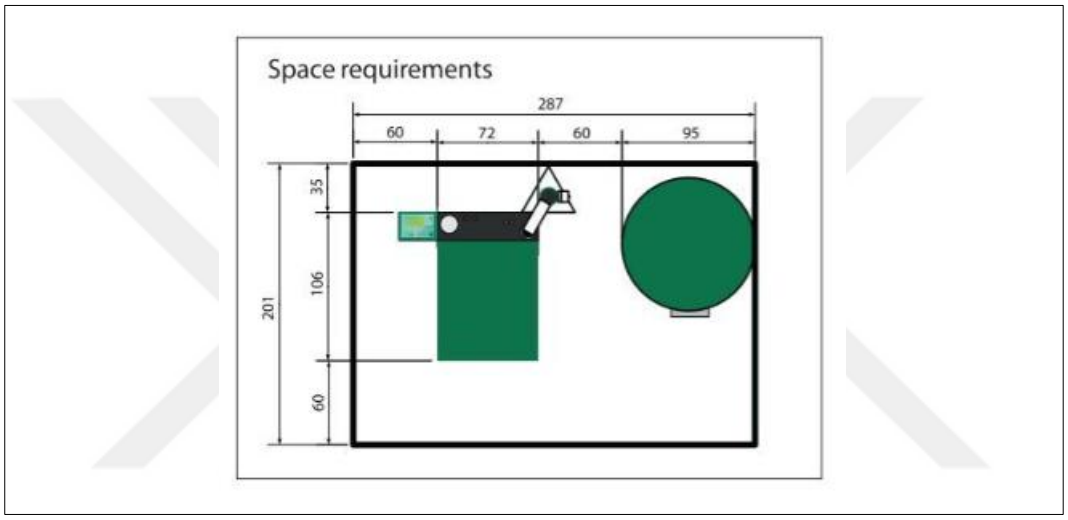
4.10.2 Biyoenerji

4.10.2.1 Mini kojenerasyon

- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: mini-CHP biriminin boyut artırma adımları adet artışı şeklindedir. Ürün şekilde verilmiştir.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): Donanımın kullanılabilir alana entegrasyonu teknik (boyut) açıdan planlanmış ve bodrum kat kesiti Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Teknik kurulum gereksinimleri ise Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.22 D6'nın konuma yerleşim planı

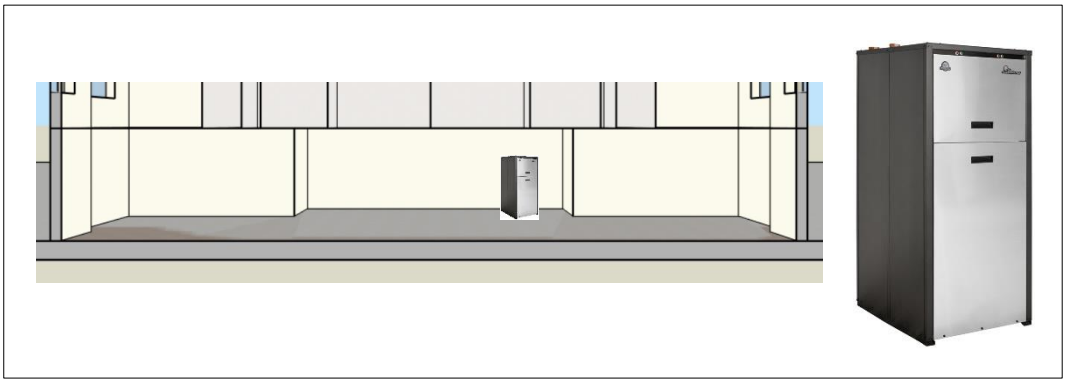


Şekil 4.23 D6'nın teknik kurulum gereksinimleri [55]

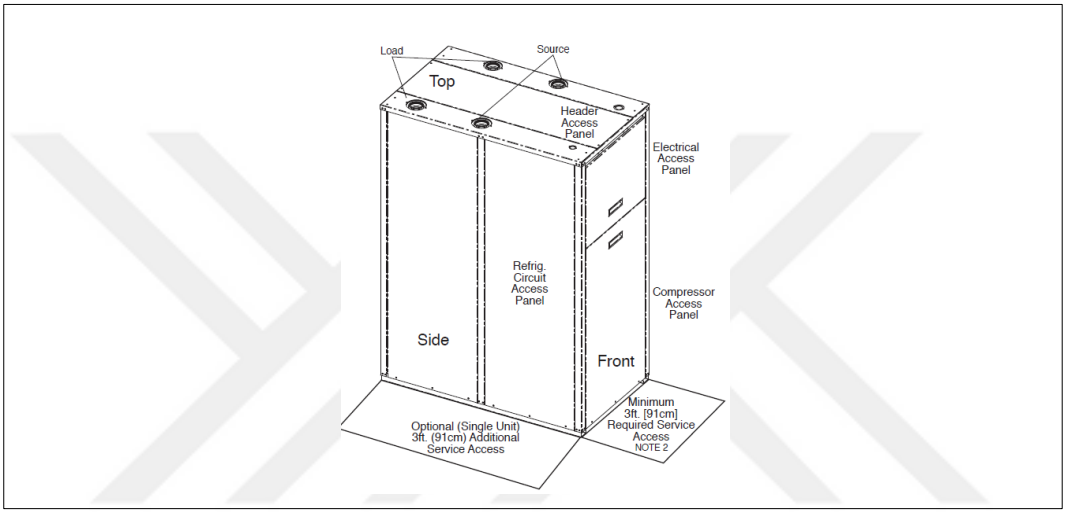
4.10.3 Düşük sıcaklıklı doğa enerjileri

4.10.3.1 Düşey toprak kaynaklı ısı pompası

- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: iç mekana yerleştirilmesi gereken ana donanımın (TMW birimi) boyut artırma adımları adet artışı şeklindedir. Yer ısı değiştiricisi için ise kapasite, sondaj deliklerinin sayısı ile arttırılır. Ürün şekilde verilmiştir.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): ana donanımın kullanılabilir alana entegrasyonu teknik (boyut) açıdan planlanmış ve bodrum kat kesiti Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Teknik kurulum gereksinimleri ise Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



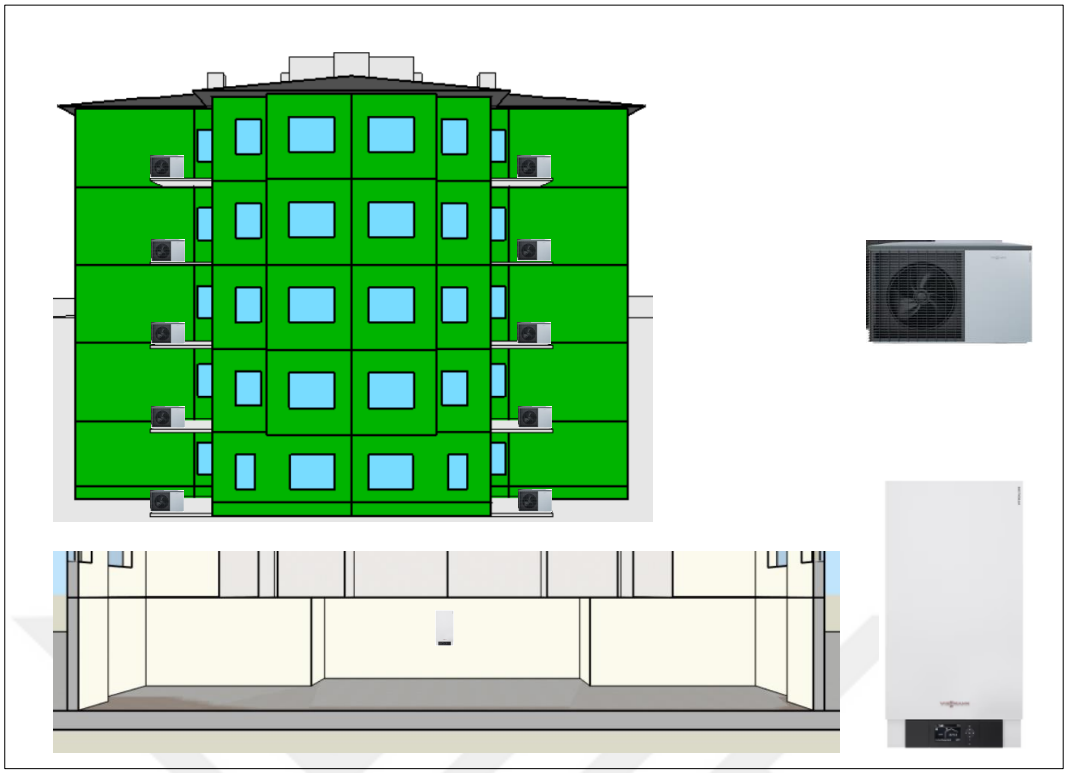
Şekil 4.24 D7'nin konuma yerleşim planı



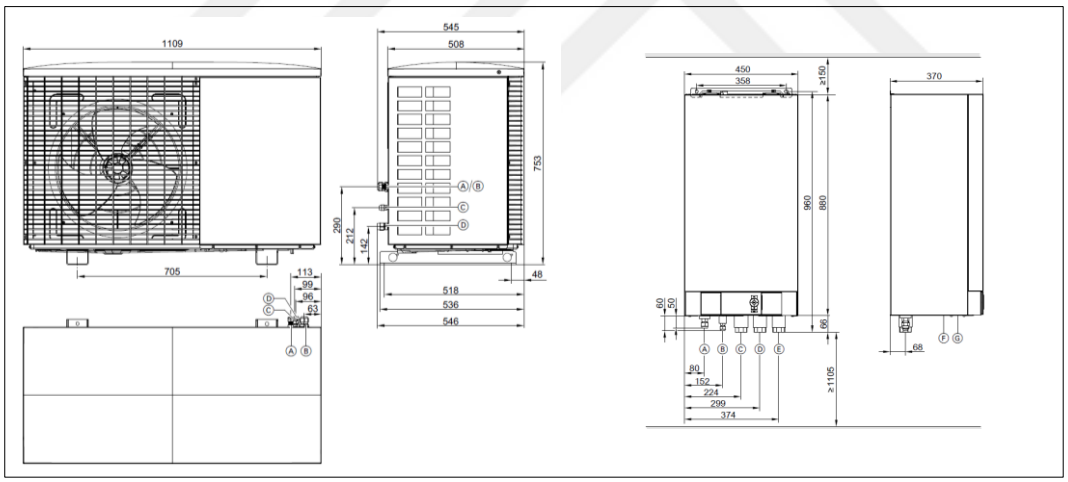
Şekil 4.25 D7'nin teknik kurulum gereksinimleri [58]

4.10.3.2 Hava kaynaklı ısı pompası

- Y.E. donanımının boyut artırma adımları: dış birim ve iç birim donanımlarının boyut artırma adımları adet artışı şeklindedir. Ürünler şekilde verilmiştir.
- Konumların gruplandırılması (yüzeyin modülerleştirilmesi): dış birim donanımları binanın ön/giriş cephesinin görünümünü etkilememesi için arka cephede daire balkonları modüller olarak ele alınmıştır.
- Y. E. donanımlarının konumlarına yerleşimini planlama (entegrasyon): Donanımların kullanılabilir alanlara entegrasyonu teknik (boyut) ve estetik açıdan planlanmış ve arka cephe görünüşü ile bodrum kat kesiti Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Teknik kurulum gereksinimleri ise Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26 D8'in konuma yerleşim planı



Şekil 4.27 D8'in teknik kurulum gereksinimleri [60]

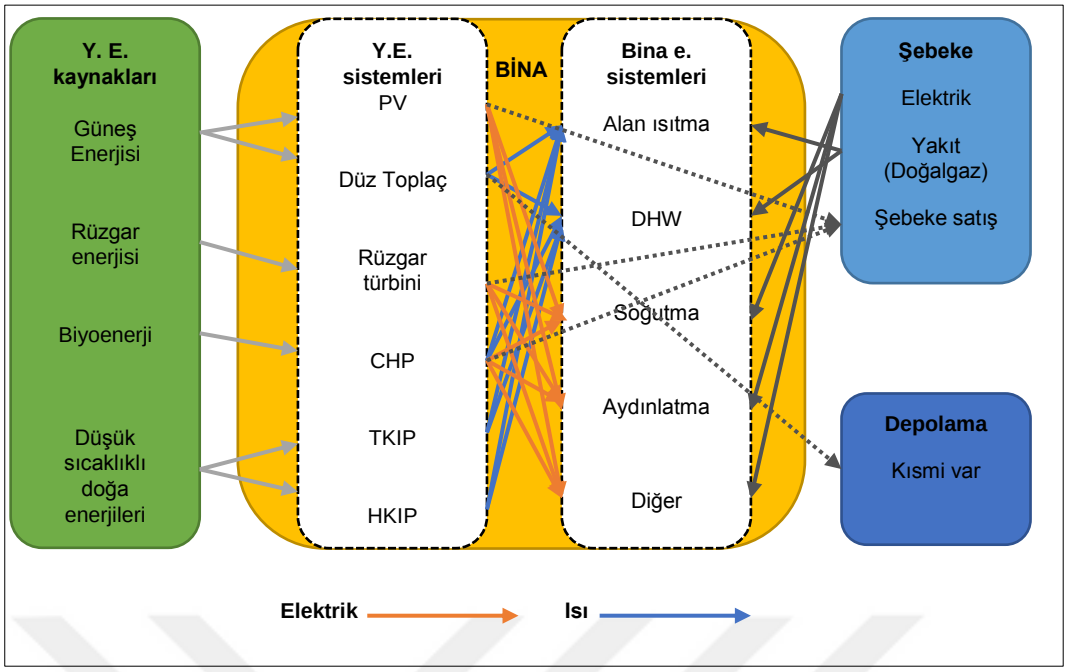
4.11 Y. E. Senaryolarını Planlama

- Y. E. teknoloji gruplandırmaları: Bina enerji sistemlerinin ihtiyaç duyduğu enerji türü ile tüketim zamanı ve fizibil Y. E. donanımlarının enerji üretim zamanı ile türü Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Enerji sistemlerinin enerji türü ve faaliyet zamanı

Enerji sistemi / donanım	**Enerji türü / yakıt**	**Enerji üretim / tüketim zamanı**
Enerji tüketen sistemler		
Alan ısıtma sistemi / radyatör-kombi	Isı (sıcak sulu) / doğalgaz	Isıtma dönemi
Kullanım suyu ısıtma sistemi (DHW) / kombi	Doğalgaz	Konut kullanıcısı varsayılan programlı (yıl boyu-gece/gündüz)
Soğutma sistemi / Air Conditioner (Split klima)	Elektrik	Soğutma dönemi
Aydınlatma sistemi / led aygıtlar	Elektrik	Gündüz-yıl boyu
Diğer bina sistemleri /	Elektrik	Yıl boyu
Enerji üreten sistemler		
Fotovoltaik (CIS, Polikristal, Monokristal)	Elektrik	Gündüz (güneşlenme süresi boyunca)
Düz Toplaç	Isı (ısıtma)	Gündüz
Rüzgar türbini	Elektrik	Yıl boyu (türbini çalıştırabilecek rüzgarın olduğu zamanlar)
kojenerasyon	Elektrik& Isı (ısıtma)	Alan Isıtma döneminde (elektriğin yan çıktı olduğu ısıtma ayarında çalıştırılmaktadır)
Toprak kaynaklı ısı pompası	Isı (ısıtma)	Yıl boyu
Hava kaynaklı ısı pompası	Isı (ısıtma)	Yıl boyu (hava sıcaklığı çalışma koşullarını sağladığı zamanlarda)

- Enerji akış diyagramı: Örnek çalışmanın enerji üretim ve tüketim bağlantılarının planlandığı enerji akış diyagramı Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Enerji akış diyagramı

Mevcut bina hvac sistemiyle bağlantılarının planlanması-genel senaryo

Enerji tüketimi binada bütün olarak hesaplandığı için apartman HVAC sistemi merkezi olarak çalışılmıştır.

HVAC sistemle bağlanıp bütünleşen yenilenebilir ısı enerji sistemleri apartmanda ortak kurgulanmıştır. Elektrik sistemi ile bütünleşen ve şebekeye bağlanabilen elektrik üretim sistemlerinin yenilenebilir enerjisi ise dairelere paylaştırılarak özelleştirilebilecektir.

Binanın mevcut enerji sistemlerinin sürdürülmesine öncelik verilerek bunun için yenilenebilir enerji sistem seçimlerinde işleve ve bu altyapıya uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. Uygulama yerleşkesinin enerji ve yakıt şebekesine bağlı olmasından yararlanarak enerji üretiminin yetersiz olduğu zamanlarda ihtiyacın şebekeden satın alınarak karşılanacağı ve enerji üretiminin fazlasının ise şebekeye satılabileceği kabul edilmiştir. Bu sayede net enerji hesapları yıllık çalışılabilmiştir ve yenilenebilir enerji sistem kurulu güç boyutlandırmasında ihtiyacın tamamını giderme gerekliliği giderilerek tasarım tarafının esnekliği artmıştır. Ayrıca üretilen enerjiye üretildiği anda ihtiyacın olmaması durumunda şebekeye gönderilerek elektrik depolama ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin binanın mevcut enerji sistemleri ile uyumluluğu Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12 Yenilenebilir enerji sistemlerinin binanın mevcut enerji sistemleri ile uyumluluğu

Yenilenebilir enerji sistemi	Konut işlevine uyum	Kullanım alanına (alan ısıtma, DHW) uyum	mevcut sistemle uyumluluk	Temsili ürün veya uygulanan ürün
PV (Shell ST40, S105, SP70)	var	var	var	Uygulanan ürün
Düz toplaç (Vitosol 100-F)	var	var		Uygulanan ürün
d. a. rüzgar türbini (Best BT-50KH)	var	var	var	Uygulanan ürün
mini kojenerasyon (Dachs HKA HR 5.3 biodiesel)	var	var	var	Temsili ürün
D-TKIP (heat pump/ ClimateMaster TMW340)	var	var	var	Uygulanan ürün
HKIP (iç ünite/ vitocal 200-S AWB-M-E/AC 201.D8 A7/W35)	var	var	var	Temsili ürün

4.12 Tek Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma

Oluşturulan senaryolar kodlanarak (numaralandırılarak) Tablo 4.13'de senaryo adları ile verilmiştir. Senaryo varyasyonları arttıkça bunları farklı adlandırabilmek için senaryo adları yenilenebilir enerji kaynağı, enerji çevrim teknolojisi, teknoloji tipi/ürün, donanımın binadaki birincil işlevi ve bütünleşme (binadaki ikincil işlevi) bilgilerini içerebilir. Binadaki birincil işlevi ile yenilenebilir enerji sisteminin binada beslediği enerji sistemi ve bütünleşme ile ise Y. E. sisteminin bina ile farklı birleşim/yerleşimleri tanımlanmaktadır. Tez içinde ayrıca senaryoların kısaltılmış adları da kullanılmıştır. Aşağıda sırasıyla senaryo oluşturma süreçleri açıklanmıştır.

Tablo 4.13 Tek teknolojili yenilenebilir enerji senaryolarının tanımları ve kodları

Senaryo Kodu	Senaryo Adı
S1	Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı - ürün tipi D1 / bütünleşme 1
S2	Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D1 / bütünleşme 2
S3	Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D2
S4	Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D3
S5	Güneş enerjisinin düz toplaç ile kullanımı – alan ısıtma
S6	Güneş enerjisinin düz toplaç ile kullanımı – kullanım suyu ısıtma
S7	Rüzgar enerjisinin düşey akslı rüzgar türbini ile kullanımı
S8	Biyoenerjinin mini kojenerasyon ile kullanımı
S9	Düşük sıcaklıklı doğa (ısı) enerjisinin düşey toprak kaynaklı ısı pompası ile kullanımı
S10	Düşük sıcaklıklı doğa enerjisinin hava kaynaklı ısı pompası ile kullanımı

- **Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı - ürün tipi D1 / bütünleşme 1 (S1)**

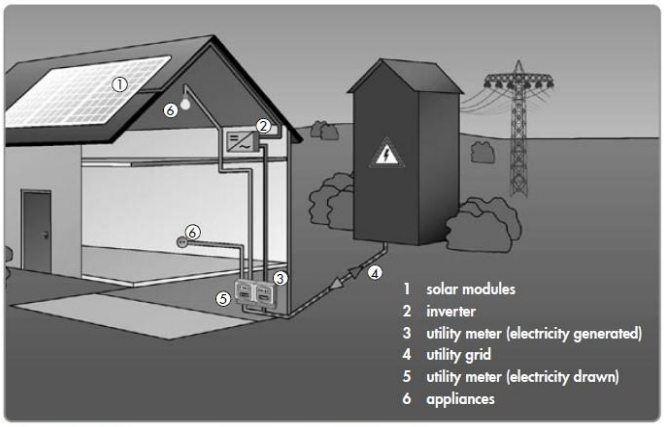
Donanım: Estetik açıdan, ürün olarak seçilen PV türünün (D1, D2, D3) yerleştirildiği senaryolar geliştirilmiştir.

Konum: Senaryolar, analizlere ve kullanıcı tercihlerine göre entegrasyon planları güncellenerek dört katta uygulanmıştır. Senaryolar oluşturulurken (S1, S3 ve S4'de) yıl boyu gölgelenen konumlara Y.E. donanımı entegre edilmemiştir. Ancak, CIS ince film hücreli D1'in düşük ışınım ve gölgelenme toleransı özellikleri olduğu [64] için gölgeli konumlara da entegre edildiği senaryosu da oluşturulmuştur. Bu senaryo aşağıda S2 olarak verilmiştir.

Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda tam kapasiteli (entegrasyon ve analizler) boyutlandırma çalışılmıştır.

Senaryolar: Fotovoltaik modüllerin binaya entegrasyonu tasarım evresinde her katta tekrarlanan örüntüde ve çift daireli plana göre simetrik planlandığı için kullanım evresinde dairelerin eşit enerji paylaşımı yerine özel kullanım da kurgulanabilir. Apartmanda enerji sistemleri merkezi çalışıldığı için PV sistemin de binada merkezi kurgulanıp enerjinin pay edilmesi senaryosua karar verilmiştir.

Oluşturulan senaryolar, yenilenebilir enerji donanımlarının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.14, Tablo 4.15, Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de gösterilmiştir. Örnek PV sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.29'da verilmiştir.



Typical Photovoltaic system coupled to the public electricity grid

Şekil 4.29 Örnek D1-2-3 (PV) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [69]

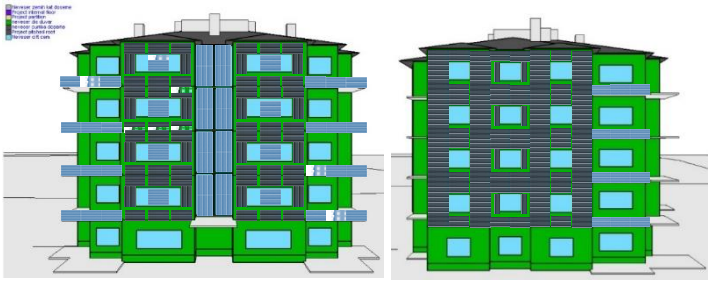
Tablo 4.14 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 1 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (soldan sağa güneydoğu cephesi, güneybatı cephesi)
S1 D1 (K1-2-3-4/A5-8-14-15-16-20) $D1_{cam}$ (K1-2-3-4/A1-2-9-19) (D1 Peak power, P_{mpp}* 40W [52]) **453 PV modules 18,12kW**	

- **Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D1 / bütünleşme 2 (S2)**

Donanım, konum, boyutlandırma ve senaryo özellikleri D1/bütünleşme1'de açıklanmıştır.

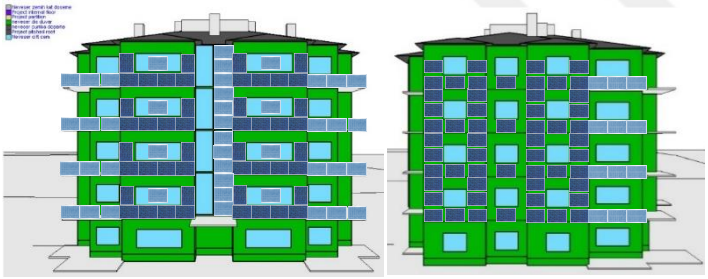
Tablo 4.15 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 2 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (soldan sağa güneydoğu cephesi, güneybatı cephesi)
S2 D1 (K1-2-3-4/A5-8-14-15-16-20) $D1_{cam}$ (K1-2-3-4/A1-2-9-19) (D1) **568 PV modules 22,72kW**	

- **Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D2 (S3)**

Donanım, konum, boyutlandırma ve senaryo özellikleri D1/bütünleşme1'de açıklanmıştır. Bu senaryo, S1'in D2 tipi PV uygulanmış seçeneğidir.

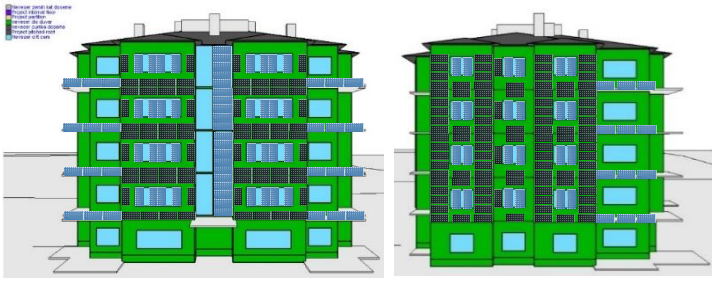
Tablo 4.16 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 3 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (soldan sağa güneydoğu cephesi, güneybatı cephesi)
S3 D2 (K1-2-3-4/A5-8-14-15-16) $D2_{cam}$ (K1-2-3-4/A1-2-9-19) P_{mpp} 105W [52] (D2) **171 PV modules 17,955kW**	

- **Güneş enerjisinin fotovoltaik ile kullanımı – ürün tipi D3 (S4)**

Donanım, konum, boyutlandırma ve senaryo özellikleri D1/bütünleşme1'de açıklanmıştır. Bu senaryo, S1'in D3 tipi PV uygulanmış seçeneğidir.

Tablo 4.17 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 4 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (soldan sağa güneydoğu cephesi, güneybatı cephesi)
S4 D3 (K1-2-3-4/A5-8-14-15-16) $D3_{cam}$ (K1-2-3-4/A1-2-10-11-12-9-19) P_{mpp} 70W [52] (D3) **304 PV modules 21,28kW** **Maximum Power Point (STC)*	

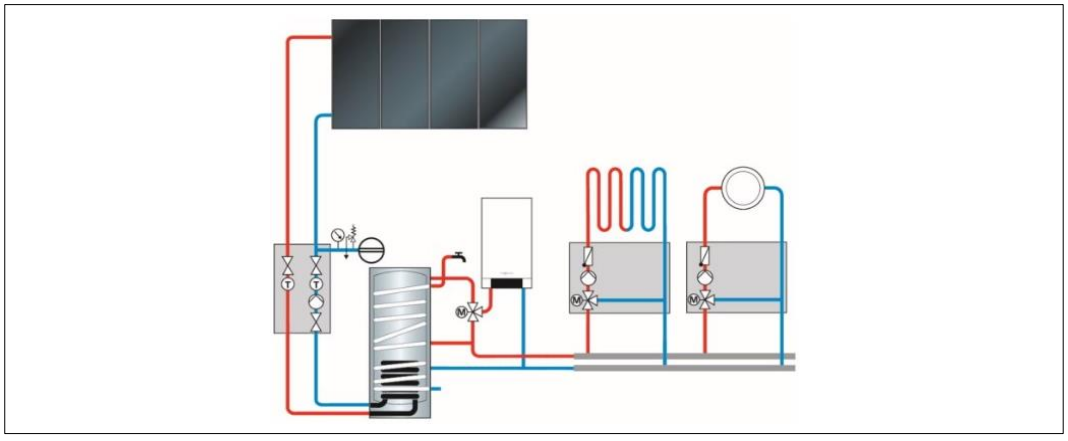
- **Güneş enerjisinin düz toplaç ile kullanımı – alan ısıtma (S5)**

Donanım: Donanım4 ile senaryo geliştirilmiştir.

Konum: Senaryo, çatıda **D**onanım4'ün fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

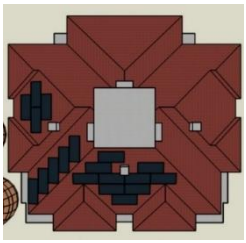
Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım4 kapasitesi ile çalışılmıştır.

Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.18'de gösterilmiştir. Örnek güneş toplacı sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30 Örnek D4 (güneş toplacı) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [70]

Tablo 4.18 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 5 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (çatı planı)
S5 D7 (Ç/A22-23-24) (D7 Isı kapasitesi 4,7kJ/(m^2 · K)) [51] **19 Kollektör 89,37kJ/(m^2 · K)**	

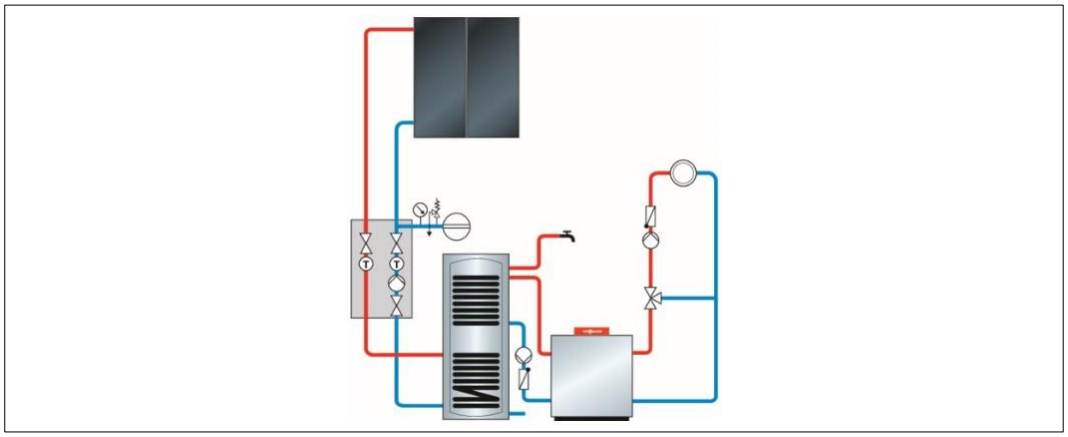
- **Güneş enerjisinin düz toplaç ile kullanımı – kullanım suyu ısıtma (S6)**

Donanım: Donanım4 ile senaryo geliştirilmiştir.

Konum: Senaryo, çatıda **D**onanım4'ün fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

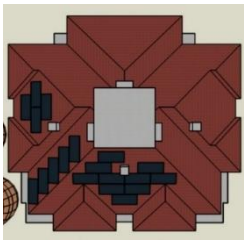
Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım4 kapasitesi ile çalışılmıştır.

Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.19'da gösterilmiştir. Örnek güneş toplacı (kullanım suyu ısıtma) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31 Örnek D4 (güneş toplacı) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [70]

Tablo 4.19 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 6 ve özellikleri

Senaryo **Donanım-konum** **Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)**	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (çatı planı)
S6 D7 (Ç/A22-23-24) (D7 Isı kapasitesi 4,7kJ/(m^2 · K)) **19 Kollektör** **89,37kJ/(m^2 · K)**	

- **Rüzgar enerjisinin düşey akslı rüzgar türbini ile kullanımı (S7)**

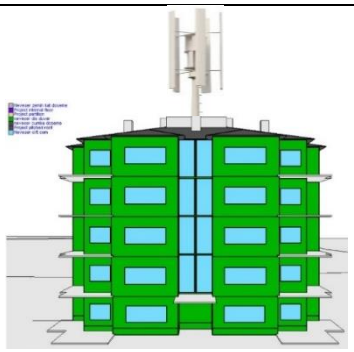
Donanım: Donanım5 ile senaryo geliştirilmiştir.

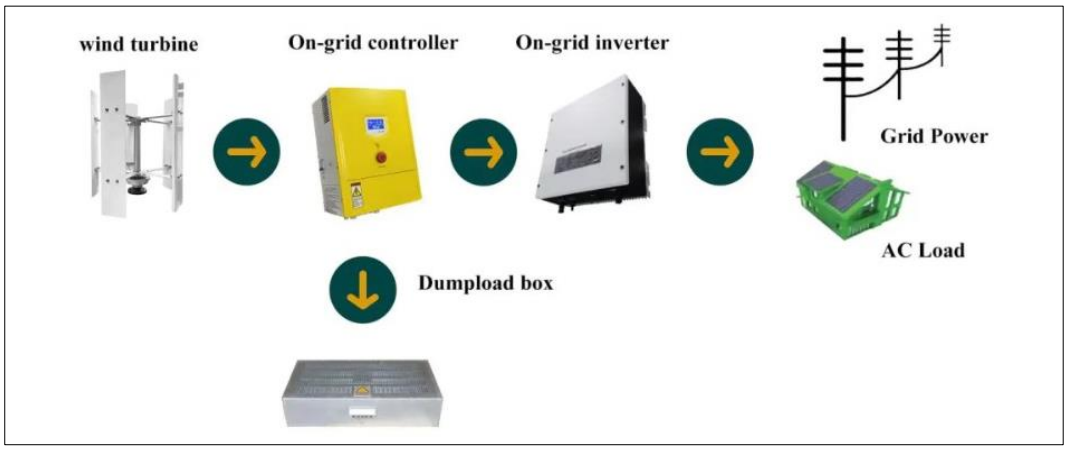
Konum: Senaryo, teras çatıda **D**onanım5'in fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım5 kapasitesi ile çalışılmıştır.

Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.20'de gösterilmiştir. Örnek rüzgar türbini sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.20 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 7 ve özellikleri

Senaryo **Donanım-konum** **Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)**	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (güneydoğu cephesi)
S7 D5 (Ç/A21) 220V, 50000W [53]	



Şekil 4.32 Örnek D5 (rüzgar türbini) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [53]

Düşey akslı rüzgar türbini tipinin seçilmiş olmasının nedeni, her yöndeki rüzgarı yakalayabilmesi ve bu özelliği ile şehir içindeki yoğun yerleşim alanlarındaki binaların rüzgar engellerinin olması karşısında genel bir çözüm oluşturmasıdır.

- **Biyoenerjinin mini kojenerasyon ile kullanımı (S8)**

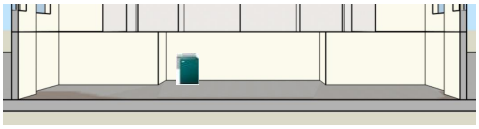
Donanım: Donanım 6 ile senaryo geliştirilmiştir.

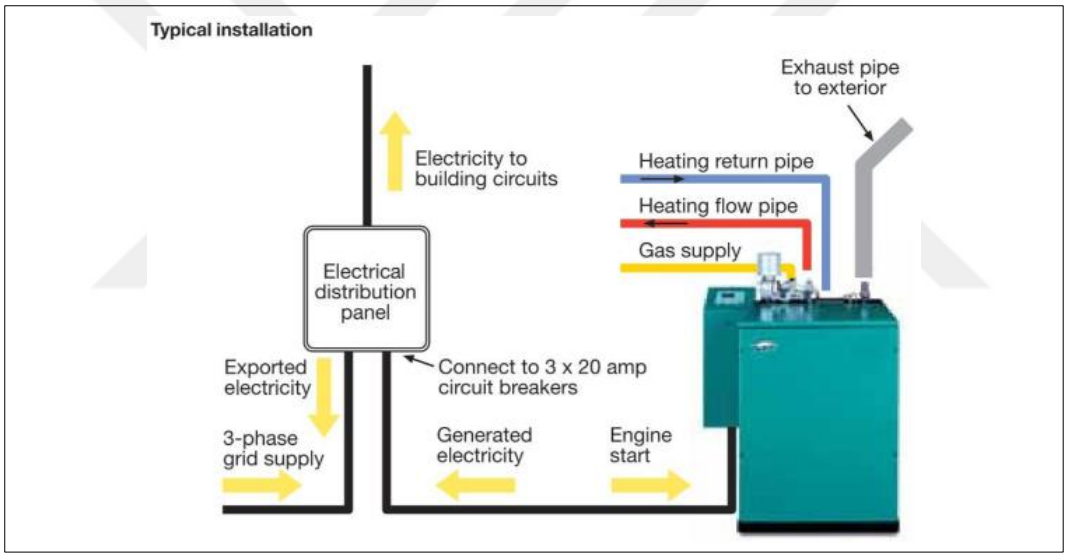
Konum: Senaryo, bodrum katta **D**onanım 6'nın fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım 6 kapasitesi ile çalışılmıştır.

Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.21'de gösterilmiştir. Örnek kojenerasyon sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.21 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 8 ve özellikleri

Senaryo Donanım-konum Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (bodrum kat kesiti)
S8 D6 (BK/A27) Elektrik çıkış gücü 5.3 kW Termal çıkış gücü 10.3 kW Yakıt girdisi 17.6 kW Ek talep 0.14 $kW_{el.}$ 3~230V / 400V 50Hz [54]	



Şekil 4.33 Örnek D6 (kojenerasyon) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [55]

Biyoenerji senaryosunda yerleşkedeki biyoenerji kaynağı yani biyokütle toplanırken bu hammadde tesise verilip biyoyakıta dönüşümü sağlanacaktır. Biyoyakıtın binada kullanılabir enerjiye kojenerasyon sistemi ile yerinde dönüştürülecektir. Bunun için bir tarafta evsel atıklar biyokütleye uygun ayrıştırılıp çöpe atılırken diğer taraftan da bahçedeki bitkilerin hasatı yapılacak. Atık yağ gibi çöpler düzenli aralıklarla ve bitki biyokütlesi ise hasat edildiğinda belirlenen tesise biyokütle olarak verilecek ve karşılığında biyoyakıt/biyodizel alınacak. Evsel atıkların kat koridorunda biyokütle çöp kutularında toplanacağı ve biyoyakıtın

kullanılacağı kojenerasyon sisteminin yakınında bodrum katta istifleneceği kabul edilmiştir.

Kojenerasyon sistemi termal (ısıtma) enerji ihtiyacını gidermeye yönelik çalıştırılacak ve elektrik enerji çıktısı yan (ikincil) enerji olarak üretilecektir.

Kojenerasyon sistemi ısı enerjisi ihtiyacı olduğunda çalıştığından üretilen ısı eş zamanlı kullanılmakta ve depolanması söz konusu olmamaktadır.

- **Düşük sıcaklıklı doğa (ısı) enerjisinin düşey toprak kaynaklı ısı pompası ile kullanımı (S9)**

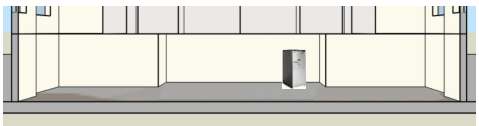
Donanım: Donanım 7 ile senaryo geliştirilmiştir.

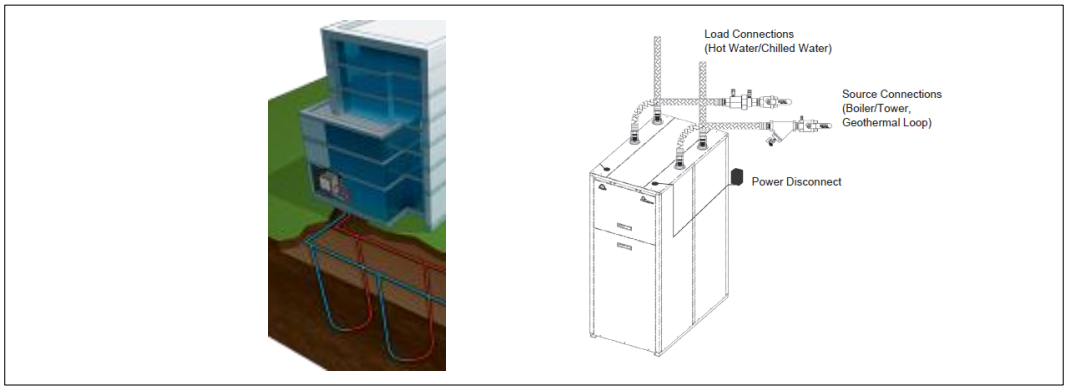
Konum: Senaryo, bodrum katta ve toprak altında **D**onanım 7'nin fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım 7 kapasitesi ile çalışılmıştır.

Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.22'de gösterilmiştir. Örnek D-TKIP sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.34'de verilmiştir.

Tablo 4.22 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 9 ve özellikleri

Senaryo **Donanım-konum** **Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)**	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (bodrum kat kesiti)
S9 D7 (TA-BK/A29-27) Heat pump Heating capacity 104600W Ground heat exchanger Vertical U-tube 76m 24-boreholes	



Şekil 4.34 Örnek D7 (TKIP) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [71], [58]

Düşey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile çalışılmasının sebeplerinden bir tanesi yoğun şehirlerdeki kısıtlı arazilere sahip apartman tipi binalara faydasını gösterebilmektir. Bir diğer sebebi ise yatay tipin kapladığı geniş alanın üzerinin enerji kazanımını engelleyecek engellerle (donatı elemanları vb.) kapatılmamasının gerekmesidir. Ayrıca bu alanda ısı pompası sistem bileşenlerine zarar verecek herhangi bir uygulama yapılamamaktadır. Mevcut bir yerleşke olduğu için yatay tip uygulamasına gidilmemesine karar verilmiştir.

Isı pompası sistemi ısıtma ihtiyacıyla çalıştığında ortamlar arasında ısı transferi yaptığından depolanması söz konusu olmamaktadır.

- **Düşük sıcaklıklı doğa enerjisinin hava kaynaklı ısı pompası ile kullanımı (S10)**

Donanım: Donanım 8 ile senaryo geliştirilmiştir.

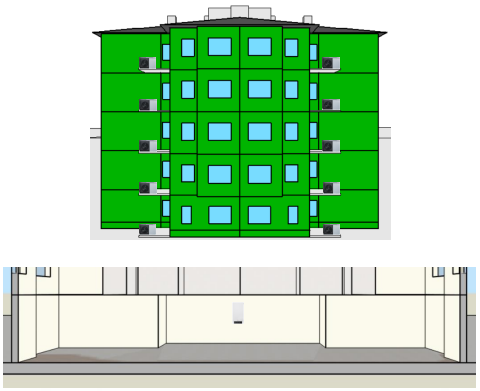
Konum: Senaryo, tüm daire balkonlarında ve bodrum katta **D**onanım 8'in fizıbıl konumlarında uygulanmıştır.

Boyutlandırma: Fizibıl konumlarda, entegrasyon aşamasında önerilen tüm **D**onanım 8 kapasitesi ile çalışılmıştır.

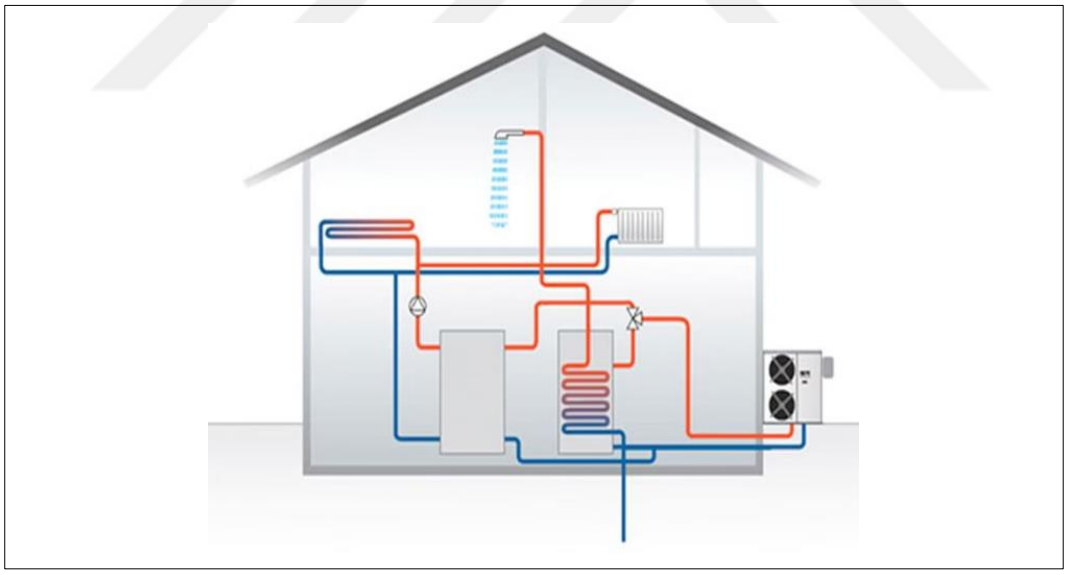
Senaryolar: Oluşturulan senaryo, yenilenebilir enerji donanımının teknik ve operasyonel özellikleri ile birlikte, Tablo 4.23'de gösterilmiştir. Örnek HKIP sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları Şekil 4.35'de verilmiştir.

Isı pompası sistemi ısıtma ihtiyacıyla çalıştığında ortamlar arasında ısı transferi yaptığından depolanması söz konusu olmamaktadır.

Tablo 4.23 Fizibil yenilenebilir enerji uygulama senaryosu 10 ve özellikleri

Senaryo **Donanım-konum** **Yenilenebilir enerji sistemi – boyut (güç)**	**Yenilenebilir enerji bina entegrasyon görseli** (yukarıdan aşağıya kuzeybatı cephesi, bodrum kat kesiti)
S10 D8 (ZK-K1-K2-K3-K4\BK / A26\27) coil-Heating capacity 50994W-COP 3,2 1 cihaz 230V, ısıtma değeri 5,6kW [59] 10 adet cihaz	

Diğer özellikleri: donanımın kaskad fonksiyonundan yararlanarak 10 cihazın birlikte kullanılabildiği kabul edilmiştir. 50994W ısıtma kapasitesini karşılamak için 10 dairede kullanılacak cihazlar 5,1kw ısıtma değerini sağlamalı, bu değeri karşılamak için seçilen cihaz 5,6kW'tır.



Şekil 4.35 Örnek D8 (HKIP) sistemi kurulumu ve yardımcı sistem elemanları [72]

4.13 Y.E. Üretimini ve Bina Net Enerji İhtiyacını Belirleme

Senaryoların enerji tüketim ve enerji üretim hesap sonuçlarının grafiklerindeki toplam enerji tüketimi, net enerji tüketimi, toplam yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklı yakıt kullanımı kavramları aşağıda sırasıyla kısaca açıklanmıştır.

Toplam enerji tüketimi, binanın alan ısıtma, soğutma, kullanım suyu ısıtma, mekanik havalandırma, aydınlatma ve diğer amaçlı enerji sistemlerinin bir yıllık kullanımında ihtiyaç duyduğu enerjidir. Bu enerji talebi şebekeden ve/veya yenilenebilir kaynaklardan karşılanabilir.

Net enerji tüketimi ise enerji üretimi varsa toplam enerji tüketim miktarından enerji üretim miktarının düşülmesi ile hesaplanmaktadır.

Toplam yenilenebilir enerji, termal enerji, elektrik enerjisi gibi üretilen farklı türlerdeki yenilenebilir enerjilerin toplamıdır.

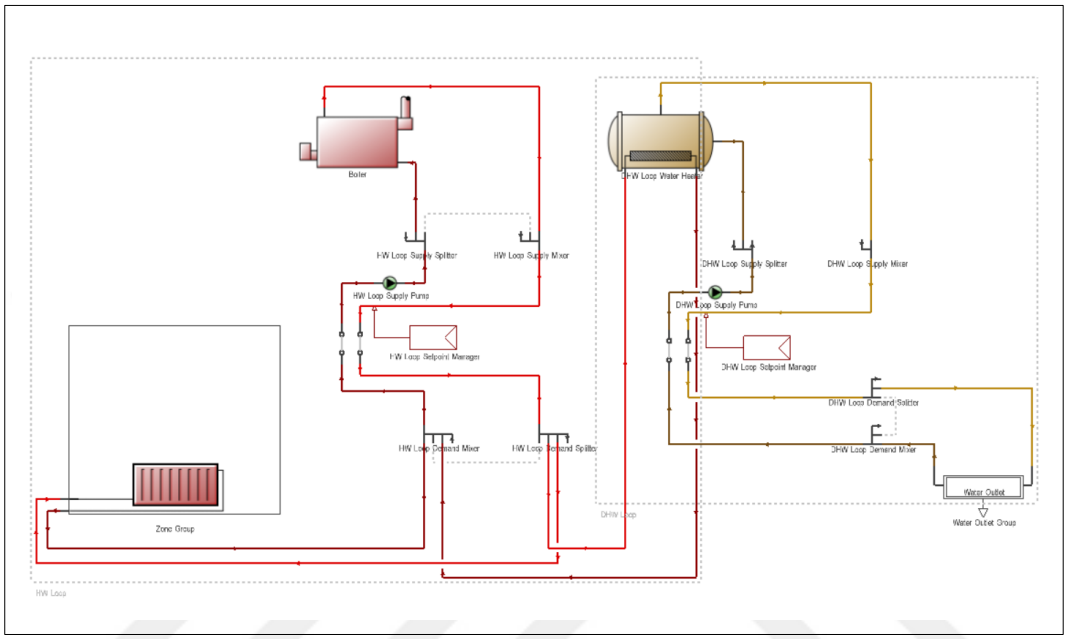
Yenilenebilir enerji kaynaklı yakıt kullanımı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen yakıtın yine yenilenebilir kaynaklı enerjiyi açığa çıkararak kullanılmasıdır.

Biyoenerji kaynaklarından elde edilen biyodizel yenilenebilir enerji kaynaklı yakıttır. Dikkat çekilmesi gereken bir nokta enerji tüketim tarafında hesaba katılan biyodizelin esasen yenilenebilir enerji olduğudur. Biyodizel kullanan kojenerasyon senaryosu bu şekilde ele alınırsa ortaya daha düşük net enerjili senaryo çıkmaktadır (sıfırın altında net enerji tüketimi yani tükettiğinden fazlasını üreten). Bu çalışmada yenilenebilir enerji hesapları enerji formlarıyla (termal&elektrik) yapılmıştır. Yani biyoenerji kaynaklı enerji üretimi biyodizelin dönüştüğü enerji çıktıları ile hesaba katılmıştır. Biyodizel yakıtı jeneratörde (içten yanmalı motor) kullanılarak ısı enerjisiyle beraber elektrik üretilmektedir. Sonuç olarak biyoenerji kaynaklarından elde edilen enerji elektrik ve termal enerjidir.

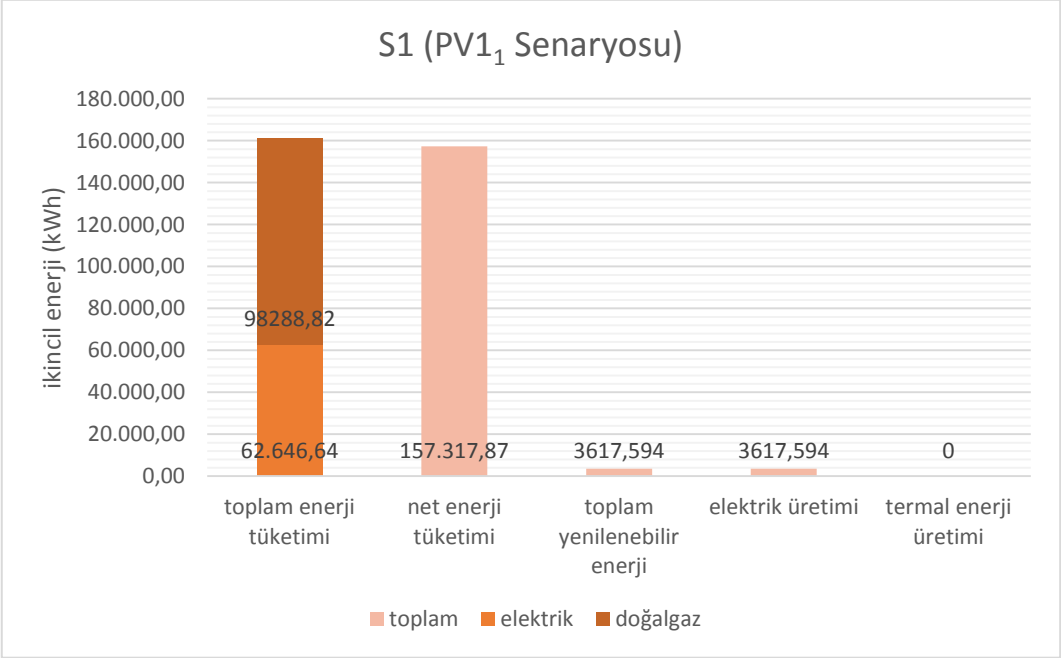
PV senaryolarının (S1-2-3-4) mekanik bina sistemleri Tablo 4.24'de, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.36'da ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da gösterilmiştir.

Tablo 4.24 S1-2-3-4 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

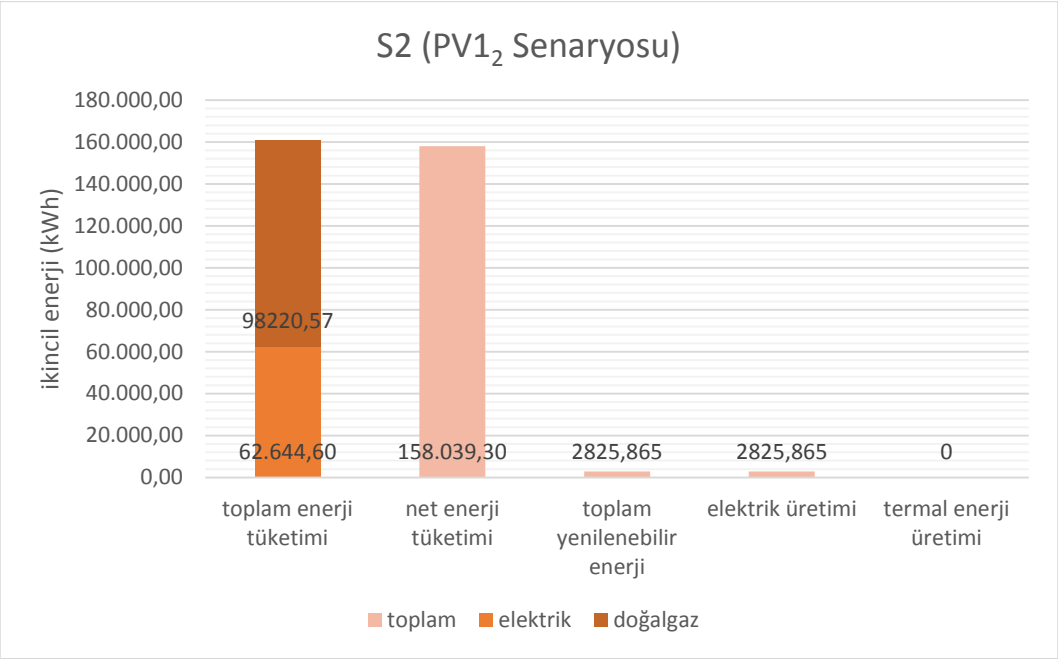
Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa
Elektrik yük merkezi		



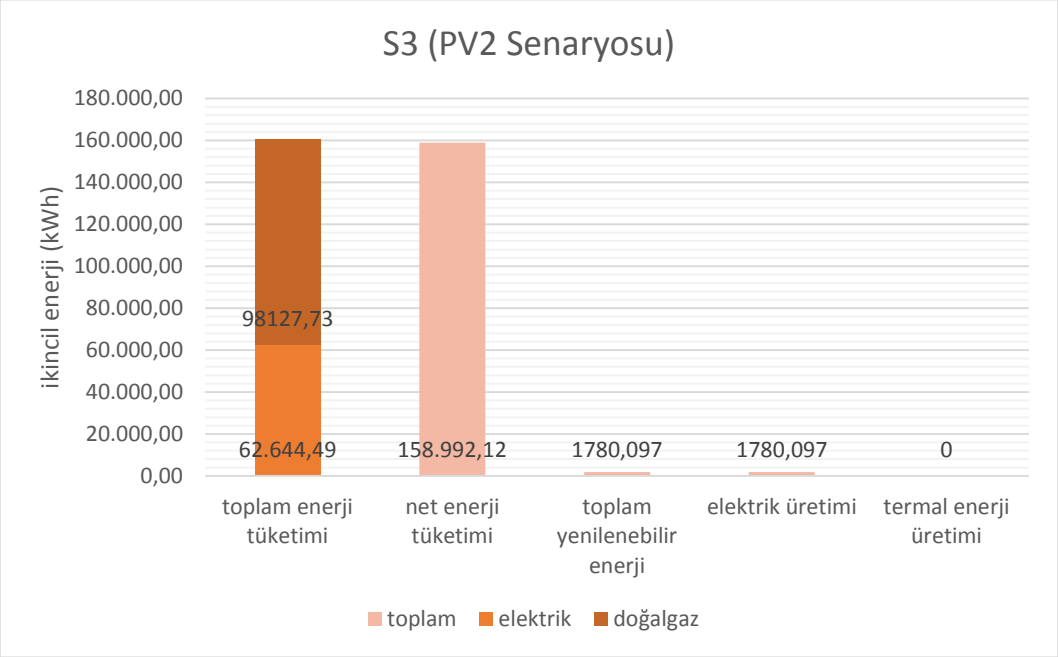
Şekil 4.36 S1-2-3-4 HVAC sistem şeması



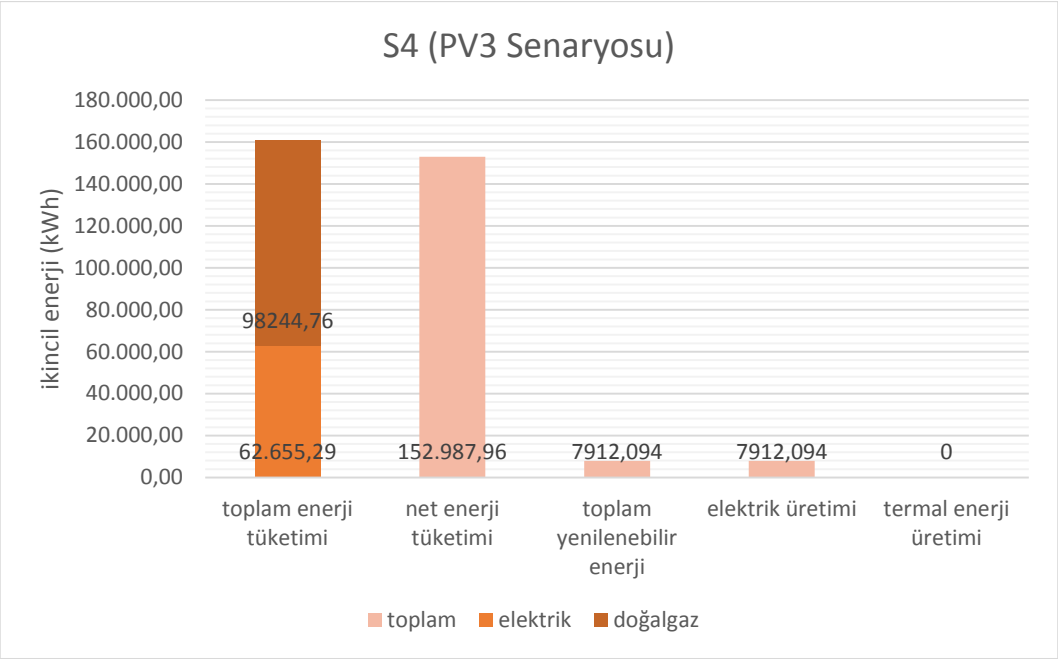
Şekil 4.37 S1'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi



Şekil 4.38 S2'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi



Şekil 4.39 S3'ün Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

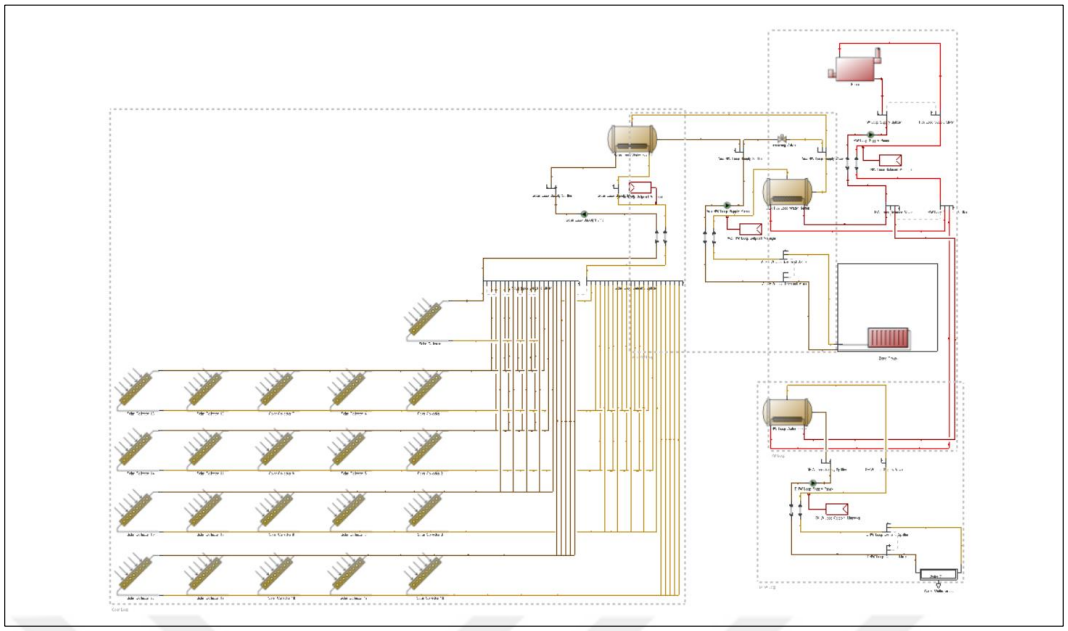


Şekil 4.40 S4'ün Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

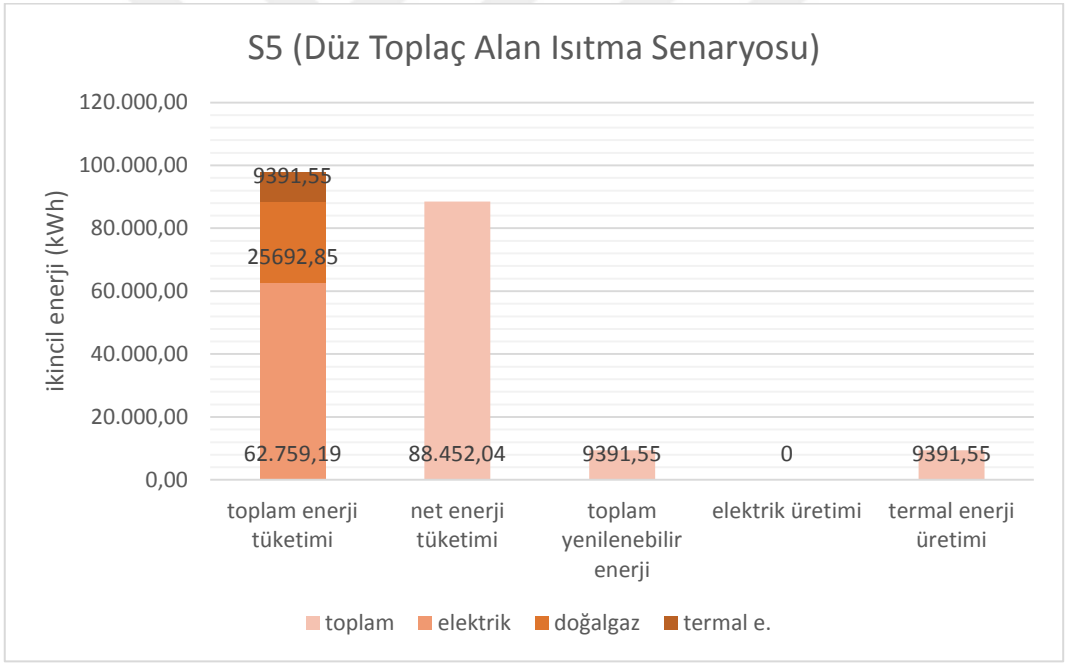
Düz toplaç alan ısıtma senaryosunun (S5) mekanik bina sistemleri Tablo 4.25'de, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.41'de ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.42'de gösterilmiştir.

Tablo 4.25 S5 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
Aux HW Loop	-	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa
Solar Loop	Güneş toplaçları	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı



Şekil 4.41 S5 HVAC sistem şeması

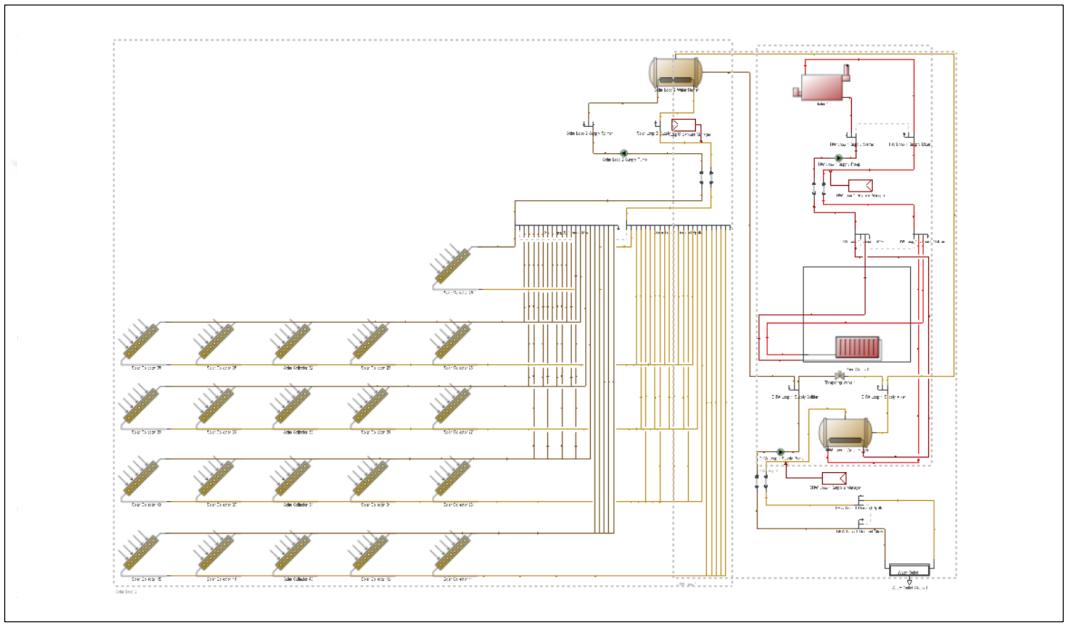


Şekil 4.42 S5'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

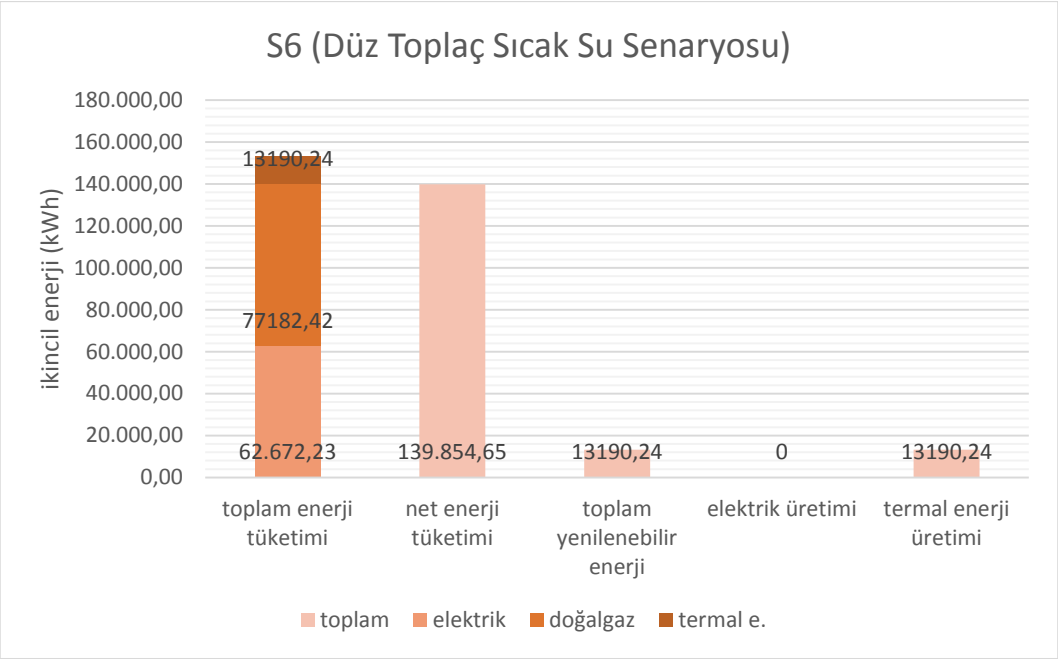
Düz toplaç sıcak su senaryosunun (S6) mekanik bina sistemleri Tablo 4.26'da, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.43'de ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.44'de gösterilmiştir.

Tablo 4.26 S6 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa
Solar Loop	Güneş toplaçları	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı



Şekil 4.43 S6 HVAC sistem şeması

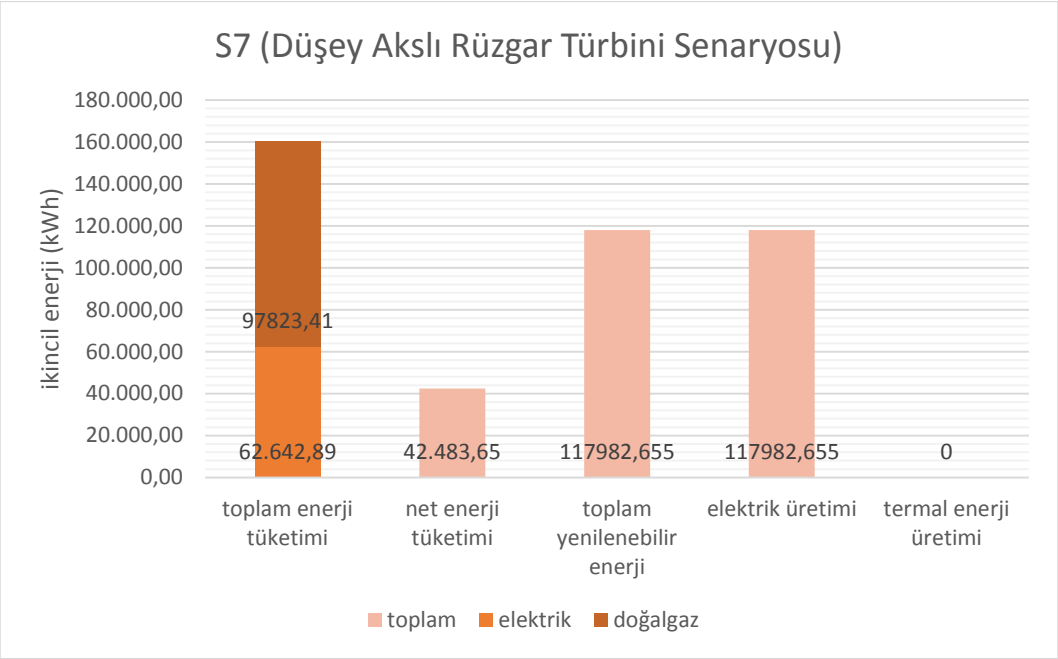


Şekil 4.44 S6'nın Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

Düşey akslı rüzgar türbini senaryosunun (S7) mekanik bina sistemleri Tablo 4.27'de ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.45'de gösterilmiştir. HVAC sistemi gösteren şema ise Şekil 4.36'da gösterilen şema ile aynıdır.

Tablo 4.27 S7 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa
Elektrik yük merkezi		

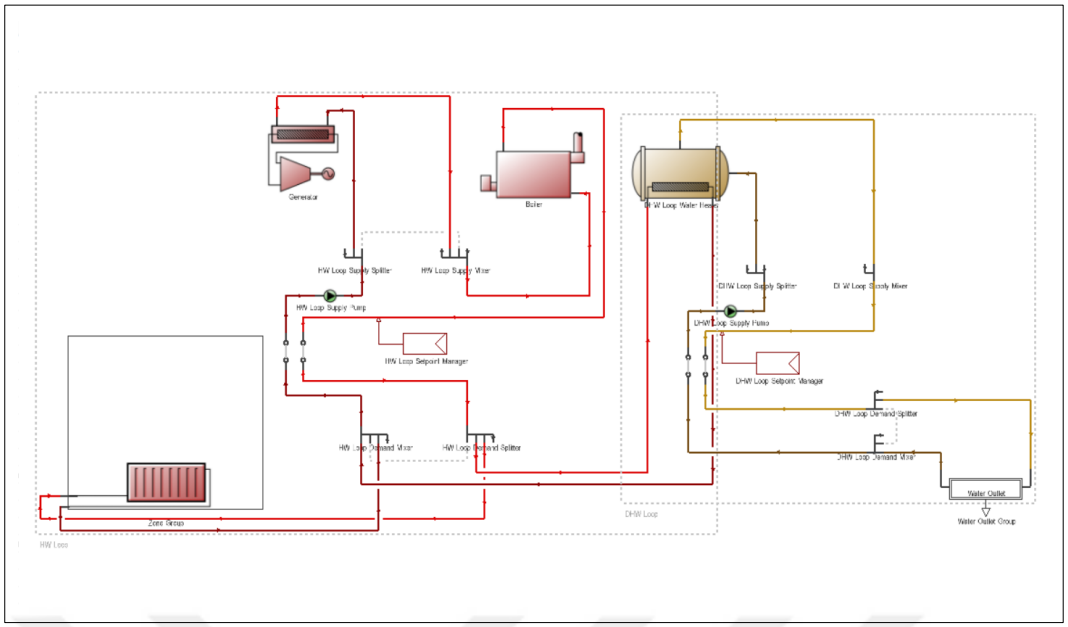


Şekil 4.45 S7'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

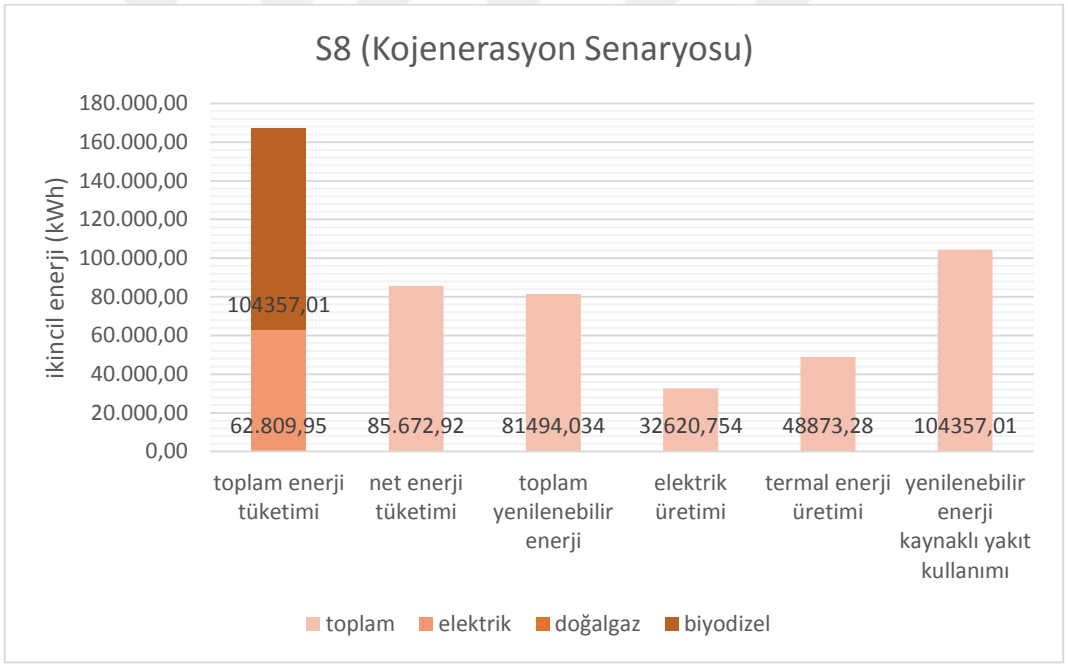
Kojenerasyon senaryosunun (S8) mekanik bina sistemleri Tablo 4.28'de, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.46'da ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

Tablo 4.28 S8 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler generator Setpoint manager Pompa
Elektrik yük merkezi		



Şekil 4.46 S8 HVAC sistem şeması

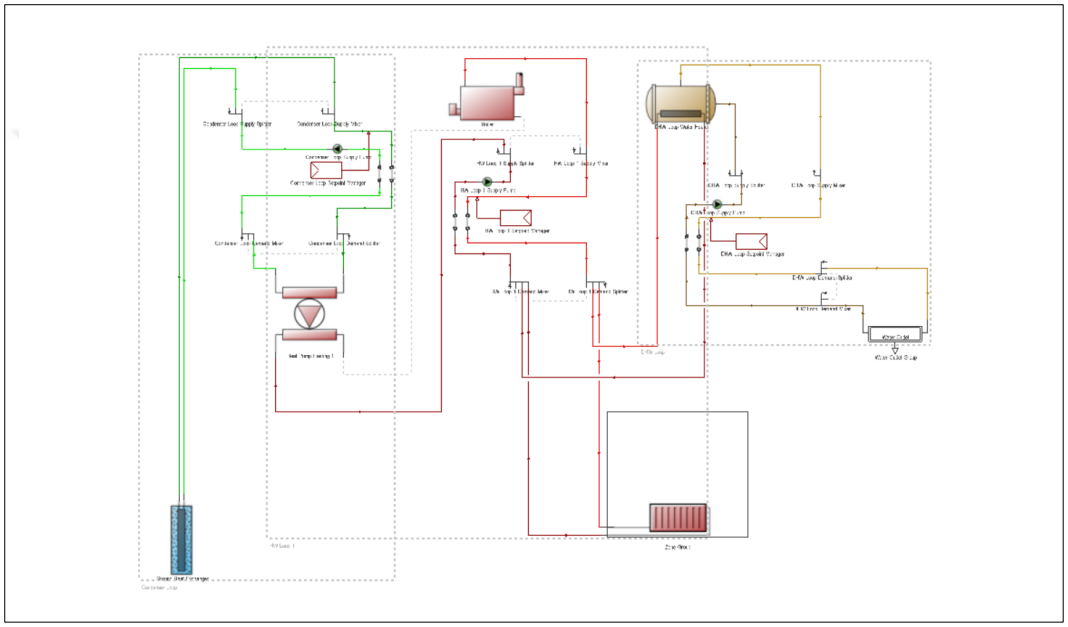


Şekil 4.47 S8'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

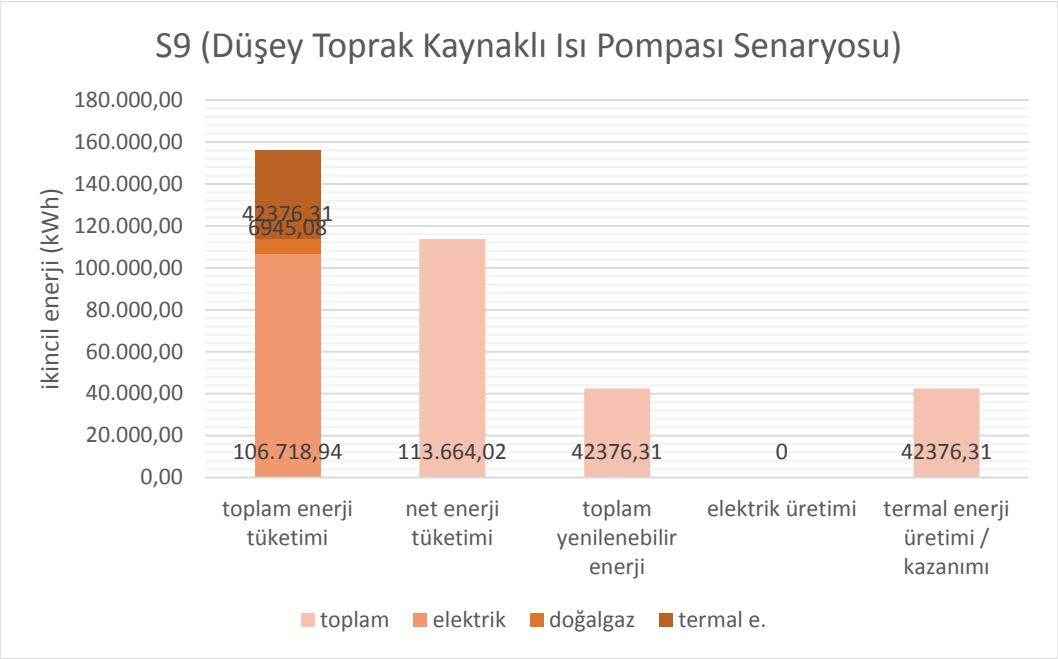
Düşey toprak kaynaklı ısı pompası senaryosunun (S9) mekanik bina sistemleri Tablo 4.29'da, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.48'de ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.49'da gösterilmiştir.

Tablo 4.29 S9 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
Condender loop	-	Setpoint manager Pompa Ground Heat Exchanger
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Heat pump heating Setpoint manager Pompa



Şekil 4.48 S9 HVAC sistem şeması

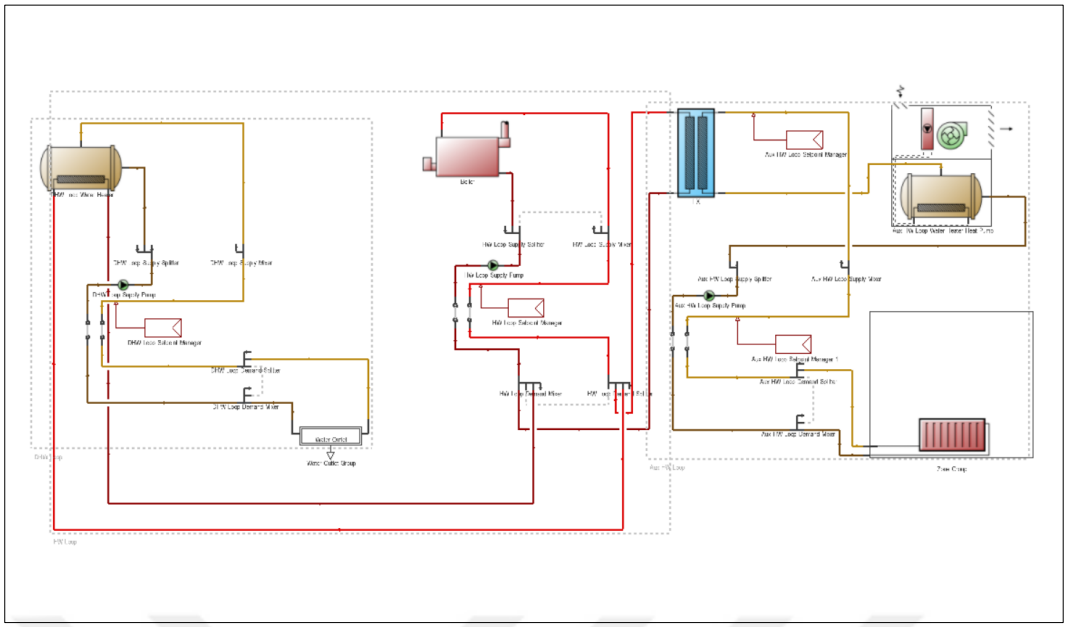


Şekil 4.49 S9'un Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

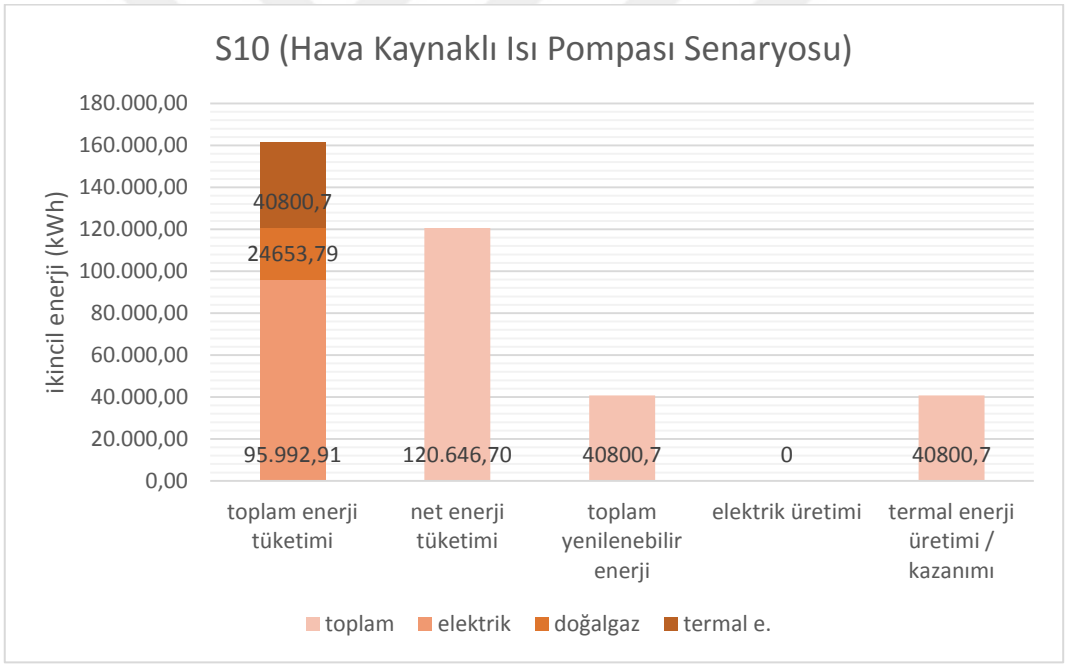
Hava kaynaklı ısı pompası senaryosunun (S10) mekanik bina sistemleri Tablo 4.30'da, HVAC sistemi gösteren şema Şekil 4.50'de ve bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.51'de gösterilmiştir.

Tablo 4.30 S10 HVAC sisteminin döngüleri ve elemanları

Loop	Talep tarafı	Tedarik tarafı
Aux HW Loop	-	Setpoint manager Setpoint manager Pompa Water heater heat pump HX
DHW Loop	Water outlet	Setpoint manager Pompa Su ısıtıcı
HW Loop	-	Boyler Setpoint manager Pompa



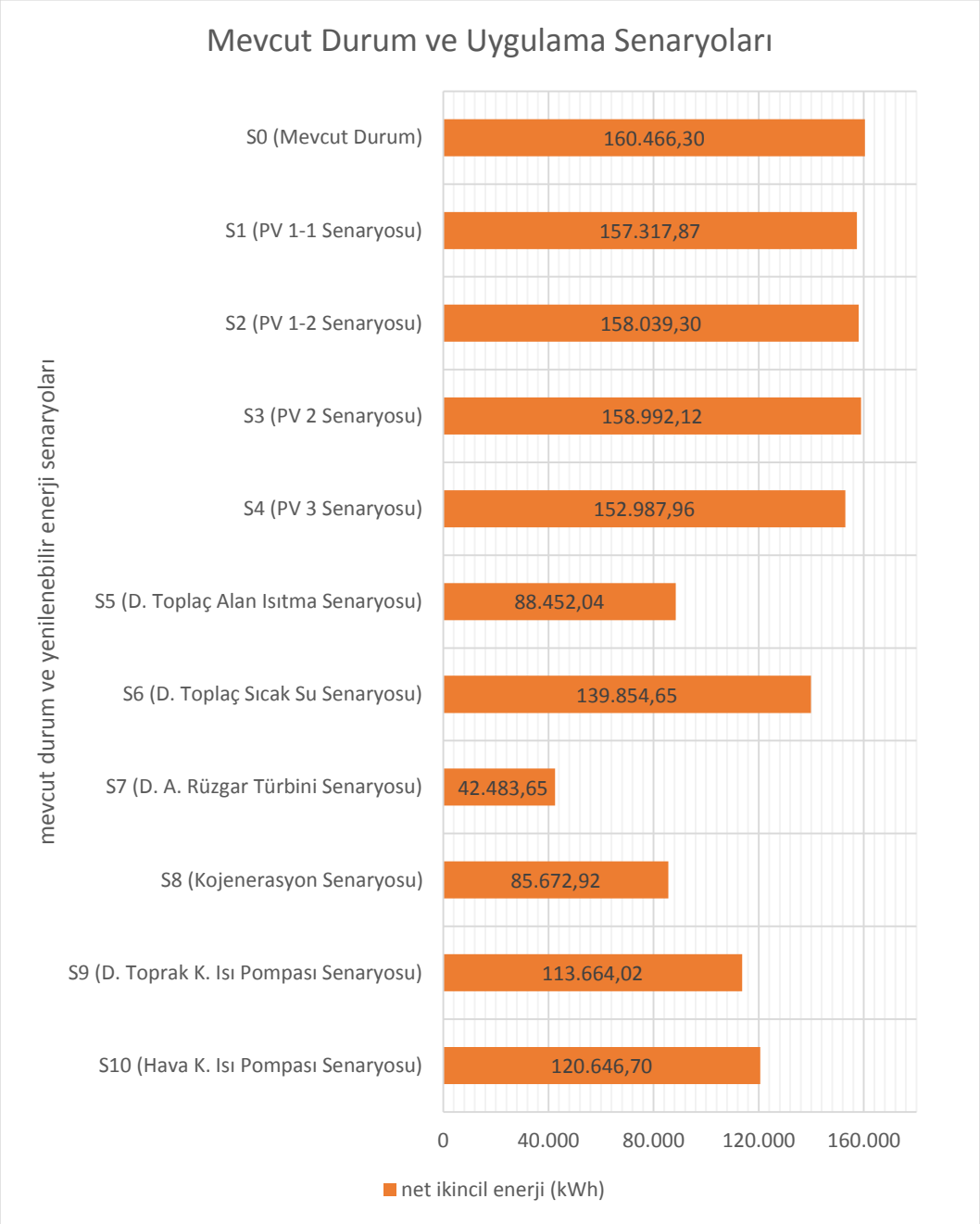
Şekil 4.50 S10 HVAC sistem şeması



Şekil 4.51 S10'un Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

Tek teknolojili yenilenebilir enerji senaryoları bina net ikincil enerjileri karşılaştırıldığında düşey akslı rüzgar türbini senaryosu en düşük enerji değerine sahiptir. PV 2 senaryosu ise en yüksek değerdedir. Bu sonuçlar aynı zamanda tekil senaryoların kombinasyonlarıyla oluşturulacak hibrit senaryolar için öngörüde bulunabilmek için veri sağlayacaktır. İkincil enerji cinsinden net enerji tüketimi, bina kullanıcılarının faturalarında enerji tüketim miktarı olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin etkisini kullanıcıya yansıtacak değerdir. Bina mevcut durum ve

yenilenebilir enerji senaryolarının ikincil net enerji ihtiyaçları Şekil 4.52'de gösterilmiştir.



Şekil 4.52 Bina mevcut durum ve yenilenebilir enerji senaryolarının ikincil net enerji ihtiyaçları

4.14 Hibrid Teknolojili Y. E. Senaryoları Oluşturma ve Net Enerji İhtiyacını Belirlenme

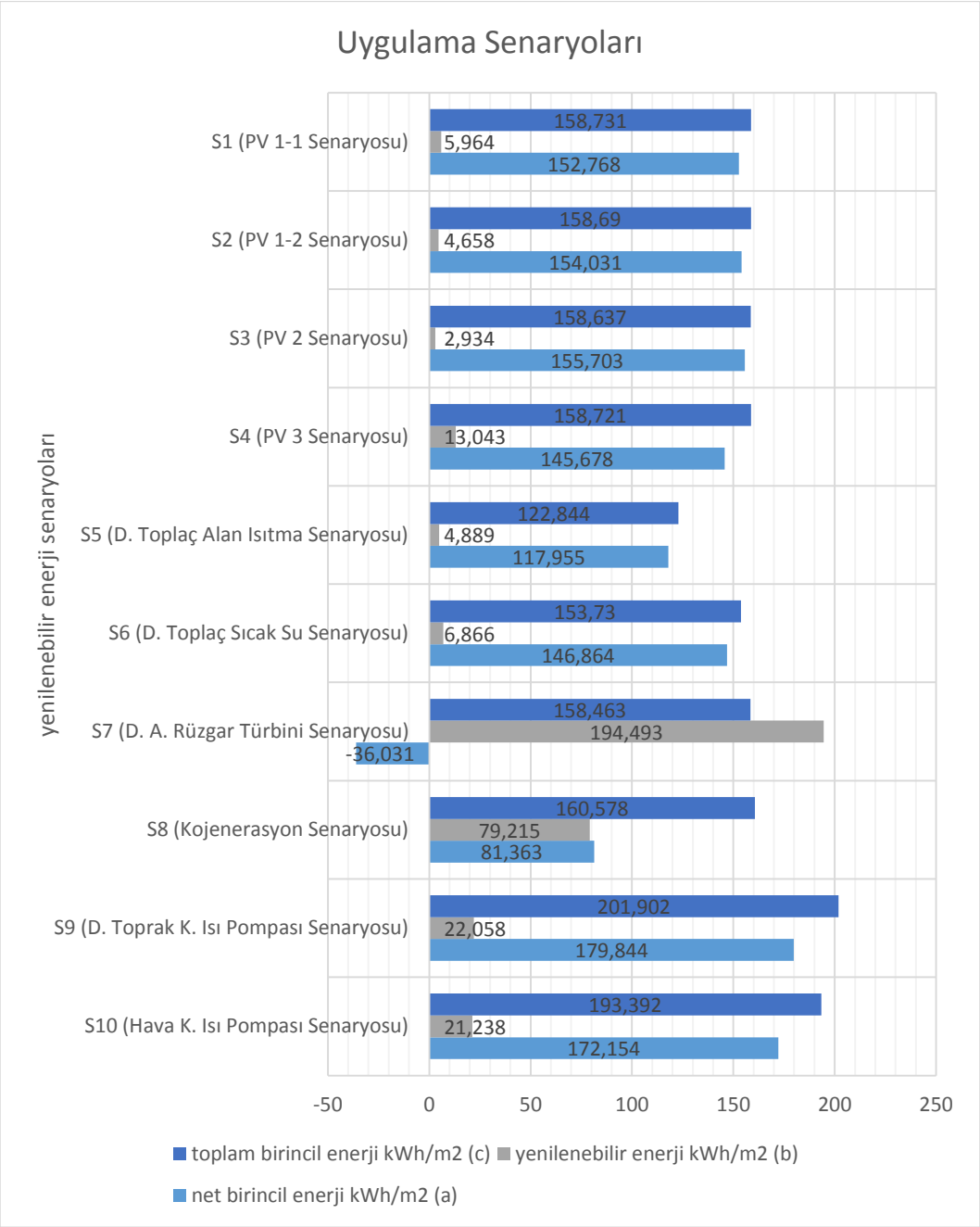
Hibrit senaryolar ‘senaryo değerlendirme kriterleri’nden geçmek üzere, kriterlere takılıp eşiği geçemeyen tekil senaryoların ikili kombinasyonlarıyla kurgulanmıştır. Bu uygulama çalışmasının ‘senaryo değerlendirme kriterleri’nde NZEB enerji kriterleri temel alındığı için, bir sonraki aşamada detaylı olarak açıklanmakla beraber, bu aşamada gerekli ön bilgi öncelikle verilmiştir.

Ayrıca senaryolara eşik atlatmak üzere hibrit senaryolar oluşturulurken üretilen farklı enerji türlerinin ve farklı enerji üretim sistemlerinin birleşimi gösterilmiştir.

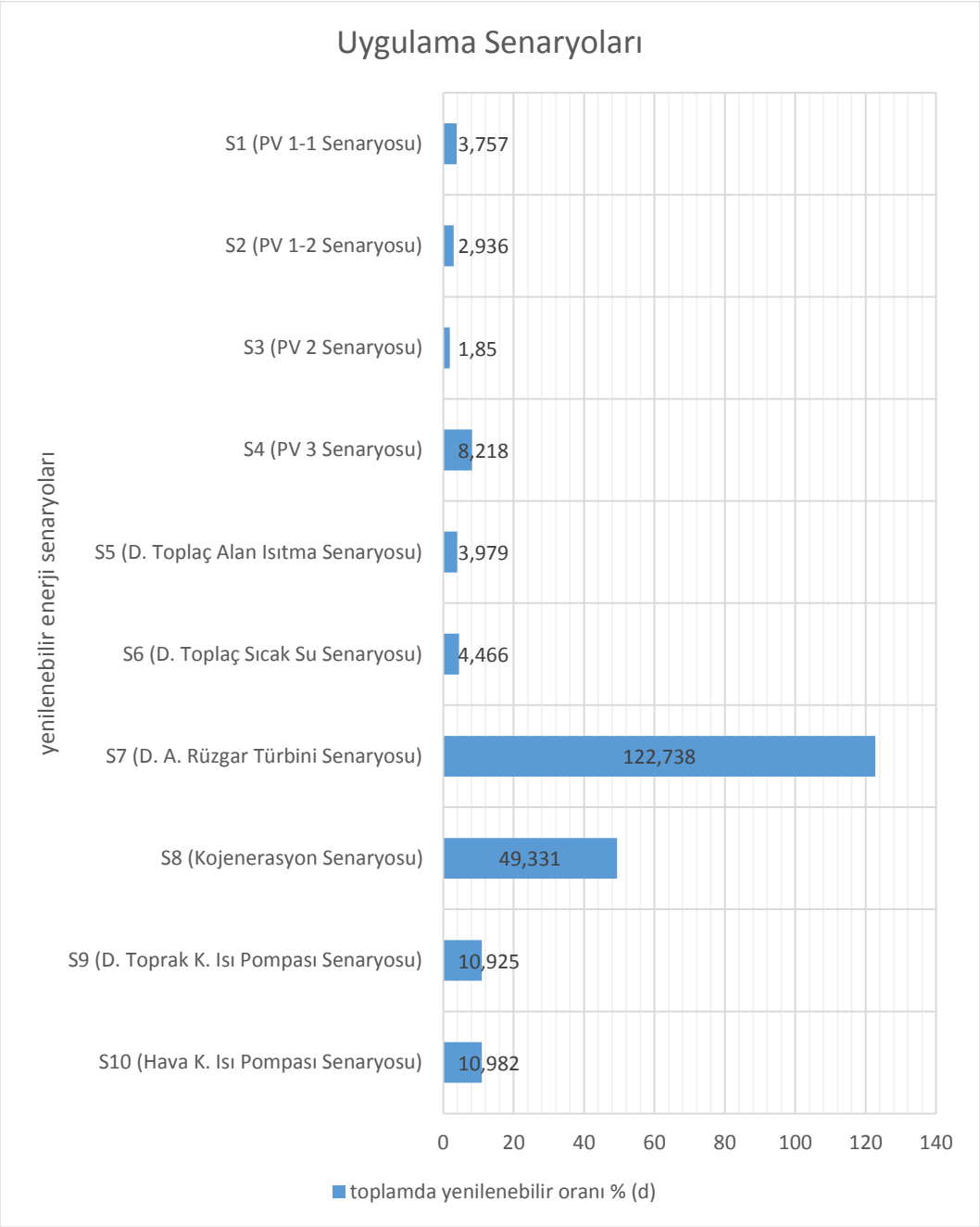
NZEB kriterleri ‘toplam birincil enerji’, ‘net birincil enerji’, ‘yenilenebilir enerji’, ve ‘toplamda yenilenebilir oranı’dır. Yenilenebilir üretimiyle ilgili son üç kriterin eşik değerleri sırasıyla 40 kWh/m^2, 30 kWh/m^2 ve %50’dir.

Yenilenebilir enerji senaryolarının NZEB kriterleri değerleri Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de gösterilmiştir.

Hibrit senaryo kurgulayabilmek için Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’deki birincil enerji cinsinden tekil senaryoların kriter sonuçları pratik yöntemle bu eşik değerlerini sağlayabilecek şekilde kombin edilmiştir.



Şekil 4.53 Yenilenebilir enerji senaryolarının NZEB a-b-c kriterleri değerleri



Şekil 4.54 Yenilenebilir enerji senaryolarının NZEB d kriter değerleri

Toplamda yenilenebilir oranı ölçütü %50'dir ve rüzgar senaryosu bu eşiği aşarken kojenerasyon senaryosu (%49,3) ise eşiğe oldukça yakın bir başarı gösteriyor. Diğer senaryolardan herhangi bir tanesiyle hibrit birleşiminin bu ölçütü atlatabileceği düşünülebilir.

Net birincil enerji kriterinin 40 kWh/m^2 üst sınırına en yakın CHP senaryosunun, PV4 senaryosuyla hibrit yapılarak iyileştirilmesi beklenmektedir.

Birincil yenilenebilir enerji kriteri açısından ise 30 kWh/m^2 alt sınırına, toprak kaynaklı ısı pompası ve PV4 senaryosu birleştirilerek ulaşılabilir görülmektedir.

Belirlenen hibrit senaryolar TKIP/PV4 hibrit senaryosu ve CHP/PV4 hibrit senaryolarıdır. Tablo 4.31'de hibrit senaryoların kod ve adları verilmiştir.

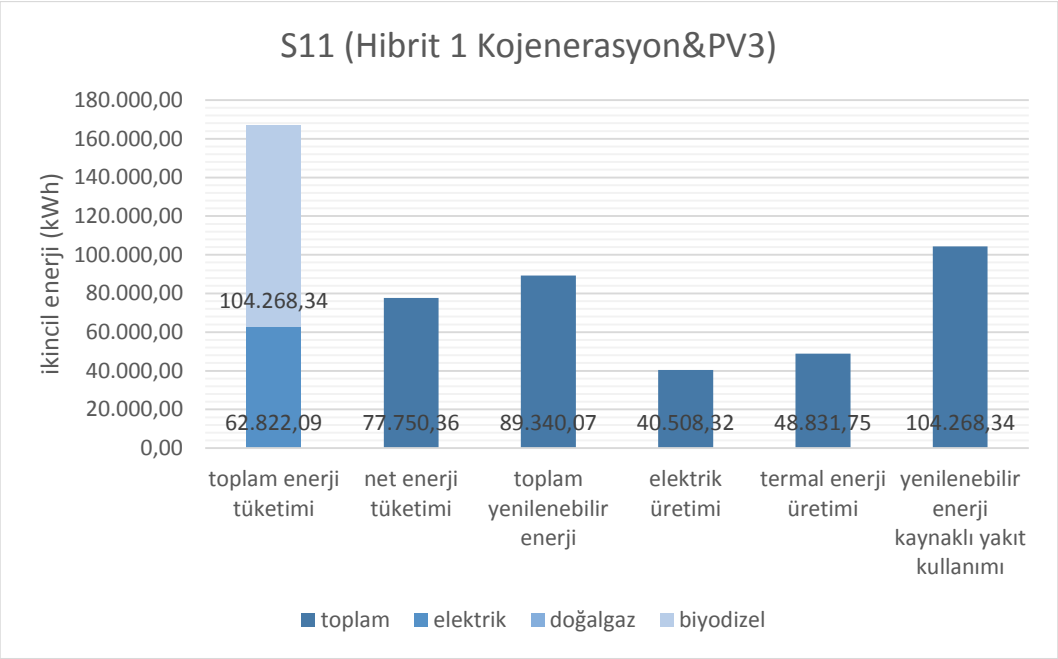
Belirlenen bu hibrit senaryolardaki kullanılacak yenilenebilir enerji sistemlerinin birleşik etki öngörüleri tekil senaryolar üzerinden tahmin edilmiştir ancak farklı yenilenebilir enerji sistemlerinin bina üzerinden dolaylı oluşabilecek birbirleri üzerindeki pasif etkilerinden dolayı sonuçlar beklentilerden farklılaşabilir. Örneğin PV modüllerin cephe üzerindeki pasif gölgeleme etkisi bina ısıtma soğutma yüklerini değiştirebilir ve bu da CHP/TKIP çalışmasını etkileyebilir.

Bir diğer dikkat çekilmesi gereken konu, kojenerasyon ürettiği enerji türleri bakımından hibrit enerji üreten bir sistemdir.

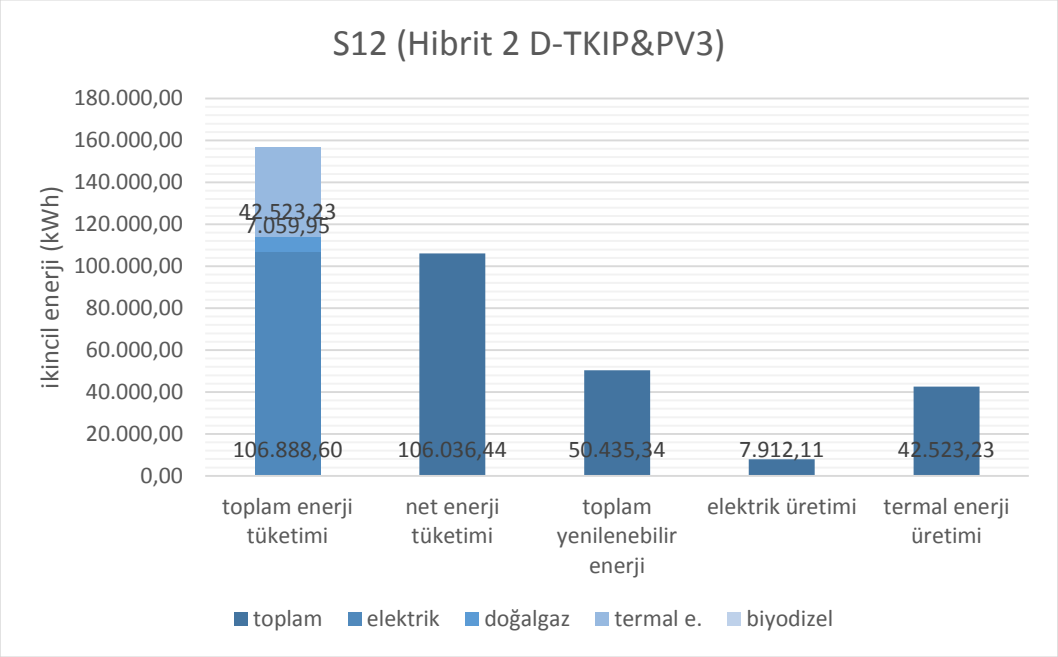
Tablo 4.31 Hibrit teknolojili yenilenebilir enerji senaryolarının tanımları ve kodları

Senaryo Kodu	**Senaryo Adı**
S11	Hibrit 1 / güneş enerjisinin ve biyoenerjinin PV ve CHP ile kullanımı – ürünler D3 ve D6
S12	Hibrit 2 / güneş enerjisinin ve Düşük sıcaklıklı doğa (ısı) enerjisinin PV ve TKIP ile kullanımı – ürünler D3 ve D7

Hibrit 1 ve Hibrit 2 senaryolarının (S11-12) bina kullanımı enerji performans sonuçları Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da gösterilmiştir.

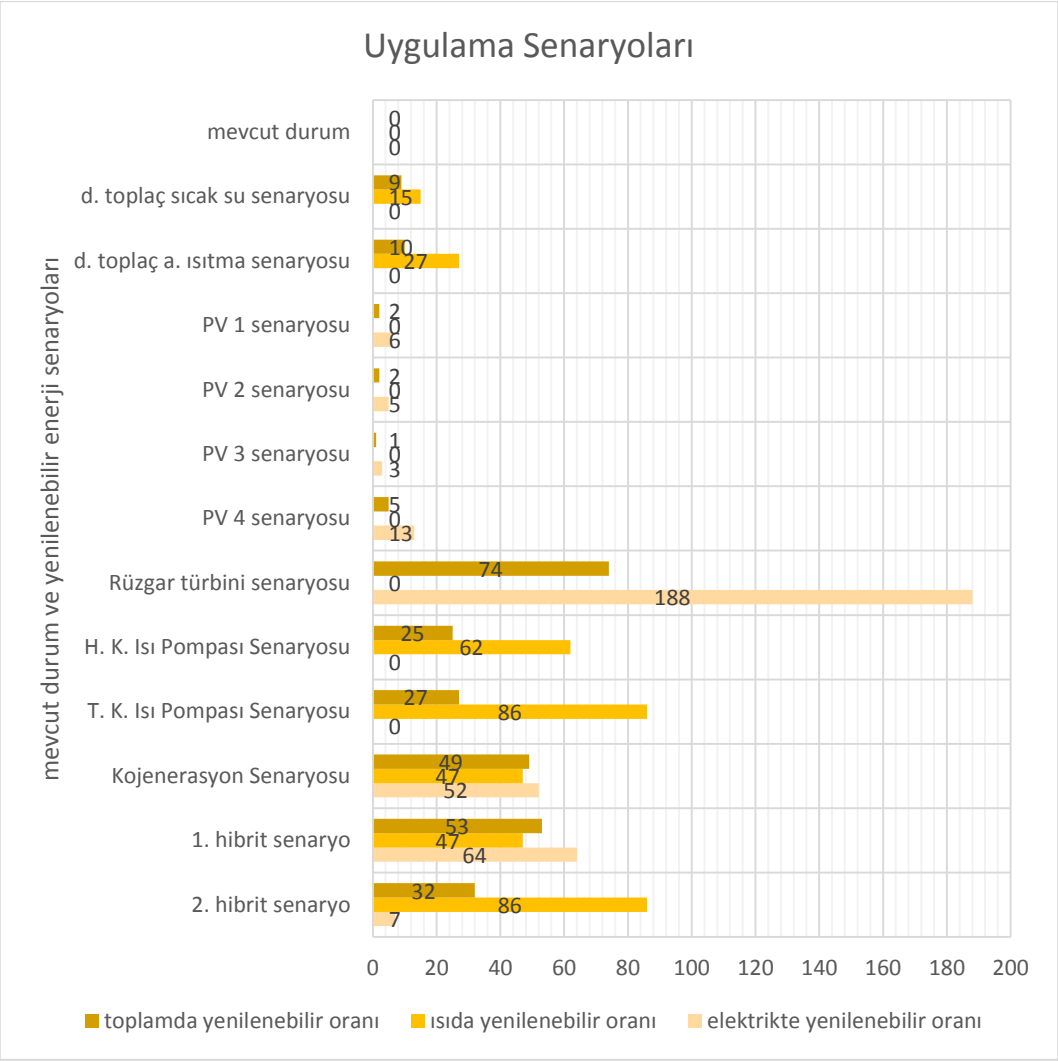


Şekil 4.55 S11'in Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi



Şekil 4.56 S12'nin Y.E. üretimi ve bina enerji tüketimi

Şekil 4.57'de, oluşturulan tüm senaryoların binaya salt yenilenebilir enerji katkıları ikincil enerji cinsinden toplamda, ısıda ve elektrikte yenilenebilir oranı detaylı gösterilerek ara performansları verilmiştir.



Şekil 4.57 Bina mevcut durum ve yenilenebilir enerji senaryolarının yenilenebilir oranları

4.15 Senaryoları kriterlerle Değerlendirme

Uygulama çalışmasında 'Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina' (Nearly Zero-Energy Building / NZEB) uygulama hedefi konulmuştur. Senaryoları hedefe yönelik değerlendirebilmek için öncelikle NZEB kriterleri belirlenmiştir. NZEB mevzuatı, devletlerin yerel koşullarına göre NZEB kriterlerinin ulusal değerlerini belirlemelerini beklemektedir.

Uygulama çalışması kapsamında mevcut binalar, çok aileli konut binaları ve Türkiye coğrafyası için referans alınabilecek eşik değerleri belirlemek için öncelikle mevzuattaki, uygulamadaki, Türkiye resmi kurum çalışmalarındaki ve Türkiye'nin coğrafyasının komşu devletlerindeki NZEB değerleri ortaya konulmuştur.

AB'nin belirlediği dört ana NZEB iklim bölgesinden Akdeniz iklimi ve Karasal iklim Türkiye'de görülen iklim tipleridir.

Akdeniz (tek aile evi) ikliminde net birincil enerji aralığı 0-15 kWh/m^2, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji 50 kWh/m^2, toplam birincil enerji aralığı 50-65 kWh/m^2 ve toplam birincil enerjideki yenilenebilir yüzdesi %87 olarak tavsiye edilmektedir. [40]

Karasal (tek aile evi) ikliminde ise net birincil enerji aralığı **20-40kWh/m^2**, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji **30 kWh/m^2**, toplam birincil enerji aralığı **50-70 kWh/m^2** ve toplam birincil enerjideki yenilenebilir yüzdesi **50%** olarak tavsiye edilmektedir. [40]

Bakanlığın yaptığı çalışmada, dört AB ülkesinin iklimleri Türkiye'nin iklim bölgelerine en yakın örnekler olarak gösterilmiştir. Mevcut konut binalarında, yenilenebilir olmayan birincil enerji eşiği İspanya'da (yeni binalarda) 50 kWh/m^2y, Yunanistan'da 75 kWh/m^2y, Fransa'da **100 kWh/m^2y** ve Almanya'da 65 kWh/m^2y'dır. [43] Yenilenebilir enerji kaynağı oranı Yunanistan'da %**15**–60 (bina tipine bağlı) [43] ve Fransa'da çok aileli konut için %20 [40] belirlenmiştir.

Ayrıca Kıbrıs (GKRY) ve Bulgaristan gibi komşu ülkeler 95-**100 kWh/m^2 birincil enerji kullanımı** ortalamasını talep etmektedirler. Bulgaristan'ın yenilenebilir enerji eşiği ise %55'tir.

Bunların yanında, AB üye devletleri arasındaki üst sınır değerlere de dikkati çekmek (Estonya vb.) teşvik edici olacaktır. Mevcut konut binalarında NZEB seviyeleri **157 kWh/m^2y'ye** (Estonya) [43] ulaşmaktadır. AB genelinde ise bu kriterlerin değerleri (Estonya dışında) **100-15kWh/m^2** (RES) ve %**15**-60 aralıklarında değişmektedir.

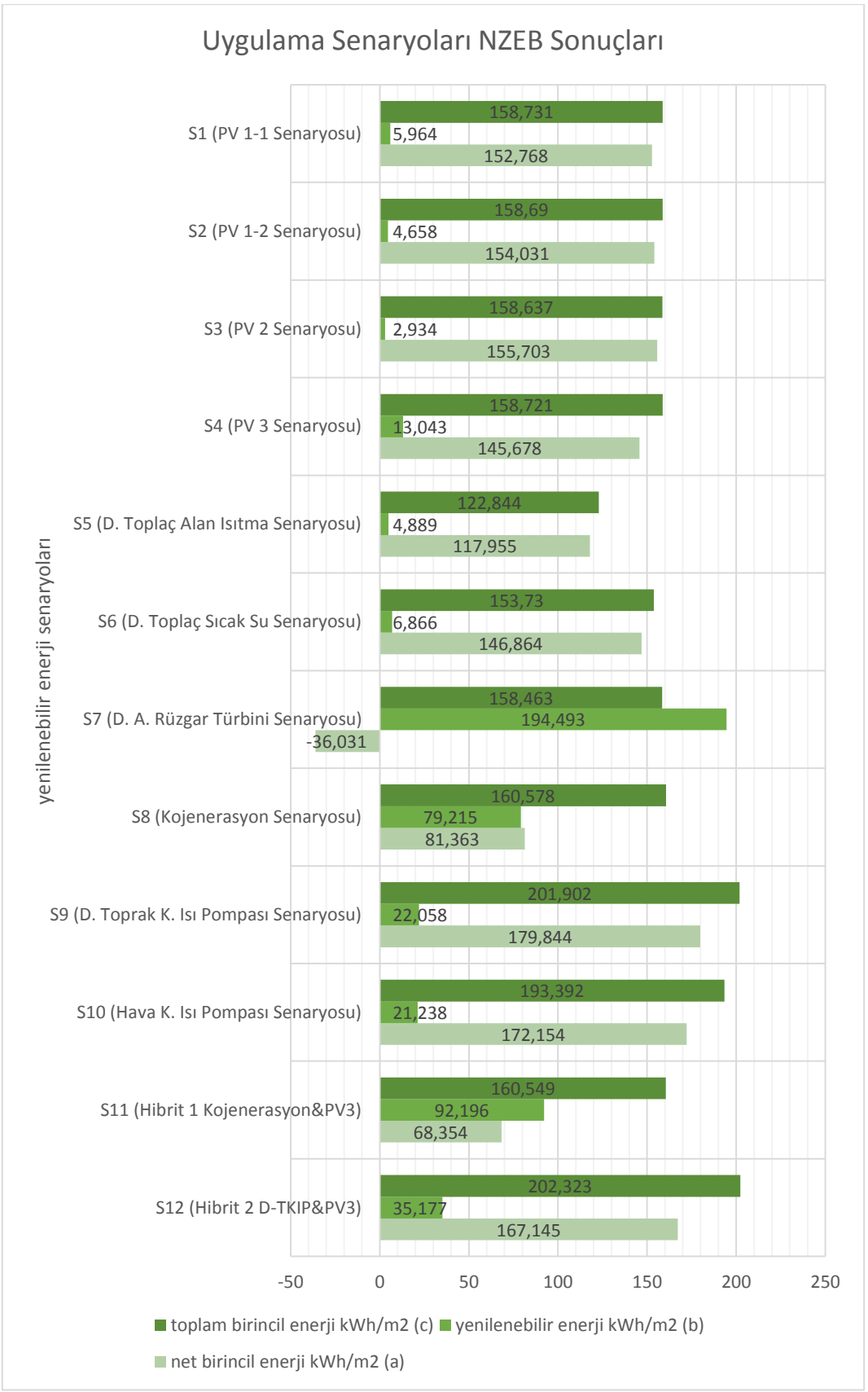
Türkiye NZEB'e uyumluluk doğrultusunda yaptığı çalışmada, örnek alınabilecek ülkeler gösterirken aynı zamanda bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu yaklaşımdan ve örneklerden yola çıkarak tez kapsamındaki apartman tipi (çok aileli) mevcut konut binalarına yönelik NZEB değerlendirme eşikleri belirlemek için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yukarıda açıklanan standart değerler, AB üye devletlerindeki uygulama örnekleri, Türkiye'nin komşu ülkelerindeki uygulamalar ve bakanlık önerileri incelenerek, mevcut binalar ve apartman tipi konut binaları kategorilerinde

elde edilebilen verilerle her standart kriter için eşik değerlerin sayısal aralığı saptanmıştır. Sonuç olarak, standartın üst sınırıyla yaklaşımın alt eşikleri oluşturulurken saptanan diğer değerlerle üst eşikler belirlenmiştir. Yani, standartın yanında bir üst eşik daha belirlenmiştir ve uygulama çalışmasında ikisi birlikte değerlendirme aralığı olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, net birincil enerji 40-100 (157 Estonya) kWh/m^2, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji 15-30 kWh/m^2, toplam birincil enerji eşiği 70-kWh/m^2, toplam birincil enerjinin yenilenebilir olarak yüzdesi %15-50 olmuştur ve oluşturulan NZEB kriter kodlaması ile aşağıda sıralanmıştır.

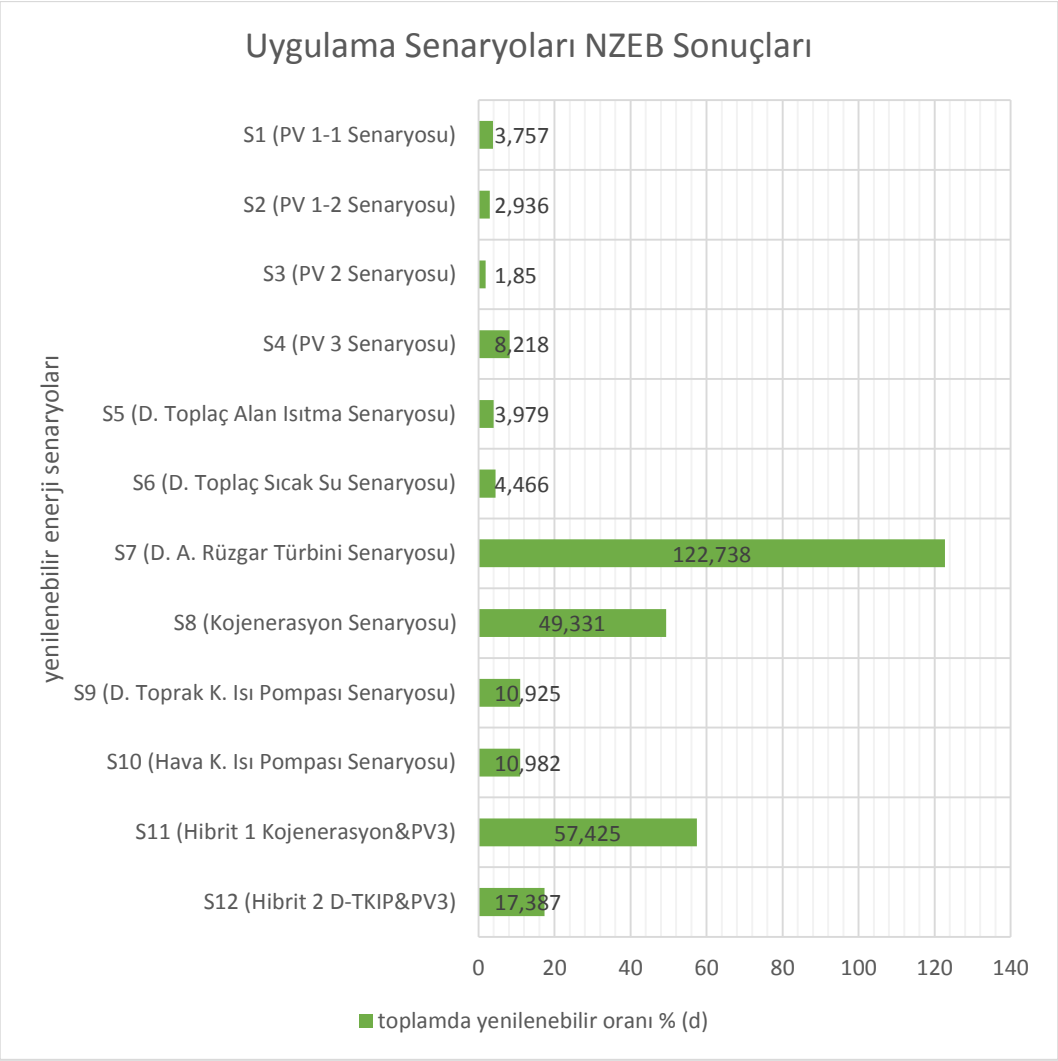
- NZEB Kriteri a (net birincil enerji): 40 (AB karasal iklim bölgesi)-100 (Fransa) kWh/m^2
- NZEB Kriteri b (yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji): 15 ()-30 (karasal iklim bölgesi) kWh/m^2
- NZEB Kriteri c (toplam birincil enerji): 70 (karasal) kWh/m^2
- NZEB Kriteri d (toplam birincil enerjinin yenilenebilir yüzdesi): %15 (Yunanistan)-50 (Karasal iklim bölgesi)

Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da öncelikle uygulama çalışmalarının tüm NZEB kriter sonuçları verilmiştir ardından kriter bazında senaryo sonuçları eşik değerlerle birlikte Şekil 4.60, Şekil 4.61, Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'de gösterilmiştir.

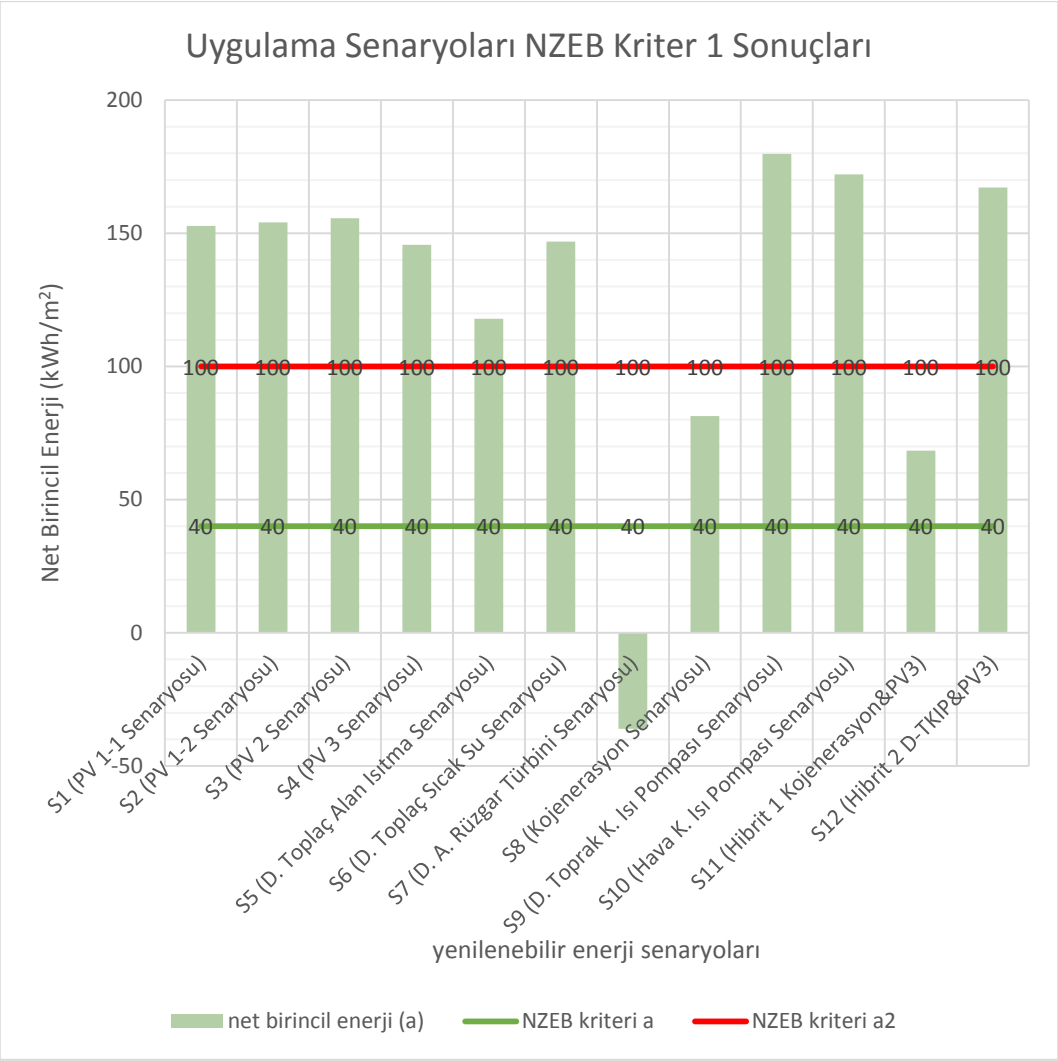
Bu NZEB yaklaşımıyla beraber, ayrıca tez kapsamında yenilenebilir enerjiyi dönüştüren aktif sistemler ele alındığı için NZEB'deki kriterler arasından yenilenebilir enerjiyi dikkate alanları öne çıkarmak daha anlamlı olacaktır.



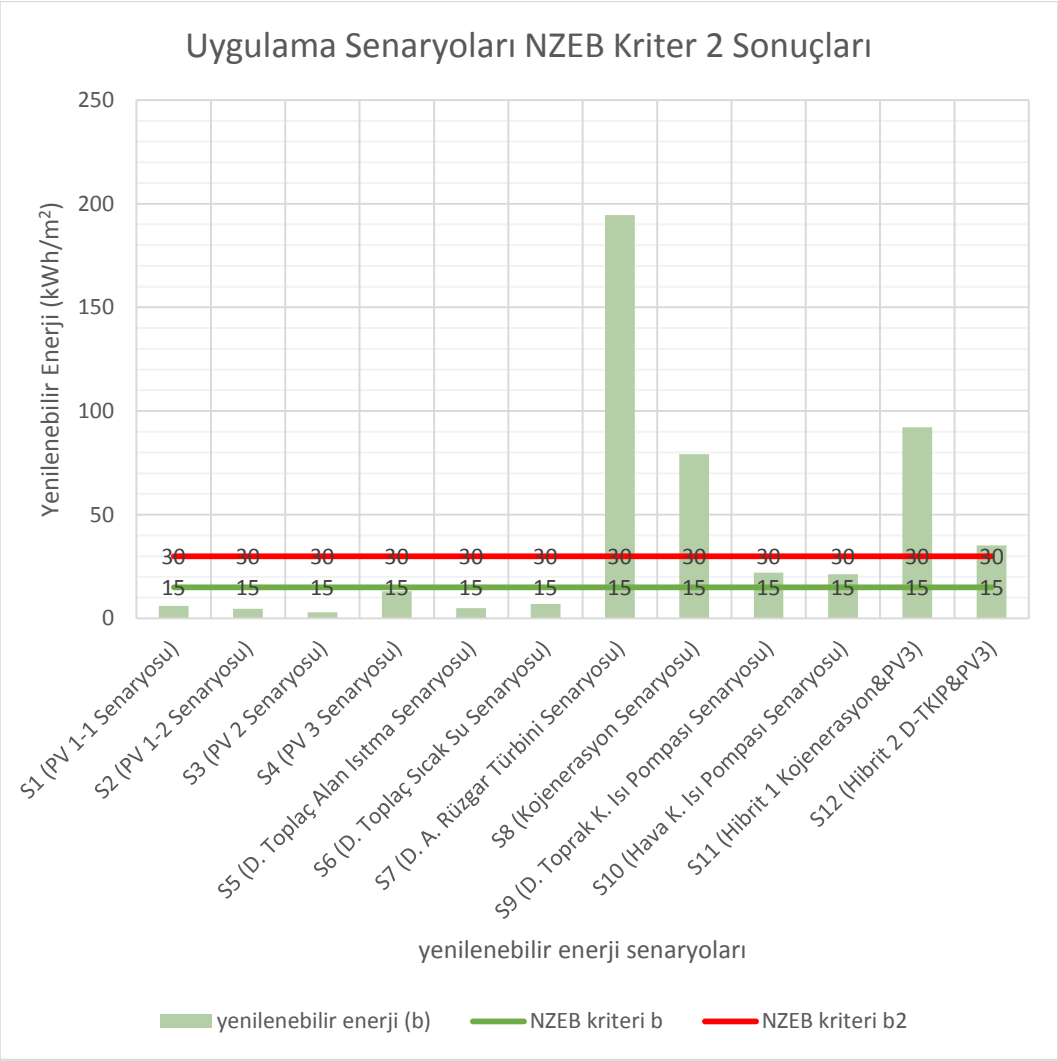
Şekil 4.58 Senaryoların NZEB kriter a-b-c değerleri



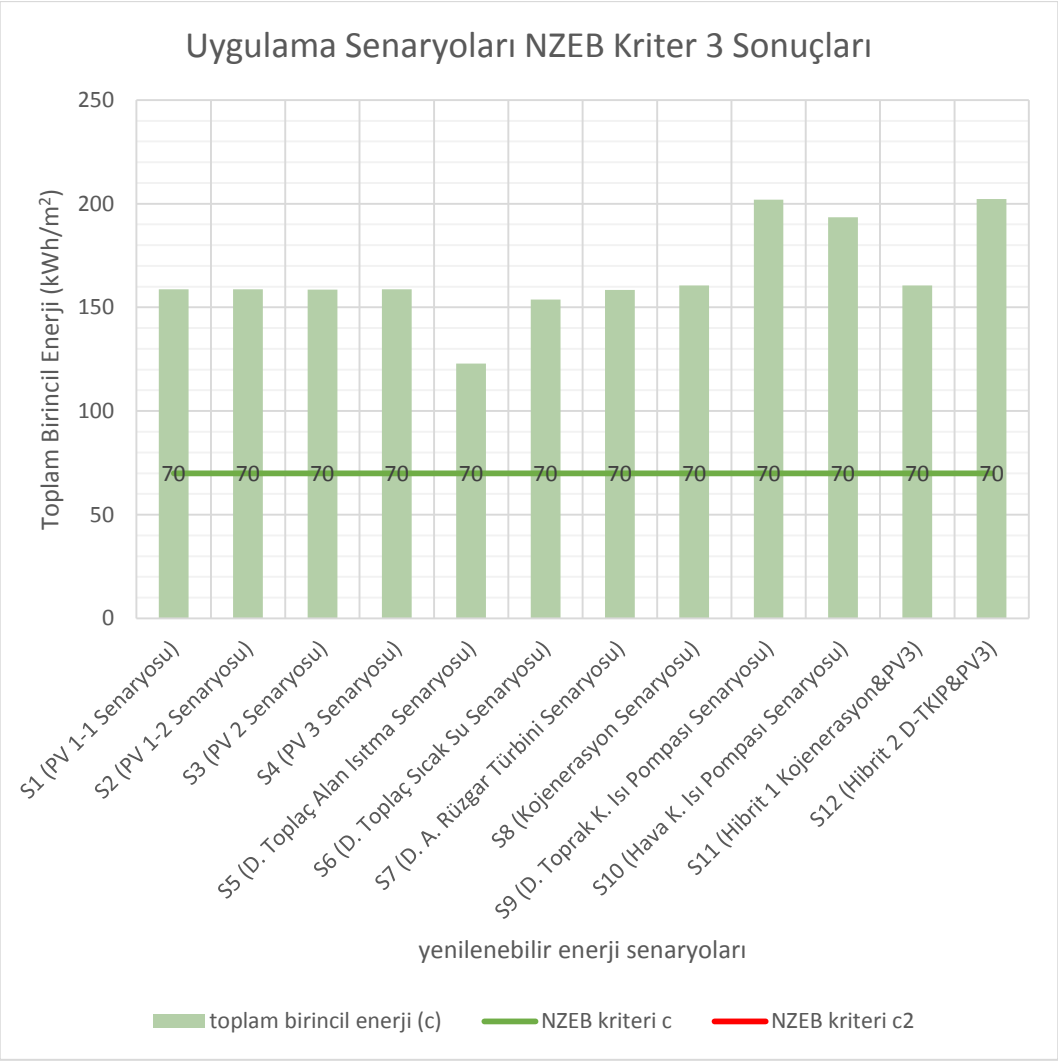
Şekil 4.59 Senaryoların NZEB kriter d değerleri



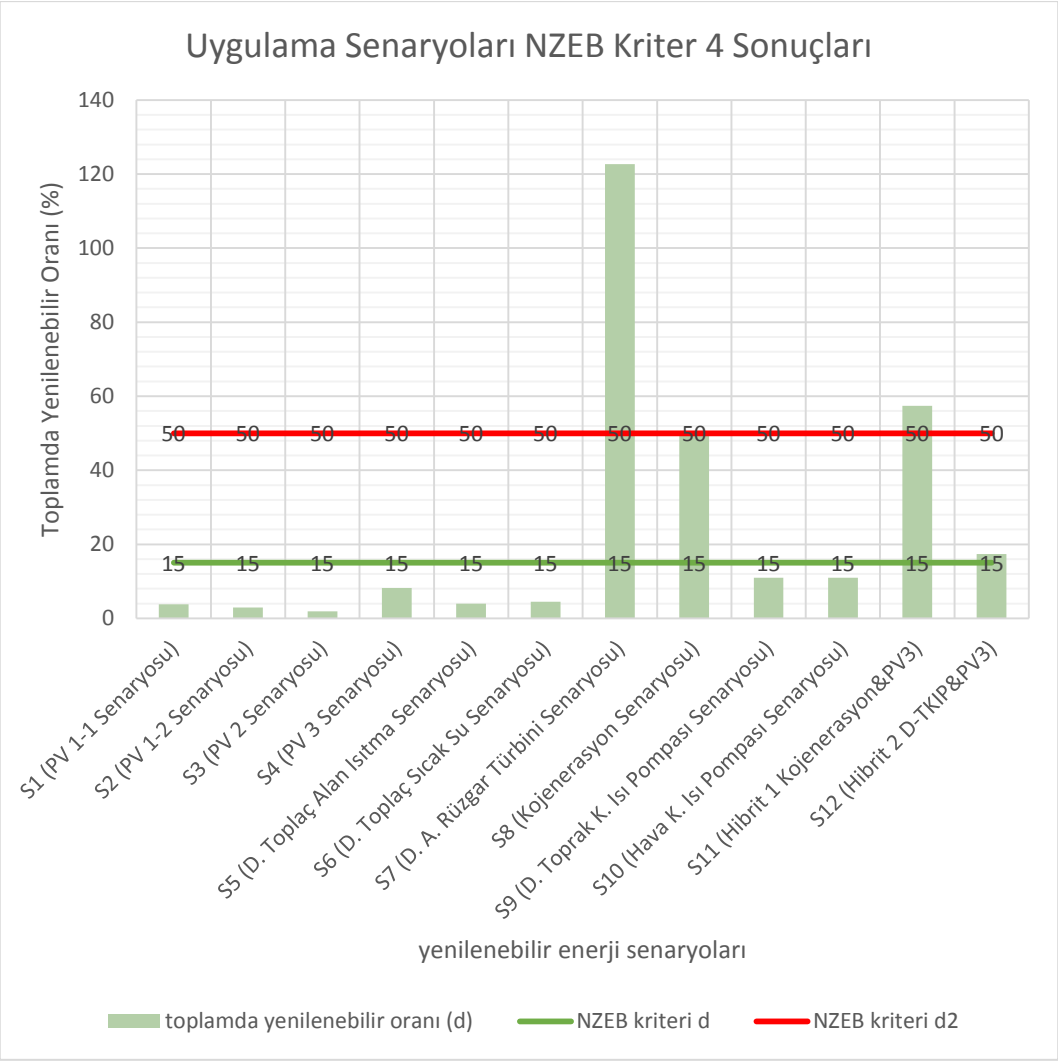
Şekil 4.60 Senaryoların NZEB kritera değerleri ve NZEB eşikleri



Şekil 4.61 Senaryoların NZEB kriterb değerleri ve NZEB eşikleri



Şekil 4.62 Senaryoların NZEB kriterc değerleri ve NZEB eşikleri



Şekil 4.63 Senaryoların NZEB kriterd değerleri ve NZEB eşikleri

Tablo 4.32 Senaryoların NZEB kriterlerindeki değerleri ve eşik geçme durumları

Senaryo No	NZEB Kriteri a (40-100* kWh/m^2) *157 Est.	NZEB Kriteri b (15-30 kWh/m^2)	NZEB Kriteri c (70-kWh/m^2)	NZEB Kriteri d (%15-50)
S1 (PV1)	152,768	5,964	158,731	3,757
S2 (PV2)	154,031	4,658	158,690	2,936
S3 (PV3)	155,703	2,934	158,637	1,850
S4 (PV4)	145,678	13,043	158,721	8,218
S5 (toplaç alan ısıtma)	117,955	4,889	122,844	3,979
S6 (toplaç DHW)	146,864	6,866	153,730	4,466
S7 (rüzgar)	-36,031	194,493	158,463	122,738
S8 (CHP)	81,363	79,215	160,578	49,331
S9 (toprak)	179,844	22,058	201,902	10,925
S10 (hava)	172,154	21,238	193,392	10,982
S11 (CHP PV)	68,354	92,196	160,549	57,425
S12 (TKIP PV)	167,145	35,177	202,323	17,387

Yukarıdaki Tablo 4.32'de kriterleri geçme aralığına giren veya daha üstün başarı sağlayan senaryoların hücreleri koyu yeşil ile gösterilmiştir. Aralıkların başarması daha zor olan sınırları dikkate alındığında geçebilen senaryoların ilgili kriterdeki değerleri yeşil ile vurgulanmıştır. NZEB kriteri a daha yüksek değerde bir eşik ile değerlendirildiğinde geçebilen senaryolar sarı ile işaretlenmiştir.

Senaryolardan 3ü kriter a'da, 6sı kriter b'de ve 4 tanesi kriter d'de eşikleri sağlıyor. En çok başarı gösteren senaryo sayısı üçtür ve bunlar üçer kategoride eşikleri geçmiştir. S7, S8 ve S11 kriter a, b ve d'de başarı gösteriyor. Başarılı olan senaryolar en fazla 3 kategoride veya en az 1 kategoride başarı gösteriyorlar.

NZEB kriteri a AB ülkeleri arasındaki sınır değere göre değerlendirildiğinde 6 senaryo daha bu kriteri geçebiliyor. Ayrıca bu eşik dikkate alındığında bütün yenilenebilir enerji senaryoları en az bir kategoride başarılı oluyor. Fakat bu senaryolar diğer kategorilerde olumlu sonuç vermiyorlar.

Aralıkların tek aileli konut ve yeni bina sınırları dikkate alınırsa, 4 senaryo en az 1 veya en çok 3 kategoride başarılar gösteriyor.

Hibrit1 senaryosu (S11 / CHP&PV4) 3 kriterde ve hibrit2 senaryosu (S12 / TKIP&PV4) 2 kriterde başarı gösteriyor. Bu hibrit senaryoları oluşturan tekil

senaryolardan Kojenerasyon (S8) 3 kriterde ve TKIP (S9) 1 kriterde başarı gösterirken PV4 (S4) başarı gösteremiyor. Bu durumda hibrit senaryolar en az iki kriterde başarı sağlıyor. Aralıkların diğer sınırlarına göre bakıldığında ise başarı gösterilen kategori sayısının birer tane arttığı görülüyor. Hibrit senaryolar NZEB'te başarıyı artırıyor.

Sonuç olarak, 6 senaryo bu aşamayı geçemiyor. Bu senaryolar, düz toplaç sıcak su senaryosu, düz toplaç alan ısıtma senaryosu, PV 1 senaryosu, PV 2 senaryosu, PV 3 senaryosu ve PV 4 senaryosudur. Aşağıda uygulama çalışmasının değerlendirme kriterleriyle ilgili yapılan çıkarım verilmiştir.

- **Aktif sistemlerin bina performanslarını değerlendirmede ilgili NZEB kriterleri**

Uygulama çalışması kapsamında, NZEBin tüm kriterlerinde başarı sağlamak için yenilenebilir enerji aktif sistemlerinin tek başına yeterli olamadığı görülmüştür. NZEBin mevzuatında ve akademik çalışmalarda 'neredeyse sıfır enerjili bina' kavramının bir tarafında bina enerji tüketimini azaltmak varken diğer tarafında yenilenebilir enerji üretimi yoluyla kalan bina enerji ihtiyacını karşılamak olduğu belirtilir. Ayrıca üye devletler, NZEB standartlarına yenilenebilir kaynaklardan önemli bir katkının zorlu olduğunu belirtmişlerdir. Yine de uygulama çalışmasında 4 kriterden 3ünde başarılı olan senaryolar vardır. Kriter c'den geçebilen senaryo olmamıştır, bu kriter ise 'toplam birincil enerji'dir. Diğer kriterler ('net birincil enerji', 'yenilenebilir enerji' ve 'toplamda yenilenebilir oranı') yenilenebilir enerji üretiminden olumlu yönde etkilenirken 'toplam birincil enerji' yenilenebilir enerji üretiminden etkilenmemektedir. Bu ise uygulama çalışması kapsamında **aktif sistemlerin yenilenebilir enerji üretimiyle kriter c'de bir başarı sağlanamayacağı**nı göstermektedir. Aktif sistemlerin bunun gibi uygulama çalışmalarında başarısı tartışılırken bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Salt aktif yenilenebilir enerji sistemlerinin ürettiği enerjinin doğrudan karşılığı olan kriter, bina enerji tüketimini içermeyen 'yenilenebilir enerji' kriteridir. Buna rağmen uygulama çalışmasıyla sadece aktif sistemlerle bile, enerji tüketiminde azaltma önlemlerine başvurmadan üç NZEB kriterinde başarılar sağlanabileceği gösterilmiştir.

4.16 Uygulama Seçeneklerinden Amaca Uygun Olan Senaryoyu Seçme

Aşama 15'i geçip bu aşamaya ulaşabilen yenilenebilir enerji senaryoları Tablo 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.33 Değerlendirme (NZEB) eşiklerini geçen yenilenebilir enerji senaryoları

Senaryo No	NZEB Kriteri a (40-100* kWh/m^2) *157 Est.	NZEB Kriteri b (15-30 kWh/m^2)	NZEB Kriteri c (70-kWh/m^2)	NZEB Kriteri d (%15-50)
S7	-36,031	194,493	158,463	122,738
S8	81,363	79,215	160,578	49,331
S9	179,844	22,058	201,902	10,925
S10	172,154	21,238	193,392	10,982
S11	68,354	92,196	160,549	57,425
S12	167,145	35,177	202,323	17,387

NZEBin dört kriterinde birden veya daha az sayıda kriterinde başarı gösteren senaryolar havuzu olduğunda uygulanacak olan senaryonun seçiminde ilk kriter amaçta belirtildiği gibi tüm NZEB kriterlerinden geçmektir. Tüm NZEB kriterlerinden geçebilen tek bir senaryo olması durumunda birinci olan uygulama senaryosu ortaya çıkmış olur. Birden fazla senaryonun kriterleri geçmesi veya kriterlerin hepsinde birden başarı sağlayamamaları durumunda aşağıda açıklanan seçim süreci işletilir.

Senaryoların sıralamasında öncelikle 'NZEB kriterlerindeki başarı sıraları' dikkate alınır. Senaryoların tüm kriterlerdeki sıralamaları aynı olmadığında geçtikleri kriter sayısı değerlendirmeye alınır. Burada da bir eşitlik olması durumunda bu sefer kriterlerin arasındaki öncelik sırasına bakılır. Bu noktada ise en önemli kriterdeki başarılarına göre sıralama yapılabilir.

Yukarıda yürütülen işlemlerde ilk bakılanın kriterlerdeki başarı sıralamalarının olmasının sebebi, üst sırada olan senaryonun aynı zamanda kriter sayısında da üst sırada başarıyı elde edecek olmasıdır. İkinci sırada ele alınanın başarılı kriter sayısı olmasının açıklaması ise hedef NZEB kriterlerinde %100 başarı olamaması durumunda en yüksek kriter geçme oranının hedeflenmesidir. Başarılı kriter sayısında eşitlik olunca son olarak kriterler sıralanır.

Altı senaryonun NZEB kriterlerindeki başarı sıraları Tablo 4.34'de verilmiştir.

Tablo 4.34 Senaryoların NZEB kriterlerindeki başarı sıraları

Senaryo No	NZEB Kriteri a sıralaması	NZEB Kriteri b sıralaması	NZEB Kriteri c sıralaması	NZEB Kriteri d sıralaması
S7	1	1	1	1
S8	3	3	3	3
S9	6	5	5	6
S10	5	6	4	5
S11	2	2	2	2
S12	4	4	6	4

Senaryoların başarılı oldukları kriter sayısı Tablo 4.35'de verilmiştir.

Tablo 4.35 Senaryoların başarılı oldukları kriterlerin sayısı

Senaryo No	Geçtikleri kriter sayısı
S7	3
S8	3
S9	1
S10	1
S11	3
S12	2

Uygulama çalışmasının hedefindeki NZEBin kriterleri çalışmanın kapsamına göre sıralanarak Tablo 4.36'da verilmiştir.

Tablo 4.36 NZEB kriterlerinin uygulama çalışmasına göre sıralanması

kriter	Çalışma Kapsamı bakımından öncelik sırası
net birincil enerji (a)	3
birincil yenilenebilir enerji (b)	1
toplam birincil enerji (c)	4 ve uygulama kapsamı dışı
Toplamda yenilenebilir oranı (kriter d)	2

Uygulama çalışmasının amacına göre sıralamaya girmeye hak kazanan yenilenebilir enerji senaryolarının başarı sıralaması Tablo 4.37'de sunulmuştur.

Tablo 4.37 Yenilenebilir enerji senaryolarının başarı sıralaması

Başarı sırası	Senaryo No
1. senaryo	S7
2. senaryo	S11
3. senaryo	S8
4. senaryo	S12
5. senaryo	S9
6. senaryo	S10

16 aşamalı kılavuz önderliğinde, amaca uygun olan 1. senaryo S7 olmuştur. Bu senaryo rüzgar türbini senaryosudur. Seçilen rüzgar türbini senaryosu aynı zamanda tükettiğinden fazlasını üreterek 'yaklaşık sıfır enerjili binalar'ın ötesine geçmiştir. Apartman/site sakinlerinin beğenisi gibi nedenlerle seçenek sunmak gerekirse ikinci olan S11 CHP PV hibrit senaryosu yedek uygulama senaryosu olarak belirlenmiştir.

Senaryo sıralamalarına bakıldığında, üçüncü sırada CHP (kojenerasyon) senaryosu, diğer sıralarda ise sırasıyla S12 (TKIP-PV) S9 (TKIP) ve S10 (HKIP) senaryoları yer almaktadır.

S7 gibi S8 ve S11 senaryoları da aslında aynı NZEB kriterlerinden geçerek bu başarıyı paylaşmaktadırlar. Aradalarındaki farklar, kriterlerde NZEB için yeterli olanın üzerinde başarı göstermiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Sıralama yapmak için bu farktan yararlanılmıştır. Başarılı senaryolar uygulama ve kullanım aşamalarına yönelik oluşabilecek olumlu olumsuz durumlar açısından da ele alınmalıdır. Örneğin bu ilk değerlendirmeyi geçen senaryolar bir de maliyet değerlendirmesine alınsa sıralama değişebilir. Rüzgar türbini binaya uygulanmadan önce konunun uzmanı tarafından binaya getireceği yük ayrıca güvenlik açısından detaylı olarak değerlendirilecektir. Binanın tasarımı sırasında öngörülmeyen boyutlardaki rüzgar türbinlerinin mevcut binalara sonradan eklenmesi zor olabilir. Fakat yeni bina tasarımı aşamasında türbinin binaya getireceği yüklere göre bina tasarımının yapılmasıyla kurulum daha kolay şekilde mümkün olabilir.

Ayrıca, uygulama çalışmasında kullanılan fotovoltaik teknolojilerinin tekil PV senaryoları sonuçta başarısız görünmekle beraber bu durumun senaryolardaki ele alınışlarıyla ilgili olduğunu hatırlatmak faydalı olacaktır. Çünkü bu teknolojiler genellikle yataya yakın olan optimum açılarda uygulanır buradaysa bina cephelerinde düşey yüzeylerde kullanılmıştır.

Tablo 4.38'de mevcut durum ile NZEB kriterlerinden geçen senaryolar net birincil enerjideki değişim üzerinden karşılaştırılmıştır. NZEB kriterleri arasından değişimi son kullanıcı tarafından doğrudan hissedilecek olan net enerji tüketim miktarı ve azalış oranı olacaktır.

Tablo 4.38 Mevcut durum ile NZEB kriterlerinden geçen senaryolar karşılaştırılması

Mevcut durum	**NZEB kriterlerinden geçen senaryolar**		
	S7	**S11**	**S8**
net birincil enerji (a kriteri)			
158,462 kWh/m^2	-36,031 kWh/m^2	68,354 kWh/m^2	81,363 kWh/m^2
net birincil enerjideki değişim – azalış (Toplamda yenilenebilir oranı - d kriteri)			
% 0	% 122,738	% 57,425	% 49,331

Aşağıda uygulama çalışması sonucunda elde edilen çıkarımlar verilmiştir.

- **Kılavuzun kullanıcı (uygulama) amacına uygun kullanımının önemi, birincil ve ikincil enerji cinsinden değerlendirme karşılaştırmaları**

Ayrıca burada kullanıcının kılavuzu uygulama amacına uygun kriterlerle değerlendirme yaparak kullanmasının önemi birincil ve ikincil enerji sonuçları üzerinden karşılaştırma yapılarak vurgulanmıştır.

NZEB kriterlerindeki birincil enerji cinsinden 'toplamda yenilenebilir oranı', son kullanıcı faturalarındaki ikincil enerji cinsiyle karşılaştırılmıştır. Farklı enerji türlerinin salt etkilerini inceleyebilmek için tek tür enerji üreten tekil senaryolar ele alınmıştır.

'Toplamda yenilenebilir oranı' NZEB'e göre rüzgar türbini senaryosunda %123 iken ikincil enerji cinsinden %74 olmaktadır. Diğerinden farklı olarak birincil enerji dikkate alındığında tükettiğinden fazlasını üreten bina kategorisine girmektedir ve önemli bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Bu kriter toprak kaynaklı ısı pompası senaryosunda ise ikincil enerjiye göre %27 ve NZEB'e göre %11 olmaktadır. Elektrik enerjisi birincil enerji cinsinden hesaplarda ön plana çıkıyor, ısı enerjisi ise ikincilde daha belirgin oluyor.

İkincil enerjiden birincile dönüşüm katsayılarına bakıldığında uygulama çalışmasında kullanılan enerji ve yakıt türleri kapsamında en yüksek değere sahip

olan 3.167 ile elektrik enerjisidir. Diğerlerinin katsayıları ise 1.1'den küçük değerlerdedir. Burada ikincil ile birincil arasında belirgin farklılığı oluşturan elektrik enerjisinin kullanım veya üretim tarafındaki miktarıdır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin başarısı değerlendirilirken bu gibi farklı kriter kullanımlarının sonuçları farklı yönlendirebileceği göz önünde bulundurularak uygulama çalışması hedefine uygun ölçütlerle çalışılması gereklidir. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinin genel olarak birbirleriyle karşılaştırılmasında bağlam (işlev, konum, iklim vb. uygulama binası özellikleri) ve kılavuz kullanım amacı etkenleri dikkate alınmalıdır.

Pratik bir yaklaşımla elektrik ağırlıklı beslenen binaların ikincil cinsten aynı miktarda farklı bir enerji/yakıt türü kullanan duruma göre toplam enerji tüketiminde NZEB performansının daha düşük çıkacağı beklenebilir.

- **Hibrit Uygulamaların Tekil Y. E. Uygulamaları ile karşılaştırılması**

12 senaryo arasındaki iki hibrit senaryo, sıralamaya girebilen 6 senaryo arasından ilk dörtte yer almıştır. İkinci olan hibrit senaryo yedek olarak seçilmiştir.

NZEB kriterlerinde başarı gösteremeyen bir tekil senaryonun hibrit kombinasyonlarında başarıyı yakalayabildiği görülmüştür.

Düz toplaç senaryolarında olduğu gibi yenilenebilir enerji tek sistemi (ısıtma veya sıcak kullanım suyu) besleyebilir ya da kojenerasyon ve TKIP senaryolarındaki gibi yenilenebilir enerji binadaki ısıtma ve sıcak kullanım suyu gibi farklı sistemleri besleyebilir. Bu durum bir bakıma tüketim tarafında hibritliği göstermektedir. Uygulama çalışmasında, bina enerji üretim ve tüketim taraflarında tekillik ve hibritlik durumlarının çalışılabileceği gösterilmiştir.

- **Diğer çıkarımlar**

Isı pompası sistemleri ve kojenerasyon sistemleri bina termal enerji yükünün ısıtma bölümünü karşılamaya yönelik kurgulanıp çalıştırılmıştır. Bu termal üretim yapabilen yenilenebilir enerji sistemleri sadece soğutma veya hem soğutma hem de ısıtma için (trijenerasyon ve ısı pompası sistemleri) kullanılırsa daha yüksek yenilenebilir enerji katkıları elde edilebilir. Benzer şekilde, termal enerji senaryolarından düz toplaç/alan ısıtma, düz toplaç/kullanım suyu ısıtma ve HKIP/

alan ısıtma senaryolarındaki düz toplaç ve HKIP sistemleri alan ısıtma ve kulanım suyu ısıtma için kullanılabilir.

Dikkat çekilmesi gereken bir diğer parametre, binada aktif yenilenebilir enerji uygulanmakla beraber dolaylı olarak bu sistemlerin pasif etkileri de olabilir. Bu etki, yapı kabuğundaki entegrasyonlarda örneğin PV ve güneş kolektörü uygulamalarında görülebilir. Yapı kabuğunda ikinci bir cidar gibi çatıda ve cephede gölgeleme yaparlar ve bu da ısıtma ve soğutma yüklerini etkileyebilir.

Uygulama çalışması aynı zamanda, farklı yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin İstanbul'da bir apartman binasında uygulamasının üretebileceği enerji miktarı hakkında veri oluşturarak sonraki çalışmalar için öngörü yapılmasını kolaylaştıracak bir veri tabanına katkı sağlamaktadır.

5
SONUÇ

Öncelikle aşağıda tezin amacı, konusu, içeriği, literatürle bağlantısı, kapsamı, yöntemi, uygulaması ve hipotezine değinilerek sonuç kapsamında genel bilgilendirme yapılmıştır.

Tez kapsamında öncelikle, yenilenebilir enerji üreten ve kullanan enerji etkin binaları yaygınlaştırmak için binaları yenilenebilir enerji sistemleriyle bütünleştirme sürecini tanımlayan ve uygulama senaryosunu oluşturmaya rehberlik eden bir yöntem geliştirilmiştir. Kılavuz yöntemin çalışmasını kontrol etmek ve kılavuzu değerlendirmek için kapsamlı bir uygulama çalışması yapılmıştır. Sonuçta, binaya göre özgün uygulama tasarım senaryoları oluşturan, birden fazla sayıda yenilenebilir enerji sistemleriyle bütünleşik bina seçeneği oluşturabilen, yüksek yenilenebilir enerji kullanım oranı ve düşük net enerji tüketimi sağlayan, fosil kaynaklı bina enerji sistemleri yerine alternatif enerji sistemlerini koyabilen, temiz enerjiyle engellenen karbondioksit salımıyla sürdürülebilirliğe katkı sağlayan bir kılavuz şeklinde yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde ulaşılan sıfır enerjili bina ve tükettiğinden fazlasını üreten enerji artı bina konseptlerinde uygulama senaryoları üretebilme potansiyelinin olduğu söylenebilir.

Literatürde binaların yenilenebilir enerji sistemleriyle bütünleştirilmesi için yol gösterici çalışmalar alanı arandığında farklı/dar kapsamlarda, spesifik konularda ve sınırlı sayıda yayın saptanmıştır. Ayrıca binalarda yenilenebilir enerji sistem entegrasyonunun planlaması ve uygulaması hakkında rehber çalışmaların ve kapsamlarının yetersizliği birçok yayında vurgulanmaktadır. Sonuçta bu boşluk gösterilmiş ve bu ihtiyacı gidermeye yönelik kılavuz çalışması ve uygulama örneğiyle bu alana katkı yapılmıştır.

Tezde geliştirilen rehber yöntem, mevcut binalar ve aktif yenilenebilir enerji sistemleri ile sınırlandırılmıştır. Bu yöntem, yeni bina tasarımlarına ve pasif yenilenebilir enerji sistemlerine de genişletilebilir.

Kılavuzun biçimlendiren temel kavramlar bina, yenilenebilir enerji, bütünleştirme, ve kılavuz kullanıcısı olmuştur. Ele alınan bu sabitler bağlamında ortaya konulan değişkenler birlikte süreci oluşturur. Yani, bina ile mevcut bina, bina enerji

sistemleri, bina enerji ihtiyaç profili; yenilenebilir enerji ile enerji potansiyeli, enerji dönüşüm sistemleri, yenilenebilir enerji üretimi; bütünleştirme ile fizibilite, uygulama senaryosu planlama; kılavuz kullanıcısının tercihleri ile tasarım yaklaşımı, uygulama hedefi, değerlendirme ve seçim değişkenlerini getirmektedir. Bu kavramsal yaklaşım çok aşamalı bir akış şemasıyla kullanılabilir bir kılavuz olarak geliştirilmiştir.

İstanbulda mevcut bir toplu konut mahallesindeki binada yenilenebilir enerji sistemleri ile enerji etkin iyileştirme uygulama çalışmaları yapılmıştır. Çalışılan yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji, hava ve toprak ısı enerjileridir. Uygulama senaryoları farklı yenilenebilir enerji dönüşüm teknolojileri, farklı enerji kullanım alanları, farklı ürünler/teknolojiler, farklı uygulama alanları ve hibrid senaryo seçeneklerinden oluşmaktadır. Uygulama çalışmalarının enerji hesapları EnergyPlus dinamik termal simülasyon motoru kullanan bir grafiksel arayüz yazılım aracı ile yapılmıştır.

Tezin hipotezinde öngörüldüğü gibi, binalarda yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli, kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek değerlendirilebilmekte ve konuma (yere) göre özgün yenilenebilir enerji sistemleri ile bütünleşik bina uygulamaları ortaya konulabilmektedir. Fosil kaynaklı yakıt/ enerji kullanan enerji sistemlerine sahip mevcut binaları, alternatif enerji sistemleri ile bütünleştirip, bu ısı yalıtımlı enerji korunumlu binaları yaklaşık sıfır enerjili binalara dönüştürmeyi hatta net enerji ihtiyacında sıfır enerjili bina ve ötesini yakalamayı başarmıştır. Çalışmanın sonuçları ise önemini göstermektedir.

Tezin sonucunda başta amaçlandığı gibi, yenilenebilir enerji sistemleriyle enerji etkin binalar oluşturulabilmektedir, bunun için kapsamlı ve sistematik yaygın kullanıma yönelik yol gösteren bir yöntem oluşturulmuştur.

Aşağıda uygulama çalışması süreci ve sonuçları genel olarak verildikten sonra uygulama çalışmasından elde edilen çeşitli çıkarımlar sunulmuştur.

Uygulama çalışması sürecinde 4 yenilenebilir enerji kaynağından yararlanılmış, 6 yenilenebilir enerji dönüşüm teknolojisi kullanılmış, 8 ana donanım ürünü tipi belirlenmiş, 10 tekil 2 hibrit olmak üzere 12 uygulama senaryosu kurgulanmıştır.

Uygulama çalışmasının sonucunda, 12 uygulama senaryosundan 6 tanesi NZEB kriterlerinde başarılar göstermiştir, bu senaryoların yenilenebilir enerji oranları

%123 ile %11 arasında değişmektedir. En başarılı performans gösteren düşey akslı rüzgar türbini uygulama senaryosu aynı zamanda farklı bir kategori olmakla beraber 'Enerji Artı Evler' yani tükettiğinden fazlasını üreten bina kategorisine girmektedir. Enerji kriterleriyle değerlendirme yapılan bu uygulama çalışmasındaki senaryolar ayrıca maliyet, çevresel etki vb. kriterlerle de değerlendirilip farklı kategorilerde farklı sıralamalara da ulaşılabilir.

Tezin kılavuz şeklindeki yönteminin algoritması ve işlemleri çok aşamalı bir akış diyagramı ile gösterilmiş sonrasında bu aşamalar teker teker detaylandırılarak açıklanmıştır.

Bu kılavuz yöntem kullanımı sonucunda kullanıcı hedefine yönelik uygulama senaryosu oluşturmayı sağlamıştır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji sistemleriyle bütünleşik bina senaryosu seçenekleri de üretebilmektedir. Seçenekler kullanıcıya seçim yapma esnekliği sunar. Ayrıca bina konum yönlenme ve yakın çevre özelliklerine göre özgün bütünleşme uygulamaları ortaya koyabilmiştir.

Uygulama çalışmasında, hem toplu konut genelinde uygulanmasını gerektiren yenilenebilir enerji senaryoları (bitkisel biyokütle yetiştiriciliği) hem de bir bina özelinde tasarlanıp uygulanabilen senaryolar hatta bina katları düzeyinde uygulanabilir yenilenebilir enerji senaryoları kurgulanabilmiştir. Bu örnek, kılavuzun farklı ölçeklerde kullanılabildiğini ve farklı mimari ölçekler arasında geçiş yapabildiğini göstermektedir.

Farklı potansiyel göstergeleriyle değerlendirilen farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını ve farklı yenilenebilir enerji teknolojilerini tek (ortak) süreç içinde birarada uyumlu değerlendirebilen bir yöntemdir. Bir veya birden fazla yenilenebilir enerji teknolojisiyle, binada farklı kullanım alanlarını besleyen mevcut durumla bütünleşebilen senaryo çıktıları verebilmektedir. Uygulama çalışmaları rehberin, bina (ve arsası) ile farklı düzeylerde (yapı kabuğunda, yapı içinde ve yapı dışında) bütünleşebilen yenilenebilir enerji donanımları ile uygulama senaryoları oluşturabildiğini göstermiştir.

Yöntemin, tek çeşit yenilenebilir enerji sistemiyle bir yenilenebilir enerji kaynağına yönelik uygulama senaryolarının yanında farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını dönüştüren teknolojileri birlikte kullanan hibrit senaryolar da türetebildiği başarılı sonuçlarla ortaya konulmuştur.

Kılavuzdaki aşama sayısının ve aşamaların alt aşamalarla ayrıca detaylandırılıp açıklanmasının etkileri uygulama çalışmasıyla ele alındığında sürecin bütünlüğünün olduğu ve akıcı ilerlediği yani bir aşamadan diğerine takılmadan geçildiği söylenebilir. Ayrıca süreç içerisindeki geri beslemelerin işlediği görülmüştür.

Kılavuzun özellikleri aşağıda verilmiştir.

- **Kapsamlı, bütünleştirici ve basitleştirici**

Yöntemin kapsamı geniştir ve bir akış şeması içinde tüm kapsamı bütünleştirmiştir. Tezin yöntemi, kullanıcıyı yenilenebilir enerji sistemleri ile bütünleşik bina hedefine ulaştırırken, kullanıcıya adım adım yapılacakları verip ve bunları da detaylı olarak açıklayarak bu kapsamlı süreci ve kullanımını basitleştirmektedir.

- **Kodlama, modülasyon özellikleri ile Analitik altyapı kurucu**

Bu süreçte, analitik bir yaklaşımla konumlar, donanımlar, senaryolar vb. kodlanarak çalışılmış, bu açıdan kılavuz bilimsel bir altyapıya oturtulmuştur. Örnek çalışmada görülmektedir ki, ürün konum vb. değişkenlerin seçenek sayıları arttıkça bunların kombinasyonları ve senaryo olasılıkları katlanarak artmaktadır. Tüm bu seçeneklerin süreç boyunca ele alınması gerekecektir. Özel adlandırma yerine kodlamanın kullanılması karmaşıklığın önüne geçerek sürecin hızlanmasını, bilimsel yaklaşımlarla kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

Binanın tekrar eden yüzeylerinin modüller şeklinde ele alınması yenilenebilir enerji ürün entegrasyonunun çok sayıda veya büyük yüzeylerde yapılmasının yerine daha küçük alanlarda ve az sayıda yapılmasını sağlar. Bu özellik kullanıcıya kolaylık ve hız sağlar, süreci kısaltır. Ayrıca yüzeylerin gruplandırılması, modüllerin konumlarına göre ortaya çıkan ihtiyaçlara göre gereken değişikliklerin binadaki entegrasyon tasarımının tamamını bozmadan sadece ilgili modül düzenlenerek binada kısmi olarak uygulama değişikliği yapılmasına olanak sağlar.

- **Yenilenebilir enerjinin doğasına uyumlu**

Yenilenebilir enerjinin mevcut enerji sorununa sürdürülebilir bir çözüm seçeneğidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmezliği, dünya genelinde bulunabilirliği, karbon içermemesi ve kirletici olmaması gibi avantajları vardır. Bunların yanında kesikli, değişken, düşük yoğunluklu ve coğrafyaya yayılı

olabilme gibi özellikleri ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları da vardır. Geliştirilen yöntem yenilenebilir enerjinin bu özelliklerini dikkate alarak senaryo planlamayı sağlar. Örneğin kılavuzdaki, depolama sistemleri, hibrid senaryolar, kurulu güç hesaplamanın yanında enerji üretim tahmin simülasyonları, maliyet ile değerlendirme gibi planlama seçenekleri bu olumsuzlukları gidermek için önlem almayı sağlar.

Kılavuzun yukarıda sıralanan bu özellikleri ile kullanıcı sistematik çalışmaya yönlendirilmektedir, bu sayede elde edilebilen çeşitli kazanımlar aşağıda verilmiştir.

Basitleştirici özellikleri ile amaca ulaşmada kolaylık sağlar.

Yöntem, kullanıcısının bina ve yenilenebilir enerjiyi kapsamlı ve analitik olarak ele almasını, bileşenlerinin birbirlerini etkiledikleri kesişimlerin işlerliğini çözerek ilerlemesini ve bu sayede planlı senaryolar kurgulayabilmesini sağlar.

Kılavuzun bu özellikleri kullanıcının aşamaları takip ederek bilinçli, öngörülü senaryolar planlayabilmesini ve sonuçta isabetli uygulama senaryosuna ulaşabilmesini sağlar. Bilinçli kurgulanan senaryolar anlamsız seçeneklerin oluşturacağı karmaşıklığın ve zaman kaybının önüne geçer, iş gücü kaybının önüne geçer.

Yani rehber senaryo oluştururken, enerji şebekesi, bina enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemleri arası ilişkileri planlamaya ve bina ile bütünleştirme tasarımını yapmaya yönlendirerek, yenilenebilir enerji sisteminin etkilediği sistemler bağlamında tutarlı senaryolar kurgulanmasını sağlamaktadır.

Tezde oluşturulan ve kullanıma sunulan bu özgün kılavuz yöntem, binalarda yenilenebilir kaynaklı enerji üretim ve kullanımı alanlarında çalışmak isteyen yaygın bir kullanıcı kitleye hitap eder.

Bu alanla ilgili tüm paydaşların kullanımına yönelik olan kılavuz aynı zamanda oluşturduğu ortak bir çalışma süreci etrafında paydaşları birleştiricidir. Enerji alanında uzman mimarlar, yenilenebilir enerji teknolojileri uygulayıcı firmalar, yenilenebilir enerji alanında çeşitli uzmanlar vb. kişiler tarafından kullanılabilir. Bu kılavuzu uygulamaya yönelik kullanabileceklerin yanında, eğitim amaçlı olarak örneğin mimarlık öğrencilerine, yenilenebilir enerjinin binalarla bütünleşmesinin yaygınlaşması için derslerde verilebilir.

Rehber, yerin (binanın) Y. E. potansiyelini değerlendirmek isteyen kullanıcılara, seçimleriyle, tasarımlarıyla estetik vb. mimari tasarım tercihlerini sürece katabilecekleri ve hedeflerine uygun Y. E. sistem seçimini yapıp binayla bütünleşmesini tasarlayabilecekleri kulanım esnekliği verir. Ayrıca, her aşama paketi tek başına da kullanılabilir.

Çalışmanın genel faydaları aşağıda sıralanmıştır.

Çalışma, Dünya ölçeğinde bakıldığında, temiz enerji kullanıp karbon emisyonlarını düşürerek küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele etmek; bina şebeke enerji ihtiyaçlarını düşürerek binaların enerji bağımlılığını azaltmak; yeşil bina, sürdürülebilir bina gibi sertifika sistemlerinin (BREEAM, LEED, vd.) yenilenebilir enerji üretimi bölümlerinden puan toplamak; Avrupa ölçeğinde EPBD direktifinin yaklaşık sıfır enerji binalar (NZEB) hedefini gerçekleştirmek ve yerel ölçekte BEP (binalarda enerji performansı) yönetmeliğini karşılamak, enerji kimlik belgesinde CO_2 salım sınıfını (SEG) yükseltmek ve yenilenebilir enerji kullanım oranını artırmak amaçlarıyla kullanılabilir.

Bu yöntemin kullanımı ile sağlanabilen faydalar Birleşmiş Milletler'in 'Erişilebilir ve Temiz Enerji', 'Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar', 'İklim Eylemi' sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemektedir.

Çalışmanın sonucunda, teknolojileriyle, ürünleriyle, Y. E. sistem boyutuyla ve fizibil konumlarda bina ile ürün bütünleştirmesiyle yenilenebilir enerji sistemini belirleyerek uygulama senaryoları kurgulanabilmesini sağlayan, uygulama sürecini kolaylaştıran özgün bir rehber oluşturulmuştur. Tezin yönteminin uygulanıp yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesiyle mevcut binalar iyileştirilerek enerji etkin binalar artırılabilir. Geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmesiyle binalara yenilenebilir enerji sistem entegrasyonu uygulamalarını artırıcı etki oluşturmaktadır. Kılavuzun tüm bu faydaları yenilenebilir enerjiyle enerji etkin bina artışına hız kazandıracak, yaygın ve kalıcı bir sistem oluşturacak potansiyele sahiptir.

KAYNAKÇA

[1] International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı), Enerji sistemi, Binalar, https://www.iea.org/reports/buildings (erişim tarihi 24.08.2024).

[2] United Nations (Birleşmiş Milletler). The Paris Agreement; 2015.

[3] M. Höök , X. Tang , Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review, Energy Policy 52 (Jan. 2013) 797–809.

[4] Energy performance of buildings directive', European Commission Energy, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (erişim tarihi 8.03.2023).

[5] F. Garde, J. Ayoub, L. Aelenei, D. Aelenei, and A. Scognamiglio, Solution sets for net zero energy buildings- feedback from 30 net ZEBs worldwide, Ernst/Wiley, 2015.

[6] X. Zhang, A. Wang, Z. Tian, Y. Li, S. Zhu, X. Shi, X. Jin, X. Zhou and S. Wei, 'Methodology for developing economically efficient strategies for net zero energy buildings: A case study of a prototype building in the Yangtze River Delta', Journal of Cleaner Production, vol. 320, 2021.

[7] A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano, 'Zero Energy Building – a review of definitions and calculation methodologies', Energy Build., vol. 43, no. 4, pp. 971–979, 2011.

[8] P. Moran, J. Goggins and M. Hajdukiewicz, 'Super-insulate or use renewable technology? Life cycle cost, energy and global warming potential analysis of nearly zero energy buildings (NZEB) in a temperate oceanic climate', Energy Build., vol. 139, pp. 590–607, 2017.

[9] J. Terés-Zubiaga, R. Bolliger, M. G. Almeida, R. Barbosa, J. Rose, K. E. Thomsen, E. Montero and R. Briones-Llorente, 'Cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables – Methodology assessment proposed in IEA EBC Annex 75 and a demonstration case study', Energy and Buildings, vol. 224, 2020.

[10] Olcay KINCAY, Zafer UTLU, Haluk AĞUSTOS, Uğur AKBULUT, Özgen AÇIKGÖZ, 'Combining trend of renewable energy sources', Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma 27, 60-82, 2009.

[11] Custódio, T. Quevedo, A. P. Melo and R. Rüther, 'A holistic approach for assessing architectural integration quality of solar photovoltaic rooftops and shading devices', Solar Energy, vol. 237, pp. 432–446, 2022.

[12] Ahmed, T. Ge, J. Peng, W.-C. Yan, B. T. Tee and S. You, 'Assessment of the renewable energy generation towards net-zero energy buildings: A review', Energy and Buildings, vol. 256, 2022.

[13] Y. Luo, L. Zhang, M. Bozlar, Z. Liu, H. Guo and F. Meggers, 'Active building envelope systems toward renewable and sustainable energy', Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 104, pp. 470-491, 2019.

[14] R. Rezaee, R. Vakilinezhad and J. Haymaker, 'Parametric framework for a feasibility study of zero-energy residential buildings for the design stage', Journal of Building Engineering, vol. 35, 2021.

[15] M. Grosso, 'Urban form and renewable energy potential', Renewable Energy, vol. 15, no. 1–4, pp. 331-336, 1998.

[16] J. Liu, M. Wang, J. Peng, X. Chen, S. Cao and H. Yang, 'Techno-economic design optimization of hybrid renewable energy applications for high-rise residential buildings', Energy Conversion and Management, vol. 213, 2020.

[17] F. Eze, J. Ogola, R. Kivindu, M. Egbo and C. Obi, 'Technical and economic feasibility assessment of hybrid renewable energy system at Kenyan institutional building: A case study', Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 51, 2022.

[18] Alawode and P. Rajagopalan, 'Feasibility of net zero energy high rise apartment buildings in Australia', Solar Energy, vol. 231, pp. 158-174, 2022.

[19] G. N. Gugul, M. A. Koksal and V. I. Ugursal, 'Techno-economical analysis of building envelope and renewable energy technology retrofits to single family homes', Energy for Sustainable Development, vol. 45, pp. 159-170, 2018.

[20] D. Groppi, L. de Santoli, F. Cumo and D. A. Garcia, 'A GIS-based model to assess buildings energy consumption and useable solar energy potential in urban areas', Sustainable Cities and Society, vol. 40, pp. 546-558, 2018.

[21] Y. Liang, Y. Ju, L. Martínez, P. Dong and A. Wang, 'A multi-granular linguistic distribution-based group decision making method for renewable energy technology selection', Applied Soft Computing, vol. 116, 2022.

[22] H. Karunathilake, K. Hewage, W. Mérida and R. Sadiq, 'Renewable energy selection for net-zero energy communities: Life cycle based decision making under uncertainty', Renewable Energy, vol. 130, pp. 558-573, 2019.

[23] H. K. ADAN and Ü. BAŞARAN FİLİK, 'Technical and economic evaluation of a standalone and on grid hybrid renewable energy: A case study at Eskişehir Technical University', Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, vol. 39, no. 2, pp. 184–194, 2021.

[24] D. Aloini, R. Dulmin, V. Mininno, M. Raugi, E. Schito, D. Testi, M. Tucci and P. Zerbino, 'A multi-objective methodology for evaluating the investment in building-integrated hybrid renewable energy systems', Journal of Cleaner Production, vol. 329, 2021.

[25] S. Park, Y. Jang and E. Kim, 'Multi-objective optimization for sizing multi-source renewable energy systems in the community center of a residential apartment complex', Energy Conversion and Management, vol. 244, 2021.

[26] H. Sobhani, F. Shahmoradi and B. Sajadi, 'Optimization of the renewable energy system for nearly zero energy buildings: A future-oriented approach', Energy Conversion and Management, vol. 224, 2020.

[27] C. Mokhtara, B. Negrou, N. Settou, B. Settou and M. M. Samy, 'Design optimization of off-grid Hybrid Renewable Energy Systems considering the effects of building energy performance and climate change: Case study of Algeria', Energy, vol. 219, 2021.

[28] Annex 75 project, Manuela Almeida (Operating Agent), 'Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency and Renewables', IEA-EBC Research Programme, 2017–2022.

[29] F. Zobaa and R.C. Bansal, Handbook of Renewable Energy Technology, World Scientific, 2011.

[30] F. Harkouss, F. Fardoun and P. H. Biwole, 'Optimal design of renewable energy solution sets for net zero energy buildings', Energy, vol. 179, pp. 1155-1175, 2019.

[31] H. Karunathilake, K. Hewage, J. Brinkerhoff and R. Sadiq, 'Optimal renewable energy supply choices for net-zero ready buildings: A life cycle thinking approach under uncertainty', Energy and Buildings, vol. 201, pp. 70-89, 2019.

[32] Annex 52 / Task 40 project, Josef Ayoub (Operating Agent), 'Towards Net Zero Energy Solar Buildings', IEA-EBC Research Programme, 2008–2014.

[33] A. Hassan and K. El-Rayes, 'Optimizing the integration of renewable energy in existing buildings', Energy and Buildings, vol. 238, 2021.

[34] M. M. Saad and M. T. Araji, 'Co-model for urban density permutations and building form optimization with high-performance energy criteria', Journal of Building Engineering, vol. 43, 2021.

[35] C. Hachem-Vermette and K. Singh, 'Optimization of energy resources in various building cluster archetypes', Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 157, 2022.

[36] Z. Huang, H. Yu, Z. Peng and M. Zhao, 'Methods and tools for community energy planning: a review', Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 42, no. 4800, pp. 1335–1348, 2015.

[37] h. hüseyin öztürk, 'yenilenebilir enerji kaynakları', birsen yayınevi, İstanbul, 2013.

[38] Aksa Jeneratör, Kojenerasyon-Trijenerasyon Sistemler, Kojenerasyon-Trijenerasyon, https://www.aksa.com.tr/tr-tr/kojenerasyon-trijenerasyon (erişim tarihi 24.08.2024).

[39] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 'Isı Pompası Kılavuzu', Enerji Hizmet Şirketleri (ESCOs), Enerji Etüt Firmaları ve ETKB Eğitmenlerinin Teknik Kapasitelerinin Güçlendirilmesine Yönelik Danışmanlık Hizmetleri, Kasım 2022.

[40] BPIE (Buildings Performance Institute Europe), 'Nearly Zero: A review of EU Member State implementation of new build requirements', 2021.

[41] C. Vezzoli, F. Ceschin, L. Osanjo, M. K. M'Rithaa, R. Moalosi, V. Nakazibwe and J. C. Diehl, 'Distributed/decentralised renewable energy systems', in Designing Sustainable Energy for All, Springer, 2018, pp. 23–39.

[42] Official Journal of the European Union, Commission Recommendation (EU) 2016/1318 of 29 July 2016 on guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are nearly zero-energy buildings

[43] Delia D'Agostino, Sofia Tsemekidi Tzeiranaki, Paolo Zangheri and Paolo Bertoldi, 'Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe', Energy Strategy Reviews, 36, 2021.

[44] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler GenelMüdürlüğü Enerji Verimliliği ve Tesisat Dairesi Başkanlığı, 'Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NSEB) için Rehber Kitap', Ankara, Kasım 2020

[45] Hirushie Karunathilake, Kasun Hewage, Walter Mérida and Rehan Sadiq, 'Renewable energy selection for net-zero energy communities: Life cycle based decision making under uncertainty', Renewable Energy, vol. 130, pp. 558-573, 2019.

[46]. W. Feist and et al., 'Passive house planning package 2007, Requirements for Quality Approved Passive Houses', Technical Information PHI-2007/1 (E), Darmstadt, Passivhaus Institut.

[47] Wolfgang Feist, 'Life-Cycle Energy Analysis: Comparison Of Low-Energy House, Passive House, Self-Sufficient House', 1997.

[48] TSE (Türk Standardları Enstitüsü), Türk Standardı, TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Ankara, 2008.

[49] C. Özkılıç Keleş, 'Türkiye'de binalarda enerji verimliliği açısından fotovoltaik sistemlerin kullanılmasına yönelik bir inceleme', Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.

[50] 'Official Statistics', Turkish State Meteorological Service Official Statistics, https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A (erişim tarihi 5.05.2019).

[51] VIESMANN, VITOSOL, planlama kılavuzu, Viessmann Isı Teknikleri Ticaret A.Ş., İstanbul.

[52] Shell Solar, Photovoltaic Products 2002, Revised 2nd Edition, Royal Dutch/Shell Group of Companies, Amsterdam, The Netherlands.

[53] Wuxi Best New Energy Technology Co., Ltd., Ticaret Şirketi, '50kW 220V Düşey 50000W Ev Enerji Sistemi için Şebekede veya Şebeke Dışı Rüzgar Türbini Rüzgar Jeneratörü', https://bestnewenergy.en.made-in-china.com/product/hJTUmBDoqzVu/China-5kw-220V-Vertical-5000W-Wind-Turbine-for-Home-Energy-System-on-Grid-or-off-Grid-Wind-Generator.html (erişim tarihi 31.08.2024)

[54] The Dachs, Technical Data-Dachs, Senertec, Almanya.

[55] BAXI-SenerTec UK, DACHS Mini-CHP, Carbon Saving Microgeneration Technology, Birmingham.

[56] ClimateMaster, Tranquility (TMW) Water to Water Series, Models TMW036-840 60Hz-HFC-410A, Oklahoma City.

[57] ClimateMaster, Tranquility Water To Water (TMW) Series, Submittal Data, Models TMW036-340 60Hz-HFC-410A, Oklahoma City, 2023.

[58] ClimateMaster, Tranquility Modular Water-to-Water (TMW) Series, Commercial EarthPure Water-Source Heat Pumps 60Hz, Installation, Operation & Maintenance, Oklahoma City, 2023.

[59] Viessmann, hava/su ısı pompası, vitocal 200-S, ısıtma sistemleri, Viessmann Isı Teknikleri Ticaret A.Ş., İstanbul, 2018.

[60] Viessmann, Vitocal 200-S, datenblatt, Typ AWB(-M)-E-AC 201.D, Allendorf, 2023.

[61] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, İstanbul, https://repa.enerji.gov.tr/REPA/, (erişim tarihi 31.08.2024).

[62] T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Proje ve Yatırım Yönetimi Daire Başkanlığı Tarımsal Yatırımcı Danışma Ofisi, İstanbul Tarimsal Yatirim Rehberi, 2020.

[63] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye BEPA (Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası), https://bepa.enerji.gov.tr/, (erişim tarihi 31.08.2024).

[64] Shell Solar, Product Information Sheets (Shell ST40-Shell SP70-Shell S105 Photovoltaic Solar Module), Royal Dutch/Shell Group of Companies, Amsterdam, The Netherlands.

[65] TC Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Chouseın Gıousouf, 'Bina Monte ve Bina Entegre Rüzgar Türbinlerinin Mimari Kütledeki Konumlarının İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2021.

[66] NREL (the National Renewable Energy Laboratory), 'Portfolio Analysis of Renewable Energy Opportunities (Preprint)', A Technical Paper, SCTE/ISBE, Philadelphia, September 26–29, 2016.

[67] A. Horuz, Ahmet Korkmaz ve Güney Akınoğlu, 'Biyoyakıt Bitkileri ve Teknolojisi', Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 3 (2), 69 – 81, 2015.

[68] Viessmann, Viessmann ısı pompası: Bir bakışta tüm bilgiler, Türleri, hava kaynaklı ısı pompaları, https://www.viessmann.com.tr/tr/bilgi/teknoloji-ve-sistemler/isi-pompalari.html, (erişim tarihi 31.08.2024).

[69] Shell Solar, Installation Guide for Shell Solar Photovoltaic Modules, First Edition, 2003.

[70] Viessmann, Solar termal sistem - verimli ve ekonomik ısıtma, Uygulama seçenekleri, https://www.viessmann.com.tr/tr/bilgi/teknoloji-ve-sistemler/solar-termal-sistem.html, (erişim tarihi 31.08.2024).

[71] ClimateMaster, Geothermal Heat Pump Applications, Vertical Loops, https://www.climatemaster.com/commercial/applications/geothermal-applications, (erişim tarihi 31.08.2024).

[72] Viessmann, Hava Kaynaklı Isı Pompaları Hakkında Her Şey, https://www.viessmann.com.tr/tr/bilgi/ipuclari-ve-tuyolar/hava-kaynakli-isi-pompalari-hakkinda-her-sey.html, (erişim tarihi 31.08.2024).

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. A. U. Göksu ve G. Zorer Gedik, "Mevcut Konut Binalarının Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ile İyileştirmesinde Kullanılabilecek Bir Yöntem: İstanbul'da Bir Konut Örneği", Cumhuriyetin 100. Yılında yıldız'da konut araştırmaları sempozyumu bildiri kitabı, İstanbul, 25 Ekim, 2023.

Makaleler

1. A. U. Göksu ve G. Zorer Gedik, "Renewable Energy Guide for Renovation of Existing Residential Buildings: Feasible Architectural Integration of Active Solar Energy Systems," Civil Engineering and Architecture, cilt.11, sa.5, ss.2644-2664, 2023