

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**BEP-TR, PASSIVHAUS VE ENERGYSTAR  
HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammed Fatih KINACI**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice SÖZER**

**EKİM 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**BEP-TR, PASSIVHAUS VE ENERGYSTAR  
HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammed Fatih KINACI  
(301071044)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice SÖZER**

**EKİM 2015**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301071044 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Muhammed Fatih KINACI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BEP-TR, PASSIVHAUS VE ENERJİ STAR HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Hatice SÖZER**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Gülay GEDİK ZORER**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **22 Mayıs 2015**

**Savunma Tarihi :**      **12 Ekim 2015**



*Herşeyden kıymetli babam, annem, sevgili eşim Özlem ve kızım Hatice Sare'ye,*





## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmalarım süresince desteklerini benden esirgemeyen ve büyük emeği geçen değerli tez danışmanım sayın Doç.Dr. Hatice SÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince idari anlamda destek olan amirlerime ve mesai arkadaşlarıma, teknik anlamda destek olan meslektaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Her zaman olduğu gibi bu süreçte de her türlü desteği veren, sabır ve anlayışıyla yanımda olan sevgili eşim Özlem KINACI'ya, bu süreçte ilgilenemediğim kızım Hatice Sare'ye; bugünlere gelmemde büyük emekleri olan babam İdris KINACI ve annem Saniye KINACI'ya ve değerli aileme sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ekim 2015

Muhammed Fatih KINACI  
(Makine Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Mevcut Durum Değerlendirmesi.....	2
1.1.1. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde binalarda enerji verimliliği süreci ve yaptırımlar.....	2
1.1.2. Türkiye’de binalarda enerji verimliliği süreci ve yaptırımlar.....	3
1.2. Literatür Araştırması .....	5
<b>2. SERTİFİKA PROGRAMLARININ İNCELENMESİ VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ .....</b>	<b>11</b>
2.1. Binalarda Enerji Performansının (BEP-TR) Genel Tanıtımı .....	11
2.1.1. BEP-TR’de faydalanılan dökümanlar.....	13
2.1.2. BEP-TR’de net enerji ihtiyacının hesaplanması.....	14
2.1.3. BEP-TR programının kullanım profili.....	34
2.1.4. BEP-TR enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller....	39
2.2. PASSIVHAUS Genel Tanıtımı.....	41
2.2.1. Passivhaus enerji standardı .....	44
2.2.2. Passivhaus standart parametreleri .....	46
2.2.3. Passivhaus’da enerji verimliliğinin hesaplanması .....	58
2.2.4. Passivhaus planlama paketi .....	60
2.2.5. Pasif ev planlama programının (PHPP) kullanım profili.....	62
2.2.6. Farklı iklim bölgelerinde Passivhaus.....	66
2.2.7. Passivhaus enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller	66
2.3. ENERGYSTAR Genel Tanıtımı .....	67
2.3.1. Energystar standart parametreleri .....	72
2.3.2. Energystar enerji verimliliği hesabı ve referans bina tasarımı .....	82
2.3.3. Energystar, e-QUEST programının kullanım profili .....	83
2.3.4. Energystar enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller	85
<b>3. ÖRNEK BİNA ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMALI ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ .....</b>	<b>89</b>
3.1. Örnek Binanın Tanıtımı .....	89
3.2. Örnek Binanın BEP-TR Enerji Performansı Analizi .....	94
3.3. Örnek Binanın PASSIVHAUS Enerji Performansı Analizi .....	101
3.4. Örnek Binanın ENERGYSTAR Enerji Performansı Analizi.....	107
<b>4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>115</b>

4.1. BEP-TR, PASSIVHAUS ve ENERGYSTAR Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	116
4.2. Örnek Binanın BEP-TR, PHPP ve e-QUEST Programlarına Göre Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	126
4.2.1. BEP-TR programı sonuçları .....	128
4.2.2. PHPP programı sonuçları.....	129
4.2.3. e-QUEST programı sonuçları .....	130
4.2.4. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması .....	130
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>135</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>139</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>149</b>

## **KISALTMALAR**

<b>ASHRAE</b>	: American Society of Heating, Refrigeration and Air-coditioning
<b>BEP</b>	: Binalarda Enerji Performansı
<b>DIN</b>	: Deutsche Industrial Norme
<b>DOE</b>	: U.S. Department of Energy
<b>HUD</b>	: U.S. Department of Housing and Urban Development
<b>EKB</b>	: Enerji Kimlik Belgesi
<b>EN</b>	: European Norm
<b>EPA</b>	: The U.S. Environmental Protection Agency
<b>EPDB</b>	: European Energy Performance of Buildings Directive
<b>HERS</b>	: Homes Energy Rating Programme
<b>HVAC</b>	: Heating Vantilating and Air-coditioning
<b>IECC</b>	: The International Energy Conservation Code
<b>ISO</b>	: International Organization of Standardization
<b>MERV</b>	: Minimum Efficiency Reporting Value
<b>PH</b>	: Passivhaus
<b>PHI</b>	: Passivhaus Institute
<b>PHPP</b>	: Passivhaus Planning Package
<b>RC</b>	: Resistance Capacitance
<b>RESNET</b>	: The Residential Energy Services Network
<b>SHGC</b>	: Solar Heat Gain Coefficient



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Atıf yapılan ve yararlanılan standart ve dökümanlar [20].....	14
Çizelge 2.2 : BEP-TR ısııl zonları [23].....	18
Çizelge 2.3 : Yapı elemanları için tavsiye edilen yüzey ısııl direnç katsayıları [20].	20
Çizelge 2.4 : Yapı malzemeleri arasındaki hava için ısııl direnç katsayıları [20].	21
Çizelge 2.5 : Isı geçiş hesapları için yapı bileşenlerinin oluşturduğu ısııl köprüleri [20].	22
Çizelge 2.6 : Saydam bileşen çerçevelerinin ısııl geçirgenlik katsayısı [20].....	23
Çizelge 2.7 : Çerçeve ve cam özelliklerine bağlı saydam bileşen U-değerleri (kısmi) [20].	23
Çizelge 2.8 : Hava tabakalarının ısııl iletkenlik direnci hesap değerleri [20].....	24
Çizelge 2.9 : Kapı bileşenleri için ısııl geçirgenlik katsayısı [20].	25
Çizelge 2.10 : İllere göre maksimum ısııl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) [24].	26
Çizelge 2.11 : Temel sızdırma değerleri ve eklenecek değerler (EN13465) [20].	27
Çizelge 2.12 : Hava sızdırmazlık seviyeleri [20].....	27
Çizelge 2.13 : Doğal havalandırma hava değişim sayısı, ofis ve diğer binalar ( $n - h^{-1}$ ) [20].	27
Çizelge 2.14 : Konutlarda doğal havalandırma hava değişim katsayısı [20].	28
Çizelge 2.15 : Isı üreteçleri için düzeltme faktörü değerleri [20].....	32
Çizelge 2.16 : BEP-TR’de enerji performans göstergesi aralığı [25].....	39
Çizelge 2.17 : Bazı bina malzemelerinin ısııl iletkenlik hesap değerleri [34].....	48
Çizelge 2.18 : EN ISO 6946’ya göre yüzey ısııl iletkenlik direnci [34].....	49
Çizelge 2.19 : Bazı yapı elemanlarında $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ısııl geçirgenlik katsayısını sağlamak için gereken malzeme kalınlığı [29].....	50
Çizelge 2.20 : Passivhaus tipik konut pencereleri ısııl geçirgenlik katsayıları[30].	51
Çizelge 2.21 : Pencere için DOE U-değeri ve SHGC sınır şartları [42].....	75
Çizelge 2.22 : Kapılar için DOE U-değeri ve SHGC sınır şartları [42].	75
Çizelge 3.1 : Araştırma metodu.	93
Çizelge 3.2 : Dış duvar’a ait bileşenlerin boyutları ve ısııl değerleri.	93
Çizelge 3.3 : Döşeme’ye ait bileşenlerin boyutları ve ısııl değerleri.	94
Çizelge 3.4 : Örnek binanın BEP-TR’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.	100
Çizelge 3.5 : Örnek binanın PHPP’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.	107
Çizelge 3.6 : Referans binanın PHPP’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.	107
Çizelge 3.7 : Örnek binanın e-QUEST’te hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.	113
Çizelge 3.8 : Referans binanın e-QUEST’te hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.	113
Çizelge 4.1 : Hesaplama yöntemleri karşılaştırma çizelgesi.	116
Çizelge 4.2 : Hesaplama yöntemlerindeki bina kabuğu ile ilgili yapısal ve geometrik bilgilere ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.	119

<b>Çizelge 4.3</b> : Hesaplama yöntemlerindeki elektrik yüklerine ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.....	120
<b>Çizelge 4.4</b> : Hesaplama yöntemlerindeki iç ısı kazançlarına ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.....	121
<b>Çizelge 4.5</b> : Hesaplama yöntemlerindeki mekanik sistemlere (HVAC) ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi. ....	123
<b>Çizelge 4.6</b> : Hesaplama yöntemlerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarına ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi. ....	124
<b>Çizelge 4.7</b> : Enerji hesaplama yöntemlerinin hesap sonuçlarının karşılaştırılması. ....	125
<b>Çizelge 4.8</b> : Sertifika programlarında uygulanan doğrulama yöntemlerine ait karşılaştırma çizelgesi.....	125
<b>Çizelge 4.9</b> : Mekanik sistemlere ait yardımcı elektrik yüklerinin etkisinin karşılaştırılması.....	126
<b>Çizelge 4.10</b> : BEP-TR’de hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri. ....	129
<b>Çizelge 4.11</b> : PHPP’de hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri. ....	129
<b>Çizelge 4.12</b> : e-QUEST yazılımında hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri....	130
<b>Çizelge 4.13</b> : Hesaplanan performans göstergeleri. ....	130



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Bina Enerji Performansı hesaplama yöntemi şeması [23].....	13
Şekil 2.2 : Direnç-Kapasite Modeli [20].....	15
Şekil 2.3 : Bina Performansını etkileyen BEP-TR veri girdileri [23].....	17
Şekil 2.4 : Isı geçiş hesapları için ısı şartları farklı zonları ayıran bileşenlerin tanımlanması [20].....	21
Şekil 2.5 : Balkonlar için ısı köprüsü tipleri (Ek2-BEP-Isı köprüleri). ....	22
Şekil 2.6 : Derece gün bölgelerine göre illerimiz [24]. ....	25
Şekil 2.7 : BEP-TR veri akış şeması.....	36
Şekil 2.8 : Fridtjof Nansen'in kutup gemisi [29].....	41
Şekil 2.9 : Güney Çinde bulunan geleneksel Passivhaus [29].....	42
Şekil 2.10 : Darmstadt-Kranichstein'deki Passivhaus'un güney cephesi [29]. ....	42
Şekil 2.11 : Isıtma Enerjisi karşılaştırması [29]. ....	43
Şekil 2.12 : Pasif evi beş temel prensibi [29]. ....	46
Şekil 2.13 : Passivhaus dış duvar ısı yalıtım kesiti [29]. ....	47
Şekil 2.14 : Passivhaus dış duvar çeşitleri [29]. ....	49
Şekil 2.15 : Yalıtımlı ve yalıtımsız ayıraçlı pencereler ve 68mm ahşap çerçeveli pencerenin "IV68" izotermal diyagramı ve yüzey sıcaklıkları [34]. ....	52
Şekil 2.16 : Pasif evler için uygun kurulumlar-kavram çizimler [34,36].....	52
Şekil 2.17 : Pencere ısı geçirgenlik katsayısı hesabında kullanılan parametrelerin yerlerinin gösterimi [34].....	53
Şekil 2.18 : Pasif ev ısı köprüsü noktaları. ....	56
Şekil 2.19 : Pasif ev ısı köprüsü bağlantısı [29].....	57
Şekil 2.20 : Isı köprüsü-ısı iletkenlik korelasyon diyagramı [29]. ....	58
Şekil 2.21 : Pasif ev planlama programı (PHPP) tarafından belirlenen enerji performansı ile düşük enerjili evlerin enerji performansının karşılaştırılması [30].....	60
Şekil 2.22 : Pasif ev planlama paketi – PHPP [29].....	61
Şekil 2.23 : Pasif ev planlama paketi (PHPP) veri akış şeması. ....	63
Şekil 2.24 : Energystar standardı uygulama takvimi [42]. ....	70
Şekil 2.25 : Energystar standardı gelişim grafiği [42]. ....	70
Şekil 2.26 : Amerika ulusal program göstergesi-energystar sertifikalı evler [42].....	71
Şekil 2.27 : DOE Amerika iklim zonları haritası [42].....	74
Şekil 2.28 : Pencere ve kapılar için standart sınır koşulları (föyden kısmi alıntı) [47]. ....	75
Şekil 2.29 : Standart eki HVAC sistemi kalite kurulum denetçi kontrol listesi [48].	78
Şekil 2.30 : Standart eki HVAC sistemi kalite kurulum yüklenici kontrol listesi [48]. ....	78
Şekil 2.31 : Isıtma ve soğutma sistemleri için standartı sınır koşulları [47]. ....	80
Şekil 2.32 : Sıcak Su, Termostat, Aydınlatma için standartdaki sınır koşulları [47].	81
Şekil 2.33 : e-QUEST veri akış şeması. ....	84
Şekil 3.1 : Örnek bina zemin kat planı. ....	90

Şekil 3.2 : Örnek bina normal kat planı. ....	91
Şekil 3.3 : Örnek bina 3. normal kat planı. ....	91
Şekil 3.4 : Örnek bina kesit ve görünüşü. ....	92
Şekil 3.5 : BEP-TR proje bilgi giriş ekranı. ....	94
Şekil 3.6 : BEP-TR genel bilgiler ekranı. ....	95
Şekil 3.7 : BEP-TR’de duvarlar için oluşturulmuş opak malzeme kütüphanesi. ....	96
Şekil 3.8 : BEP-TR ısı köprüsü seçimi. ....	96
Şekil 3.9 : BEP-TR oda pencereleri veri ekranı. ....	97
Şekil 3.10 : BEP-TR’de enerji performansı hesaplanan binanın görüntüsü. ....	98
Şekil 3.11 : BEP-TR ısıtma sistemleri veri giriş ekranı. ....	99
Şekil 3.12 : BEP-TR soğutma sistemleri veri giriş ekranı. ....	99
Şekil 3.13 : BEP-TR aydınlatma elemanları veri giriş ekranı. ....	100
Şekil 3.14 : PHPP iklim bilgileri giriş ekranı. ....	102
Şekil 3.15 : PHPP bina kabuğu alan verileri ekranı. ....	103
Şekil 3.16 : PHPP pencere U-değeri, güneş kazançları ve transmisyon kayıpları hesap ekranı. ....	104
Şekil 3.17 : PHPP yapı elemanları U-değeri hesap ekranı. ....	105
Şekil 3.18 : PHPP havalandırma kısmi hesap ekranı. ....	105
Şekil 3.19 : Passivhaus standardı PHPP doğrulama ekranı. ....	106
Şekil 3.20 : e-QUEST genel bilgiler ekranı. ....	108
Şekil 3.21 : e-QUEST simülasyon programı ana ekranı. ....	108
Şekil 3.22 : e-QUEST’te zon oluşturma ve bina karakteristiğinin belirlenmesi. ....	109
Şekil 3.23 : e-QUEST bina genel bilgileri ekranı. ....	110
Şekil 3.24 : e-QUEST bina kullanım bilgileri ekranı. ....	111
Şekil 3.25 : e-QUEST aydınlatma değerleri veri giriş ekranı. ....	111
Şekil 3.26 : e-QUEST sızdırmazlık değerleri veri giriş ekranı. ....	112
Şekil 3.27 : e-QUEST ısıtma, soğutma ve sıhhi sıcak sistemi tanımlama ve veri giriş ekranı. ....	112
Şekil 3.28 : e-QUEST, HVAC tanımlama ve veri giriş ekranı. ....	113
Şekil 4.1 : HERS indeksi enerji performans göstergesi, $E_p$ . ....	128
Şekil 4.2 : Sonuçların HERS indeksindeki yeri. ....	131
Şekil A.1 : Pasif evlere uygun pencereler için ısı köprüsü yaklaşık ısı kayıp katsayıları ve kurulum örnekleri. ....	140
Şekil B.1 : Asıl Bina PHPP yıllık enerji tüketim raporu. ....	141
Şekil B.2 : Referans Bina PHPP yıllık enerji tüketim raporu. ....	142
Şekil B.3 : Asıl Bina e-QUEST yıllık enerji tüketim raporu. ....	143
Şekil B.4 : Referans Bina e-QUEST yıllık enerji tüketim raporu. ....	144
Şekil C.1 : BEP-TR bina enerji sertifikası. ....	145
Şekil C.2 : ENERGYSTAR bina enerji sertifikası. ....	146
Şekil C.3 : PASSIVHAUS bina enerji sertifikası. ....	147

## **BEP-TR, PASSIVHAUS VE ENERJİ STAR HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Son yıllarda enerji kaynakları rezervindeki azalma araştırmacıları ve politikacıları yeni enerji kaynaklarının tespiti hususunda araştırmaya sevk etmiştir. Dünyadaki binalar nihai enerji tüketiminin % 40'ını oluşturmaktadır. Şaşırtıcı şekilde yüksek olan bu tüketimin sonucunda ortaya çıkan karbon ayak izi, ulaşım araçlarının tamamında ortaya çıkan miktardan belirgin bir şekilde fazladır. Binaların enerji tüketimini diğer sektörlere kıyasla daha düşük maliyetler ve daha yüksek getiriler ile azaltmayı sağlayan büyük ve cazip fırsatlar söz konusudur. Dünya üzerindeki insan sayısı ve bu insanların kullanım alışkanlıkları göz önünde bulundurulduğunda binalarda ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su gibi temel ihtiyaçlar için tüketilen yüksek seviyelerde enerjiye ihtiyaç vardır. Bundan dolayı, yapı sektöründe enerji tüketiminin ve enerji ihtiyacının düşürülmesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, özellikle yapıların inşa aşamasında ortaya çıkacak olan imalat hatalarının minimize edilmesi öngörülmekte ve engellenemeyen insan alışkanlıklarına karşı yapılarda ve yapı elemanlarında iyileştirme yoluna gidilmektedir. Bu konuda ulusal yada uluslar arası birçok kanun, yönetmelik ve standartlar yayınlanmış birçok simülasyon programı geliştirilmiştir.

Bu alanda Türkiye'de kullanılan BEP-TR, Amerika'da kullanılan Energystar ve Almanya'da kullanılan Passivhaus hesaplama yöntemleri ele alınarak karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca BEP-TR, Passivhaus, Energystar hesaplama yöntemleri kullanılarak binanın yıllık ısıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma enerji tüketim miktarları örnek bir bina üzerinde hesaplanmaktadır.

Bu tezde, bir örnek bina üzerinden üç ayrı sertifika programı incelenmiş hesaplama yöntemleri ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında, öncelikle zemin kat, üç normal kat ve çatısı bulunan bir bina için örnek bir çalışma tanımlanmaktadır. Farklı bölgelerdeki benzer iklim koşullarında yer alan örnek bina, yapı elemanları değiştirilmeden üç enerji standardına göre analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda çıkan sonuçlar enerji hesaplama yöntemlerindeki ve hesaplama programlarındaki farklılıklar açısından değerlendirilmiştir. Sonuçları hesaplamak için BEP-TR, PHPP ve e-QUEST enerji hesaplama programları kullanılmıştır.

Programlardaki farklılıklar her hesaplama yönteminin bağlı bulunduğu ülkedeki kanun, standart ve yönetmeliklerden kaynaklandığı gibi her hesaplama yönteminin kabul edilebilir standart değerleri de farklıdır. Bu farklılıklar ve bunların enerji performans değerlendirmesine etkisini göstermek bu tezde amaçlanmıştır.



## **COMPARISON OF THE CALCULATION METHODS BEP-TR, PASSIVHAUS AND ENERGY STAR**

### **SUMMARY**

Reduction in the reserve sources of energy in recent years has led researchers and politicians to investigate the issue of identification of new sources of energy. Building in the World constitutes 40% of ultimate energy consumption. Carbon footprint that result from the consumption that is surprisingly high is significantly more than the amount that emerged in all transportation vehicles. Compared to other sectors, there are large and attractive opportunities which reduce the energy consumption of buildings with lower costs and higher returns. Considering the number of people on the world and the usage habits of these people, we need implacable source of energy in the building, which is consumed for basic needs such as heating, cooling, lighting and hot water supply. For this reason, many research studies have been done on the reduction of energy consumption and energy needs in the building sector. These studies focused on especially on the reducing energy consumption of building using design techniques and energy simulation programs such as PHPP, e-QUEST and BEP-TR and on the minimizing construction mistakes that happened during the building process and on the improving the quality of building materials. In this regard, several national or international laws, regulations and standards are published and many simulation programs have been developed. These simulation programs can also determine the consumption level of energy for any buildings.

With these concerns, a comparative study was conducted by handling the programs of BEP-TR used in Turkey, Passivhaus used in Germany and Energystar used in USA. In this thesis, the amount of the annual energy consumption of building for heating, cooling, lighting and hot water is calculated on a case study with using BEP-TR, Passivhaus and Energystar calculation methods.

In the thesis, we first describe a case study for a building that has one ground floor, three floors and roof. This building is located in a similar climatic conditions in different regions is analyzed according to three energy certificate standards without making any changes on the building physics and materials. We use BEP-TR, PHPP and e-Quest energy simulation programs in order to calculate the results. The analysis results are compared with respect to the different aspects of energy calculation methods and simulation programs.

Within the scope of this thesis, three separate certificate program examined via a case study and then calculation methods and the results were compared.

Similarities and differences in the calculation methods were investigated in detail at section 4.1. Three programs which have the same basic logic show some differences in the detail. A few of the most important of these differences are summarized below:

- Electrical home appliances that are caused internal heat gain which has the effect on the building's heating and cooling energy consumption considered

in the calculation of PHPP and e-QUEST computer programs by making specific data entries. But in BEP-TR programs there is no specific data entry for electrical home appliances.

- The user profile is not considered in BEP-TR and Passivhaus calculation methods. It is mentioned in BEP-TR program, but there is no information about determination methods. Also specific data couldn't be entered into the program.

In order to compare the final analysis results in three programs, HERS-Home Energy Rating system is explained in section 4.2.

As described in Section 4.2, the annual energy demand and energy performance value of a sample building was calculated with three different calculation methods. For both the main and the reference building, the calculations were made based on regions which have similar climate characteristics and the same building features (unchanged building elements and geometric features). A design and project value of building was based on the calculation of the annual energy demand of the main building. The minimum requirement values of national laws, regulations and standards were used for the calculation of the annual energy demand of the reference building.

As a result of this analysis which will be made in accordance with national laws and standards in their region, the energy calculation methods in three different regions which is close to each other in terms of climate characteristics, it was targeted evaluating the differences of calculation methods and the compared the differences may occur due to the national law, regulations and standards.

Calculation methods were studied in Section 2 in detail. In this thesis; BEP-TR, PASSIVHAUS, ENERGYSTAR calculation methods were compared with results of a case study. In order to compare these methods, we use their own tools that calculate energy performance. BEP-TR is used for BEP-TR, PHPP is used for PASSIVHAUS and e-QUEST is used for ENERGYSTAR calculation methods.

In order to determine the required energy for a building, the data of the building for entering into each calculation tool is divided into seven main topics. These are:

- Entering structural and geometric information about the building envelope
- Determination of electrical load
- Calculations of internal heat gains
- Entering information of mechanical system
- The use of renewable energy sources
- Evaluation of energy performance results
- Performing validation (testing)

The methods of entering inputs and data requirements of the programs are given in Table 4.1- 4. In addition, three programs were compared using analysis of building energy classification system which is HERS index of energy performance indicator. As described in detail in the third section a main building and a reference building are created for each building. Then, the same calculation method has been run for both cases and the annual energy consumptions are provided accordingly.

As the differences in programs is based on each calculation methods which are connected the country's laws, standards and regulations, acceptable standard values of each calculation methods is also different. In this thesis aimed to show these differences and the effects of these differences on the energy performance assessments.





## 1. GİRİŞ

Genel anlamda enerji, hayatın alıştığımız konfor koşullarında devamını sağlayan, insanların ısınma, barınma ve ulaşım gibi günlük aktivitelerine ve ihtiyaçlarına cevap veren bir araçtır.

Binalarda enerji performansı ise binanın fonksiyonuna bağlı olarak ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi standart ihtiyaçları karşılamak için yeni binalarda ve mevcut binalarda ölçülen enerji miktarı şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Enerji Sertifikası ise bir binanın ısıtma, soğutma, sıcak su tesisatı, elektrik, havalandırma ve iklimlendirme ile ilgili özel ısıl enerji tüketimi hakkında bilgi içeren bir belgedir [1].

Enerji sertifikasyon prosedürleri bir enerji sertifikası üretilmesini sağlar. Enerji sertifikası devlet tarafından görevlendirilmiş tüzel kişiler tarafından tanımlanmiş binaların enerji performansını içeren bir dokümandır. Enerji sınıflandırılması hesaplanmış yıllık özgül enerji tüketimi (kWh/m<sup>2</sup>.yıl) değerine göre A-G arasında sınıflandırılarak binanın belirtilen enerji sınıflandırmasının anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır [1]. Metrik ölçümlerle yüksek seviyelerde olacak binalar, enerji performansının minimum seviyelerde olduğu bir avantaj elde etmek için gerçekleştirilen enerji performansı gereksinimini karşılamalıdır.

Binaların enerji performans seviyelerini göstermek için, bina tarafından yıllık kullanılan ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıhhi sıcak su gibi net enerji yükünün esas alındığı bir enerji değerlendirmesine ihtiyaç vardır.

Bu bağlamda dünya genelinde hızlı tüketilen enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması ve mevcut enerji kaynaklarında payı yüksek olan fosil yakıtlarının kullanımı ile artan sera gazı etkisinin düşürülmesi için enerji verimliliği ve tasarruf çalışmaları üzerinde durulmaktadır.

Sektörel bazda ciddi paya sahip olan ve enerji ihtiyacı ve giderleri yüksek olan konutlarda enerji verimliliği ve tasarrufu çalışmaları özellikle son yıllarda ivme kazanmıştır. Bu hususta ilk adım 1999 yılında Kyoto protokolü ile atılmıştır.

Bu hususta Avrupa’da ve ülkemizde son yıllarda ciddi çalışmalar yapılmıştır. Binaların enerji tüketim değerlerini belirleyebilmek ve kayıt altına almak için Türkiye’de web tabanlı bir program aracılığıyla binalarda enerji performansının belirlendiği enerji sertifikasyon sistemine geçilmiştir.

## **1.1. Mevcut Durum Değerlendirmesi**

### **1.1.1. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde binalarda enerji verimliliği süreci ve yaptırımlar**

Binalarda Enerji performansı ile ilgili Avrupa komisyonunun Kasım 2000’de yayınladığı “Avrupa Enerji Kaynaklarına ait Strateji” başlıklı Yeşil bildirisinde aşağıda sıralanmış olan üç madde ön plana çıkmaktadır;

- Avrupa Birliği üye ülkelerinin dış enerji kaynaklarına bağımlılığı giderek artmaktadır ve genişleme süreci de bu durumu güçlendirmektedir. Eğer önlem alınmaz ise, 2030 yılında dışa bağımlılık %70'lere varacaktır.
- Bugün, Avrupa Birliğinde sera gazı emisyonu artış eğilimindedir. Sera gazı etkisi sonucu oluşan iklim değişimine karşı geliştirilen tavır Kyoto Protokol’ü taahhütleri ile çelişmektedir.
- Avrupa Birliği, enerji kaynaklarına ait mevcut koşulları değiştirmek için sınırlı bir alana sahiptir. Talep açısından bakıldığında, Avrupa Birliği’nin, özellikle binalarda ve ulaşım sektöründe enerji tasarrufunu arttırmak için müdahalede bulunması şarttır [2].

Bu üç madde enerji kullanımında mümkün olan her alanda enerji tasarrufunun yapılması hususunda yaptırımların getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca komisyonda yapılan değerlendirmeler tasarruf zorunluluğu için yeterli gerekçe olmaktadır. Konut ve endüstri binaları dışında kalan ve ofis, alışveriş merkezi, okul, otel, restoran, kapalı yüzme havuzu, spor merkezleri v.b gibi binaları kapsayan üçüncül sektör, özellikle ısıtma, soğutma, çeşitli ekipmanlar (mekanik sistemler, elektronik sistemler) ve aydınlatmanın en yoğun kullanıldığı mekânlar olarak tespit edilmiştir. Diğer binalarla karşılaştırıldığında yapılan tüm çalışmalar ve uygulamaların sonucunda bu tür binalarda önemli oranlarda enerji tasarruf potansiyellerinin varlığı saptanmıştır [2].

Buradan hareketle bildiride, tasarruf potansiyellerinin belirlenmesi, yeni teknolojilerin desteklenmesi ve teşviki için yürütülen uluslararası birlik programlarının oluşturulmasına rağmen pek çok üye ülkede enerji etkin binalar için referans olacak yeni standartların oluşturulmasında yeterli başarının sağlanamadığı belirtilmektedir.

Aynı zamanda Mart 2000’de yürürlüğe girmiş olan Avrupa İklim Değişikliği Programı’nın önemli başlıkları da binalarda enerji tasarruf potansiyelleri değerlendirilerek alınacak olası önlemlere ilişkindir.

Tüm bu gerçekler göz önünde bulundurularak, Mayıs 2001’de teklif olarak Komisyona sunulan “Binaların Enerji Performansı Direktifi-The European Energy Performance of Building Directive (EPBD) – (2002/91/EC)” Avrupa Paramentosunca 2003 yılında yürürlüğe konulmuştur.

Bu direktif mevcut ve yeni binalarda enerjinin verimli kullanılmasını hedeflerken, belirli standartlar ve yasalar ile enerji verimliliğini zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca bu direktifin zorunlu hale getirilmesi ile tüm Avrupa Birliği üye ülkeleri için ortak bir yöntem öngörülürken, yöntemin geliştirilmesinde binaların oluşumunda rol alan farklı disiplinlerden uzmanlar görev almıştır [3].

Direktifin amacı yeni binalar veya yenilenecek binalar için asgari düzeyde enerji performansı gösterecek çözümler ile binaların sertifikalandırılması ve sonrasında da binanın ve iklimlendirme sistemlerinin rutin kontrollerinin yapılmasıdır [4].

### **1.1.2. Türkiye’de binalarda enerji verimliliği süreci ve yaptırımlar**

Türkiye’de 2 Mayıs 2007 yılında “5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” ve 27 Ekim 2011 yılında “Enerji Kaynaklarının Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girmiştir.

2008 yılında Başbakanlık genelgesi ile tüm kamu kurum ve kuruluşlarında öncelikli olmak üzere “Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi” başlatılmış ve 2008 yılı “Enerji Verimliliği Yılı” ilan edilmiştir.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı şimdiki Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, enerji israfı ve çevre kirliliğinin önlenmesine hususunda 05 Aralık 2008 tarihinde 27075 sayı ile

“Binalarda Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği” resmi gazetede yayınlanarak 5 Aralık 2009’da yürürlüğe girmiştir.

BEP Yönetmeliğinin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir [1].

BEP yönetmeliği mevcut ve yeni yapılacak binalarda;

- Mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi binanın enerji kullanımını ilgilendiren konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin hesaplama metotlarına, standartlara, yöntemlere ve asgari performans kriterlerine,
- Enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, bina kontrolleri ve denetim faaliyetleri için yetkilendirmelere,
- Enerji ihtiyacının, kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasına,
- Ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine,
- Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili,
- Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde enerji verimliliğini artırıcı uygulamaların yapılmasına

ilişkin iş ve işlemleri kapsamaktadır [1].

BEP yönetmeliği ile eşzamanlı tamamlanan ve BEP yönetmeliğini tamamlayan Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi “BEP-TR” ise 7 Aralık 2010 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliği” adı altında yürürlüğe girmiştir. İlkeler ve yöntemlerin belirlenmesi ile binaların enerji performansı değerlendirilmeye ve binalar sertifikalandırılmaya başlamıştır.

## 1.2. Literatür Araştırması

Bina Enerji Performansı değerlendirmesi üzerine çok sayıda çalışma olduğundan, aşağıda bu çalışmalardan tez konusu ile ilgili olanlar seçilerek, özetlenmiştir.

Tanrıverdi B'nin, Dr.Sözer danışmanlığında 2015 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, BEP-TR programının temel aldığı TS825'te kullanılan ısı performans değerleri ele alınmış enerji tasarrufu sağlamak için bina kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin istenmeyen kontrolsüz yoğuşmalar nedeniyle küf ve bakteri oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir. Çalışmada TS 825 2.derece gün bölgesinde yer alan illerin ısıtma ve soğutma derece gün bölgelerine göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada aynı iklim bölgesinde bulunan illerde, soğutma enerji ihtiyacının önemi yapılan enerji performansı modellemesi yöntemleriyle ortaya koyulması hedeflenmiştir. Çalışmada TS825 standardına göre 2.derece gün iklim bölgelerinde yer alan birbirinden farklı ısıtma ve soğutma derece gün sayılarına sahip dört il seçilmiştir. Bu illerin mevcut bir konut binası üzerinde enerji tüketimlerinin değerlendirilmesi yapılmış, ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinin etkinliği ortaya konmuş, bina kabuğu elemanlarından dış duvar ve çatı için enerji performansı değerlendirilmesi yapılmıştır. Aydınlatma ve elektrikli ekipmanların enerji tüketimleri de değerlendirilerek toplam enerji tüketimleri mevcut ve iyileştirilmiş durumlar için karşılaştırılmıştır. Çalışmada Enerji tüketimi hesabı için ASHRAE transfer fonksiyonunu kullanan HAP 4.8 enerji modellemesi yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada son olarak mevcut ve standarda uygun olarak revize edilen binada nem geçişi ve yoğuşma özellikleri incelenmiştir [5].

Gliedt T, Hoicka C.E'nin 2015 yılında tamamladıkları "Mali veya stratejik yatırım olarak Enerji yükseltmeleri? Bina enerji performansını iyileştiren enerji star mülk sahipleri ve yöneticileri" başlıklı makalesinde Energystar program katılımcıları üzerine odaklanarak binaların enerji performans ve enerji yatırımı için motivasyon tipleri, bilgi ve bilgiye erişim düzeyi, fon ve finans seçimi, seçilmiş enerji iyileştirme tipleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu bilgiler ışığında hükümet ve şirket programlarında eğitim stratejileri ve özendirici stratejilerin belirlenmesi, bina kabuğu ve mekanik sistemlerde verimliliğin artırılması için yenilenebilir enerji, yeşil çatılar, su koruma teknolojileri ve çevresel sürdürülebilirlik girişimleri gibi büyük mali yatırım stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olmak amaçlanmıştır. Çalışmada

Energystar programı önündeki engeller, programın faydaları ve enerji performans iyileştirme faktörleri hakkında değerlendirmeler yapılarak sonuçlar tartışılmıştır [6].

Durmuş G, Önal S, 2014, çalışmalarında Avrupa Birliği normları esas alınarak Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde (Gaziantep-Oğuzeli) inşa edilen kompleks bir binanın, BEP-TR (Bina Enerji Performansı) programı kullanarak enerji performans değerleri ve enerji kimlik belgeleri açısından değerlendirmesini yaparak elde edilecek verilerin karşılaştırılması ile AB normlarında inşa edilen yapının enerji sertifikasyonunun belirlenmesini amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmada binanın ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarı, günışığı etkisi göz önünde bulundurularak aydınlatma enerji ihtiyacının hesaplanması ve binalara ait karbon salınımının tespiti de amaçlanmıştır. Durmuş G, Önal S yine çalışmalarında, yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilecek veriler sayesinde farklı bölgelerde inşa edilen yapıların enerji açısından değerlendirilmesi ile ortaya konulan veriler sayesinde yapının tüm enerji yakıt v.b. giderlerin külfetinin ne olacağı ve maliyetin azaltılması yönünde ne gibi önlemler alınabileceğinin belirlenebileceğini ve inşa edilecek olan yapıların AB standartları esas alınarak tasarlandığı göz önüne alındığında ait olduğu enerji sınıfının belirlenmesinin önemli olduğunu savunmaktadır [7].

Erikci S.N'nin, Dr. Gülay Zorer Gedik danışmanlığında 2013 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, BEP-TR yönteminin, tüm bina formlarını dik açılı yedi forma indirgememesinden dolayı daire, dikdörtgen gibi eğrisel formları içermediğini programın belirli bir yaklaşıklık ile hesaplama yaptığını belirtmiş ve dikdörtgen olarak enerji hesaplarının yapılması durumunda enerji performans farkını iklim ve bölgelere dayalı olarak belirlemeyi amaçlamıştır. Eğrisel formdaki bir yapıyı eğrisel yüzeylerde enerji hesabı yapan Energy Plus'a dayalı Design builder programında hesaplayarak BEP-TR'deki binanın tek zon ve çoklu zon olarak çözümlenerek zon sayısı farkını yaklaşık sonuçla karşılaştırmayı hedeflemişlerdir. Erikci, çalışmasında mevcut BEP-TR yönteminin tüm zonlama tiplerine ve bina geometrilerine olanak verecek şekilde geliştirilmesi gerekliliğini savunmaktadır [8].

Tonn B, Hawkins B, Schweitzer M, Fisenberg J'nin 2012 yılında tamamladıkları "Enerji star programı ile bina enerji performansı değerlendirme süreci" başlıklı araştırma projelerinde; Enerji performansı ile bina performansı (HPwES) programının değerlendirme süreci ile ilgili federal program yöneticileri, programı

uygulamadan sorumlu müteahhit ve sponsorlar ile röportajlar gerçekleştirmişler aldıkları bilgiler ışığında HPwES programı hakkında ve enerji star sertifikası almanın faydaları üzerine değerlendirmeler yaparak tavsiyelerde bulunmuşlardır [9].

Can E, 2012 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, Türkiye ile Almanya'nın enerji verimliliği ile ilgili çalışmaları ve sertifikasyon sistemlerini, araştırmanın Almanya ve Türkiye'de yapılması durumu incelenmiş, Türkiye'de hesaplama yöntemi olarak kullanılan BEP-TR, Almanya'da ise bina enerji performansı hesaplama yöntemi olarak kullanılan DIN 18599'un enerji performansını etkileyen parametreler ve kullanılan yazılımlar bakımından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma ile enerji verimliliği çalışmalarını, AB'nin yayınlamış olduğu EPBD çatısı altında gerçekleştiren Almanya ve Türkiye'nin bina enerji performansı hesaplama yöntemlerinin uygulama ve kullanım bakımından farklılıklarını tespit etmek ve bu tespitler ışığında Avrupa ülkelerinde de halen üzerinde çalışılan sertifikasyon sistemlerinin ve ülkemizde de geliştirilmekte olan BEP-TR'nin sorunları için çözüm üretilmesi amaçlanmıştır [10].

Gali G., Corgnati S.P. ve Yılmaz A.Z. 2011 yılında tamamlamış oldukları araştırmalarında kompleks binalarda her zonun ayrı bir ısı yük oluşturduğu, ve her zonun ayrı ayrı ele alınması ve içerdiği tüm verilerin detaylarıyla girilmesi gerektiği savunulmaktadır. Detaylı simülasyon araçlarıyla enerji performansı incelenecek bina tipolojileri için spesifik uzmanlık eğitimleri alınması gerekliliği belirtilmektedir [11].

Aktacir M.A, Nacar M.A. ve Yeşilata B. 2011 yılında tamamladıkları çalışmalarında; Design Builder, Energy Plus ve HAP gibi detaylı dinamik hesaplama yapan bina enerji programlarını ele alarak ülkemizde kullanılabilecek en uygun enerji yazılımının ortaya çıkarılması gerektiğini veya ülkemiz verilerinin tanımlandığı uluslararası geçerliliği olan bir yazılımın oluşturulması gerekliliğinden söz etmektedirler. Çalışmada bu şekilde yapılacak bir uyarılama ile dışa bağımlılığın azalacağına dikkat çekmektedirler [12].

McLeod R.S, Hopfe C.J, Rezgui Y'nin 2011 yılında yayınlamış oldukları araştırma projelerinde İngiltere'de ultra düşük enerji Passivhaus binaları tasarlanırken bölgesel ve bazı durumlarda mikro-bölgesel iklim verileri ihtiyacı incelenmektedir. Çalışmada pasif ev planlama paketi kullanılarak Passivhaus tasarım değerlendirilmesi yapıldığı tasarımcıların PHPP programında kullanmak üzere ulaşacakları birçok iklim verisi

metodunun bulunduğu belirtilmiştir. İlaveten İngiltere'de tasarım ve sertifikasyon için sağlanan orijinal iklim verileri dinamik simülasyonlar ve test referans yılı verileri kullanılarak tersinirlik hesabı ile türetildiği belirtilmektedir. Çalışmada UKCP09 iklim projeksiyonlarına dayanarak PHPP formatında bu verilerin üretilmesi için yeni bir metodoloji önerilmektedir. Oluşturulan veriler alternatif kaynaklarla karşılaştırılmıştır ve Fallerdeki Passivhaus sertifikalı konutlar üzerindeki etkileri tartışılmıştır [13].

Yılmaz A.Z. 2011 yılında yayınladığı araştırmasında bina simülasyon araçlarının bazı genel verilere ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Bu verilerin; iklim verileri, binaya dair genel bilgiler, binanın geometrik özellikleri, binanın çevresi, yapı malzemelerinin ayrıntıları, bina yüzeylerinin katmanları, bina zonları, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistem verileri, aydınlatma sistem verileri, cihaz ve ekonomik verileri olarak belirtilmiştir. Simülasyon araçlarının kullanımlarına göre seçilmesi ve verilerin doğru uygulanması, doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacağı, bu sayede herhangi bir kayba uğramadan bina enerji tüketim miktarları ve CO<sub>2</sub> salınımlarına göre enerji sınıfının belirlenebileceği savunulmuştur [14].

Atmaca M, 2010 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, konut harici enerji tüketimi en yüksek olan otel binalarının enerji performansını, basit saatlik hesaplama yapan BEP-TR ile detaylı dinamik hesaplama yapan simülasyon araçlarıyla karşılaştırmaktadır. Atmaca tezinde, Kompleks binaların enerji hesaplamalarında kullanılan yöntemin bina karakteristiklerine ve uygun değişkenlikte yazılımlara sahip olması gerekliliğini savunmaktadır. Ayrıca Enerji Kimlik Belgesi (EKB) uzmanlarının bina fonksiyonuna göre ayrılması gerektiğini savunmaktadır [15].

Gümüş Y, 2010 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, Toplu konut projesinin enerji etkin iyileştirmesi için önerilerde bulunmaktadır. Tez çalışmasında Ataköy 1. Kısım Bloklarını Design Builder simülasyon programı ile enerji simülasyonu ve ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi tüketimleri ile CO<sub>2</sub> salımı açısından değerlendirilmesi yapılmış ve yapılan iyileştirmeler ile enerji tüketimleri ve CO<sub>2</sub> salım oranlarında % 60'lık olumlu bir oran yakalandığı belirtilmiştir [16].

Yılmaz A.Z, 2006 yılında tamamladığı araştırma projesinde, İklimsel verilere dikkat edilerek bina tasarımının yapılması gerektiğini ifade etmektedir. Binanın bulunduğu bölgenin iklimsel verilerinin ve binanın öncelikle ihtiyacı olan unsurların (daha fazla



gün ışığından yararlanma veya korunma gibi) belirlenerek, tasarımın yerleşim ölçeğinden yapı bileşeni ölçeğine doğru bir değerlendirme ile oluşturulması gerekliliğini belirtmektedir [17].

Dünyadaki binalar nihai enerji tüketiminin % 40'ını oluşturmaktadır. Şaşırtıcı şekilde yüksek olan bu tüketimin sonucunda ortaya çıkan karbon ayak izi, ulaşım araçlarının tamamında ortaya çıkan miktardan belirgin bir şekilde fazladır. Binaların enerji tüketimini diğer sektörlere kıyasla daha düşük maliyetler ve daha yüksek getiriler ile azaltmayı sağlayan büyük ve cazip fırsatlar söz konusudur. Enerji tüketiminin bu şekilde düşürülmesi, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) tarafından talep edilen durağan CO2 seviyelerine ulaşmak için Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA) tarafından konulmuş olup gezegenin karbon ayak izinin 2050'ye kadar % 77 azaltılması hedefine erişim açısından kritik önem taşımaktadır [18].

Yukarıda belirtilmiş olan araştırmaların hepsi; ülkelerin toplam enerji tüketim değerlerine büyük oranda etkili olan binaların enerji tüketim değerlerinin düşürülmesi ve enerji performansının iyileştirilmesi için ülkelerin enerji verimliliği ve enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenmesi sürecine ışık tutmaktadır.

Bu tez çalışması içeriğinde, örnek bir binanın BEP-TR, Passivhaus, Energystar hesaplama yöntemlerine göre yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Üç hesaplama yönteminde hesaplanan sonuçların karşılaştırılması ile BEP-TR, Passivhaus ve Energystar standart kriterlerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda oluşan farklılıkların nedenleri araştırılmıştır.



## **2. SERTİFİKA PROGRAMLARININ İNCELENMESİ VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ**

Ulusal Hesaplama Yöntemlerinden birçoğu, binaların ilk enerji tüketiminin hesaplanması ile ilgilenmektedir ancak, hesaplama aşamaları ve ilgili enerji ihtiyacının belirlenmesi ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir [19,22].

### **2.1. Binalarda Enerji Performansının (BEP-TR) Genel Tanıtımı**

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı şimdiki Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulan tebliğ; binanın enerji tüketimine etki eden tüm parametrelerin konut, ofis, eğitim, sağlık, otel, alışveriş ve ticaret merkezleri gibi mevcut ve yeni binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performansı hesaplama yönteminin yayınlanması maksadı ile hazırlanmıştır.

Bina enerji performansı hesaplama yöntemi (BEP-HY), binanın enerji harcamalarında payı olan tüm girdilerin, binaların enerji tüketimine etkisini değerlendirmek, mevcut ve yeni binaların enerji performans sınıflarını belirlemek için EN ISO 13790 şemsiye dokümanı temel kabul edilerek Türkiye'nin iklim verileri, koordinatları ve yerel malzemeleri gibi ülkemize mahsus bilgiler derlenerek geliştirilmiştir. Hesaplama yöntemi konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller ile alışveriş ve ticaret merkezleri gibi bina tipolojilerindeki mevcut ve yeni binaların enerji performansını değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için kullanılmaktadır.

Bu hesaplama yöntemi;

- Proje aşamasındaki binalar için çeşitli tasarım alternatiflerinin enerji performanslarının karşılaştırılması,
- Mevcut binaların enerji performansının standartlaştırılmış seviyesinin gösterilmesi,
- Mevcut binalarda enerji ihtiyacının hesaplanması yolu ile enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanması ve uygulanmaması durumlarının değerlendirilmesi,

- Bina stokunu temsil edecek nitelikteki tipik binaların enerji kullanımlarının hesaplanması yolu ile bölgesel, ulusal ve uluslararası ölçekte gelecekteki enerji kaynağı ihtiyacı konusunda öngörüle bulunulması,
- Zaman içerisinde tanımlanan bileşenlerden milli bileşen kütüphanesi oluşturma gibi ulusal veri tabanlarının geliştirilmesi

gibi uygulamalarda kullanılabilir.

Bu hesaplama yönteminde, bina enerji performansı değerlendirilirken;

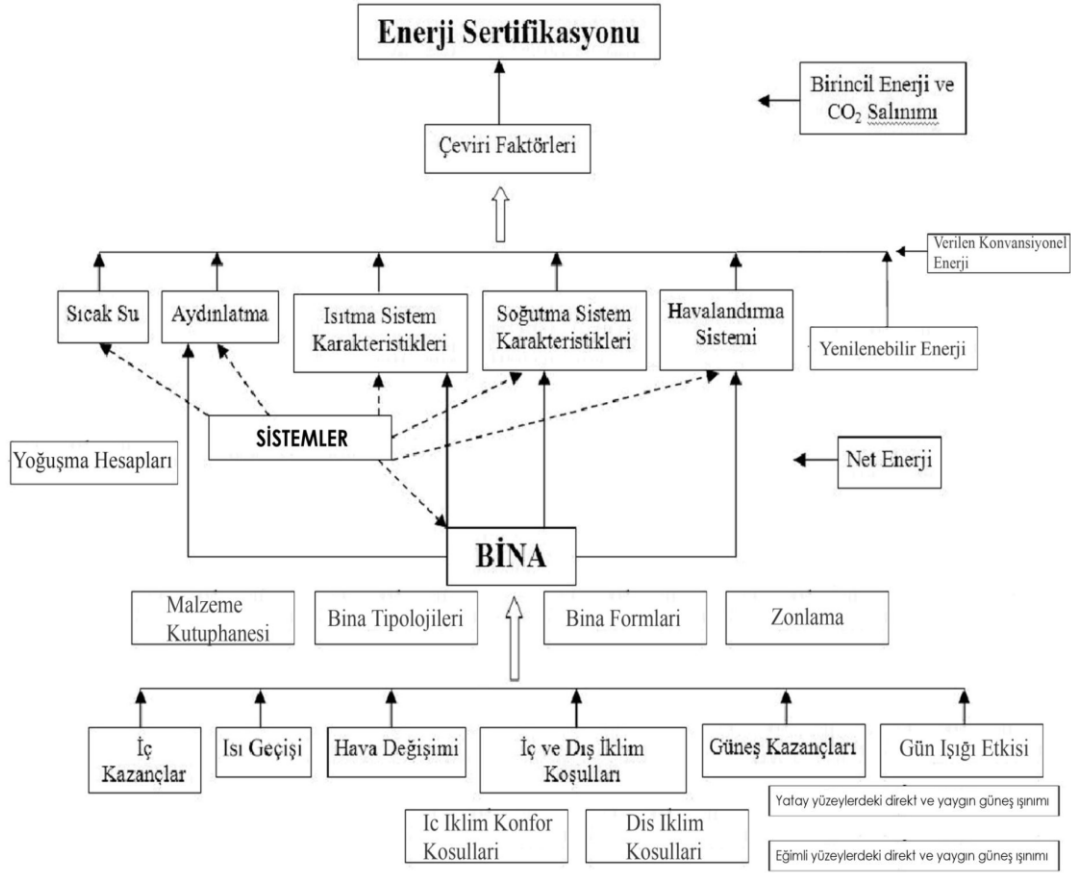
- Binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanmasını,
- Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden oluşacak kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam **ısıtma-soğutma enerji tüketiminin** belirlenmesini,
- **Havalandırma enerjisi tüketiminin** belirlenmesini,
- Binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için **aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanmasını**,
- **Sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin** hesaplanmasını kapsamaktadır [20].

Bu hesaplama yöntemi ilgili AB standartları ile, gerekli görülen durumlarda ASHRAE ve Türk Standartlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Hesaplama yöntemi, basit saatlik dinamik yöntem'dir. Basit saatlik dinamik yöntem, binanın ısıtma-soğutma için gereken net enerji ihtiyacını ve bu ihtiyacın karşılanacağı sistemlerin tüketimini saatlik olarak hesaplar.

**Hesaplama sonucunda;** Binanın yıllık Isıtma, Soğutma, Sıcak su, Aydınlatma, Havalandırma tüketimleri birincil enerji olarak belirlenir. Bu tüketim değerlerine bağlı olarak CO<sub>2</sub> salımı hesaplanır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı da hesaba katılmaktadır. Binanın hesaplanan enerji tüketim miktarı ve CO<sub>2</sub> Salımı, referans binanın değerleriyle karşılaştırılır.

BEP-TR hesaplama yöntemine ait şema Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu şema, dış ortam ve iç ortam koşulları ve bina yapı bilgilerinin birbirleri ile ilişkisi ve programda

yapılan simülasyon sonucu ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma çıktı değerleri sonucu ortaya çıkan enerji sertifikasının oluşumunu göstermektedir.



**Şekil 2.1** : Bina Enerji Performansı hesaplama yöntemi şeması [23].

Bu hesaplama yöntemine dayalı olarak, Türkiye şartları için uygun ulusal bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın, binalarda enerji kimlik belgesinin düzenlenmesini öngören ilgili yönetmelikte, kimlik belgesi vermekle yetkilendirilmiş uzmanlar tarafından kullanılması zorunlu kılınmıştır. BEP-TR ulusal yazılımında, binaların ısıtılması ve soğutulması için ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanmasında temel alınan standart, TS EN ISO 13790'dır [21].

### 2.1.1. BEP-TR'de faydalanılan dökümanlar

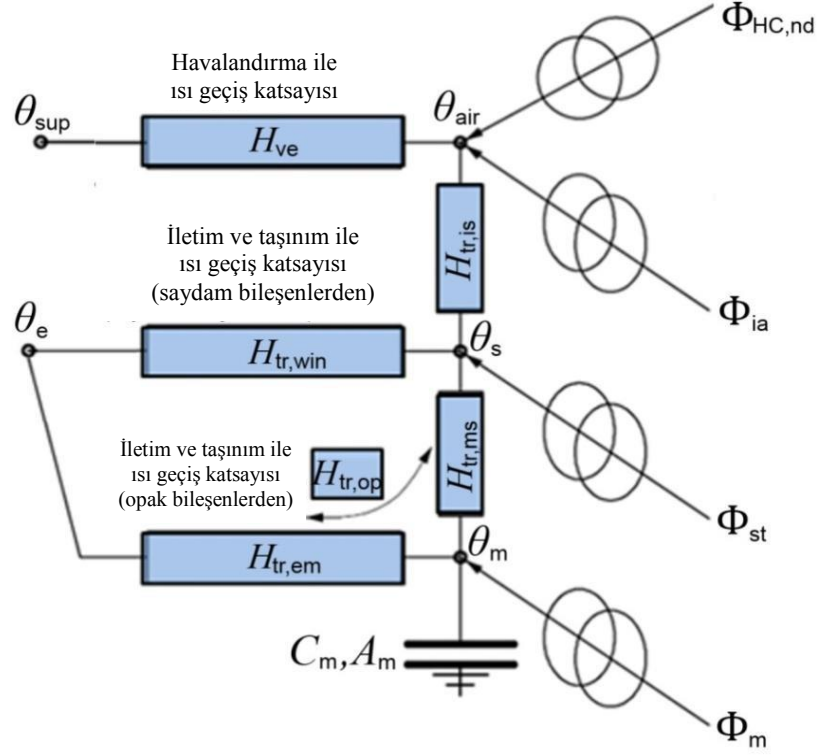
BEP-TR hesaplama yönteminde, tarih belirtilerek veya belirtilmeksizin çok sayıda standart ve dökümandan yararlanılmıştır. Bu dökümanlar Çizelge 2.1' de listelenmiştir [20].

**Çizelge 2.1 : Atıf yapılan ve yararlanılan standart ve dökümanlar [20].**

IEC, ISO, EN, TS No	Adı (İngilizce)	Adı (Türkçe)
EN 13790	Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling	TS EN ISO 13790 Binaların enerji performansı – Mekân ısıtması ve soğutulması için enerji kullanımının hesaplanması
EN 13789	Thermal performance of buildings – Transmission heat loss coefficient – Calculation method (ISO 13789: 1999).	TS EN ISO 13789 Binaların Isıl Performansı-Transmisyon Isı Kaybı Katsayısı-Hesaplama Metodu
EN15251	Indoor environment criteria for design and calculation of energy performance of buildings	TS EN 15251 Binaların enerji performansının tasarımı ve değerlendirilmesi için bina içi ortam parametreleri (bina içi hava kalitesi, ısı ortam, aydınlatma ve akustik)
TS 825		Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
EN ISO 14683	Thermal bridges in building construction- Linear thermal transmittance- Simplified Methods and default values	TS EN ISO 14683+AC Bina İnşaatı-Isıl Köprüler-Lineer Isıl Geçirgenlik-Basitleştirilmiş Metot ve Hatasız Değerler
EN 10456	Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values	TS EN ISO 10456 İnşaat Malzeme Ve Mamulleri - Beyan Ve Tasarım Termal Değerlerinin Tayini İçin Metotlar
BS EN	Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values	TS EN 12524 Bina malzemeleri ve mamulleri - hidrosıl özellikler - çizelgeleştirilmiş tasarım değerleri
12524	Conventions for U-value calculations	
BR 443		Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları
TS 2164	Energy efficiency of buildings	
DIN 18599	Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting	
EN 13370	Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods	TS EN ISO 13370 Isıl Performansı -Zeminle
2005 ASHRAE	Fundamentals Handbook	

### 2.1.2. BEP-TR’de net enerji ihtiyacının hesaplanması

aatlık ısıtma ve soğutma net enerji ihtiyacının hesaplanmasında Şekil 2.2’deki şematik olarak ifade edilen direnç-kapasite modeli kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 : Direnç-Kapasite Modeli [20].

Bu modeldeki ısı dengeleri için aşağıdaki EN ISO 13790 standardına göre hesaplamalar yapılır;

- Bina dinamik etkilerinin hesaplanması: binanın ısı kapasitesi belirli bir yaklaşıkla hesaplanır.
- İç kazançlar ve güneş kazançlarıyla oluşan ısı miktarlarının hesaplanması
- Direnç kapasite modeline göre ısı geçirme katsayıları hesabı

Verilen ısıtma-soğutma yükü enerjisi ihtiyacı  $\Phi_{HC,nd}$  için hava ve operatif sıcaklıklarının hesaplanması: EN ISO 13790'da tanımlanan Crank-Nicholson yöntemini temel almaktadır [20].

### 2.1.2.1. EN-ISO 13790'a göre hesaplama yöntemleri

Bina Enerji Performansı hesaplama yöntemleri EN-ISO 13790 standardı ve onun yönlendirdiği diğer AB standartları ile ilişkili ASHRAE ve TR standartlarından yararlanılarak hesaplanmaktadır. EN-ISO 13790 standardı üç hesaplama yöntemini önermektedir. Bunlar;

- Aylık Statik hesaplama metodu

- Detaylı dinamik hesaplama metodu
- Basit saatlik dinamik hesaplama metodu [19,22].

### **Aylık/Mevsimsel statik hesaplama yöntemi**

Isıtma-soğutma enerji ihtiyacı aylık/mevsimsel hesap aralıkları ile hesaplanmaktadır. Statik bir hesaplama yöntemidir, binanın gerçek ısı davranışını hesaba katmaz, binanın ısı davranışı basit korelasyon faktörleri ile hesaba yansır. Yıllık bazda ortalama bir enerji tüketim değeri sunar, aylık ölçekte özellikle geçiş mevsimlerinde hata payı yüksektir [22].

### **Detaylı dinamik hesaplama yöntemi**

Detaylı dinamik yöntem, EN 15265 “Binalar için – Dinamik Yöntemler Kullanılarak Ortam Isıtma ve Soğutmasında ihtiyaç Duyulan Enerjinin Hesaplanması” standardına yönlendirdiği, binalarda eş zamanlı, çok zonlu zonlar arasındaki etkileşimi de dikkate alan bina enerji sertifikasyonu yöntemi için fazla detaylı ve pratik olmayan bir yöntemdir [22].

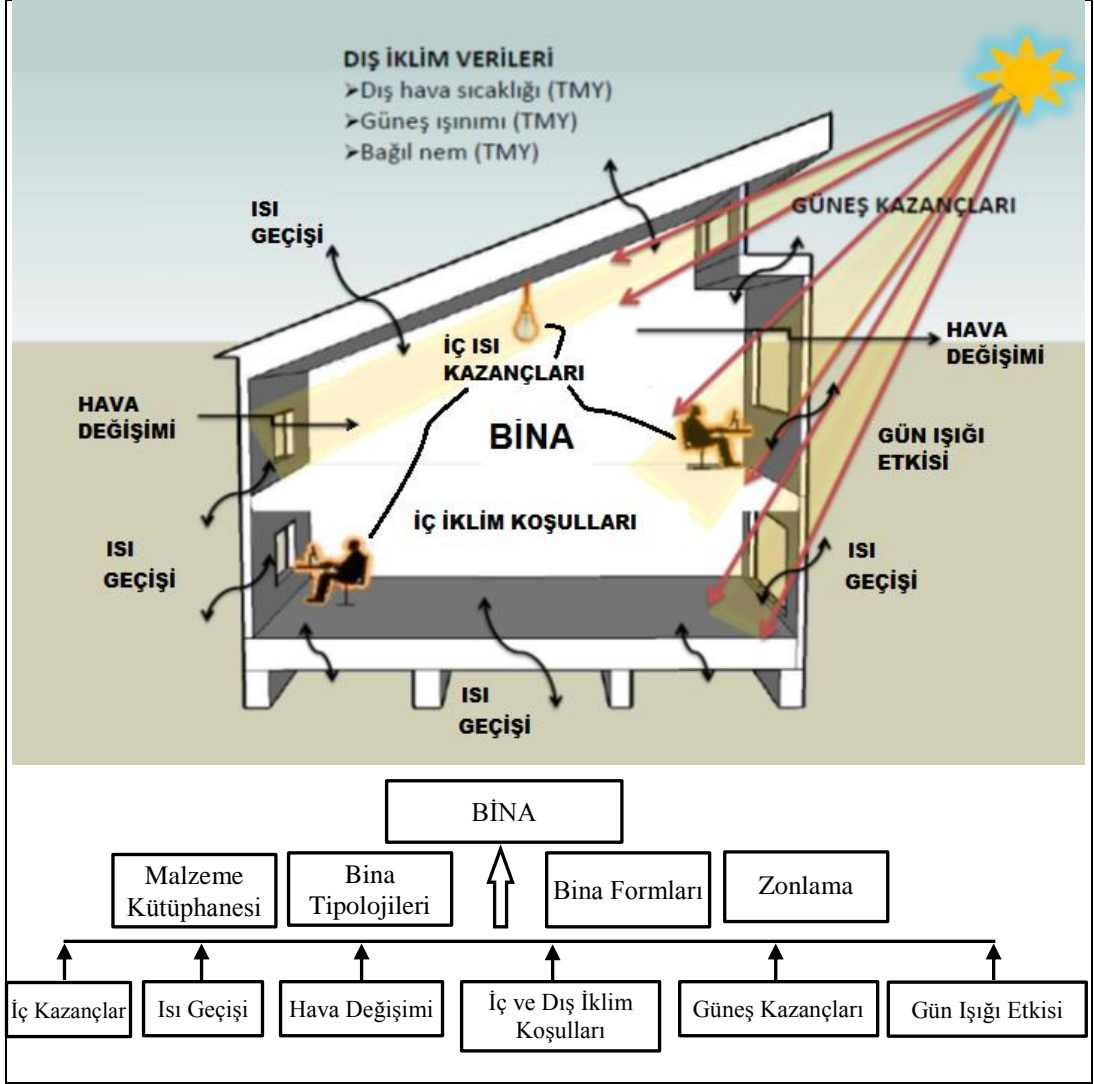
### **Basit saatlik dinamik hesaplama yöntemi**

Hesaplama Enerji Performans Direktifleri uyarınca saatlik iklim verisi ve zaman çizelgeleri kullanan ısıtma ve soğutma mevsimlerini ayrıca belirlenmesini gerektirmeyen RC (direnç-kapasite) modeli ile binanın saatlik ısı davranışını gerçeğe yakın şekilde yansıtabilen geçiş mevsimlerinde net enerji miktarının hesaplanmasını olanaklı kılmakla birlikte konfor koşullarının operatif sıcaklığa bağlı olarak tanımlanmasını olanaklı kılarak saatlik hesap adımları ile operatif sıcaklıkları ve saatlik zaman çizelgesine göre konfor ihtiyaçlarını sağlayacak gerekli net enerjiyi hesaplayan yarı dinamik bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem BEP-TR’de kullanılan hesaplama yöntemidir [23].

#### **2.1.2.2. BEP-TR net enerji girdileri**

Isıtma ve soğutma net enerji hesaplama yöntemi için gerekli olan başlıca girdiler, iklim verileri, bina geometrisi, binanın havalandırılması ve ısı özellikleri, bina malzemelerinin ve bina bileşenlerinin tanımı, bina fonksiyonuna bağlı iç konfor şartları, bina tipolojisine bağlı zonlama yöntemleri ve zon bilgileridir [20,23]





Şekil 2.3 : Bina Performansını etkileyen BEP-TR veri girdileri [23].

Şekil 2.3'den de görüleceği üzere binanın ısıtma ve soğutma yüküne etki eden unsurlar,

- Isı geçişi
  - İletim ve taşınım ile ısı geçişi (opak bileşenler, saydam bileşenler)
  - Havalandırma ile ısı geçişi (hava sızıntısı)
- Hava değişimi
- İç ve dış iklim koşulları
- İç kazançlar
- Güneş kazançları

şeklinde sıralanabilir.

Özellikle bina tipolojilerine bağlı olarak, bina çoklu zonlara bölünmekte veya tek zon olarak işleme tabi tutulmaktadır. Enerji dengesi, bina seviyesinde net enerji ve sistem seviyesinde enerji olarak ikiye ayrılarak binanın ısıtılması ve soğutulması için enerji ihtiyaçları, bina zonlarının ısı dengesi esas alınarak hesaplanmaktadır. Binanın ısıtma ve soğutma için net enerji ihtiyacı, bina sistemlerinin enerji dengesi için veri oluşturmaktadır [20].

### 2.1.2.3. Bina zonları

Isıtma ve soğutma enerjisinin hesaplanması için binanın sınırları tanımlanmalıdır. Binalarda enerji performansının belirlenmesi amacıyla ilgili standartlara uygun olarak, birim kullanım alanı başına ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su ihtiyaçlarının belirlenmesi için zemin alanının bilinmesi gerekmektedir [20].

Binada kullanılan mekânlar, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin çalışma özellikleri, mekândaki aktivite durumu, kullanıcı profilleri, iç kazançlardaki farklılıklar gibi ısıl etmenlere göre farklı gruplara ayrılırlar. Benzer özellikler gösteren her bir grup zon olarak isimlendirilir ve her bir zon bağımsız birim olarak hesaplama yönteminde ayırt edici özellikleriyle tanımlanmalıdır [20]. Bina ısıl zonları Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.2 : BEP-TR ısıl zonları [23].**

Tipoloji	Alt tipoloji
Konut	Müstakil konut
	Apartman
	Rezidans
Ofis	
Eğitim binaları	
Oteller	
Sağlık binaları	
Alışveriş ve ticaret merkezleri	

Zonlara ayırma kriterleri bina fonksiyonlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ancak katlar arasındaki alanlar ve gölgeleme durumu değişiklik gösterebileceğinden, katlar arasındaki sistemler, iç kazançlar ve konfor sıcaklık değerleri aynı olsa bile her kat ayrı birer zon olarak ele alınmaktadır. Bu yöntemde kullanılan çok zonlu hesaplama için (bağımsız çok zonlu hesaplama), zonlar arasında iletim/taşıma ile ve hava hareketi/sızıntısı ile ısı geçişi hesaba katılmaz. Her zon için ayrı ayrı yapılan hesaplama bağımsız tek zonlu hesaplamalar serisi olarak kabul edilir. Aynı ısıtma ve

soğutma sistemlerini paylaşan zonlarda, ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı, bağımsız zonlar için hesaplanan enerji ihtiyacının toplamıdır [20,23].

#### 2.1.2.4. İletim ve taşınım ile ısı geçişinin hesaplanması

Basit saatlik hesaplama yönteminde binanın ele alınan zonu için yapı bileşenlerinin toplam iletim ve taşınım ısı geçiş katsayısı “W/K” cinsinden hesaplanmaktadır. Zonu oluşturan farklı elemanların (duvarlar, çatı yüzeyleri, döşeme) ve bu elemanları oluşturan farklı bileşenlerin ısı geçiş katsayıları ayrı ayrı hesaplanarak toplanır, bu yolla zonun opak yüzeylerinden ve saydam yüzeylerden iletim ve taşınım ile toplam ısı geçiş katsayısı değerlerine ulaşılmaktadır [20,23].

Isı geçişi ve güneş ışınımı kazanç hesaplarında kullanılmak üzere bina kabuk malzemelerinin ilgili özelliklerinin listesi, TS 825, EN 10456, BS EN 12524, CE71 (2004) UK NCM, AD-L2 (2002 Edition), BR 443, DOe2 ASHREA, Radiative Heat Transfer, Michael F. Modest – The Pennsylvania State University, Thermal Radiation Heat Transfer, Robert Siegel- Nasa Lewis Research Center, John R. Howell, kaynaklarına dayanılarak opak bileşenler için derlenmiştir [20].

#### Opak bileşenlerin iletim ve taşınım ile ısı geçiş katsayısı hesabı

Opak bir bileşenin ısı geçirgenlik katsayısı denklem (2.1) ile hesaplanır.  $U_{op,stand}$  bir opak bileşenin iç ve dış yüzey ısı direnç katsayıları,  $(1 / h_{si}) = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ve  $(1 / h_{se}) = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  referans alınarak hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısıdır. Denklem (2.1), her eleman için, elemandaki her bileşen için hesaplanır [20].

$$U_{op,stand,i} = 1 / (1/h_{si} + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + 1/h_{se} + R_{gap}) \quad (2.1)$$

$h_{si}$  : iç yüzey ısı taşınım katsayısı

$h_{se}$  : dış yüzey ısı taşınım katsayısı

$d_1$  : 1 numaralı malzemenin kalınlığı, m

$\lambda_1$  : 1 numaralı malzemenin ısı iletkenlik hesap değeri, W/m.K

$R_{gap}$  : opak bileşenler arasındaki havanın ısı direnci,  $\text{m}^2\text{K/W}$

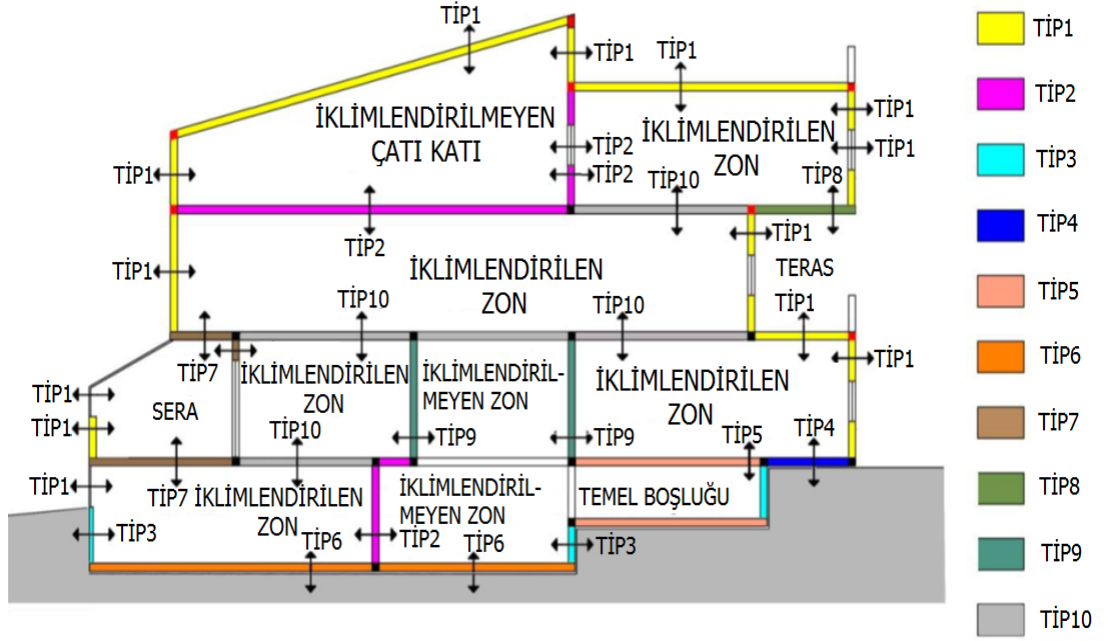
$U_{op,stand}$  : opak bileşen standart ısı geçirgenlik katsayısı,  $\text{W/m}^2\text{K}$

$1 / h_{si}$  ve  $1 / h_{se}$  değerleri bileşen tipine göre çizelgelerden alınır.

Opak bileşenlerin ısı direnç katsayıları Çizelge 2.3'ten yapı bileşenlerinin tipine göre seçilir. Çizelge 2.3'de belirtilen tüm zon tipleri Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Hava için ısı direnç katsayısı  $R_{gap}$  ise Çizelge 2.4'ten seçilir.

**Çizelge 2.3 :** Yapı elemanları için tavsiye edilen yüzey ısı direnç katsayıları [20].

TİP NO	Yapı bileşen tipi	Yüzey ısı iletkenlik direnci	
		$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)
TİP1	(Dış Yüzey) - Dış Hava Temaslı İklimlendirilen veya iklimlendirilmeyen zonun dış hava temaslı opak ve saydam bileşenleri.	0,13	0,04
TİP2	(İç Yüzey) - Dışa Açık İklimlendirilmeyen Zon Temaslı İklimlendirilen bir zonun dışa açık iklimlendirilmeyen bir başka zon ile arasındaki opak ve saydam bileşenleri	0,13	0,08
TİP3	(Dış Duvar) -Toprak Temaslı İklimlendirilen bir bodrum katın toprak temaslı dış duvarı.	0,13	0
TİP4	(Döşeme) - Toprak Temaslı Yüzer Döşeme Altında bodrum olmayan, iklimlendirilen veya iklimlendirilmeyen bir zonun zemine oturan yüzer döşemesi.	0,17	0
TİP5	(Döşeme) – Toprak Temaslı İklimlendirilmeyen Hacim Temaslı Toprağa yarı gömülü iklimlendirilen zonun temel boşluğu ile temas eden döşemesi.	0,17	0,17
TİP6	(Döşeme) Altında bodrum olmayan iklimlendirilen zonun toprak temaslı tabanı.	0,17	0
TİP7	(İç Yüzey) - Sera İklimlendirilen bir zonun dışa açık iklimlendirilmeyen bir sera (kış bahçesi) ile arasındaki iç yüzeyler.	0,13	0,08
TİP8	(Döşeme) - Konsol İklimlendirilen bir zonun dış hava ile sınırını oluşturan çıkma döşemesi.	0,17	0,04
TİP9	(İç Yüzey) - Dışa Açık Olmayan İklimlendirilmeyen Zon Temaslı İklimlendirilen bir zonun dışa açık olmayan iklimlendirilmeyen zon ile temas eden iç yüzeyleri (örn:çekirdeğe bakan duvarlar)	0,13	0,13
TİP10	(Döşeme) - İklimlendirilen Zon Temaslı İklimlendirilen bir zon ile başka bir iklimlendirilen zonu ayıran döşemeler.	0,13	0,13



Şekil 2.4 : Isı geçiş hesapları için ısıl şartları farklı zonları ayıran bileşenlerin tanımlanması [20].

Çizelge 2.4 : Yapı malzemeleri arasındaki hava için ısıl direnç katsayıları [20].

Tip	Kalınlık Aralığı (mm)	$R_{gap}$
Düşey	0.1-10	0.14
Düşey	11-20	0.16
Düşey	21-50	0.18
Düşey	51-100	0.17
Düşey	100-9999	0.16
Yatay	0.1-10	0.14
Yatay	11-20	0.15
Yatay	20-9999	0.16

Ele alınan zonu çevreleyen tüm opak bileşenlerin iletim ve taşınım ısı geçiş katsayıları ise denklem (2.2) ile hesaplanır [20]:

$$H_{tr,op} = \sum A_{op} \cdot U_{op} + \sum L_{op} \cdot \psi_{op} + \sum \chi_{op} \quad (2.2)$$

$H_{tr,op}$  : zonu çevreleyen opak yüzeylerin iletim ve taşınım ısı geçiş katsayısı, W/K

$A_{op}$  : opak yüzeyin alanı, m<sup>2</sup>

$U_{op}$  : opak bileşenin ısıl geçirgenlik katsayısı, W/(m<sup>2</sup>·K)

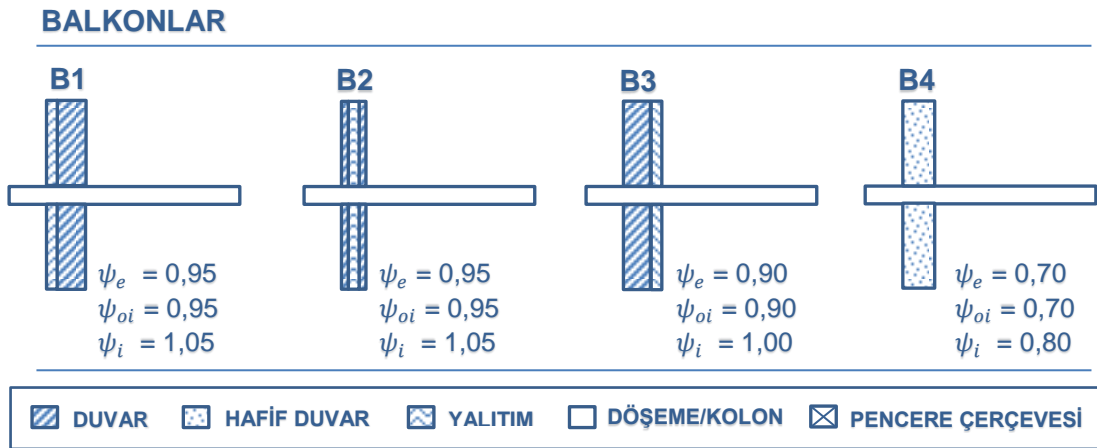
$L_{op}$  : doğrusal ısı köprüsü uzunluğu, m

$\psi_{op}$  : doğrusal ısı köprüsü ısı geçiş katsayısı, W/(m.K)

$\chi_{op}$  : noktasal ısı köprüsü ısı geçiş katsayısı, W/K

## Isı köprüleri

Hesaplama metodunda ısı köprüleri ISO 14683:2007 standardının öngördüğü yonteme göre hesaba katılmaktadır. Bina bileşenlerinin birleşim noktalarının tanımlanması için basit bir yöntem tanımlanmıştır. Bu yöntemde noktasal ısı köprüleri doğrusal ısı köprüleri içerisinde hesaplanmaktadır. Farklı tipteki ısı köprüleri için ısı köprüsü ısı geçiş katsayıları Şekil 2.5’de, kısmi olarak gösterilen olası ısı köprüsü tipleri Çizelge 2.5’de, “Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliği” Ek-2’de tamamı verilmiştir [20].



Şekil 2.5 : Balkonlar için ısı köprüsü tipleri (Ek2-BEP-Isı köprüleri).

Çizelge 2.5 : Isı geçiş hesapları için yapı bileşenlerinin oluşturduğu ısı köprüleri [20].

Kod	Ad	$\psi_e$ (W/mK)	$\psi_{oi}$ (W/mK)	$\psi_o$ (W/mK)
C1	Çatı	0.55	0.75	0.75
B1	Balkon	0.95	0.95	1.05
AK1	Asma Kat	0	0	0.10
TUD1	Toprak Üstü Yüzer Döşeme	0.65	0.80	0.80
AGK1	Asma Giriş Kat	0.75	0.95	0.95
KL1	Kolon	1.30	1.30	1.30

Isı köprüsü tiplerinin tamamı tebliğ eki olan “Isıtma ve soğutma için net enerji ihtiyacının hesaplanması” kitapçıkta bulunmaktadır.

## Saydam bileşenlerin (pencere-kapı) ısı geçiş katsayısı hesabı

Saydam bileşende kullanılan cam malzemesine göre camın ısı geçirenlik katsayısı ( $U_{gl}$ ) Çizelge 2.7’den alınır. Saydam bileşenin çerçeve tipi (doğrama tipi) seçilir. Bu

seçim ile çerçeve malzemesinin ısı geçirgenlik katsayısı ( $U_F$ ) elde edilir. Bu katsayılar doğrama malzemesine göre Çizelge 2.6’da verilmiştir [20].

**Çizelge 2.6 :** Saydam bileşen çerçevelerinin ısı geçirgenlik katsayısı [20].

Çerçeve tipi	$U_F$ (W/m <sup>2</sup> K)
Ahşap	3,4
Polivinil	1,8
Aluminyum	2,6

Pencere ısı geçirgenlik katsayısı ( $U_{win}$ ) katsayısı Çizelge 2.7’de cam ve çerçeve özelliklerine bağlı olarak verilmiştir. Çizelge 2.6’da yer alan  $U_F$  değerlerinden en yakın olan seçilir ve  $U_{gl}$  değerinde lineer enterpolasyon yapılarak pencerenin  $U_{win}$  değeri bulunur. Çizelge 2.7’den seçilen  $U_{win}$  değeri denklem (2.3)’de kullanılır ve bu hesaba saydam bileşenlerin iletim ve taşınım ile ısı geçiş katsayısına ( $H_{tr,win}$ ) ulaşılır [20]. Saydam bileşenler için iletim ve taşınım ile ısı geçiş katsayısı denklem (2.3)’deki gibi hesaplanır;

$$H_{tr,win} = A_{win} \cdot U_{win} \quad (2.3)$$

$H_{tr,win}$  : bir zonu çevreleyen tüm saydam bileşenlerin iletim ve taşınım ısı geçiş katsayısı, W/K

$A_{win}$  : bileşenin alanı, m<sup>2</sup>

$U_{win}$  : saydam bileşenin ısı geçirgenlik katsayısı, W/(m<sup>2</sup>·K)

**Çizelge 2.7 :** Çerçeve ve cam özelliklerine bağlı saydam bileşen U-değerleri (kısmi) [20].

Cam Tipi	$U_{gl}$ (W/ m <sup>2</sup> K)	$U_F$ (W/m <sup>2</sup> K)									
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	
Tek cam	5,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,9	$U_{win}$ (W/m <sup>2</sup> K)
Çift cam	3,3	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	4,0	
Üçlü cam	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	3,2	

Camlı balkonlar içinde pencere kabulü yapılmaktadır.

### **Pencerelerde gece yalıtımı (kepenk) olması durumu:**

$U_{win}$ , pencere bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısı güneş kazançlarının gerçekleşmediği süre içerisinde (günbatımından gün doğuşuna kadar) gece yalıtımı etkisi ile tekrar hesaplanır. Bu hesaba pencere bileşeninin ısı geçirgenlik katsayısının yanında gece yalıtımı ile pencere bileşeni arasındaki hava boşluğu gece yalıtımı için kullanılan bileşenin ısı geçirgenlik katsayısı hesaba katılır [20].

**Çizelge 2.8 :** Hava tabakalarının ısı iletkenlik direnci hesap değerleri [20].

Sıra No	Isı Akış Yönu	Kalınlık $d_{gap}$ (mm)	Isıl İletkenlik Direnci ( $R_{gap}$ ) ( $m^2K/W$ )
1	Düşey	$d_{gap} \leq 10$	0,14
		$11 < d_{gap} < 20$	0,16
		$21 < d_{gap} < 50$	0,18
		$51 < d_{gap} < 100$	0,17
		$d_{gap} \geq 100$	0,16
2	Yatay (ısı akışı aşağıdan yukarıya)	$d_{gap} \leq 10$	0,14
		$11 < d_{gap} < 20$	0,15
		$d_{gap} \geq 20$	0,16
3	Yatay (ısı akışı yukarıdan aşağıya)	$d_{gap} \leq 10$	0,15
		$11 < d_{gap} < 20$	0,18
		$d_{gap} \geq 20$	0,21

Pencere kepenkleri, gece yalıtımı sağlanması için kullanılmaktadır. Bu nedenle kepenk, yalnızca güneşin batmış olduğu ve dış hava sıcaklığının  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında olması durumunda aktif kabul edilir ve  $U_{win}$  değeri denklem (2.4) ile hesaplanır. Pencere için ısı iletkenlik direnç değeri  $R_{gap}$  Çizelge 2.8'den alınır.

$$U_{win} = U_{win+shut} = 1 / (U_{win} + d_{shut}/\lambda_{shut} + R_{gap}) \quad (2.4)$$

Elde edilen  $U_{win+shut}$  ile alana bağlı olarak denklem (2.5)'deki  $H_{tr,win}$  hesaplanır.

$$H_{tr,win} = A_{win} \cdot U_{win+shut} \quad (2.5)$$

$H_{tr,win}$  : bir zonu çevreleyen tüm saydam bileşenlerin iletim ve taşınım ısı geçiş katsayısı, W/K

$A_{win}$  : bileşenin alanı,  $m^2$

$U_{win+shut}$  : saydam bileşenin ve kepengin toplam ısıl geçirgenli katsayısı,  $W/(m^2 \cdot K)$

### Kapı bileşenleri:

Kapı bileşenleri için ısıl geçirgenlik katsayısı Çizelge 2.9'dan seçilir. Seçilen  $U_{do}$  değeri denklem (2.6)'da kullanılır ve kapı bileşenlerinin iletim ve taşınım katsayısına ulaşılır. Denklem (2.6)'daki  $U_{do}$  değeri Çizelge 2.9'dan kapı tipine göre seçilir.



$$H_{tr,do} = A_{do} \cdot U_{do} \quad (2.6)$$

$H_{tr,do}$  : bir zonda yer alan tüm kapı bileşenlerinden iletim ve taşınım ısı geçiş katsayısı, W/K

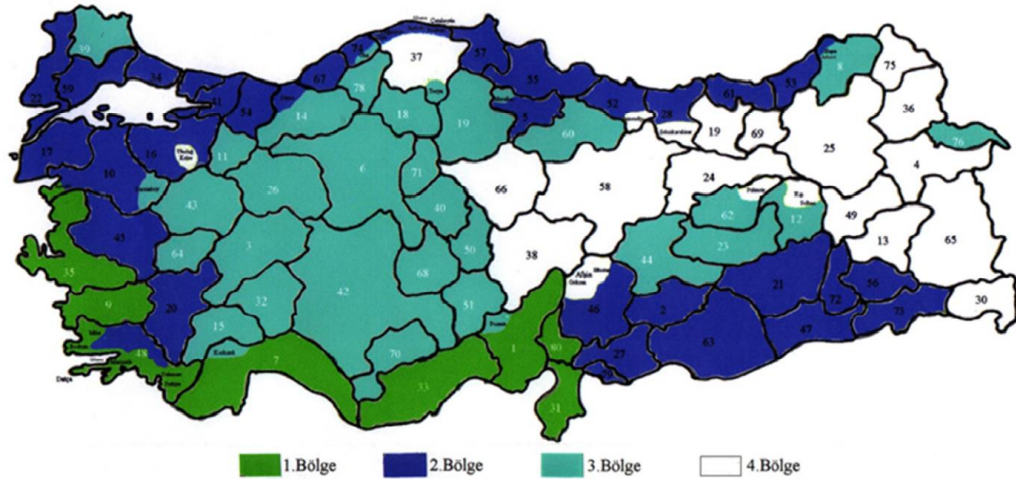
$A_{do}$  : kapı yüzeyinin alanı, m<sup>2</sup>

$U_{do}$  : kapı bileşeninin U katsayısı, W/(m<sup>2</sup>·K)

**Çizelge 2.9** : Kapı bileşenleri için ısı geçirgenlik katsayısı [20].

Dış kapı seçiminde kullanılacak konstrüksiyon tipleri	Isıl geçirgenlik katsayısı $U_{do}$
Ağaç, plastik	3,5
Metal (ısı yalıtımlı)	4,0
Metal (ısı yalıtımsız)	5,5

Bütün bu yapı bileşenleri için (Duvar, Pencere v.b) yapılacak hesaplamalar sonucunda ortaya çıkacak olan ısı geçirgenlik katsayısı U-değerleri; TSE tarafından Mayıs 2008 de yayınlanmış olan TS 825- Bina Isı Yalıtım Kuralları standart kitapçığında bölgelere göre belirlenmiş olan Çizelge 2.10'da gösterilen ısı geçirgenlik katsayısını aşmamalıdır. Bu değerler daha sonra yayınlanmış olan "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğin" Ek IV referans bina belirleme yöntemi föyünde bulunan çizelge 4'de maksimum U-değeri olarak kabul edilmiştir [20].



01- ADANA	10- BALIKESİR	19- ÇORUM	28- GİRESUN	37- KASTAMONU	46- K.MARAŞ	55- SAMSUN	64- UŞAK	73- ŞIRNAK
02- ADIYAMAN	11- BİLECİK	20- DENİZLİ	29- GÜMÜŞHANE	38- KAYSERİ	47- MARDİN	56- SİRT	65- VAN	74- BARTIN
03- AFYON	12- BİNGÖL	21- DIYARBAKIR	30- HAKKARİ	39- KIRKLARELİ	48- MUĞLA	57- SINOP	66- YOZGAT	75- ARDAHAN
04- AĞRI	13- BİTLİS	22- EDİRNE	31- HATAY	40- KIRŞEHİR	49- MUŞ	58- SIVAS	67- ZONGULDAK	76- IĞDIR
05- AMASYA	14- BOLU	23- ELAZIĞ	32- ISPARTA	41- KOCAELİ	50- NEVŞEHİR	59- TEKİRDAĞ	68- AKSARAY	77- YALOVA
06- ANKARA	15- BURDUR	24- ERZİNCAN	33- İÇEL	42- KONYA	51- NİĞDE	60- TOKAT	69- BAYBURT	78- KARABÜK
07- ANTALYA	16- BURSA	25- ERZURUM	34- İSTANBUL	43- KUTAHYA	52- ORDU	61- TRABZON	70- KARAMAN	79- KİLİS
08- ARTVIN	17- ÇANAKKALE	26- ESKİŞEHİR	35- İZMİR	44- MALATYA	53- RİZE	62- TUNCELİ	71- KIRIKKALE	80- OSMANIYE
09- AYDIN	18- ÇANKIRI	27- GAZİANTEP	36- KARS	45- MANİSA	54- SAKARYA	63- ŞANLIURFA	72- BATMAN	81- DÜZCE

**Şekil 2.6** : Derece gün bölgelerine göre illerimiz [24].

**Çizelge 2.10 : İllere göre maksimum ısı geçirgenlik katsayısı (U-değeri) [24].**

	$U_D^*$	$U_T^*$	$U_t^*$	$U_P^*$	$g-g_l^*$
1. Bölge	0,7	0,45	0,7	2,4	0,75
2. Bölge	0,6	0,4	0,6	2,4	0,75
3. Bölge	0,5	0,3	0,45	2,4	0,3
4. Bölge	0,4	0,25	0,4	2,4	0,3

\*

$U_D$ : Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı,  $W/m^2K$

$U_T$ : Tavanın ısı geçirgenlik katsayısı,  $W/m^2K$

$U_t$ : Zemine oturan tabanın/döşemenin ısı geçirgenlik katsayısı,  $W/m^2K$

$U_P$ : Pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı,  $W/m^2K$

$g-g_l$ : Pencere camının güneş ışınımı geçirgenlik katsayısı

### 2.1.2.5. Havalandırma ile ısı geçişinin hesaplanması

Havalandırma ile ısı geçişinde; zonda farklı kaynaklardan meydana gelen hava akılarının iç hava sıcaklığına doğrudan ve kütle sıcaklığına dolaylı etkisi hesaplanır. Hava akısı oluşturduğu kabul edilen kaynaklar; Pencere ve kapılar aracılığıyla doğal havalandırma, yapı kabuğundaki aralık ve çatlaklar aracılığıyla gelen sızıntılar (infiltrasyon), iklimlendirilmeyen bitişik zondan (kışbahçesi, çatı arası, depo v.b) hava akısı ve ayrıca ısı geri kazanım ünitelerinden ve ön ısıtmalı / soğutmalı mekanik havalandırma sistemlerinden hava akısı olarak sıralanmaktadır [20,23].

### Doğal havalandırma ve sızıntı

Tasarım hacimsel hava debisi ( $q_{ve,d}$ ) hesaplanırken, Çizelge 2.11'dan elde edilen binanın hava sızdırma değerine ( $n_{50}$ ) göre Çizelge 2.12'dan hava sızdırmazlık seviyesi belirlenmektedir. Belirlenen hava sızdırmazlık seviyesi ile binanın korunma durumuna göre ( $n$ ), bina tipolojine bağlı olarak Çizelge 2.13'den veya Çizelge 2.14'den alınacaktır (EN 13789).

Denklem (2.8)'de gösterilen doğal havalandırma için hacimsel hava debisi, minimum havalandırma ihtiyacı hacimsel hava debisi ( $q_{ve,min}$ ) ile denklem (2.7) ile hesaplanan tasarım hacimsel hava debisinden ( $q_{ve,d}$ ) büyük olarak alınır [20].

$$q_{ve,d} = V \cdot n \quad (2.7)$$

$q_{ve,d}$  : Tasarım hava hacimsel debisi,  $m^3 / h$

$n$  : Zondaki hava değişim sayısı,  $1 / h$

$V$  : Zonun hacmi,  $m^3$

$$q_{ve,infe} = \max [ q_{ve,min} ; q_{ve,d} ] \quad (2.8)$$

$q_{ve,infe}$  : Doğal havalandırma hacimsel hava debisi, m<sup>3</sup> / h

$q_{ve,min}$  : Minimum hava hacimsel debisi, m<sup>3</sup> / h

$q_{ve,d}$  : Tasarım hava hacimsel debisi, m<sup>3</sup> / h

**Çizelge 2.11** : Temel sızdırma değerleri ve eklenecek değerler (EN13465) [20].

Konstrüksiyon tipi	Konstrüksiyon tipine bağlı Hava Sızdırma Değeri						Toplam n <sub>50</sub>
	Temel Hava Sızdırma Değeri	Kompleks (Dikdörtgen Olmayan Kat Planı)	Sızdırmaz Bant Olmayan Pencere ve Kapılar	Sızdırmaz Bant Olan Pencere ve Kapılar	Bitişik Bina	Sıva Yapılmış Duvar	
Ahşap Konstrüksiyonlu Yalıtılmış Alçak Bina n <sub>50</sub> [h <sup>-1</sup> ]	3	1	1	-1	-0,5	0	
Tuğla veya Blok Alçak Bina n <sub>50</sub> [h <sup>-1</sup> ]	8	1	1	-1	0	-1	
Beton veya Perde Duvar Yüksek Bina n <sub>50</sub> [h <sup>-1</sup> ]	3	1	1	-1	0	-1	

**Çizelge 2.12** : Hava sızdırmazlık seviyeleri [20].

Hava Değişim Oranı (Toplam n <sub>50</sub> )		Sızdırmazlık
Ofis ve diğer bina tipolojileri	Müstakil konut ve Apartmanlar	
< 2	< 4	Yüksek
2 ile 5 arası	4 ile 10 arası	Orta
> 5	> 10	Düşük

**Çizelge 2.13** : Doğal havalandırma hava değişim sayısı, ofis ve diğer binalar (n - h<sup>-1</sup>) [20].

Binanın Korunma Durumu	Birden Fazla Yüzey			Bir Yüzey		
	Binanın Sızdırmazlığı			Binanın Sızdırmazlığı		
	Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Korunmasız (Açık alandaki ve şehir merkezindeki yüksek binalar)	1,2	0,7	0,5	1	0,6	0,5
Hafif Korunmalı (Ağaçlık alandaki ve şehir merkezinde az sıklıktaki binalar)	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Tam Korunmalı (Orman içindeki ve şehir merkezindeki sık binalar)	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

**Çizelge 2.14 :** Konutlarda doğal havalandırma hava değişim katsayısı [20].

Binanın Korunma Durumu	Binanın Sızdırmazlığı (n)		
	Düşük	Orta	Yüksek
Korunmasız (Açık alandaki ve şehir merkezindeki yüksek binalar)	1,5	0,8	0,5
Hafif Korunmalı (Ağaçlık alandaki ve şehir merkezinde az sıklıktaki binalar)	1,1	0,6	0,5
Tam Korunmalı (Orman içindeki ve şehir merkezindeki sık binalar)	0,7	0,5	0,5

Yapılan tüm bu hesaplamalar denklem (2.9)'da hesaplanan havalandırma ısı geçiş katsayısında kullanılmaktadır [20].

$$H_{ve} = \rho_a \cdot c_a \sum_{k=1}^n (b_{ve,infe} \cdot q_{ve,infe}) + (b_{ve,infu} \cdot q_{ve,infu}) + (b_{ve,infss} \cdot q_{ve,infss}) \quad (2.9)$$

$H_{ve}$  : havalandırma ısı geçiş katsayısı, W/K

$\rho_a \cdot c_a$  : havanın ısı kapasitesi, W h/m<sup>3</sup>K

$b_{ve,infe}$  : doğal havalandırma için düzeltme katsayısı

$q_{ve,infe}$  : doğal havalandırma hava hacimsel debisi, m<sup>3</sup>/h

$b_{ve,infu}$  : iklimlendirilmeyen zondan havalandırma için düzeltme katsayısı

$q_{ve,infu}$  : iklimlendirilmeyen zon ile iklimlendirilen zon arasındaki hava hacimsel debisi, m<sup>3</sup>/h

$b_{ve,infss}$  : sera ile iklimlendirilen zon arasındaki havalandırma için düzeltme katsayısı

$q_{ve,infss}$  : sera ile iklimlendirilen zon arasındaki hava hacimsel debisi, m<sup>3</sup>/h

#### 2.1.2.6. Mekanik sistemler için enerji ihtiyacının hesaplanması

Mekanik Sistemler; ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri, havalandırma sistemleri, kullanım sıcak suyu sistemleri, bileşik ısı güç sistemlerinden enerji girdisinin hesaplanması, fotovoltaik sistemler'den oluşmaktadır [20].

#### Isıtma sistemleri

Isıtma ihtiyacının karşılanması için ısıtma sistemine sağlanması gereken toplam enerji miktarı ve destek enerjisi DIN V 18599 standardı referans alınarak belirlenmiştir. Standartta ısıtma yapılan ay için hesaplama yapılmaktadır, destek enerjisi hesaplanırken aylık değerler kullanılmıştır. Net enerjiden saatlik bazda gelen

bilgiler önce aylık temele oturtulmaktadır. Isıtma yapılan her saat için net ısıtma enerjisi ihtiyacına karşılık, sağlanması gereken enerji miktarı ve destek enerjisi aylık olarak belirlenerek yıllık toplam sağlanması gereken enerji miktarı bulunmaktadır [20].

Isıtma sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır [20]:

- Sıcak sulu ısıtma
- Doğrudan Elektrikle ısıtma
- Radyant ısıtıcı
- Soba ile ısıtma
- Isı pompalı sistemler
- Elektrikli ısıtıcılar

#### **Sıcak sulu ısıtma:**

Sıcak sulu ısıtmada ısı üretici olarak kazan veya ısı pompası kullanılacağı var sayılmıştır. Kullanılan kazan için ısı üretim kayıpları ve ısı üretimi için gerekli destek enerjisi aylık olarak hesaplanmaktadır. Destek enerjisi, sistemin fonksiyonunu tam olarak yerine getirebilmesi için kurulan fanlar, pompalar vb. gibi yardımcı elemanların tükettiği enerjidir [20].

Isıtma elemanı olarak 4m'den düşük yükseklikteki alanlar için radyatör, sulu gömülü sistem (döşemeden, duvardan veya tavandan ısıtma) ve konvektör, 4m'den yüksek olan alanlar için hava apareyi kullanılacağı kabul edilmektedir [20].

Isıtma elemanı olarak [20];

- Radyatör seçilmesi durumunda oda sıcaklığının kontrolü, kazan çalışma sıcaklığı ve radyatörün yerleşim yerine bağlı olarak kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır. Kontrol ve emisyon kayıpları, mevcut elemanlardaki kontrol cihazları ve istenmeyen ısı geçişi dolayısıyla meydana gelen kayıplar olarak ifade edilebilir.
- Sulu gömülü sistem seçilmesi durumunda oda sıcaklığının kontrolü, sulu gömülü sistemin döşemeden ısıtma (ıslak sistem, kuru sistem ya da ince örtülü kuru sistem), duvardan ısıtma ya da tavandan ısıtma olması ve

yüzeyledeki ısı kayıplara bağlı olarak kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır.

- Konvektör kullanılması durumunda, konvektör sayısına ve konvektör fanının güç tüketimine bağlı olarak kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır.
- Sıcak hava apareyi kullanılması durumunda, hava apareyinin düşey ya da yatay fanlı oluşuna ve oda yüksekliğinin 4-8 m arasında veya >8 m olmasına göre kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır.
- Merkezi HVAC ısıtması kullanılması durumunda da kontrol ve emisyon kaybı hesaplanmaktadır. Ayrıca HVAC ısıtma serpantinleri için net enerji hesabı yapılır.

Eğer ısıtma merkezi olarak yapılıyorsa ısıtma yapılmayan mahallerdeki boru ısı kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra sirkülasyon için gerekli destek enerjisi de aylık olarak hesaplanır.

Kazan olarak kombi seçilmesi durumunda borulamanın ısıtılan mahal içinde kalacağı varsayımıyla boru ısı kayıpları ve ayrıca sirkülasyon için gereken destek enerjisi göz ardı edilmektedir.

Merkezi ısıtma yapılan sistemlerde sıcak su deposu olması durumunda, deponun ısı kaybı ve destek enerjisi miktarı hesaplanmaktadır [20].

### **Doğrudan elektrikle ısıtma:**

Doğrudan elektrikle ısıtma için tavana bağlı radyant panel, elektrikli döşemeden ısıtma ve yağ depolu elektrikli radyatör seçenekleri vardır. Tavana bağlı radyant panel ve elektrikli döşemeden ısıtma için oda yüksekliği ve oda sıcaklık kontrolüne bağlı olarak kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır. Yağ depolu elektrikli depolu radyatör kullanılması durumunda radyatörün yerleşim yerine ve kontrol şekline göre kontrol ve emisyon kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır [20].

### **Radyant ısıtıcı:**

Radyant ısıtıcı için oda yüksekliği ve oda sıcaklık kontrolüne bağlı olarak kontrol ve emisyon kayıpları ve ayrıca ısı üretim kayıpları aylık olarak hesaplanmaktadır [20].

### **Soba ile ısıtma:**

Soba ile ısıtmada sobanın yakıt türüne göre katı, sıvı ve gaz yakıtlı(hermetik ve bacalı) olmasına veya çinili soba olmasına bağlı olarak sağlanması gereken toplam enerji aylık olarak hesaplanmaktadır [20].

### **Elektrikli ısıtıcılar:**

Elektrikli ısıtıcıların kullanılması durumunda sağlanması gereken enerji miktarı hesaplanmaktadır [20].

### **Isı pompalı sistemler:**

Isı pompalı sistemler hem ısıtma hem de soğutmada kullanılabilir. Enerji tüketimi hesaplanırken COP değerleri göz önüne alınır. Bu sistemler hem ısıtmada hem soğutmada üreteç ve eleman işlevi görürler. Klimalar, VRF sistemler ısı pompalı sistemler olarak ele alınırlar [20].

### **Isı üreticiden ısıtma sistemine verilmesi gereken enerji:**

Isı üreticiden ısıtma sistemine verilmesi gereken ısı, enerji ihtiyacı ve kayıp enerjilerin toplamı ile denklem (2.10) ile hesaplanır [20].

$$Q_{h,outg} = Q_{h,b} + Q_{h,ce} + Q_{h,d} + Q_{h,s} \quad (2.10)$$

$Q_{h,outg}$  :Isı üreticinin ısıl gücü, (kWh)

$Q_{h,b}$  :Net enerji ihtiyacı, (kWh)

$Q_{h,ce}$  :Isıtma sisteminden çevreye olan kontrol ve emisyon kayıpları, (kWh)

$Q_{h,d}$  :Isıtma sisteminden çevreye olan dağıtım ısı kayıpları, (kWh)

$Q_{h,s}$  :Isıtma sisteminden çevreye olan depolama ısı kayıpları, (kWh)

Merkezi HVAC ısıtması kullanıldıysa denklem (2.11) kullanılır [20];

$$Q_{h^*,outg} = Q_{h^*,b} + Q_{h,d} + Q_{h,s} \quad (2.11)$$

$Q_{h^*,outg}$  :HVAC ısıtması için ısı üreticinin ısıl gücü, (kWh)

$Q_{h^*,b}$  :Merkezi HVAC ısıtması için net enerji ihtiyacı, (kWh)

$Q_{h,d}$  :Isıtma sisteminden çevreye olan dağıtım ısı kayıpları, (kWh)

$Q_{h,s}$  :Isıtma sisteminden çevreye olan depolama ısı kayıpları, (kWh)

### Isı üreticine sağlanması gereken enerji:

Isı üreticine sağlanması gereken enerji denklem (2.12) ile hesaplanır.

$$Q_{h,f} = (Q_{h,outg} + Q_{h,g}) \cdot f_{g,PM} - Q_{h,reg} \quad (2.12)$$

$$Q_{h,reg} = Q_{h,sol}$$

$Q_{h,f}$  : Isı üreticine sağlanması gereken enerji, (kWh)

$Q_{h,outg}$  : Isı üreticinin ısı gücü, (kWh)

$Q_{h,g}$  : Isıtma sisteminin üretim kayıpları, (kWh)

$Q_{h,reg}$  : Yenilenebilir enerji katkısı, (kWh)

$Q_{h,sol}$  : Güneş enerjisi katkısı, (kWh)

$f_{g,PM}$  : Pompa kontrolü ile entegre edilmiş ısı üreteçleri için düzeltme faktörü [20].

Denklem (2.12)'deki pompa kontrolü ile entegre edilmiş ısı üreteçleri düzeltme faktörü  $f_{g,PM}$ , kazan sıcaklığının kontrol şekline göre Çizelge 2.15'ten alınır.

**Çizelge 2.15** : Isı üreteçleri için düzeltme faktörü değerleri [20].

	$f_{g,PM}$
Pompa kontrolü ile entegre edilmiş ısı üreteçleri için	1
Pompa kontrolü ile entegre edilmiş ve kazan sıcaklığı dış sensörler ile kontrol edilen ısı üreteçleri için,	1,03
Pompa kontrolü ile entegre edilmiş ve kazan sıcaklığı iç sensörler ile kontrol edilen ısı üreteçleri için,	1,06
Pompa kontrolü bulunmayan ısı üreteçleri için	1

Merkezi HVAC sistemi ile ısıtma yapılıyorsa denklem (2.13) kullanılır [20];

$$Q_{h*,f} = Q_{h*,outg} + Q_{h,g} - Q_{h,reg} \quad (2.13)$$

$$Q_{h,reg} = Q_{h,sol}$$

$Q_{h*,f}$  : HVAC ısıtma sisteminden ısı üreticine sağlanması gereken enerji, (kWh)

$Q_{h*,outg}$  : HVAC ısıtması için ısı üreticinden ısıtma sistemine verilmesi gereken enerji, (kWh)

$Q_{h,g}$  : Isıtma sisteminin üretim kayıpları, (kWh)

$Q_{h,reg}$  : Yenilenebilir enerji katkısı, (kWh)

$Q_{h,sol}$  : Güneş enerjisi katkısı, (kWh)

Destek Enerjisi: Isıtma sistemi için destek enerjisi denklem (2.14) ile hesaplanır.



$$Q_{h,aux} = Q_{h,ce,aux} + Q_{h,d,aux} + Q_{h,s,aux} + Q_{h,g,aux} \quad (2.14)$$

$Q_{h,aux}$  : Isıtma sistemi için destek enerjisi, (kWh)

$Q_{h,ce,aux}$  : Isıtma sisteminin kontrol ve emisyon destek enerjisi, (kWh)

$Q_{h,d,aux}$  : Isıtma sistemi dağıtım destek enerjisi, (kWh)

$Q_{h,s,aux}$  : Isıtma sistemi depolama destek enerjisi, (kWh)

$Q_{h,g,aux}$  : Isıtma sistemi üretim destek enerjisi, (kWh) [20].

### **Soğutma Sistemleri**

Soğutma için enerji gereksinimi; Merkezi HVAC sistemi, Mahal şartlandırma (iklimlendirme) olmak üzere iki tipte incelenmektedir. Soğutma için HVAC soğutma fonksiyonu ve soğutma enerji çıkışı ayrı ayrı hesaplanarak toplanır [20].

### **HVAC sistemi ile soğutma**

HVAC sistemi ile soğutmada; HVAC sisteminde kullanılan fanlar için varsayılan güç tüketim değerleri, soğutma serpantinleri için enerji ihtiyacı, HVAC sistemi için soğutma gücü hesabı, soğutma sistemine göre enerji kullanımı gibi binanın tipi, kısmi yük değerleri, sıcaklık seviyesi, kullanım şekli, yeniden soğutma tipi, kullanılıyorsa kompresör tipi gibi parametreler dikkate alınarak enerji hesabı yapılır [20].

### **Mahal şartlandırma (iklimlendirme) için soğutma enerjisi**

Bu soğutma enerjisi hesabında; mahal şartlandırma için soğutma enerji ihtiyacı mahal şartlandırma için soğutma enerji beslemesi mahal şartlandırma için destek enerjisi soğutma sistemine göre enerji kullanımı, binanın tipi, kısmi yük değerleri, sıcaklık seviyesi, kullanım şekli, yeniden soğutma tipi, kullanılıyorsa kompresör tipi gibi parametreler dikkate alınarak enerji hesabı yapılır [20].

### **Havalandırma sistemleri**

Havalandırma Isı kuyusu, bina zonundan dışarıya ısının atıldığı kısımdır. Net Enerji kısmında anlatıldığı gibi ısıtma için gerekli enerji hesabı, ısı değiştiricili havalandırma sistemlerine göre havalandırma ısı kuyularına bağlı karakteristik değerlerle verilmiştir. Bunlar Besleme havası sıcaklığı (Koşullandırılan ortama verilen havanın sıcaklığı) ve Hava değişim oranıdır [20].

Havalandırma ve havayla ısıtma sistemleri için ısı üreteç çıkışı hesaplanır Isı üreteci için verilmesi gereken enerji aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar ile Üreteç ısıl gücü, Üreteç ısıl kayıpları ve Emilen havadan geri kazanılan ısı miktarı belirlenmektedir [20].

### **Kullanım sıcak suyu sistemleri**

Kullanma sıcak suyu sistemi için üreteç ısısı;

$$Q_{w,outg} = Q_{w,b} + Q_{w,d} + Q_{w,s} \quad (2.15)$$

$Q_{w,outg}$ : Kullanım sıcak suyu sistemi için üreteç ısıl gücü, (kWh)

$Q_{w,b}$  : Enerji ihtiyacı, (kWh)

$Q_{w,d}$  : Kullanım sıcak suyunun çevreye olan dağıtım ısıl kayıpları,(kWh)

$Q_{w,s}$  : Kullanım sıcak suyunun sistemde depolanması ile meydana gelen ısıl kayıplar,(kWh)

denklem (2.15) ile ifade edilmektedir [20].

Kullanım Sıcak Suyu Enerji İhtiyacı, Binanın sıcak su ihtiyacı tek bir sistem tarafından sağlanması durumunda hesaplamalar bu tek sistem üzerinden yapılır. Bunun yanı sıra bir binada sıcak su ihtiyacını temin edecek birden fazla sistem yer alabilir. Bu durumda her bir sistem için benzer hesaplar yapılmaktadır [20].

### **2.1.3. BEP-TR programının kullanım profili**

BEP-TR yazılımı temel veri girdileri ile program çıktılarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Program temel veri girdileri:

- Binaya ait geometrik bilgileri ve yerel iklim verisinin girilmesi
- Geometrik tanımlama, kat tanımlaması ve zonlamanın yapılması
- Yapı bileşenleri termofiziksel özelliklerinin ve boyutlarının tanımlanması
- Yaşayan insan sayısı, ısı köprüleri tayini ve sızdırmazlık bilgisinin girilmesi
- Pencere ve kapıların termofiziksel özelliklerinin ve boyutsal verilerin girilmesi
- Binada gölgeleme unsurlarına ait bilgilerin girilmesi
- Aydınlatma sistemine ait verilerin girilmesi

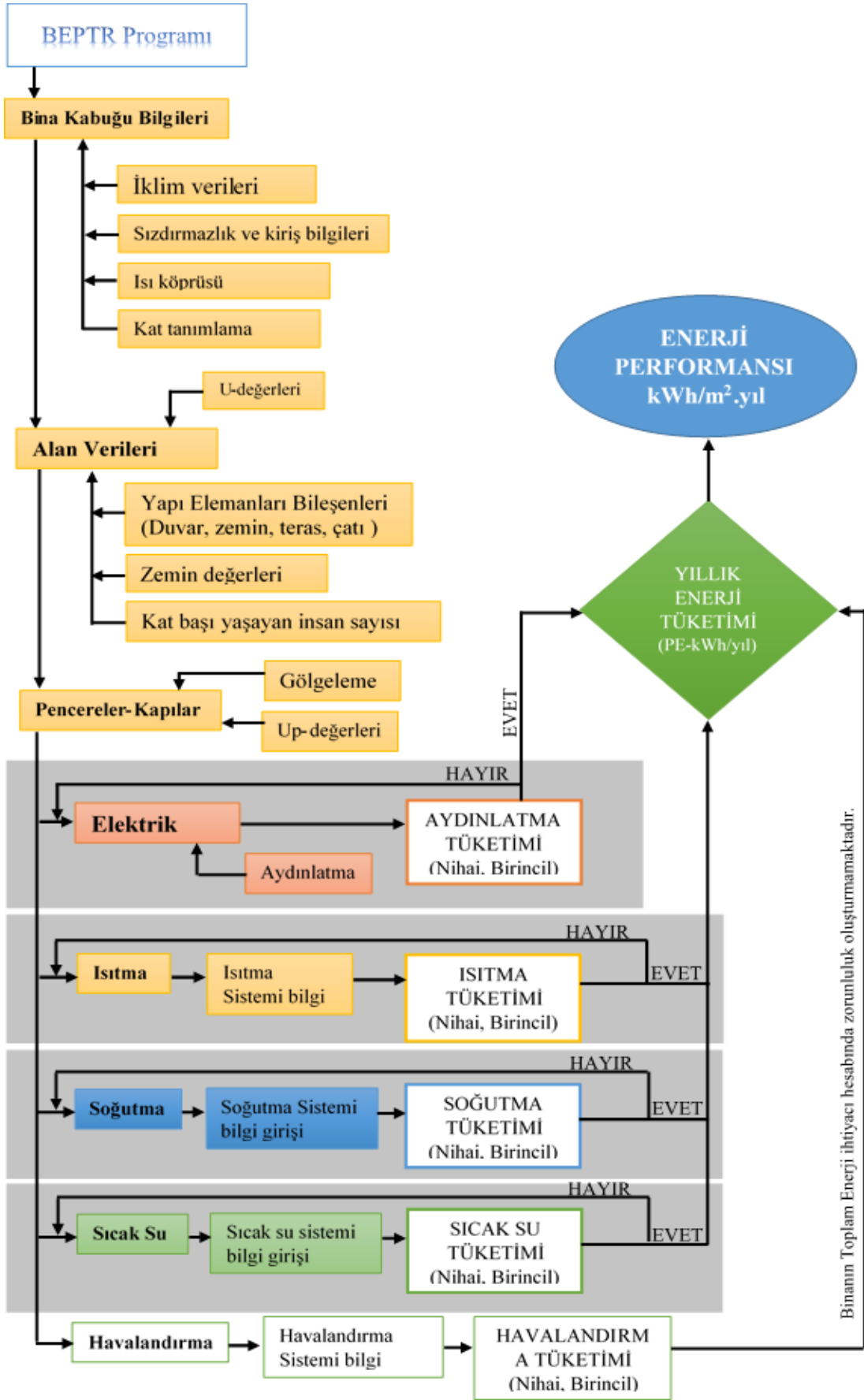
- Mekanik sistemlere ait ısıtma, soğutma, sıhhi sıcak su sistemine ait veri girişi

Program çıktıları:

- Isıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma sistemi  **nihai yıllık enerji tüketimi**
- Isıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma sistemi  **birincil yıllık enerji tüketimleri**
- Isıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma sistemi  **yıllık enerji yükleri** (kWh/m<sup>2</sup>.yıl)
- **Birincil enerji CO<sub>2</sub> eşdeğer toplam emisyon değeri**

BEP-TR enerji simülasyon programına ait veri giriş iş akış şeması Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Programda aşağıdaki basamaklar takip edilerek sonuca ulaşılır.

- İş akış şemasından da anlaşılacağı üzere programa bina genel bilgileri girildikten sonra binanın bulunduğu bölgenin iklim verileri girilir. BEP-TR yazılımında sadece Türkiye’nin TS 825 ısı yalıtım kurallarını içeren standardında belirlenmiş olan iklim bölgelerine ait iklim verileri tanımlanmış olup Türkiye dışındaki iklim bölgelerine ait veri giriş yapılamamaktadır.
- İklim verisi bilgileri tanımlandıktan sonra yazılıma sızdırmazlık ve dış ortama bakan kolon giriş sistemleri ve ısı köprüsü tipleri tanımlanır.
- Program malzeme kütüphanesinde pencere, kapı, çatılar, çıkmalar gibi bölgeler için tanımlanmış olan ve yapının yapım biçimine göre seçenklendirilen ısı köprüsü tipleri seçilir.
- Yazılımda bir kat bilgisi tanımı yapılır. Binada bulunan katlara ait bilgiler kat formu ve ölçüleri ile alan bilgileri yazılıma girilir.
- Yapı elemanlarına ait alan ve boyut bilgileri girilir.
- Opak malzeme kütüphanesinden yapı elemanlarına ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) atanır.
- Kişiden kaynaklanan iç ısı kazançlarının hesaplanabilmesi için binada yaşayacak insan sayısı girilir.
- Pencere ve kapı boyutları yön durumları da dikkate alınarak yazılıma girilir.
- Saydam malzeme kütüphanesinden saydam bileşenlere ait U-değeri seçilir.



Şekil 2.7 : BEP-TR veri akış şeması

- Pencere ve kapı ile ilgili veri girişi yapılırken binaya ait gölgeleme unsuru var ise gölgeleme durumları da programa girilir.

Bu kısma kadar yapılmış olan veri girişleri ile yazılımın binanın termofiziksel ve yapısal özelliğinden kaynaklı net enerji ihtiyacı belirlenir. Programda ayrıca binaya ait bir mekanik sistem tanımlaması yapılmalıdır. Program özellikle ısıtma sistemi, soğutma sistemi ve sıcak su sistemi bilgilerinin herhangi birisinin girilmemesi durumunda binanın enerji performansını hesaplamamaktadır.

- Isıtma enerji tüketimi hesabının yapılabilmesi için binanın yapısal verileri ve yapı elemanlarına ait veriler girildikten sonra bir ısıtma sisteminin tanımlanması gerekmektedir. Isıtma sistemi merkezi ve ya sobalı olmak üzere iki farklı tipte tanımlanabilir. Isıtma sistemi olarak merkezi sistem tanımlama zorunluluğu yoktur. Bireysel ısıtma sistemi de tanımlanabilir. Örnek binamızda ısıtma sistemi bireysel olduğundan programa veri girişi merkezi sistem seçiminde brülör ve pompa yönetimi yok sayılarak bireysel ısıtma sistemi tanımlanmıştır. Ayrıca programda HVAC sistemi seçimi yapılabilmektedir. Isıtma sistemi tanımlanırken bu sekmede bulunan sistem seçimiyle birlikte sisteme ait sistem gücü (projeden) pompa tipleri ve gücü, HVAC var ise fanlara ait veriler programa girilir. Isıtma sisteminin hizmet verdiği zon seçilir. Tüm bu veriler girildikten sonra yazılımda bir ısıtma enerji tüketim değeri hesaplanır. Bu simülasyon programında binanın ısıtma talebine ilave olarak ısıtma sisteminde kullanılan yardımcı elemanların (pompa v.s) enerji ihtiyacı da eklenmektedir.
- Soğutma enerji tüketimi hesabında yine binanın termofiziksel özellikleri tanımlandıktan sonra soğutma sistemine ait veri girişi yapılır. Veri girişi yapılırken bu sekmede soğutma sisteminde ısı geri kazanım varsa belirtilir. Soğutma sistemi endirekt sistem ise çiller tanımlanır, bireysel direkt sistem ise klima (split, pencere tipi) tanımlanır. Eğer merkezi direkt sistem ise VRF ve HVAC soğutma sistemi tanımlanabilmektedir. Örnek projede BEP-TR yazılımına bireysel direkt soğutma sistemi olarak klima tanımlanmıştır. Sistemin hizmet ettiği zon seçilir. Soğutma sistemi tanımlandıktan sonra binaya ait soğutma enerji tüketim değerleri hesaplanır. Program yardımcı elemanların enerji tüketimi soğutma tüketim değerleri üzerine eklenmektedir.

- Sıhhi sıcak su enerji tüketimi için sistem seçimi yapılır. Merkezi veya bireysel seçim yapmak mümkündür. Merkezi seçim yapılması durumunda binada varsa güneş enerjisi desteği belirtilmelidir. Yazılıma sistemin iç ve dış mekân boru boyu uzunlukları ve sistem verim bilgisi girilir.
- Yıllık enerji tüketim değeri hesabının yapılabilmesi için yukarıda da belirttiğimiz gibi BEP-TR yazılımında mekanik sistem tanımlanması yapılırken kesinlikle ısıtma soğutma ve sıhhi sıcak su sistemi verileri girilmelidir. Bu üç sistemden birine ait verinin yazılıma girilmemesi durumunda yazılım hata vermekte ve bina enerji performansını hesaplamamaktadır. Yazılım çıktı olarak bir binaya ait bir enerji kimlik belgesi düzenler ve binanın enerji performans seviyeleri ile sistemlere ait nihai ve birincil enerji tüketimleri ile kullanım alanı başına düşen yıllık enerji yükünü hesaplar.

### 2.1.3.1. Referans bina ve binaların enerji tüketim sınıflarının belirlenmesi

**Varsayılan bina yöntemi**, referans bina belirleme yöntemlerinden biridir. Varsayılan bina, enerji kimlik belgesi üretilecek bina (asıl bina) ile aynı yerde, aynı geometriye sahip, fakat mekanik sistemler ve bina kabuğunun termofiziksel özellikleri açısından mevcut bina yönetmeliklerine minimum uygunluk gösteren hayali bir referans binadır [25].

**Referans bina**, yazılıma tanımlanan asıl binanın bilgilerini kullanarak sistem tarafından otomatik olarak oluşturulur. Aynı hesaplama yöntemi, her iki bina için de çalışarak hem asıl bina için hem referans bina için tüketim ve salım değerlerini hesaplar [25].

Binanın enerji performansı, denklem (2.16)'daki eşitlikte görülen gerçek binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarı ile kıyaslanmasıyla hesaplanır [25];

$$E_{p,EP} = 100 \times (1 - (EP_r - EP_g)/EP_r) \quad (2.16)$$

Referans bina ile aynı değerlere sahip bir binanın Ep değeri 100'dür ve Çizelge 2.16'de de görüleceği gibi D sınıfının üst sınırına yerleşmektedir [25].

**Çizelge 2.16** : BEP-TR’de enerji performans göstergesi aralığı [25].

Enerji Sınıfı	Ep aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-...

Çizelge 2.16, Enerji performans değerlerine göre sınıflandırmayı göstermektedir. Sınıflandırma, enerji tüketimi için ve CO<sub>2</sub> salımı için ayrıdır, iki sınıflandırma için de aynı çizelge kullanılır. Çizelge 2.16, BEP Yönetmeliği Ek-5a ve 5b’yi referans almaktadır [23].

#### **2.1.4. BEP-TR enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller**

BEP-TR Enerji sertifika programının faydaları;

Öncelikle BEP-TR ve BEP-HY programlarında konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller ile alışveriş ve ticaret merkezleri gibi bina tipolojilerindeki mevcut ve yeni binaların enerji performansını değerlendirmelerinde kolaylık sağlar.

Binanın enerji performansı hesaplamaları ile kullanıcıların yaşadıkları veya yaşayacakları yeni yapılacak veya mevcut binaların enerji tüketim değerlerini ve enerji sınıfını bilmelerini sağlanmaktadır.

BEP-TR sertifika programının ürünü olan Enerji Kimlik Belgesinin düzenlenmesiyle binanın enerji verimliliği yönlendirilmiş olur ve bir enerji kültürü oluşur. Binanın enerji tüketim değerlerinin hesaplanması ile verimlilik önlemleri alınmasına olanak sağlamakta ve yapılacak iyileştirme çalışmaları ile enerji kullanımı azaltılabilecektir.

Kullanıcılarda bir enerji kültürünün oluşturulması ve farkındalığın artırılması ile binaların enerji kullanımının azaltılması sonucu iklim değişikliği ve atık gazların sera gazı etkisinin azaltılması sağlanabilir.

Bir enerji stratejisi oluşturulmasını sağlayarak enerji harcamaları ve enerji maliyetlerinin azaltılması yönünde politikalar oluşturulmasını sağlar.

Programın internet tabanlı olması ile merkezi veri tabanı üzerinden izlenebilmekte ve koordine edilebilmektedir. Merkezde toplanan verileri ile yeni enerji politikalarının oluşturulmasında yol gösterici bir rol oynamaktadır.

BEP-TR hesaplama programının ürünü olan EKB-Enerji kimlik belgesinin varlığı durumunda mevcut binalarda enerji sisteminin iyileştirilmesi yönünde devlet teşvikleri ve vergi indirimlerinin uygulanması öngörülmektedir.

BEP-TR teknik engeller:

Enerji kimlik belgesi düzenlemek için internet tabanlı BEP-TR yazılımı kullanılmaktadır. Yazılımdaki teknik hatalar ve olası sunucu kapasitesi eksikliği nedeniyle var olan yazılıma erişim sorunu giderilememiştir. Ayrıca, BEP-TR'nin veri alma yönteminden kaynaklanan kullanım sorunları sürmektedir [26].

BEP-TR yazılım programı oluşturulma aşmasında yeterli çalışmalar yapılmadan kullanıma açılmıştır. Program internet tabanlı olduğundan sürekli hatalar vermektedir. Veri girişi yapılırken program zaman zaman sistemden atmaktadır. Referans bina yaklaşımı ile bina geometrilerinin sınırlı sayıda geometrileri uymaları için, program kullananların kararlarına dayalı sübjektifliği de içeren zorlamalar ile yeni bir geometri oluşturulması ve bu geometri üzerinden enerji kimlik değerlerinin (ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma) hesaplanması doğru bir yaklaşım olarak görülmemektedir. Sistem internet tabanlı özellikle Windows tabanlı olduğundan diğer işletim sistemlerinde çalıştırılmamaktadır. Bina kabuğu iyi olan bir yapı enerji etkin olarak görünmektedir. Ayrıca yapı malzemeleri standart olan bir yapıda alan farkı gözetmeksizin tüketim değerlerini benzer vermektedir [26].

BEP-TR'de enerji kimlik belgesi düzenlenecek olan binanın mimari özelliklerini tanımlamak çok uzun sürmekte, buna karşılık binanın enerji performansında büyük önem sahibi olan mekanik sistemler (ısıtma, soğutma, havalandırma gibi) hakkında sınırlı bilgi girilebilmektedir [26].

Yazılımın yapısı, kullanıcıyı bina verisini basitleştirerek girmeye zorlamaktadır. Örneğin, bir kat planı girilirken, önceden tanımlanmış sınırlı sayıda şablon arasından uygun olanın seçilmesi gerekmekte, kullanıcının girmek istediği kat dikdörtgen, L, U gibi basit geometrik şekillerde değilse, seçenekler arasından hangisine daha yakınsa o şekilde girilmesi önerilmektedir. Veri girişi sırasında bina hakkındaki bilgiyi "basitleştirme" gerekliliği yazılımın genelinde bulunmaktadır. Bu durum veri girişini yoruma açık hale getirdiğinden, düzenlenen enerji kimlik belgesinde yer alan değerlerin binanın enerji performansını doğru olarak yansıtmasını güçleştirmektedir [26].



## 2.2. PASSIVHAUS Genel Tanıtımı

Passivhaus standardı dünyadaki enerji verimli bina tasarımlarına öncülük etmektedir. İlk tam fonksiyonlu pasif ev gerçekte 1883 yılında Fridtjof Nansen tarafından inşa edilen bir araştırma gemisidir (Şekil 2.8). Nansen, geminin tavan, kabin ve salonlarının toplam duvar kalınlığının 15 inch (38,1 cm) olduğunu belirtmektedir. Gemideki kullanım alanlarında ısıtıcı kullanılmadan 22 °C konfor sıcaklığı sağlanmıştır. Gemide iyi bir havalandırma sistemi mevcuttur [27].



**Şekil 2.8** : Fridtjof Nansen'in kutup gemisi [29].

Dünyadaki birçok iklim bölgesinde passivhaus standardı ortaya çıkmadan önce bölgenin iklim şartlarına uygun ve hassas inşa edilen binalar bulunmaktadır. Geleneksel uygulamalarla yapılan bu binalar ısıtma ve aktif soğutma gerektirmemektedir. Bu tarz binalar iyi yalıtımlı binalar olarak tariflenmektedir. Örneğin İran'ın bazı kesimlerinde, Portekiz'in kıyısında, Çin'in bazı soğuk bölgelerinde Şekil 2.9'da görülen bu tip geleneksel binalar bulunmaktadır. Bölgede yaşayanlar farkında olmasalar da inşa edilen evler pasif evlerdir. Bu evleri ilk olarak Bo Adamson sınıflandırmış ve bu evler Passivhaus araştırmaları için Bo Adamson'a fikir vermiştir [27].



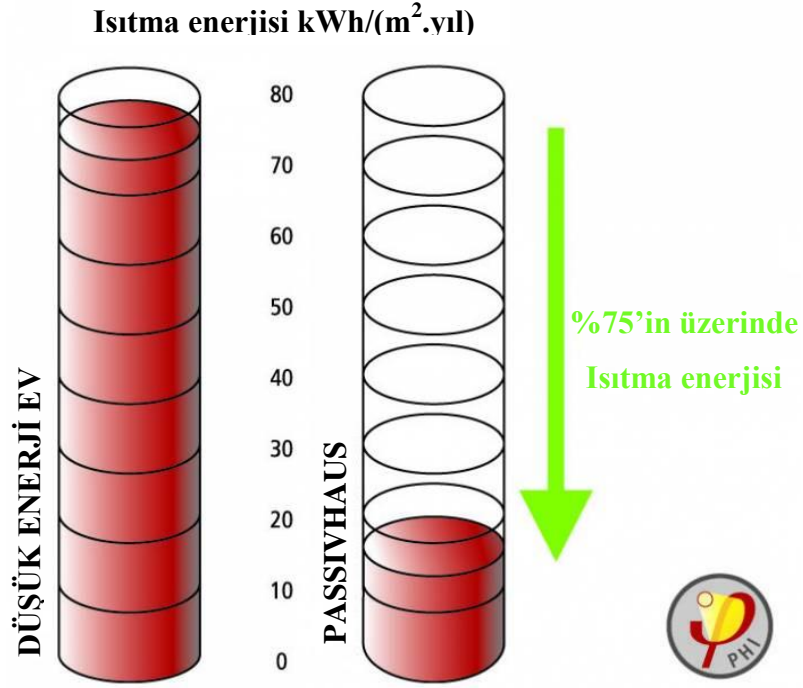
**Şekil 2.9 :** Güney Çin'de bulunan geleneksel Passivhaus [29].

Standart ilk olarak Mayıs 1988'de Prof. Dr. Bo Adamson ve Prof. Dr. Wolfgang Feist tarafından yayınlanmıştır. Şekil 2.10'da görülen ilk pasif ev, Almanya Darmstadt'da Passivhaus standartlarına göre 1990 yılında inşa edilmiştir [28].



**Şekil 2.10 :** Darmstadt-Kranichstein'deki Passivhaus'un güney cephesi [29].

Passivhaus standardında yapılan pasif evler, yalıtımı iyileştirilmiş, enerji verimli, konforlu, ekolojik ve ekonomik yaşam ortamı olan bir yapıdır. Passivhaus standardında inşa edilen bir ev bulunduğu bölgedeki standartlara göre inşa edilen mevcut evlere göre yaklaşık %90, yeni yapılacak binalara göre ise %75 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır ve Şekil 2.11'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Passivhaus standardı başlangıçta konut binaları için oluşturulmuş fakat daha sonra ofis, okul, işyeri ve büyük binaları da kapsayacak şekilde genişletilmiştir [29].



**Şekil 2.11** : Isıtma Enerjisi karşılaştırması [29].

Passivhaus terimi, Almanca kökenli bir kelime olup Türkçede “pasif ev” olarak tanımlanabilir. Passivhaus bir bina, binanın konforlu ve sağlıklı olması için ve iklim şartları nasıl olursa olsun geleneksel binalara kıyasla çok daha az enerji tüketimini sağlamak için tasarlanmıştır. Bu standarttaki bir bina, doğru tasarım bilgileri ve doğru bina fiziği ve en önemlisi de akılcı ve doğru inşa yöntemini kullanan yetenekli ve motive bir takım ile başarılabilir. Ayrıca bir pasif ev, standartlara göre inşa edilen binalara göre daha konforlu ve sağlıklı olduğu düşünülmektedir. Çünkü pasif evlerde hava akımı, yoğuşma ve küf oluşumunu engelleyen önlemler alınmaktadır. Pasif ev yöntemi soğuk iklimlere uygulanmakla birlikte sıcak iklimlerde de uygulanabilmektedir [30].

Pasif evler, Pasif Ev Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu standartlar doğrultusunda tasarlanır ve inşa edilir. Daha sonra bu yapılar enstitünün yayınlamış olduğu standartlara uygun olmaları durumunda sertifikalandırılır. Şu an dünyada 20.000'den daha fazla pasif ev standardına göre sertifikalandırılmış evler bulunmaktadır [30].

Bu bölümde passivhaus standardı, standart kriterleri ve parametreleri ile Almanya'da bulunan Passivhaus Enstitüsü tarafından hazırlanmış Pasif Ev Planlama Paketi (Passivhaus Planning Package-PHPP) hakkında genel bilgiler verilecektir [30].

### 2.2.1. Passivhaus enerji standardı

Passivhaus standardı, Almanya'da 1996 yılında kurulan bağımsız araştırma enstitüsü olan Passivhaus Enstitüsü (Passivhaus Institute-PHI) tarafından geliştirilmiştir [30]. Bu standart, pasif ev olarak tasarlanmış bir binanın passivhaus standardını karşıladığından emin olmak için ve planlandığı gibi çalışacak tasarımda doğrulama yapabilmek için oluşturulmuştur [30]. Pasif Evlerin standartta belirtilen tasarım ve yapı ile ilgili kriterleri sağlaması gerekmektedir. Pencereler, duvar, çatı, temel ve döşemelerin inşası ve tasarımı Passivhaus standardına göre doğru bir şekilde yapılmalıdır [31].

Konutlar için geçerli olan sertifikasyon kriterleri;

- Toplam ısıtma ihtiyacı  $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{yıl})$  veya alternatif olarak ısıtma yükü  $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Toplam Soğutma ihtiyacı  $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{yıl}) + 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{yıl.K}) \times \text{DDH}$  veya alternatif olarak soğutma yükü  $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Isıtma, soğutma, sıcak su, yardımcı elektrik, iç ve dış mekân elektrik için yıllık enerji ihtiyacı  $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{yıl})$
- Sızdırmazlık  $n_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$

DDH: Dry degree hours, buharlaştırma ' $0.3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{yıl.K})$  . DDH' olarak ilave edilmektedir [32,33].

#### Pasif ev konfor tasarım kriterleri;

- Havalandırma: Temiz ve sağlıklı iç hava kalitesini sağlamak için gerekli havalandırma değeri kişi başına  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  ve hava akımını engellemek ve havanın hareketi için gerekli enerji ihtiyacını azaltmak için besleme ve tahliye hatlarında maksimum hava hızı  $0.1 \text{ m/s}$  olmalıdır.
- Minimum iç yüzey sıcaklığı: Dış hava sıcaklığı  $-10^\circ\text{C}$  olduğu zaman  $17^\circ\text{C}$ 'den daha büyük olmalıdır. Düşük yüzey sıcaklıkları konveksiyon odaklı hava akımı oluşumuna sebep olmaktadır.
- Aşırı ısınma limiti: Yılın tüm günlerinin %10'undan az olduğu  $25^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki ortam sıcaklıkları [30,33].

Passivhaus enstitüsü tarafından hazırlanan PHPP'de (pasif ev planlama paketi) kullanılacak passivhaus standardı sınır koşulları veya hesaplama kriterleri [32,33];

- İç tasarım sıcaklığı; 20 °C olarak belirlenmiştir.
- Isıl konfor; ISO 7730 uygun olan kriterler.
- İç ısı kazancı; 2.1 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.
- Bina doluluk oranı; minimum 35 m<sup>2</sup>/kişi, maksimum 20 m<sup>2</sup>/kişi'dir.
- Sıcak su ihtiyacı; sıcak su tasarım sıcaklığı 60°C, su ihtiyacı kişi başına günde 25 litredir.
- Ortalama hacimsel havalandırma debisi; hanede kişi başına 20-30 m<sup>3</sup>/h, veya net kullanım alanının 2,5m kabul edilen oda yüksekliği ve en az 0,30 katlık bir hava değişim oranı ile çarpılarak havalandırma debisi hesaplanır.
- Elektrik ihtiyacı; maksimum 0,45 Wh/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Pasif ev planlama programında belirlenen standart değerler kullanılmalıdır.
- Bina ısıl yüzeyleri; gerçek dış yüzey boyutları girilmelidir.
- Opak bina bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri); yapı denetimi yönetmeliği veya ulusal standartlara uygun olarak belirlenmiş iletkenlik değerleriyle EN 6946 dayanan pasif ev planlama programı prosedürüne göre belirlenmektedir.
- Kapı ve Pencerelerin U-değeri; EN1077'ye uygun olarak hesaplanan çerçevenin U<sub>f</sub> değeri ve cam kenarı ısı köprüsü veya EN ISO 10211'e uygun olarak hesaplanan montaj ısı köprüsü değeriyle pasif ev planlama programı prosedürüne göre belirlenmektedir.
- Saydam bileşen cam; EN 673'e uygun U<sub>g</sub> değeri ve EN 410'a uygun g-değeri hesaplanır.
- Isı jenaretörünün enerji performans göstergesi; PHPP yöntemi veya ayrı bir doğrulama ile yapılır.
- Isı geri dönüşümü ile havalandırma oranı %75'tir.
- Birincil enerji faktörleri; PHPP datasets.

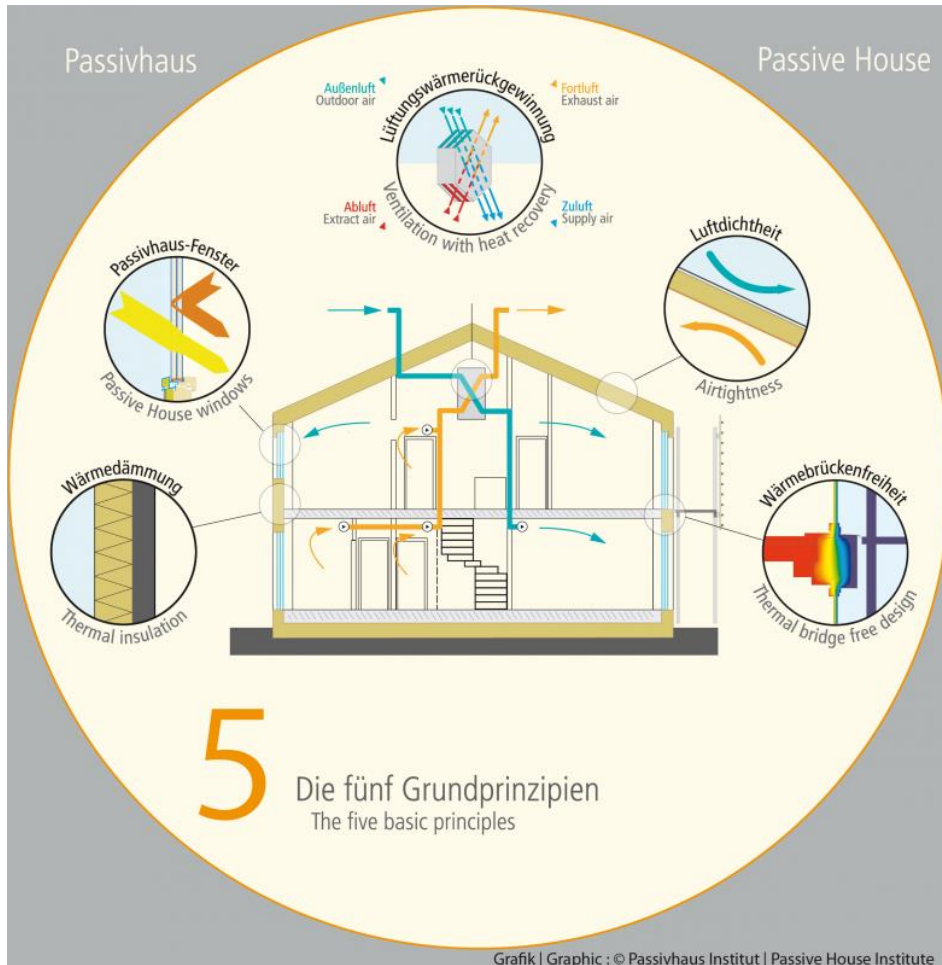
Pasif ev enstitüsü tarafından oluşturulmuş pasif ev standardı sürdürülebilir bir pasif ev standardı olarak tanımlanmaktadır. Avrupa parlamentosu 31 Ocak 2008'de 2011 yılına kadar üye devletler tarafından bu standardın uygulanması, 17 Kasım 2009'da ise 2020 yılına kadar tüm yeni binaların sıfır enerjili bina olarak yapılması yönünde karar almıştır [32,33].

## 2.2.2. Passivhaus standart parametreleri

Passivhaus standardında göze çarpan beş temel prensip vardır. Bunlar;

- Isı yalıtımı
- Pencereler
- Isı köprü tasarımları
- Sızdırmazlık
- Isı geri dönüşümlü havalandırma sistemi

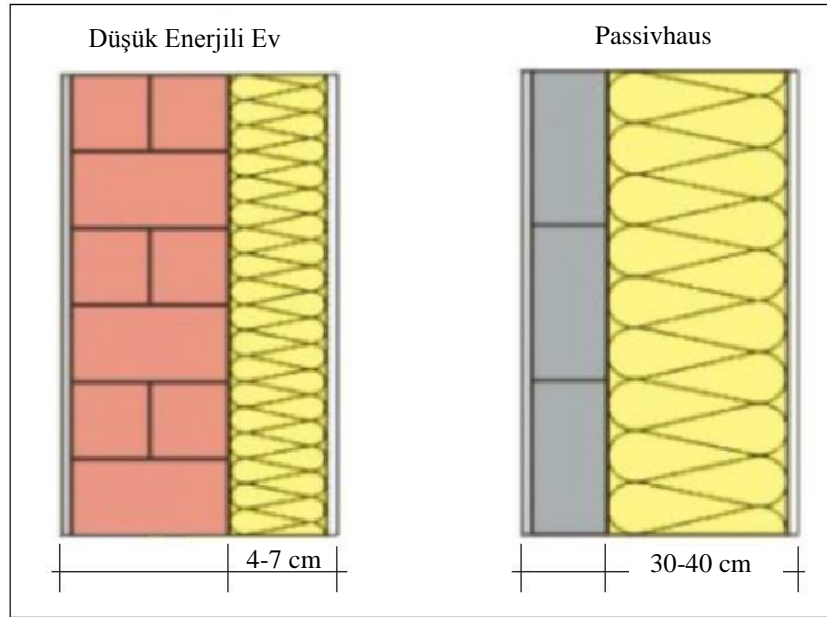
olarak sıralanmaktadır [29,33].



Şekil 2.12 : Pasif evi beş temel prensibi [29].

### 2.2.2.1. Isı yalıtım

Soğuk aylarda iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından çok düşük olmasından dolayı iç ortamdaki dış ortama doğru ısı kaçışı olacaktır. Yaz aylarında ise soğuk ayların tam tersi bir durum söz konusudur. Bina kabuğu, dış ortamdaki iç ortamı ayıran yapı elemanlarından oluşmaktadır. Burada asıl amaç iklim koşullarına göre iç ortam sıcaklığındaki standartları sağlayabilmektir. İklim ne olursa olsun herhangi bir binada ısı akışını kısıtlamak gerekmektedir. Mevcut binalardaki toplam ısı kaybının %75'den fazlası dış duvar ve çatılardan gerçekleşmektedir. Isı akışının kontrol edilebilmesi için bu noktada bina kabuğundaki ısıl korumanın önemi ön plana çıkmaktadır. Betonarme yapılar, ahşap yapılar, prefabrik yapı elemanları, çelik yapı ve her türlü karma yapılarda ısı yalıtım uygulaması yapılmalıdır. Isı yalıtım enerji tasarrufu açısından etkin bir yöntemdir. Betonarme yapılarda duvarlarda ısıl iletkenlik hesap değeri 0.032-0.040 W/mK olan polistren köpük veya ısıl iletkenlik hesap değeri 0.040 W/mK olan mineral yün kullanılır. Yalıtım kalınlığı 20-30 cm arasında olmalıdır [30,33]. Şekil 2.13'de Passivhaus kriterlerine uygun dış duvar kesiti Şekil 2.14'de dış duvar çeşitleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.13** : Passivhaus dış duvar ısı yalıtım kesiti [29].

Passivhaus standardına göre bir pasif evin duvar, zemin döşemesi ve çatısına ait ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) 0.10 ile 0.15 W/m<sup>2</sup>K arasında olmalıdır. Bu değerler iklim bölgelerine göre biraz daha düşük veya yüksek olabilir. Bu değerler sadece yapısal metotların karşılaştırılması için değil ayrıca bugünün enerji tüketim bedelleri

içinde efektif bir değerdir. İyi bir yalıtım ve yapının sızdırmazlığı pasif evlerde enerji tüketim değerleri üzerinde iyi bir etkiye sahiptir [30,33].

### U-değerinin hesaplanması:

Passivhaus standardında ISO 6946'ya göre U-değeri hesabı denklem (2.17)'de gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır. Bu hesap metal yapı elemanları için uygulanmamaktadır [34].

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \quad (2.17)$$

$R_{si}, R_{se}$  : ISO 6946'ya uygun iç ve dış yüzeylerin ısı direnci

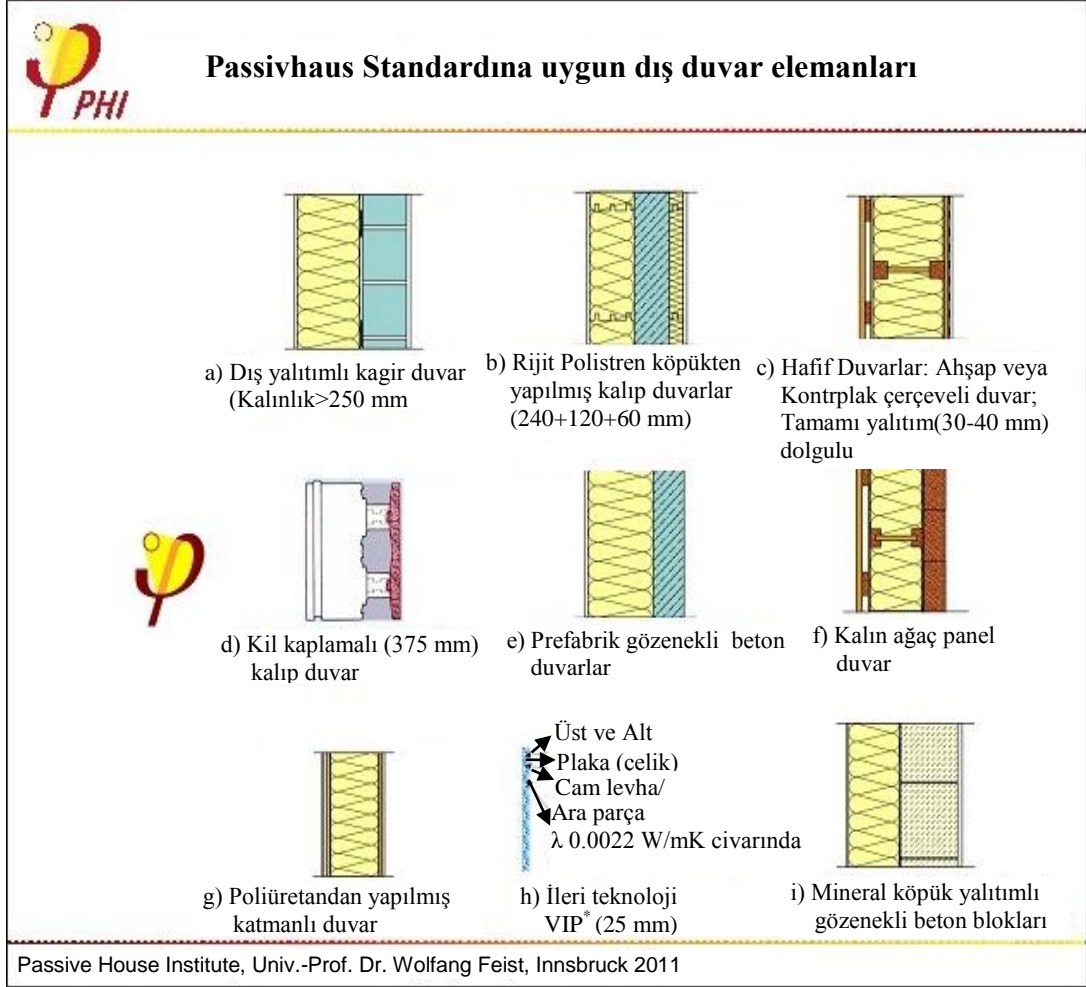
$R_1 \dots R_n$  : Yapı elemanlarının ısı iletkenlik direnci,  $1 \dots n$ ,  $R_i = d_i / \lambda_i$

**Çizelge 2.17** : Bazı bina malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerleri [34].

Malzeme	Isı iletkenlik hesap değeri ( $\lambda$ ) [W/mK]
Beton (güçlendirilmiş)	2.1
Hafif Beton	0.15 – 0.30
Kauçuk	0.17
Halı	0.06
Mantarlı muşamba	0.17
Düz cam	1
Alüminyum	160
Düşük karbonlu çelik	50
Paslanmaz çelik	17
Plastik	0.17 – 0.30
Alçı sıva	0.18 – 0.56
Alçıpan	0.25
Çimento sıva	1.40
Doğal taş	1.50 – 3.50
Ahşap	0.18
Sunta	0.10 – 0.18
OSB	0.13
Mineral yün	0.035 – 0.040
Yığma tuğla	0.80 – 1.20
Poliüretan köpük	0.025 – 0.040
Elyafli izolasyon malzemesi	0.035 – 0.050

Çizelge 2.17'de bulunan ahşap ve ahşap ürünlerinin ısı iletkenlik hesap değeri, ısı akışının ahşap liflerine paralel olarak oluşması durumunda 2,2 katsayısı ile çarpılmalıdır [34]. İç ve dış yüzeylerin ısı iletkenlik direnci Çizelge 2.18'den seçilir.





**Şekil 2.14 :** Passivhaus dış duvar çeşitleri [29].

**Çizelge 2.18 :** EN ISO 6946'ya göre yüzey ısı iletkenlik direnci [34].

Isıl İletkenlik Direnci 'R'	Isı akış yönü		
	Yukarı yönde	Düşey	Yukarı yönde
$R_{si}$ [ $m^2K/W$ ]: İç yüzey ısı iletkenlik direnci	0.10	0.13	0,17
$R_{se}$ [ $m^2K/W$ ]: Dış yüzey ısı iletkenlik direnci		0.04	
$R_{se}$ [ $m^2K/W$ ]: Toprak altı dış yüzey ısı iletkenlik direnci		0.00	

#### Yalıtım malzemeleri:

Pasif ev tasarımında, bina yapı elemanlarının standartlardaki ısı geçirgenlik katsayısına (U-değeri) ulaşması sadece çok iyi ısı yalıtım malzemeleri ile sağlanabilir. Pasif evin yapı bileşenlerinde 0,13 W/m<sup>2</sup>K'lik bir ısı geçirgenlik katsayısına (U-değeri) ulaşmak için gerekli malzeme kalınlık değerleri Çizelge 2.19'de gösterilmektedir [29].

**Çizelge 2.19** : Bazı yapı elemanlarında 0,13 W/m<sup>2</sup>K ısııl geçirgenlik katsayısını sağlamak için gereken malzeme kalınlığı [29].

Malzeme	Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda$ (W/mK)	U=0,13 W/m <sup>2</sup> K için gereken kalınlık – l (m)
Betonarme	2,30	17,30
Katı tuğla	0,80	6,02
Delikli tuğla	0,40	3,01
Çam Keresteden	0,13	0,98
Gözenekli izo tuğla, gözenekli beton	0,11	0,83
Saman	0,055	0,41
Tipik yalıtım malzemesi	0,040	0,30
Yüksek kaliteli geleneksel yalıtım malzemesi	0,03	0,19
Nanoporous süper yalıtım normal malzeme basıncı	0,02	0,11
Vakumlu yalıtım malzemesi (silis)	0,008	0,06

Çizelge 2.19’da grafiksel olarak gösterilen değerler ile;

- Yalıtım etkisi çoğunlukla iyi yalıtım malzemesinin kullanılması ve Bina yapı bileşenlerinin kabul edilebilir kalınlığı ile mümkündür.
- Çizelgenin alt kısmında listelenen yapı elemanları kabul edilebilir kalınlığı sağlayan uygun yapı malzemelerini oluşturmaktadır.
- Çizelgede belirtilen diğer yapı malzemelerinin bina yapı elemanı olarak tek başlarına kullanılması yapının tasarımı açısından uygun değildir. Standartta belirtilen ısııl geçirgenlik katsayısını (U-değeri  $\leq 0.15$  W/m<sup>2</sup>K) sağlamak için bir katı tuğla kullanılması durumunda bu tarz malzemelerin ısııl iletkenliğinin çok yüksek olmasından dolayı duvar kalınlığı 6m’nin üzerinde olmaktadır. Bu durum yapı mimarisi ve tasarımı açısından uygun değildir. Dolayısı ile yapı malzemesi seçimi yapılırken katı tuğla seçilmek istenmesi durumunda çok katmanlı bir seçim yapılmalıdır. Katı tuğla veya gözenekli beton yapı elemanı olarak kullanıldığında duvar dış yüzeyi uygun kalınlıkta yaklaşık 30cm yalıtım köpüğü veya yalıtım plakası ile kaplanmalıdır.

Böylece binada yapılan bu tasarımlar ile iyi yalıtılmış ve standart değerlerini karşılayan ısııl geçirgenlik katsayıları (U-değeri) elde edilmiş olur [35].

### 2.2.2.2. Pencereleler

Pencereler binaların iç ortam koşullarının iyileştirilmesinde önemli bir etkindir. Soğuk iklim bölgelerinde yalıtımı kötü olan pencereler iç ortam sıcaklığı etkilemektedir. Yalıtımı kötü olan pencereler bina duvar yüzeyinde soğuk bölgelerin oluşmasını sebep olmaktadır. Bina duvar yüzeylerinde oluşan bu soğuk bölgeler hava akımı oluşturmakta ve iç ortamın konfor sıcaklığına etki ederek buldukları mahallin daha fazla ısıtılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca yalıtımı iyi olmayan pencerelerin cam çevresinde oluşan ısıl köprüler ile iç ortamdaki dış ortama ısı kaçışına sebebiyet vermektedir. Pencere çevresinde oluşan bu problem pencerelerde yalıtım elemanları kullanılarak giderilebilir. Cam ve çerçevesi iyi yalıtılmış montajı iyi yapılmış pencereler ile iç ortam konfor şartları sağlanmış olur. Passivhaus standardında yapılmış pasif evlerde Pasif ev enstitüsü sertifikalı yüksek performanslı pencereler kullanılmaktadır. Dolayısıyla bina duvar yüzeylerinde oluşan soğuk yüzeyler, soğuk hava akımı oluşumu ve bunlara bağlı yoğuşma ve küf oluşumu giderilerek evlerde konfor ortamı sağlanmış olur [29].

Pasif ev standardına göre yapılan bir pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı  $U_w < 0.80$  W/(m<sup>2</sup>K) den az olması gerekirken bu değer diğer pencerelerde  $U_w > 1.5$  W/(m<sup>2</sup>K)'dir [26]. Dolayısıyla Orta Avrupa'da binalarda kullanılan pasif ev pencereleri, diğer pencereler ile karşılaştırıldığında binalardaki ısı kayıplarını %50'den fazla düşürmektedir. Passivhaus standardındaki bazı pencerelere ait ısıl geçirgenlik katsayıları Çizelge 2.20'de gösterilmektedir.

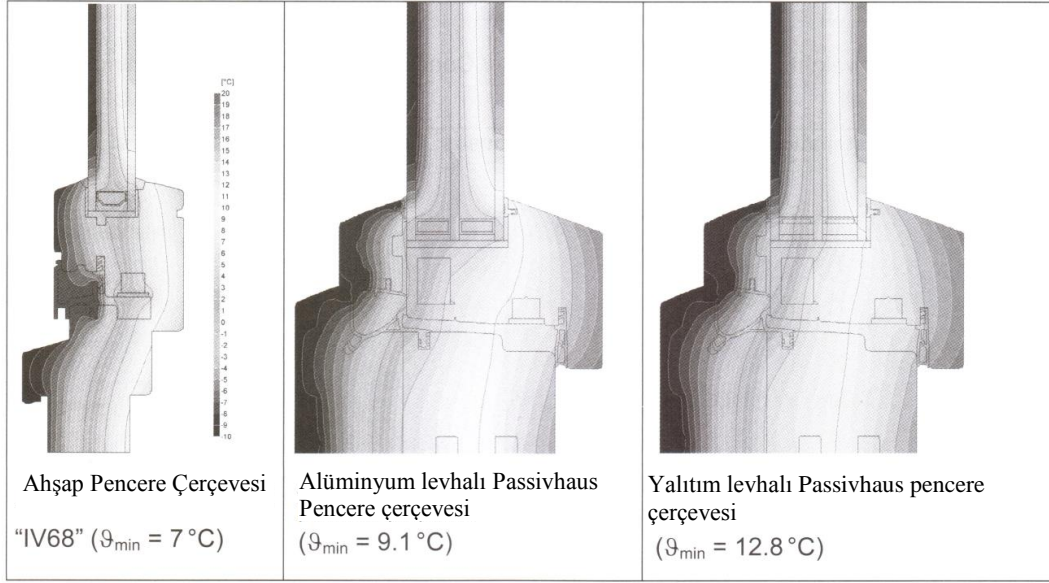
**Çizelge 2.20 :** Passivhaus tipik konut pencereleri ısıl geçirgenlik katsayıları[30].

Pencere	Isıl geçirgenlik katsayısı U-değeri – W/m <sup>2</sup> K
Tek cam	4.0 – 5.0
Çift cam (2010 binalarında)	Yaklaşık 2.0 – 3.0
Çift cam (yeni binalarda)	< 2.0
Passivhaus (üç camlı)	< 0.80

#### **Pencerelerdeki ısı köprüsü etkisi:**

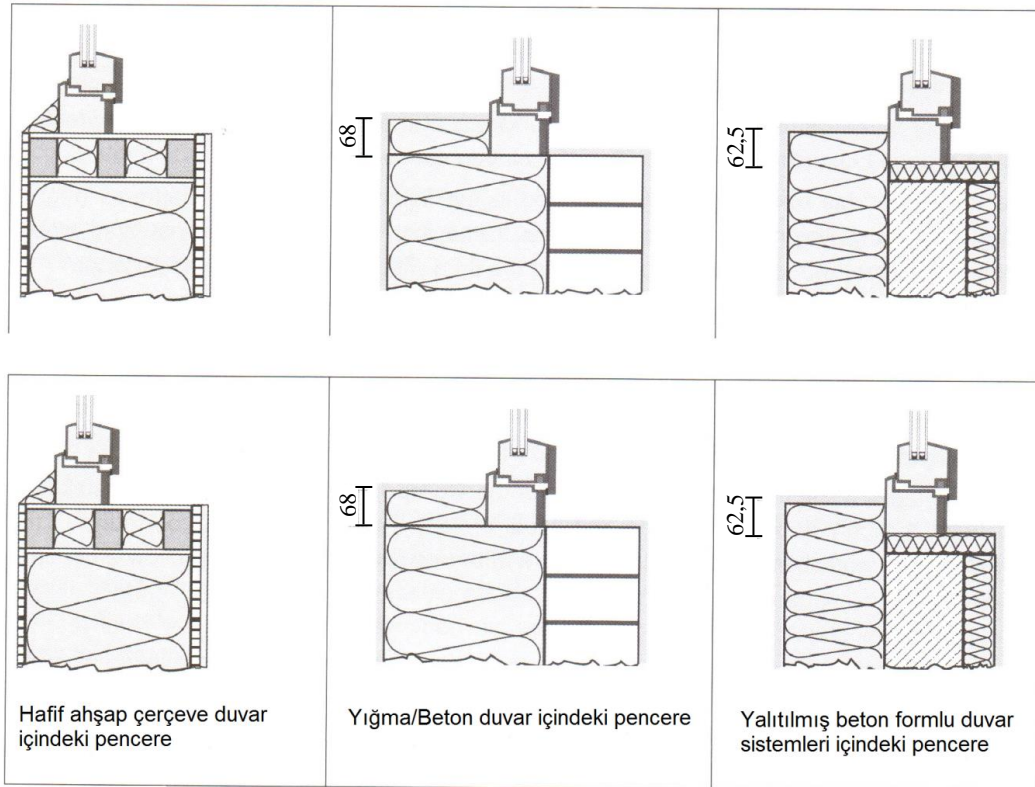
Pencerelerdeki cam contalarının olduğu yerlerde oluşan ısı köprüleri iyi bir ara levha kullanımı ile giderilebilir. Isı köprüsü etkisi Şekil 2.15'de gösterilen izotermal diyagramda açıkça gösterilmiştir. 0,5mm kalınlığında ve 1m uzunluğundaki iki alüminyum şeridin sebep olduğu ısı köprüleri boyunca oluşan ısı kayıpları camlar arasında kalan 15.5m<sup>2</sup>'lik boşluğun kayıplarına eşittir. Bu örnek pencere levhaları ve

şeritleri boyunca oluşan ısı köprülerinden kaynaklanan ısı kayıplarının önemini ortaya koymaktadır [34].



**Şekil 2.15 :** Yalıtımlı ve yalıtımsız ayıraçlı pencereler ve 68mm ahşap çerçeveli pencerenin "IV68" izotermal diyagramı ve yüzey sıcaklıkları [34].

Şekil 2.16'da passivhaus standartlarında tavsiye edilen pencere kurulum detayları gösterilmektedir. Şekildeki değerler milimetre (mm) cinsindedir.



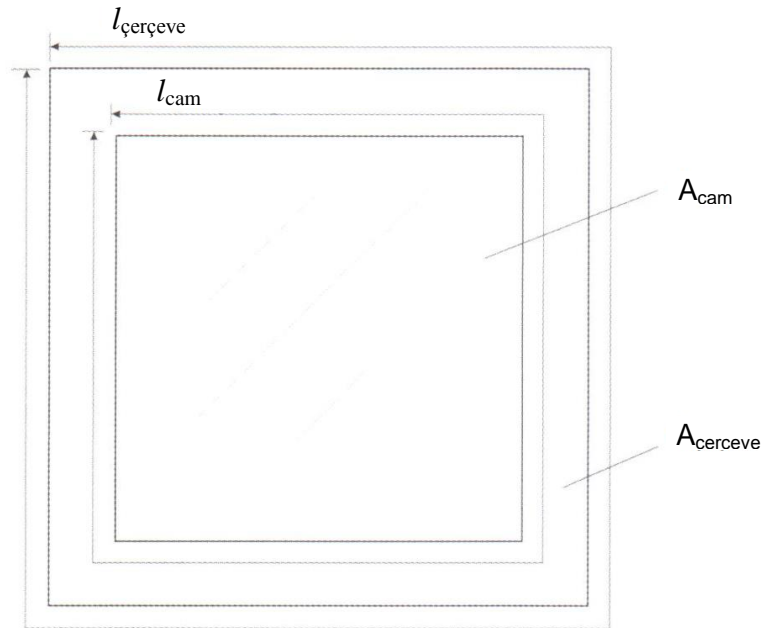
**Şekil 2.16 :** Pasif evler için uygun kurulumlar-kavram çizimler [34,36].

Soğuk aylarda, tüm birleşim noktaları dâhil pencerelerin iç yüzeyindeki ortalama sıcaklık ile iç ortam sıcaklığı arasındaki fark  $3^{\circ}\text{C}$ 'den fazla olmaması gerekmektedir. Bu önkoşul iklim bölgesine bağlı olarak efektif  $U_w$  değerinin belirlenmesini sağlamaktadır [25]. Buradan yola çıkarak orta Avrupa'da kış aylarındaki en soğuk hava sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$ 'dir. Hesaplanan maksimum efektif pencere ısıl geçirgenlik katsayısı ise  $U_w=0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  olarak belirlenmiştir [34].

Pasif ev standardına uygun pencerelerin kurulum örnekleri ve kurulum şekline göre belirlenmiş olan pencere eşiği, pervazlar ve pencere kenarlarında oluşan ısı köprüsü ısı kayıp katsayıları Ek-1 deki detaylarda görülebilir. Bu değerler pencere kurulumunda kullanılan ek ahşap bloklar eğer yoksa ahşap çerçeveler için geçerlidir. Diğer pencere türlerine ait ısı köprüsü ısı kayıp katsayısı değerlerine sertifikasyon dokümanlarından ulaşılabilir [34].

#### **Pencerelerde ısıl geçirgenlik katsayısının (U-değeri) hesaplanması:**

Pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) çerçeve ve camların sebep olduğu ısı köprüleri de dikkate alınarak EN 10077 standardına göre belirlenir. Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı cam, çerçeve, cam köşeleri ve kurulumun niteliğine göre hesaplanmaktadır [34]. Pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayısı hesabı denklem (2.18)'de görüldüğü şekilde yapılmaktadır.



**Şekil 2.17 :** Pencere ısıl geçirgenlik katsayısı hesabında kullanılan parametrelerin yerlerinin gösterimi [34].

$$U_p = 1/A_{\text{pencere}} \cdot [U_{\text{cam}} \cdot A_{\text{cam}} + U_{\text{çerçeve}} \cdot A_{\text{çerçeve}} + l_{\text{cam}} \cdot \psi_{\text{cam köşesi}} + l_{\text{çerçeve}} \cdot \psi_{\text{montaj}}] \quad (2.18)$$

- $A_{\text{pencere}}$  : Toplam pencere alanı  
 $A_{\text{cam}}$  : Toplam cam alanı  
 $A_{\text{çerçeve}}$  : Toplam çerçeve alanı  
 $U_{\text{cam}}$  : Camın ısıl geçirgenlik katsayısı  
 $U_{\text{çerçeve}}$  : Pencere çerçevesinin ısıl geçirgenlik katsayısı  
 $l_{\text{cam}}$  : Cam çevre uzunluğu  
 $l_{\text{çerçeve}}$  : Pencere çerçevesi çevre uzunluğu  
 $\psi_{\text{cam köşesi}}$  : Cam köşeleri ısı köprüsü ısı geçiş katsayısı  
 $\psi_{\text{montaj}}$  : Montaj ısı köprüsü ısı geçiş katsayısı

### **Pencerelerde güneş kazancı:**

Pasif evler belli oranda ismini kış ayları süresince güneşten kazanılan pasif enerjiden almaktadır. Pasif ev pencereleri kışın enerji dengesini sağlamak zorundadır. Bu nedenle cam denklem (2.19)'daki gereklilikleri sağlamak zorundadır [34].

$$U_{\text{cam}} - 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot g \leq 0 \quad (2.19)$$

- $g$  : güneş ısı kazanç katsayısı  
 $U_{\text{cam}}$  : camın ısıl geçirgenlik katsayısı

Pasif ev gereksinimleri karşılayan pencereler ısı kayıplarını karşılayacak seviyede güneş ısı kazancı değerine sahip olmalıdır. Pasif ev pencereleri ayrıca net enerji kazançlarına olanak sağlamalıdır [34].

### **2.2.2.3. Isı köprüleri**

Binalarda ısı köprüleri farklı yapı bileşenleri arasındaki bağlantı noktalarında veya bina kabuğu ısı yapı elemanlarının (genellikle dış duvar) köşe noktalarında oluşur. Binalarda ısı köprüleri, yalıtım elemanlarından kaynaklanan sızıntı ya da yüksek iletkenliğe sahip malzemelerden meydana gelir. Bu genel olarak soğuk köprü olarak bilinir. Bir ısıl köprü direnç değerinin az olması ve yapıda kullanılan malzemelerin performansının düşük olması ve yalıtım malzemeleri üzerindeki açıklıklardan dolayı oluşmaktadır [29,33]

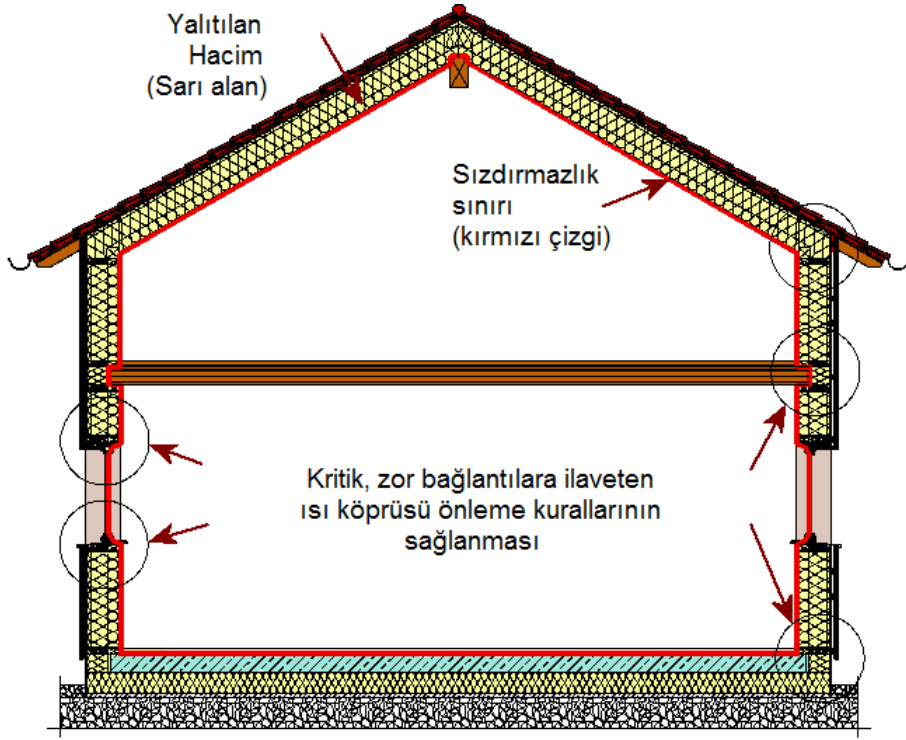
Binalarda oluşan Isı köprülerini önlemek için üç neden vardır. Bunlar [29,33];

- Yalıtımı yetersiz binalarda, toplam ısı kayıplarının yüzdesine göre ısı köprülerinin ilave etkisi nispeten azdır. Bu binalarda yalıtım düzeyleri yükseltilirse ısı köprülerinin etkisi de yükselmektedir. Bu durumda binalarda etkili ve doğru bir şekilde yalıtım yapılmazsa Passivhaus standartlarına ulaşmak mümkün olmamaktadır.
- Soğuk havalarda yapı elemanlarında oluşan ısı köprüsü, düşük iç yüzey sıcaklıklarının oluşmasına yüzeylerde bağıl nemin yükselmesine, küf ve yoğuşma riskinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum kötü yalıtılmış binalarda ve genellikle yanlış değerlendirmeler sonucu ortaya çıkan genel sorundur.
- Isı köprülerinin hesaplanması Pasif ev tasarımcıları için zor ve zaman alıcı bir süreçtir. PHPP-Pasif ev planlama programında ısı köprüsü hesabı otomatik olarak yapılamamaktadır. Isı köprülerinin belirlenmesi ve oluşabilecek noktaların boyutlarının tanımlanması, pasif ev planlama programındaki hesaplama sürecini daha kolaylaştırmakta ve binanın doğru bir enerji modelini oluşturmada etkili olmaktadır.

Isı köprüsünün etkileri [29,33]:

- Genellikle azalan iç yüzey sıcaklıklarındaki değişim, en kötü ihtimalle, yapı elemanlarında ne oluşumuna ve küf oluşumuna sebep olmaktadır.
- Genellikle yükselen ısı kayıplarındaki değişim

Isı köprülerindeki bu etkiler pasif evlerde önlenabilir. İç yüzey sıcaklıklarının her noktada yüksek olması durumunda kritik seviyelerde nem oluşmayacaktır. İlave ısı kayıpları önemsiz seviyelerdedir. Isı köprüsü kayıpları limit değerlerin (0.01 W/mK) altındadır [29,33].



**Şekil 2.18 :** Pasif ev ısı köprüsü noktaları.

Şekil 2.18'deki gibi tasarlanan bir pasif evde ısı köprüsü noktaları azaltılması durumunda ısı kayıpları düşürülmüş olur. Dolayısı ile ısı köprü katsayısı kriterleri sağlayacak şekilde düşürülmüş binada ısı köprüsü kayıpları dikkate alınmaz.

Dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı ve standart bina elemanları mevcut ısı geçirgenlik katsayısı (U-değeri) kullanılarak hesaplanan sonuçlar, ısı köprüleriyle oluşan ısı kayıplarından büyük değilse bina kabuğu, ısı köprüsü oluşmayan bina kabuğu olarak kabul edilir [37].

Geometrik ısı köprülerinden kaynaklanan kayıplar, genellikle ısı kayıplarını hesaplamak için kullanılır. Örtüşen geometrilerin ısı kayıp katsayıları, yapı elemanlarına ait boyutlar kullanıldığı zaman negatif değerdedir. Bu yüzden ısı kayıpları genellikle basitleştirilmiş hesaplama yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bina bileşenlerinde oluşan ısı köprüleri, sadece enerji kayıplarının azaltılması için giderilmez. ısı köprüleri, binanın konfor seviyesini sağlamak ve ısı köprüsü çevresinde yoğunlaşma sonucu oluşan nemin bina bileşenlerine vereceği hasarı engellemek için giderilmelidir. Genel olarak, tasarımın hedefi bina kabuğu elemanları (çatı ve duvarlar v.s.) arasındaki bağlantıların iyi yapılmasıdır. Bu şekilde kesintisiz yalıtım sağlanmış olur [34].



Eğer bina bileşenleri, kriterlere göre tasarlanır ve inşa edilirse ısı köprüsü kayıpları ihmal edilebilir. Passivhaus enstitüsü tarafından sertifikalandırılan ve denklem (2.20) ile ifade edilen binalardaki ısı köprüsü katsayısı,

$$\psi \leq 0.01 \text{ W/mK} \quad (2.20)$$

olmalıdır. Bir binanın ısı köprüsü katsayısı bu kriteri sağlarsa bağlantı noktalarında yoğuşma oluşmaz [34]. Isı köprülerinin ilave ısı iletim kayıpları denklem (2.21)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [34].

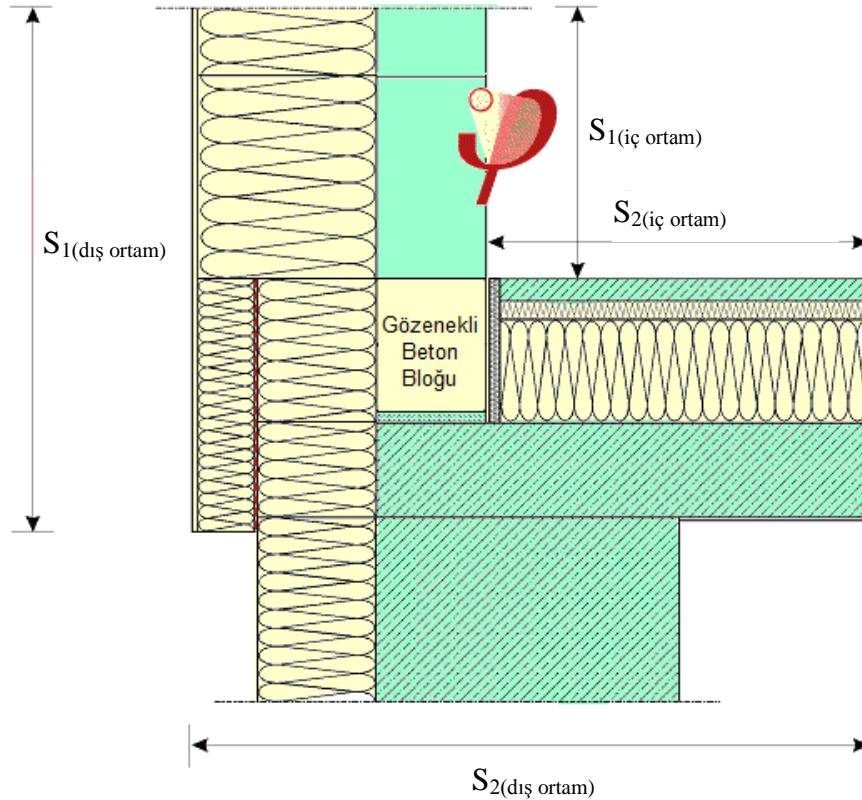
$$Q_T = l \cdot \Psi \cdot f_T \cdot G_t \quad (2.21)$$

$l$  : ısı köprüsü uzunluğu

$\Psi$  : ısı köprüsü ısı kayıp katsayısı

$f_T$  : indirgeme faktörü

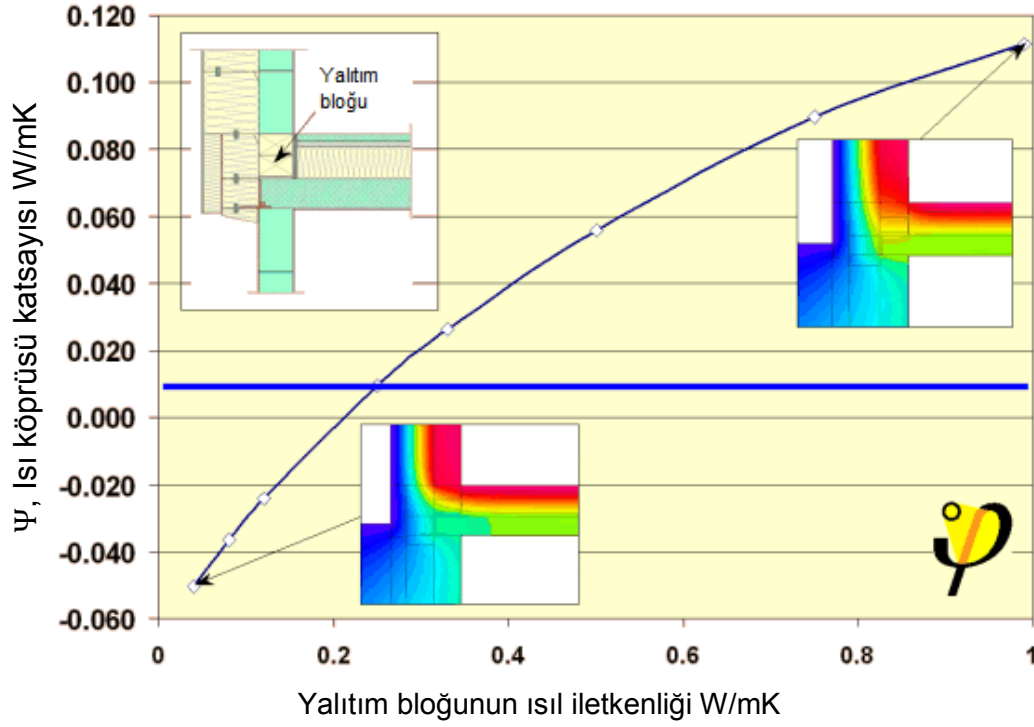
$G_t$  : sıcaklık farkının zamana göre integrali (ısıtma gün saatleri)



Şekil 2.19 : Pasif ev Isı köprüsü bağlantısı [29].

Şekil 2.19'da yalıtılmış zemin döşemesinde yükselen dış duvarın serbest ısı köprüsü bağlantısı örneği görünmektedir. Buradan yola çıkarak referans boyutlara ve dış

boyutlara bağı hesaplamalar yapılır. Isı köprüsü katsayısı, kullanılan gözenekli beton bloğun referans noktasının fonksiyonu olarak hesaplanabilir [37].



Şekil 2.20 : Isı köprüsü-ısı iletkenlik korelasyon diyagramı [29].

Isı köprüsü ısı kayıp katsayısı ( $\Psi$ -değeri) ve ısı iletkenlik hesap değeri ( $\lambda$ ) arasında bloğun referans değerinin korelasyon eğrisi Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Grafikte gösterilen bloğun ısı iletkenlik hesap değeri  $\lambda < 0.25$  W/mK'den daha küçük ise o zaman ısı köprüsü ısı kayıp katsayısı  $\Psi \leq 0.01$  W/mK şartını sağlayacak ve pasif ev serbest ısı köprüsü şartı sağlanmış olacaktır. Isı köprüsü referans noktası mavi çizgi ile işaretlenmiştir. Grafikte de görüleceği üzere  $\lambda > 0.80$  W/mK olan normal bir bloğun kullanılması durumunda önemli düzeyde ısı köprüsü kayıpları oluşur [37].

### 2.2.3. Passivhaus'da enerji verimliliğinin hesaplanması

Enerji verimliliği, istenilen hizmetin sağlanması için gerekli olan enerji tüketimlerinin düşürülmesi anlamına gelmektedir. Enerji tüketimi, enerji verimliliği süresince akıllı kullanım, yenilikçi ürünler ve iyi bir süreç yönetimi ile düşürülebilir.

İnşaat sektöründe kullanıcıların konforu, bina içinde sabit sıcaklık ve konfor sıcaklığı ile başarılmaktadır [31,38].

### **Hassas model: dinamik simülasyon**

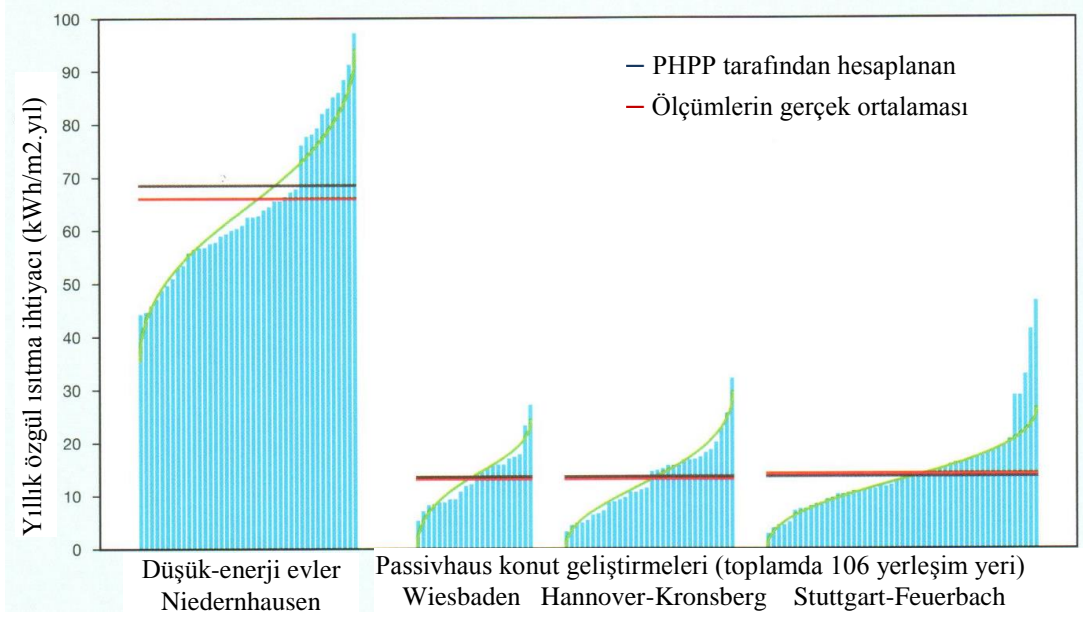
Pasif evler için, öncelikle binaların boyutlandırılması için yüksek zamansal çözünürlüğe sahip sayısal simülasyonlar kullanmak gereklidir. Çok düşük enerji tüketimine sahip binaların enerji dengelerinin hesaplanması karmaşık bir iştir. Fiziğin temel yasalarına dayanan simülasyonlar kullanılarak binaların davranışı hassas bir şekilde belirlenebilir. Buradaki tek sorun dinamik simülasyon yazılım programları için gerekli veri girişlerinin çok geniş olmasıdır. Pasif evler için yapılacak olan bilgisayar modellemesinde iklim verileri hariç 2000'nin üzerinde ayrı veri girişi gerekmektedir. Simülasyonun kabul edilebilir sonuçları sağlaması durumunda bu veri binanın gerçek geometrisi bağı olarak doğru bir şekilde hesaplanmalıdır. Simülasyon ve ölçüm karşılaştırma sonuçlarının gösterdiği gibi böyle bir model doğru sonuçlar verebilir [29,39]. Bu yöntem çok fazla çaba gerektirmektedir ve buna ilaveten tüm gerekli veriler eşit öneme sahip değildir. Bundan dolayı önemsiz veriler için girilecek gerçek dışı veriler yanlış sonuçlara yol açacaktır [29,39].

Passivhaus standardında tüm hesaplamalar aylık metot ve yıllık metot olarak yapılmaktadır. Bölgenin iklim verilerini derece-gün olarak kullanarak enerji performans hesabı yapılır.

Farklı simülasyon modellerini karşılaştırarak Pasif ev enstitüsü doğru değerleri hatta basitleştirilmiş modelleri belirlemek için gerekli olan anahtar veri tanımlayabilir. Kabul edilebilir basitleştirilmiş yöntemler bir yayın ile tanımlanır [29,39]. Basit bir model ile;

- Tüm evin bir zon gibi değerlendirilir.
- Zamana bağı dinamik simülasyonun kullanılması yerine aylık enerji dengelerinin hesaplanır.

Passivhaus standardı kriterlerine göre pasif ev planlama programında bir binanın ısıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma için gerekli enerji ihtiyacı değerleri hesaplanır. Enerji verimliliği değerlendirmesi, hesaplanan enerji tüketim değerleri ile standart kriterlerinin karşılaştırılması ile yapılır. Standart kriterlerini sağlayan tüketim değerleri Passivhaus standardına göre enerji verimli olarak kabul edilir [30].



**Şekil 2.21 :** Pasif ev planlama programı (PHPP) tarafından belirlenen enerji performansı ile düşük enerjili evlerin enerji performansının karşılaştırılması [30].

Şekil 2.21’de pasif ev planlama paketinde üç bölgedeki 106 yerleşim biriminin enerji performansı sonuçları ile düşük enerji tüketimine sahip bir evin enerji performansları karşılaştırılmıştır. Yıllık ısıtma ihtiyacı açısından yapılan değerlendirmelerde Passivhaus standartlarına göre pasif ev planlama programında hesaplanan evlerin yıllık ısıtma enerji ihtiyacı 10-20 kWh/m<sup>2</sup>.yıl arasındadır. Düşük enerjili bir evin yıllık ısıtma enerji ihtiyacı ise 60-70 kWh/m<sup>2</sup>.yıl arasındadır. Grafikte, Pasif ev planlama paketi tarafından hesaplanan değerler mavi çizgi ile gösterilirken, ölçümlerin ortalama değeri kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Pasif ev standardına göre tasarlanan bir evin enerji ihtiyacı hesabı üç bölge için benzer sonuçlar vermektedir. Düşük enerjili evler olarak kabul edilen ulusal standartlarda belirlenen kriterlere göre hesaplanmış olan enerji ihtiyacının bir pasif evin enerji ihtiyacından çok daha fazla olduğu görülmektedir.

#### 2.2.4. Passivhaus planlama paketi

Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP), Pasif ev enstitüsü tarafından pasif ev modellemek amacıyla Almanya, Darmstadt-Kranickstein’de 1998 yılında geliştirilmiştir. Pasif ev planlama paketi, passivhaus standardına göre bir binanın performansını analiz etmek için microsoft excell tabanlı bir yazılımdır. Bu yazılım enerji tüketim değerlerini hesaplayan ve standart kriterlerine göre değerlendirme yapan bir araçtır. Pasif ev

planlama programı kullanılarak enerji performansı iyileştirilmiş bir Pasif ev tasarlanabilir [30]. Pasif ev planlama paketi;

- Bina kabuğu yapı elemanlarının kabul edilebilir U-değerleri
- Uygun pencere tasarımı,
- Konfor ortamı oluşturan havalandırma sistemi,
- Isıtma ve soğutma yükü,
- Yardımcı elektrik yükü hesabı,
- Yıllık birincil enerji tüketiminin hesabı

gibi enerji performansına etki eden ve enerji performansının belirlenmesinde gerekli olan tüm hesaplamaları içermektedir [29,33].



**Şekil 2.22** : Pasif ev planlama paketi – PHHP [29].

Pasif ev planlama paketi, benzer hesaplamaları yapan diğer programlara göre daha hassas hesaplamalar yapmaktadır. Bu programda dinamik simülasyon modeli kullanılmış olup programda tasarımı yapılan binanın tüketim değerlerinin karşılaştırılması yapılabilmektedir. Ayrıca pasif ev planlama programında hesaplanan değerler, pasif evde yapılan ölçüm sonuçlarıyla da karşılaştırılabilmektedir. Çünkü programda hesaplanan değerlerin hepsi spesifik değerlerdir ve bu değerler kWh/m<sup>2</sup> cinsinden aylık ve yıllık tüketim değerleridir.

### 2.2.5. Pasif ev planlama programının (PHPP) kullanım profili

PHPP yazılımı temel veri girdileri ile program çıktılarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Program temel veri girdileri;

- Binaya ait genel bilgiler
- İklim verileri
- Yapı elemanlarının alan tanımı ve bileşenlerin U-değerlerinin tayini
- Binada yaşayacak insan sayısı ve sızdırmazlık bilgilerinin girilmesi
- Pencereleere ait boyutsal ve ısısal özelliklere ait verilerin girilmesi
- Havalandırma ile ilgili sızdırmazlık değerleri ve doğal havalandırma veri girişleri
- Yazın yapılacak olan havalandırma verileri girişi (pencereler, havalandırma sistemi, geve havalandırması verileri gibi)
- Soğutma ünitelerine ait veri girişleri
- Sıhhi sıcak su sistemine ait veri girişi varsa güneş enerjisi sistem bilgilerinin eklenmesi
- Aydınlatma, Ofis elemanları ve konut cihazlarına ait elektrik veri girişi
- Isıtma, havalandırma, sıcak su sistemine ait yardımcı elemanlara ait (pompa, kompresör gibi) veri girişi
- Varsa ısı pompası, kazan veri girişleri

Program çıktıları:

Pasif Yükler;

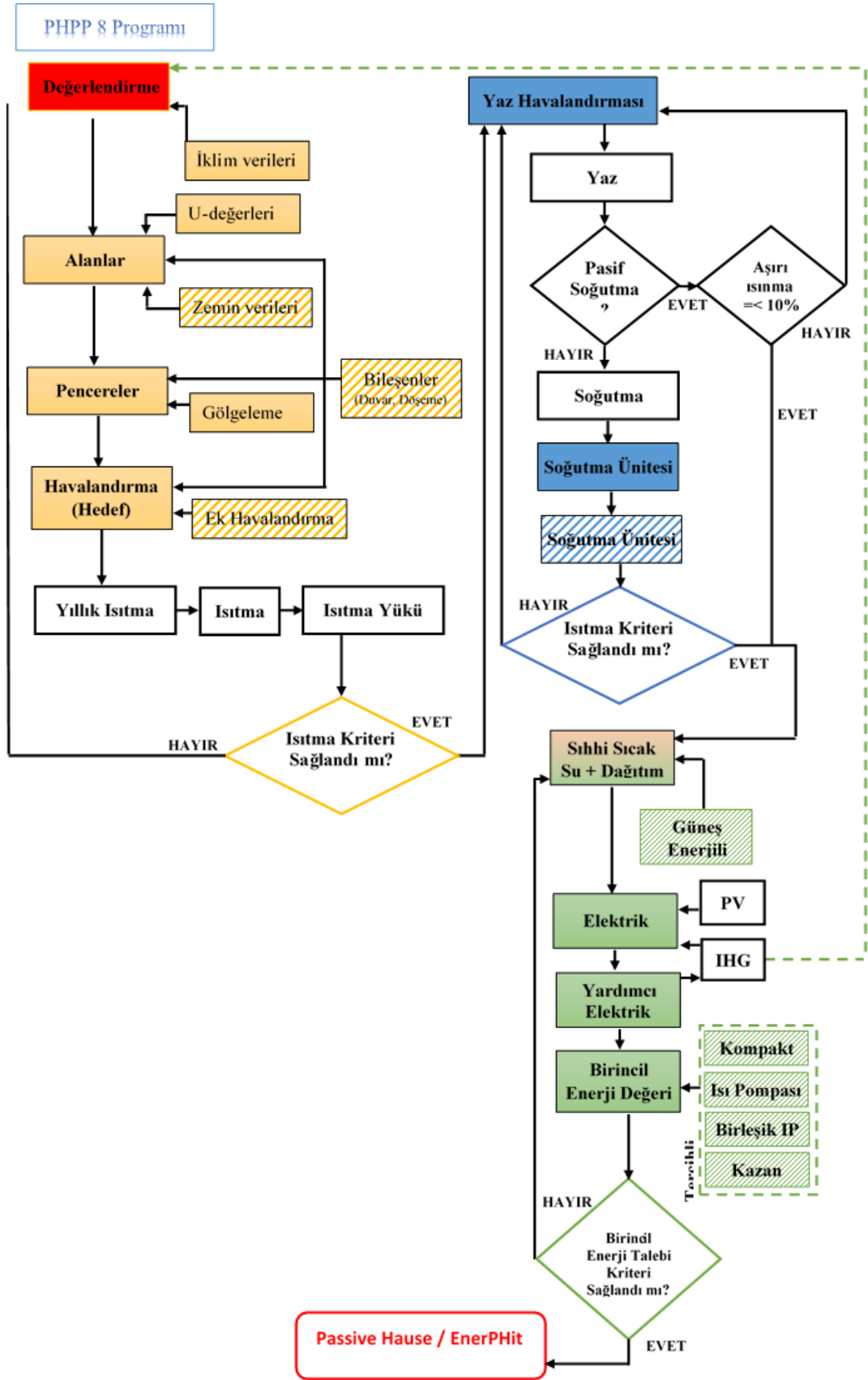
- Isıtma ihtiyacı (kWh/m<sup>2</sup>.yıl) ve ısıtma yükü (W/m<sup>2</sup>)
- Soğutma ihtiyacı (kWh/m<sup>2</sup>.yıl) ve soğutma yükü (W/m<sup>2</sup>)

Toplam Yükler;

- Isıtma, soğutma, yardımcı elektriği, sıcak su, aydınlatma ve elektrik uygulamaları, buharlaştırma **yıllık birincil enerji ihtiyacı** (kWh/m<sup>2</sup>.yıl)
- **Yıllık birincil enerji CO<sub>2</sub> eşdeğer toplam emisyon değeri**

Sadece ısıtma sistemine ait yükler;

- Isıtma, yardımcı elektrik, sıcak su **mekanik sistem birincil enerji ihtiyacı** (kWh/m<sup>2</sup>.yıl)



Şekil 2.23 : Pasif ev planlama paketi (PHPP) veri akış şeması.

PHPP enerji simülasyon programına ait veri giriş iş akış şeması Şekil 2.23'de gösterilmiştir. Programda aşağıdaki basamaklar takip edilerek sonuca ulaşılır.

- Şekildeki iş akış şemasından da anlaşılacağı üzere programda hesaplama yapılabilmesi ve enerji taleplerini ve yükleri belirlenebilmesi için öncelikle yapıya ait genel bilgiler girilir.
- Binanın bulunduğu bölgenin iklim verisi seçilir. İklim verisi bilgileri kullanıcı olarak da tanımlanabilmektedir. Ayrıca yazılım veri tabanında farklı iklim bölgelerine ait geniş yelpazede iklim verileri bulunmaktadır. Bu durum da farklı iklim bölgelerinde yapılan uygulamalarda passivhaus standardı kriterleri ile karşılaştırma veya passivhaus standartlarında bina tasarımı yapılmasına olanak sağlamaktadır.
- İklim verileri girilen projeye ait yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı (U-değeri) hesaplanabilmesi için yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri ve bileşenlerine ait özellikler ve boyutları yazılıma tanımlanmaktadır.
- Isıl geçirgenlik katsayısı hesaplanan yapı elemanlarına ait alan hesabının yapılabilmesi için binanın geometrik bilgileri ve etkin net kullanım alanı (NKA), zemin karakteristik bilgileri yazılıma girilmektedir.
- Pencerelemelere ait U-değerleri bileşen tipine göre çerçeve için  $U_f$  değeri cam için  $U_g$  değeri ve pencerenin boyutları yazılıma girilir. Pencerelemelerin oryantasyonu yapılır. Hangi yöndeki duvar üzerinde bulunduğunu belirlenir.
- Yapıda gölgeleme unsurları mevcutsa gölgeleme şartları yazılıma girilir.
- Havalandırma sekmesinde havalandırma sistem tipi (dengelenmiş havalandırma gibi), sızdırmazlık hava değişimi oranı değerleri yazılıma girilir. Havalandırma sistemine ait veriler girilmemesi durumunda yazılım hesaplama yapmamaktadır.
- Sızdırmazlık şartı Passivhaus standardının beş temel prensibi içindedir ve yazılımda veri girişi yapılmalıdır.

Yazılıma girilen bu verilerden sonra ısıtma yükü ve ısıtma talebi hesaplanmış olur.

- Soğutma tüketim hesabı için yaz havalandırmasına ait veri girişleri yapılmalıdır.



- Pencerelerden, havalandırma sistemi ile yapılan, pencereler yoluyla yapılan hijyenik hava değişimi değerleri ve gece hava değişimi değerleri yazılıma girilir.
- Yaz havalandırmasına ait veriler yazılıma girilmek zorundadır. Bu veriler girilmediği durumda yazılım soğutma yükünü hesaplamamaktadır.
- Soğutma ünitelerinin verileri girilir.
- Yazılımda sıhhi sıcak su (DHW), elektrik ve yardımcı elektrik elemanlarından (pompa, fan, kompresör v.s) kaynaklanan iç ısı kazançları belirlenir.

Tüm bu verilerin girişi ile yazılımda bir soğutma yükü ve soğutma talebi belirlenir.

- Sıhhi sıcak su sistemi merkezi sistem olarak tanımlanır. Sıcak su tesisatının iç ve dış boru boyları, tasarım sıcaklığı, kazan tipi, ısı kayıp katsayıları gibi veriler yazılıma girilir. Yapıda varsa güneş enerjisi sistemine ait bilgiler girilir ve sıhhi sıcak su yükü hesaplanmış olur. Yazılım soğutma yükü sayfasında ortamda oluşan nemin ortadan kaldırılması için gerekli buharlaştırma yükü de belirlenir.
- Eğer binada fotovoltaik sistem (PV) varsa sisteme ait bilgiler yazılıma girilir.
- Elektrik yükü hesabında yapıda bulunan ofis ve konut cihazları sayısı ve enerji kullanım şekli, soğutma elemanları ve aydınlatma bilgileri ile birlikte havalandırma sistemi ve sıhhi sıcak su sistemine ait kullanılan ekipmanların sayısı ve tüketim gücü verileri ile yardımcı elemanların elektrik verileri sisteme girilerek yapının elektrik yükü hesaplanmış olur.
- Yazılım elektrik tüketen elemanların toplamıyla birlikte iç ısı kazancı (IHG) hesabı yapar.

Yıllık birincil enerji tüketiminin belirlenebilmesi için ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrik yükü hesabının tamamlanmış olması gerekir. Bahsedilen yükler hesaplandığı zaman yıllık birincil enerji tüketimi ( $kWh/m^2.yıl$ ) olarak hesaplanır.

Ayrıca yazılımda ısıtma, soğutma, sıcak su, elektrik yükleri ayrı ayrı izlenebilir. Sadece mekanik sistemlere ait (ısıtma, sıcak su ve yardımcı elaman elektrik yükleri) yıllık birincil enerji tüketim değeri de görülebilir.

Tüm bu verilerin yazılıma girilmesi sonucunda hesaplanan ısıtma, soğutma ve yıllık enerji tüketim değerleri doğrulama sayfasında görüntülenir ve Passivhaus standart kriterleri ile karşılaştırma yapılır.

### **2.2.6. Farklı iklim bölgelerinde Passivhaus**

Orta Avrupa'da Passivhaus standardına göre yapılmış birçok pasif ev bulunmaktadır. Passivhaus standart kriterlerine göre tasarımı yapılan pasif evlerin başarılı bir enerji performansına sahip olmasından dolayı diğer ülkelerde de pasif ev tasarımı yapılmak istenmektedir. Ancak, Her ülkenin geleneksel bir bina modeli bulunmakta ve her bölgede iklim koşulları farklılık göstermektedir. Bundan dolayı pasif ev bölgenin iklim koşullarına uyum sağlamış olmalı ve bu hususta spesifik çözümleri olmalıdır.

Örneğin, ısıtma yükü Passivhaus standardına göre  $10 \text{ W/m}^2$  den daha az olması gerekmektedir. Bazı iklimlerde bu kriteri sağlamak çok kolaydır fakat bazı soğuk iklimlerde bu kriteri sağlamak zor olsa da nihai hedef aynıdır. Pasif evlerin iç mekân konfor seviyesi yüksek olmalı yapım maliyeti düşük olmalıdır.

Bina kabuğu yapı elemanları yalıtımı bütün iklimlerde uygulanabilmektedir. Gölgeleme, genellikle yazın yüksek güneş radyasyonunun olduğu iklimlerde gerekmektedir. Bundan dolayı gölgeleme şartı iklim bölgelerine göre değerlendirilmektedir. Havalandırma sistemi, iklim koşullarına göre hava besleme kanalları ve ısı geri kazanımı sistemi olacak şekilde tasarlanmaktadır. Pasif evlerde yapılacak havalandırma sisteminden ortama havanın sıcak olduğu aylarda soğuk hava, soğuk olduğu aylar da ise sıcak ve nemsiz kuru hava beslenmesine olanak sağlamaktadır [13,29].

### **2.2.7. Passivhaus enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller**

Passivhaus Enerji sertifika programının faydaları;

Passivhaus hesaplama yöntemi ile konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları gibi bina tipolojilerindeki mevcut ve yeni binaların enerji performans düzeylerinin belirlenmesi sağlar.

Pasif bir evde iyi bir yalıtım ve pencere kapı sistemleri ile sızdırmazlık sağlanarak nem problemi giderilir. Evlerde iyi tasarlanmış bina yapı elemanları ve havalandırma sistemleri ile konfor ortamı oluşmasını sağlar.

Binanın enerji tüketim değerlerinin hesaplanması ile mevcut binalarda iyileştirmelerin ve alınacak önlemlerin belirlenmesini sağlar. Yeni binalarda ise yapının inşası öncesi enerji modeli tasarımı enerji etkin sistemlerin belirlenmesi sağlar.

Kullanıcılarda bir enerji kültürünün oluşturulması ve farkındalığın artırılması ile binaların enerji kullanımının azaltılması sonucu iklim değişikliği ve atık gazların sera gazı etkisinin azaltılması sağlanır.

Programın excell tabanlı olmasından pasif ev tasarımında seçenek sunar. Tasarım sırasında veri girişleri çeşitliliği sağlar.

Engeller;

Avrupa Birliği, enerji tasarrufunu ve yenilenebilir enerjileri kapsayan binalarda sürdürülebilir enerjiler için finansal yatırımların kullanımındaki engelleri şu şekilde tariflenmektedir.

- Küçük boyutlu projelerde yatırım öncesi geliştirme ve işlem maliyetlerinin yüksek oluşu,
- Özellikle konut sektöründe, Bir kısım müşterilerdeki bilgi hatası
- Hem kullanıcılar hem de yatırımcılar tarafından daha verimli yeni teknolojilerin riskinin yüksek olduğu algısı
- Müşteri bilinç eksikliği, enerji denetimlerine olan güvensizlik, başlangıçta görünmeyen faydalar,
- Ticari finansal kurumlar üzerindeki bilgi hataları,
- Ticari finans kurumları içinde sürdürülebilir enerji finansmanı deneyiminin genel eksikliği,
- Adanmış zaman azlığı, evdeki aktivitelerin ve Sürdürülebilir enerji gelişim kaynakları, sürdürülebilir enerji oranları ve görünmeyen eksiklikler

gibi engeller sıralanmaktadır [13,29].

### **2.3. ENERGYSTAR Genel Tanıtımı**

Energystar binaların enerji performansını belirlemek amacıyla hazırlanmış bir sertifika programı olup Amerika konut ve kentsel dönüşüm bölümü (HUD-

U.S.department of housing and urban development), enerji bölümü (DOE-U.S. department of energy) ve çevre koruma ajansı (EPA-Environment protection agency)'nın ulusal hedefidir [41].

Energystar markası, energystar standardı ile bina enerji performansını belirleme programının temelini oluşturmaktadır. Bu program, binaların enerji verimliliğini yükseltmek ve hava kirliliğini düşürmek için EPA ve DOE tarafından 1992 yılında yayınlanmıştır. Bu program öncelikle evsel cihazlar üzerindeki enerji tasarruf kriterlerini belirlemek için oluşturulmuştur. Program ile energystar markasına sahip olan ürünler tüketicinin alım kararı üzerinde etkili olmuş ve piyasa tarafından tanınmıştır [9]. 1995 yılında, Energystar programı DOE desteğiyle evsel ürünlerin dışında ticari binalar, endüstriyel tesisler ve yeni binalar gibi alanları da alacak şekilde genişletilmiştir [42].

1995 yılından itibaren binalar da aynı buzdolabı, televizyon vb. gibi ürünlerde olduğu gibi enerji performansına göre sertifikalandırılmaya başlanmıştır. Amerika genelinde on binlerce bina ve tesis Energystar sertifikasını almıştır [38]. Energystar sertifikası alan binalar, ulusal kanun ve yönetmeliklere göre inşa edilen düşük enerjili binalara göre %35'den daha az enerji tüketimine sahiptir [42].

Energystar standardına göre yapılan hesaplamalarda U.S 2005 ASHRAE standardı ve 2009 IECC kanunu gibi ulusal kanun ve standartlardan yararlanılmıştır. Örneğin pencereler, kapılar ve çatı pencereleri u-değerleri ve güneş enerjisi ısı kazanç katsayısı sınır değerleri için 2009 IECC–tablo 402.1.1 den faydalanılmış bu listede olmayan değerler de 2005 ASHRAE Fundamentals, bölüm 31'den alınmıştır.

Energystar programının amacı, standart binalara göre önemli oranda enerji verimli olan binaların yapılmasını sağlamaktır. Kanunlarda yapılan iyileştirmeler ile bina standart uygulamaları da daha verimli hale gelmiştir. EPA, sertifikası olmayan evler üzerinde sertifikalandırmanın sürekliliğini sağlamak ve yeni evlerin sertifikalandırılabilmesi için Energystar kurallarını periyodik olarak değiştirmektedir [42].

Binalar 1992 ile 2006 yılları arasında energystar standardının ilk hali olan birinci sürümüne göre sertifikalandırılmıştır. Standardın birinci sürümünde muayene kontrol listeleri bulunmamaktadır. Standardın ilk sürümüne göre sertifikalandırılan bir bina, Amerika'daki ulusal enerji kanununa göre değerlendirilen bir binadan %30 daha

verimli olup bölüm 4'te detaylı bir şekilde açıklanan HERS indeks aralığında 86'ya karşılık gelmektedir [42].

2006 yılı ile 2011 yılları arasında standardın ikinci sürümü, ısı geçiş listeleri de eklenerek uygulamaya konulmuştur. 2011 yılından sonra sürekli gelişim gösteren energystar standardının 2.5 sürümü yayınlanmıştır. Bu standartla birlikte hava sızdırmazlık ölçümleri yapılmaya başlanmış ve ısı yalıtım sistemi denetçi kontrol listeleri standarda eklenmiştir. 2012 yılında standardın 3.sürümü yayınlanmıştır. Bu sürüm ile hava sızdırmazlık ölçümlerinin ve ısı yalıtım sistemi denetçi kontrol listelerine ek olarak HVAC sistemi kaliteli kurulum yüklenici kontrol listesi, HVAC sistemi kaliteli kurulum denetçi kontrol listesi, su yönetim sistemi inşaat kontrol listesi gibi diğer kontrol listeleri eklenmiş ve uygulamaya konulmuştur [42].

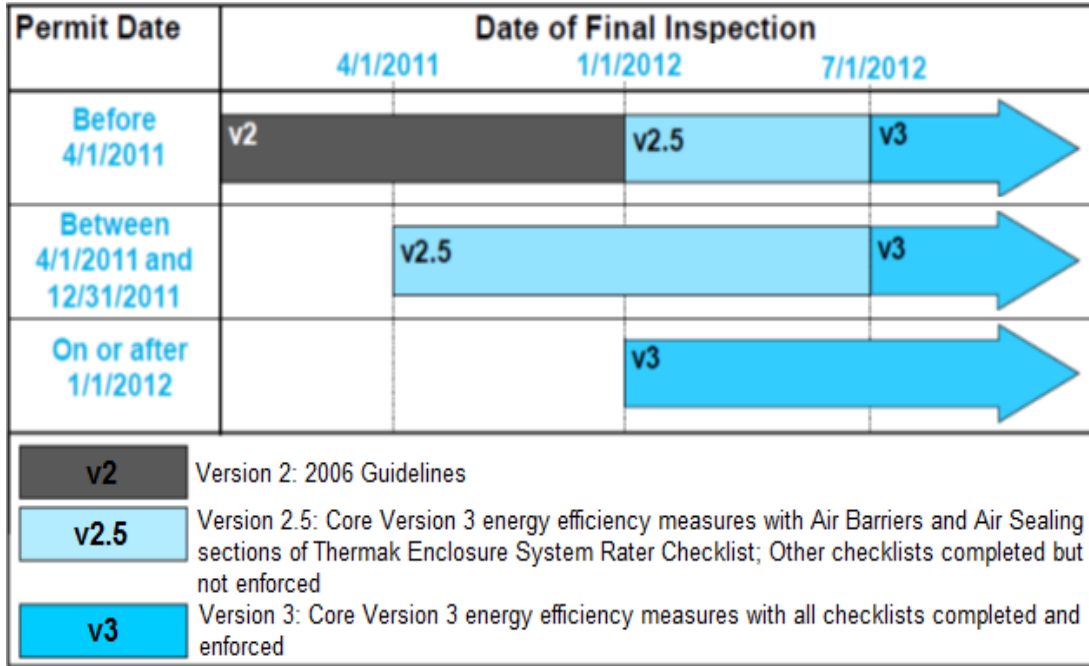
Güncellenen standart ile sertifikalandırılacak binalarda;

- Bina kabuğu yalıtım uygulamaları,
- Pencere, kapı kurulum ve yalıtım uygulamaları,
- Binada tasarlanacak olan doğru HVAC sistemleri,
- Enerji verimli aydınlatma ve ev aletleri,
- Isıtma, soğutma ve sıcak su sistemleri,

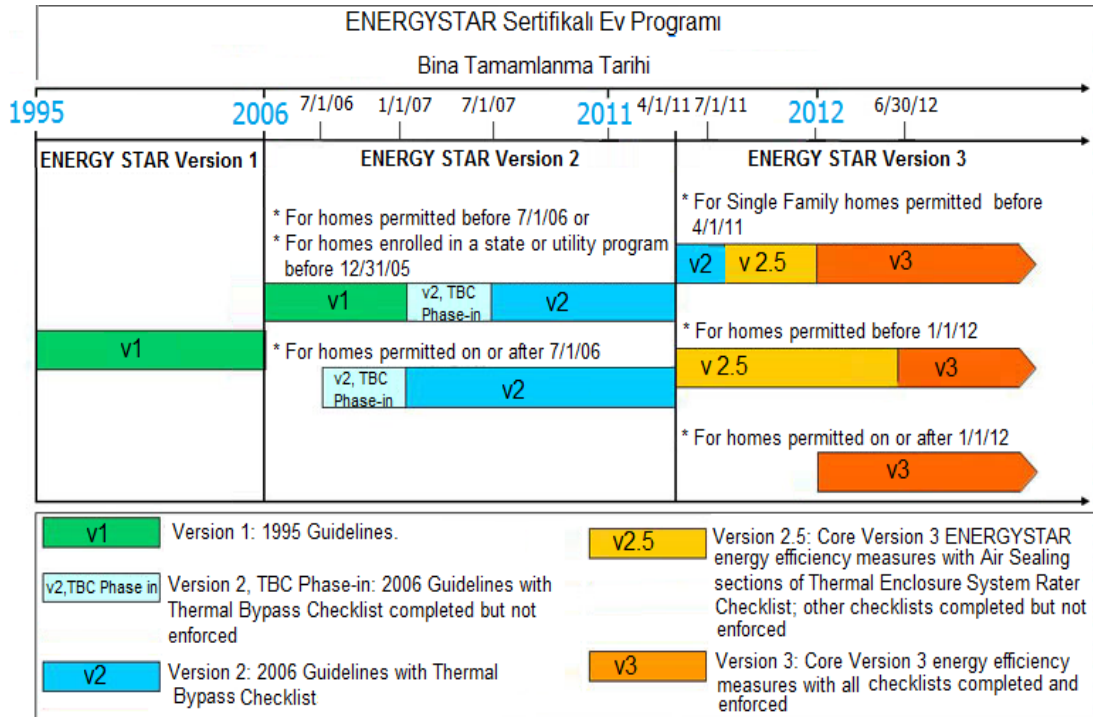
gereksinimlerini belirleyen kurallar, standarda ve standardın denetçi ve yapı denetim kontrol listelerine eklenmiştir.

Energystar standardı, enerji verimliliği ile ilgili olarak belirli bir düzeyde performansın sağlanması ve doğrulanması için oluşturulmuş bir kuraldır ve gelişen teknolojilere ve uygulama tekniklerinin gelişmesine bağlı olarak dönem dönem güncellenmektedir. Standardın son versiyonu olan 3.1 versiyonu 07/08/2014 tarihinde yayınlanmış ve standartta bina kabuğu, pencere ve kapılar, ısıtma ve soğutma ekipmanları, su ısıtıcıları, gelişen teknoloji ile değişen termostat değerleri, aydınlatma ve ev aletleri kurallarında değişikliğe gidilmiştir. 13/04/2015 tarihinde EPA tarafından ulusal program gereklilikleri için HERS indeks hedef kurallarını yayınlamıştır. Bu kurallar ile referans tasarım parametreleri belirlenmiş yapılan hesaplamalarda standarttaki sınır parametreler kullanılmaktadır [38,40,41]. Energystar standardının uygulama takvimi Şekil 2.24'de, Energystar standardının

başlangıç veriyonu ile değişim gördüğü versiyonların gösterildiği tarihsel gelişim grafiği ise Şekil 2.25’de gösterilmektedir.



Şekil 2.24 : Energystar standardı uygulama takvimi [42].



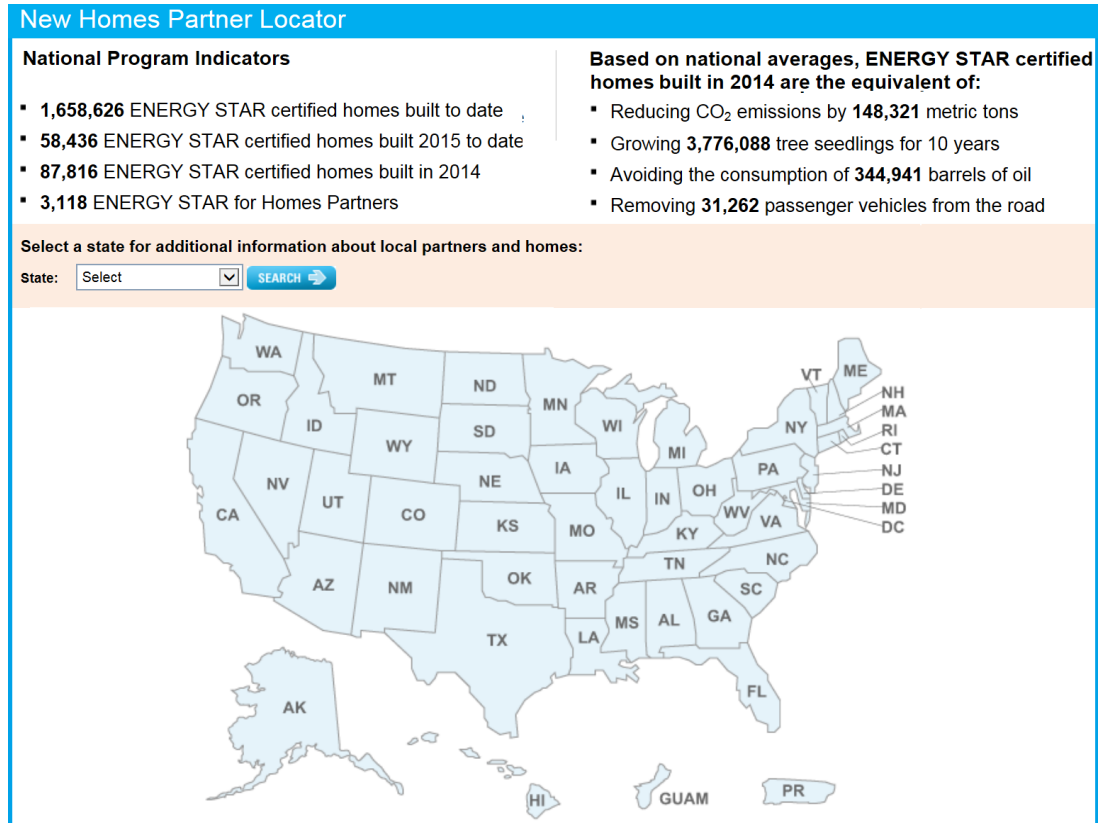
Şekil 2.25 : Energystar standardı gelişim grafiği [42].

Energystar etiketli evler, mevcut kanunlarla inşa edilmiş olan evlerden ortalama %20 oranında daha verimli evlerdir. Bu evler çevre dostu ve enerji verimli bir yeni bina arayan ev sahipleri için iyi bir seçenek sunmaktadır [9,41,42].

Energystar sertifikasına sahip enerji tasarruflu evleri diğer evlerden ayıran özellikler şunlardır [42]:

- Enerjiyi az kullanan, iç nemi düşüren ve evin konforunu yükselten ısıtma ve soğutma sistemlerinin varlığı,
- Yüksek performanslı Energystar pencereler, avlu kapıları ve yaz aylarında ve kış aylarındaki ısıyı tutan çatı pencereleri,
- Mevcut Kanunların gerektirdiğinin üzerinde duvar ve tavan yalıtımı,
- Teknik özellikleri karşılayan ve az elektrik kullanan Energystar ürünlerin çeşitliliği,
- Evin konforlu bir şekilde havalandırmasını sağlayan ısı ve enerji geri dönüşümlü havalandırma sistemleri,

olarak sıralanmaktadır.



**Şekil 2.26 :** Amerika ulusal program göstergesi-energystar sertifikalı evler [42].

Ayrıca Ticari binalarda, EPA tarafından hazırlanan ve çevrimiçi kullanılabilen programa bina bilgileri ve elektrik, su, doğalgaz gibi fatura bilgileri ve binanın bazı cihazların enerji performans göstergesi verileri girilerek binanın enerji ve su

kullanımı ve gaz emisyonları ölçülebilmekte ve izlenmektedir [42]. Online yazılıma girilen bu değerler sonucundan enerji performans göstergesi 75 ve üzerinde olan tesisler, profesyonel mühendis ve mimarların girilen bilgileri doğrulaması sonucunda Energystar sertifikası almaktadır.

1999 yılından itibaren Şekil 2.26'da gösterilen Amerika'nın 50 eyaletinde toplam 1.601.488 bina, energystar sertifikası almıştır [42].

### **2.3.1. Energystar standart parametreleri**

Amerika çevre koruma ajansı (EPA) tarafından belirlenen enerji verimliliği için binalar, standartta belirtilen ve binanın bilimsel ölçümlerini içeren aşağıda sıralanmış olan performans seviyelerine ulaşılmalıdır [41];

- Isı yalıtım sistemi
- Isıtma ve soğutma sistemi
- Su yönetim sistemi
- Enerji verimli aydınlatma ve cihazlar.

#### **2.3.1.1. Isı yalıtım sistemi**

Bu sistemde konfor ve dayanıklılığı arttırmak, bakım maliyetlerini azaltmak ve aylık faturaları düşürmek için binalarda;

- Hava sızdırmazlığının sağlanması,
- Isı köprülerinin azaltılması,
- Düzgün yalıtım montajı,
- Yüksek performanslı pencerelerin tasarlanması,

standart gereksinimlerinin yerine getirilmesi gerekmektedir [42,43].

#### **Hava sızdırmazlık**

Birçok bina, duvar köşelerinde, pencere ve kapı çevresinde, boru, havalandırma, kanal, aydınlatma ve kablolamadan kaynaklı boşluk ve çatlak içermektedir. Bu noktalarda yapılacak iyi bir yalıtım ile hava sızıntılarını engelleyerek hava akımı, nem, toz ve ses gibi unsurların azaltılmasını sağlayacaktır. Yapıda bulunan bu tür geçiş boşlukları yalıtım köpüğü gibi malzemelerle doldurularak iklimlendirilen



mahal ile iklimlendirilmeyen mahal arasında sızdırmazlığın sağlanması gerekmektedir. Sızdırmazlığın sağlanması ile özellikle mahal ısı kayıp ve kazançları önlenmiş olur. Isı farklarının düşürülmesi ile yoğuşmanın sebep olduğu küf ve nem de önlenmiş olur [42,43].

### **Isı köprüleri**

Isı köprüleri, evlerde duvarlar, balkon köşeleri, çatı üzerinden, katlar arasında meydana gelmektedir. Bu bileşenler, dayanıklı ev yapımı için önemli olsa da, bunlar genellikle çok düşük bir ısı iletkenlik direncine (R-değeri –  $m^2K/W$  –  $s.ft^2.°F/BTU$ ) sahip olmalıdır [42,43].

Tüm evler ısı yalıtım sistemi denetçi kontrol listesinde belirtilmiş olan ısı köprüsü şartlarını sağlamalıdır [48].

- Çatı örtüsü ile tavanın yalıtılması, yalıtım duvarın iç yüzeyinde iklim bölgesi 1 ile 5 arası  $\leq R-21$ ; 6 ile 8 arası  $\leq R-30$  olmalıdır.
- 2009 IECC standardında tanımlanan zemin köşelerinin yalıtımı  $\leq R-5$  olmalıdır.
- İklimlendirilen mahal ile iklimlendirilmeyen mahal arasında ısı köprüsü etkisi azaltmak için, yapısal yalıtım panelleri, yalıtılmış beton formları, çift- duvar çerçevesi ve bütün duvar köşeleri  $\geq R-6$ , pencere ve kapı köşeleri yalıtımı  $\geq R-3$  (2x4),  $\geq R-5$  (2x6) gibi şartları sağlamalıdır [48].

Daha detaylı bilgiler Energystar sertifikalı evler, 3.sürümü (rev.07) ısı yalıtım sistemi denetçi kontrol listesinde görülebilir.

### **Isı yalıtımı**

Yalıtımın uygulama şekli miktarı önemlidir. Kaliteli bir yalıtım montajı binanın enerji performansını etkilemektedir. Energystar standardına göre birçok yalıtım malzemesi seçilebilir. Bunlar; cam elyaf, yoğun-paketlenmiş selülozik malzemeler, püskürtme köpük, sert köpük levhalardır. Yalıtım seviyesi ısı iletkenlik direnci (R-değeri) ile belirlenir. R-değeri yükseldikçe direnç de yükselmektedir. Belirlenen R-değerini sağlamak için montajın iyi yapılması standarda göre zorunludur. Isı yalıtımı imalat yapılırken enerji performansını artırmak için küçük boşluklar ve hava perdeleri bırakılır [42,43].

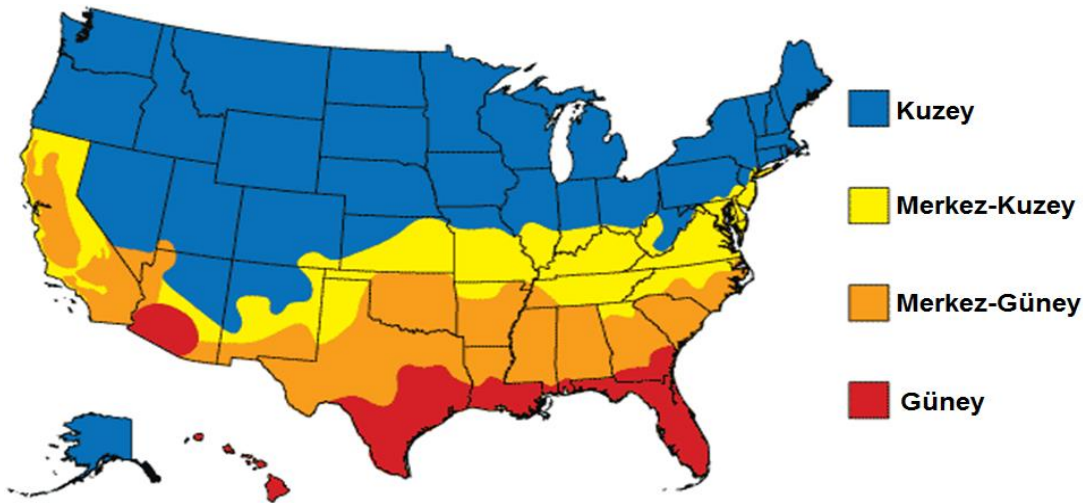
Tavan, duvar, zemin ve döşeme yalıtımı şu şekilde yapılmalıdır [48];

- 2009 IECC şartlarını sağlamalıdır.
- Duvar, tavan, zemin ve döşeme yalıtım şartlarının takibi yapılır. 2009 IECC şartlarını sağlamalı ya da 2009 IECC Tablo 402.1.3'de belirtilen toplam ısı geçirgenlik katsayılarından sonuç ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri)  $\leq 0.133$  olmalıdır. Binaların sızdırmazlık değeri IECC ulusal hesaplama tablosu Çizelge-1 deki gibi  $\leq 0.50$  olmalıdır [48].
- Ayrıca alternatif olarak duvar, tavan, zemin ve döşeme RESNET tarafından tanımlanmış 1.sınıf montaj kurallarını sağlamalıdır, Burada müsaade edilir yalıtım, iklim bölgesi 1-4 arası ise  $\geq R-3$ , iklim bölgesi 5-8 arası ise  $\geq R-5$  şeklindedir [48].

### Pencere ve kapılar

Energystar sertifikalı evlerin, ulusal enerji performansını karşılamalı veya üzerine çıkmamalıdır. Koruyucu kaplamalı ve geliştirilmiş çerçeveler gibi ileri teknolojiyi kullanan pencereler yaz ve kış aylarında ısıyı tutmak için kullanılmaktadır. Bazı pencere, kapı ve çatı pencereleri sıcaklığı daha iyi tutarken bazıları ise soğuk tutmaktadır [42,43].

Performans Kriterleri; Pencereler, kapılar ve çatı pencereleri sadece kış aylarındaki etkilerden korumakta olup bölge iklim şartları göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Bu seçim pencereler için Çizelge 2.21'de gösterilen kapılar için Çizelge 2.22'de gösterilen DOE standart kriterlerine göre yapılmalıdır. [42,43].



Şekil 2.27 : DOE Amerika iklim zonları haritası [42].

**Çizelge 2.21** : Pencere için DOE U-değeri ve SHGC sınır şartları [42].

İklim Zonu	Pencereler		Tavan Penceresi	
	U-değeri <sup>1</sup>	SHGC <sup>2</sup>	U-değeri <sup>1</sup>	SHGC <sup>2</sup>
Kuzey	≤0.30	Herhangi	≤0.50	Herhangi
	=0.31	≥0.35		
	=0.32	≥0.40		
Merkez-Kuzey	≤0.30	≤0.40	≤0.53	0.35
Merkez-Güney	≤0.30	≤0.25	≤0.53	0.28
	≤0.35	≤0.25	≤0.60	0.28

**Çizelge 2.22** : Kapılar için DOE U-değeri ve SHGC sınır şartları [42].

Cam seviyesi	U-değeri <sup>1</sup>	SHGC <sup>2</sup>	
Opak	≤ 0.17	Değer yok	
≤ 1/2 - hafif	≤ 0.25	≤ 0.25	
> 1/2 - hafif	≤ 0.30	Kuzey, Merkez-Kuzey	≤ 0.40
		Güney, Merkez-Güney	≤ 0.25

Sürgülü kapı için hava sızıntısı ≤ 0.3 cfm/ft<sup>2</sup>

Çarpma kapı için hava sızıntısı ≤ 0.5 cfm/ft<sup>2</sup>

Hava sızıntısı ≤ 0.3 cfm/ft<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Isıl geçirgenlik katsayısı - BTU/s.ft<sup>2</sup>.°F

<sup>2</sup> Güneş ısı kazanç katsayısı

Energystar standardı ulusal program gereklilikleri versiyon 3 föyüne göre bina kabuğu, pencere ve kapılar için sıcak ve soğuk iklim bölgelerinde uyulması gereken U-değerleri ve hava sızdırmazlık değeri Şekil 2.28’de gösterilmiştir.

Hot Climates (2009 IECC Zones 1,2,3) <sup>15</sup>	Mixed and Cold Climates (2009 IECC Zones 4,5,6,7,8) <sup>15</sup>
<b>Envelope, Windows, &amp; Doors</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>If more than 10 linear feet of ductwork are located in an unconditioned attic, a radiant barrier or ENERGY STAR certified roof product shall be installed.<sup>19</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>No radiant barrier or ENERGY STAR certified roof product required.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Insulation levels shall meet or exceed 2009 IECC levels and achieve Grade I installation per RESNET standards.<sup>10,11,12</sup></li><li>Infiltration rates shall be less than or equal to the following values:<sup>20</sup></li></ul>	
6 ACH50 in CZs 1,2    5 ACH50 in CZs 3,4    4 ACH50 in CZs 5,6,7    3 ACH50 in CZ 8	
<ul style="list-style-type: none"><li>Windows, doors, and skylights shall be ENERGY STAR certified, as illustrated below:<sup>13, 21</sup></li></ul>	
Window U-Value: 0.60 in CZs 1,2    0.35 in CZ 3    0.32 in CZ 4    0.30 in CZs 4 C,5,6,7,8	
Window SHGC: 0.27 in CZs 1,2    0.30 in CZ 3    0.40 in CZ 4    Any in CZs 4 C,5,6,7,8	
Skylight U-Value: 0.70 in CZs 1,2    0.57 in CZ 3    0.55 in CZ 4    0.55 in CZs 4 C,5,6,7,8	
Skylight SHGC: 0.30 in CZs 1,2    0.30 in CZ 3    0.40 in CZ 4    Any in CZs 4 C,5,6,7,8	
Doors: Opaque: 0.21 U-Value, No SGHC Rating    ≤½ lite: 0.27 U-Value, 0.30 SHGC >½ lite: 0.32 U-Value, 0.30 SHGC	
<ul style="list-style-type: none"><li>Homes with total window-to-floor area greater than 15% shall have adjusted U-values or SHGCs as outlined in Footnote 21.</li></ul>	

**Şekil 2.28** : Pencere ve kapılar için standart sınır koşulları (föyden kısmi alıntı) [47].

### 2.3.1.2. Tam ısıtma ve soğutma sistemi

Isıtma ve soğutma elemanlarının doğru kurulumu ve kanal sisteminin doğru boyutlandırılması enerji performansı ve konfor ortamının oluşmasını doğrudan ilgilendirmektedir. Binanın tasarım ve inşası sırasında, Energystar standardına göre gerekli olan şartların tamamı karşılanmalıdır [42,44].

Energystar standardına göre bu sistemde uygun sistem tasarımı ve montajı şu şekilde sağlanır:

- Sistem tasarımı ve boyutlandırılması
- Kanal tasarımı ve kurulumu
- Kanal sızdırmazlığının sağlanması
- Kurulun sonrası sistem testleri

HVAC sistemlerinde şu şartlar sağlanmalıdır;

- Isıtma ve soğutma elemanları ve ilgili kanal sistemi boyutu doğru seçilmeli ve boyutlandırılmalıdır.
- HVAC sistemi kanallarında sızdırmazlığın sağlanması ile hava sızıntıları ve kaçaklardan kaynaklı enerji kayıpları engellenerek yaşam alanında konfor ortamı sağlanmalıdır.
- Emilen hava iyi bir şekilde filtrelenmeli ve dış havayı emen mekanik havalandırma sistemi iç hava kirliliğine sebep olmamalıdır. Mutfak ve banyolarda oluşacak nem ve küfün dışarıya atılması için emiş fanları kurulmalıdır.
- HVAC kaliteli kurulum denetimleri için eğitimli ve HVAC belgelendirme yeterliliğine sahip profesyonel kişilerle çalışılmalıdır [42,44].

Bu kurallara uyulduğu takdirde ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin tamamında enerji tasarrufu sağlanmış olunur.

Isıtma ve soğutma sistemlerinde, enerji verimli elemanlarının kullanılması, uygun sistem tasarımı, projelendirilmesi ve kaliteli montajı, iyi bir kanal tasarımı, montajı ve sızdırmazlığı, sistemin testi şarttır.

Mekanik havalandırma sistemleri, dış ortam havasını iç ortama taşımak ve içerideki kirli havayı dışarıya tahliye etmek için tasarlanır. Bu sistemlerde özel hava filtreleri (MERV-6 veya daha yüksek) kullanılmaktadır. Egzoz fanları banyolarda veya mutfaklarda ortam nemini veya dumanını dışarıya atmak için kullanılmaktadır. Fırınlara, kazanlar ve su ısıtıcıları gibi sistemler, doğrudan açık havaya çıkarılmakta, garaj veya çatı katları gibi düşük riskli bölgelere kurulmaktadır. Yanma testleri ile de güvenli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır [9,48].

Standart eki olan ve Şekil 2.29'da kısmi olarak gösterilen HVAC sistemi kalite kurulum yüklenici kontrol listesinde şu değerlendirmeler yapılmaktadır [48];

- Tüm-Yapı mekanik havalandırma tasarımı ile havalandırma tipi, tasarım oranı ve frekansı, havalandırma döngüsü, HVAC sistemlerinin kanal sistemleri ve hava sirkülasyon durumları, egzoz fanlarının tasarımı gibi şartlar kontrol edilir. Burada tasarımlar ASRAE 62.2-2010 şartlarını sağlamalıdır.
- Isıtma ve soğutma sistem tasarımı ile ısı kayıp ve kazanç, kanal tasarım, ekipman seçim metotları, dış hava sıcaklığı tasarımı gibi şartlar kontrol edilmektedir. Ayrıca özellikle dış sıcaklık tasarımı, ev oryantasyonu, yatak odası sayısı, şartlandırılmış taban alanı, pencere alanı, baskın pencere performansı ve yalıtım seviyesi, infiltrasyon oranı, mekanik havalandırma oranı, MERV6 yada daha iyi filtrelerin varlığı ve ayar noktası ısıtma için = 70 °F; soğutma için = 75 °F olan iç sıcaklık gibi parametreler inşa edilecek olan binada yapılacak olan tasarım hesaplamalarında kullanılır.
- Soğutma elemanları kurulmuş ise soğutma ekipmanlarının seçimi kontrolü ile, kondenser modeli, evaporatör ve fan-coil modeli, verimlilik listeleri, fan hızı kontrolü, soğutucu tipi ve genel olarak kapasite, performans ve verimlilik analizi yapılır.
- Isı pompası kurulmuş ise ısı pompası elemanlarının performans sıcaklığına (17 °F ve 47 °F) göre kapasite ve verimlilik analizi yapılır.
- Isıtıcı kazan kurulmuş ise ısıtıcının verimlilik değeri ve kazan çıkış kapasitesi analizi yapılır. Sıcak hava ısıtma sistemleri için kazan çıkış kapasitesi, sistem yükünün %100'ü ile %140'ı arasında olmalıdır.



# ENERGY STAR Certified Homes, Version 3 (Rev. 07) HVAC System Quality Installation Rater Checklist <sup>1</sup>

Home Address: _____ City: _____ State: _____ <sup>2</sup>
<b>1. Review of HVAC System Quality Installation Contractor Checklist <sup>2</sup></b>
1.1 HVAC System Quality Installation Contractor Checklist completed in its entirety and collected for records, along with documentation on ventilation system (1.3), full load calculations (2.18), and AHRI certificate (3.13).
1.2 Review the following parameters related to system cooling design, selection, and installation from the HVAC Contractor Checklist (Contractor Checklist Item # indicated in parenthesis): <sup>3</sup>
1.2.1 Outdoor design temperatures (2.4) are equal to the 1% and 99% ACCA Manual J design temperatures for contractor-designated design location <sup>4</sup>
<b>2. Duct Quality Installation - Applies to All Heating, Cooling, Ventilation, Exhaust, and Pressure Balancing Ducts <sup>11</sup></b>
2.1 Connections and routing of ductwork completed without kinks or sharp bends. <sup>12</sup>
2.2 No excessive coiled or looped flexible ductwork. <sup>13</sup>
2.3 Flexible ducts in unconditioned space not installed in cavities smaller than outer duct diameter; in conditioned space not installed in cavities smaller than inner duct diameter
<b>3. Duct Insulation - Applies to All Heating, Cooling, Supply Ventilation, and Pressure Balancing Ducts <sup>15</sup></b>
3.1 All connections to trunk ducts in unconditioned space are insulated.
3.2 <i>Prescriptive Path:</i> Supply ducts in unconditioned attic have insulation $\geq$ R-8. <i>Performance Path:</i> Supply ducts in unconditioned attic have insulation $\geq$ R-6.
3.3 All other supply ducts and all return ducts in unconditioned space have insulation $\geq$ R-6.

Effective for homes permitted starting 8/01/2013

Revised 6/01/2013

Page 11 of 16

Şekil 2.29 : Standart eki HVAC sistemi kalite kurulum denetçi kontrol listesi [48].



# ENERGY STAR Certified Homes, Version 3 (Rev. 07) HVAC System Quality Installation Contractor Checklist <sup>1</sup>

Home Address: _____ City: _____ State: _____ Zip _____	
System Description <sup>2</sup> _____ Cooling system for temporary occupant load? <sup>3</sup> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
<b>1. Whole-Building Mechanical Ventilation Design <sup>4</sup></b>	<b>Builder Verified <sup>5</sup></b>
1.1 Ventilation system installed that has been designed to meet ASHRAE 62.2-2010 requirements including, but not limited to, requirements in Items 1.2-1.5. <sup>7</sup>	<input type="checkbox"/>
<b>2. Heating &amp; Cooling System Design <sup>4,8</sup></b> <i>- Parameters used in the design calculations shall reflect home to be built, specifically, outdoor design temperatures, home orientation, number of bedrooms, conditioned floor area, window area, predominant window performance and insulation levels, infiltration rate, mechanical ventilation rate, presence of MERV6 or better filter, and indoor temperature setpoints = 70°F for heating; 75°F for cooling.</i>	
2.1 Heat Loss / Gain Method: <input type="checkbox"/> Manual J v8 <input type="checkbox"/> 2009 ASHRAE <input type="checkbox"/> Other: _____	<input type="checkbox"/>
2.2 Duct Design Method: <input type="checkbox"/> Manual D <input type="checkbox"/> Other: _____	<input type="checkbox"/>
2.3 Equipment Selection Method: <input type="checkbox"/> Manual S <input type="checkbox"/> OEM Rec. <input type="checkbox"/> Other: _____	<input type="checkbox"/>
<b>3. Selected Cooling Equipment, If Cooling Equipment to be Installed</b>	
3.1 Condenser Manufacturer & Model: _____	<input type="checkbox"/>
3.2 Evaporator / Fan Coil Manufacturer & Model: _____	<input type="checkbox"/>
<b>6. Refrigerant Tests - Run system for 15 minutes before testing</b> Note: If outdoor ambient temperature at the condenser is $\leq$ 55°F or, if known, below the manufacturer-recommended minimum operating temperature for the cooling cycle, then the system shall include a TXV, and the contractor shall mark "N/A" on the Checklist for Section 6 & 7. <sup>22</sup>	
6.1 Outdoor ambient temperature at condenser: _____ °F DB	
<b>11. System Controls</b>	
11.1 Operating and safety controls meet OEM requirements	

Effective for homes permitted starting 8/01/2013

Revised 6/01/2013

Şekil 2.30 : Standart eki HVAC sistemi kalite kurulum yüklenici kontrol listesi [48].

- Soğutucu testleri kontrolü ile sistemin çalıştırıldığı zaman sistem üzerindeki sıvı hat basıncı ve sıcaklığı, emme hat basıncı ve sıcaklığı gibi ölçümler yapılarak sistem kontrol edilir. Sistem, testten 15 dakika önce çalıştırılmalıdır.
- Sistemde elektriksel ölçüm kontrolü, hava akış testleri, hava balansı (ANSI/ACCA5, QI-2007'ye göre), sistem kontrolleri gibi kontroller yapılır.

Standart eki olan ve Şekil 2.30'da kısmi olarak gösterilen HVAC sistemi kalite kurulum denetçi ve yüklenici kontrol listesi ile [48];

- Havalandırma kanalı montajı; Tüm ısıtma, soğutma, havalandırma, egzoz ve basınç balans kanalları uygulamaları,
- Havalandırma kanal sızıntısı; Tüm ısıtma, soğutma ve dengelenmiş havalandırma kanalları uygulamaları,
- Tüm-bina havalandırma dağıtım hatları, hava akış, soğuk hava akış, ısıtılmış hava akış kontrolleri,
- Havalandırma hava girişleri ve havalandırma kaynağı, bölgesel mekanik egzoz süreklilik oranı ve aralık oranı,
- Havalandırma ve egzoz fanı oranları (mutfak için muafiyetler, HVAC ve uzak monte edilmiş fanlar)
- Fırın, boiler, su ısıtıcıları gibi sistemler,
- ASHRAE minimum verimlilik rapor değeri MERV6'ya göre etkin filtreleme

gibi kontroller yapılmaktadır [48].

Energystar standardına göre soğuk ve sıcak iklim bölgelerinde ısıtma ve soğutma elemanlarının kabul edilebilir verimlilik seviyesi değerleri Şekil 2.31'de gösterilmiştir.

Hot Climates (2009 IECC Zones 1,2,3) <sup>15</sup>	Mixed and Cold Climates (2009 IECC Zones 4,5,6,7,8) <sup>15</sup>
<b>Cooling Equipment (Where Provided) <sup>16</sup></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cooling equipment shall meet the following applicable efficiency levels:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 14.5 SEER / 12 EER ENERGY STAR certified AC, <b>OR</b>;</li> <li>Heat pump (See Heating Equipment)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 13 SEER AC, <b>OR</b>;</li> <li>Heat pump (See Heating Equipment)</li> </ul>
<b>Heating Equipment <sup>16</sup></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Heating equipment shall meet the following applicable efficiency levels:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 80 AFUE gas furnace, <b>OR</b>;</li> <li>≥ 80 AFUE oil furnace, <b>OR</b>;</li> <li>≥ 80 AFUE boiler, <b>OR</b>;</li> <li>≥ 8.2 HSPF / 14.5 SEER / 12 EER air-source heat pump, ENERGY STAR certified with electric backup or ENERGY STAR certified dual-fuel backup heating, <b>OR</b>;</li> <li>Ground-source heat pump, any product type, ENERGY STAR certified <sup>18</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 90 AFUE gas furnace, <b>OR</b>;</li> <li>≥ 85 AFUE oil furnace, ENERGY STAR certified, <b>OR</b>;</li> <li>≥ 85 AFUE boiler, ENERGY STAR certified, <b>OR</b>;</li> <li>Air-source heat pump <sup>17</sup>, ENERGY STAR certified with efficiency as follows: <ul style="list-style-type: none"> <li>CZ 4: ≥ 8.5 HSPF / 14.5 SEER / 12 EER with electric backup, <b>OR</b>;</li> <li>CZ 5: ≥ 9.25 HSPF / 14.5 SEER / 12 EER with electric backup, <b>OR</b>;</li> <li>CZ 6: ≥ 9.5 HSPF / 14.5 SEER / 12 EER with electric backup, <b>OR</b>;</li> </ul> </li> <li>Air-source heat pump, ENERGY STAR certified, ≥ 8.2 HSPF / 14.5 SEER / 12 EER with ENERGY STAR certified dual-fuel backup, <b>OR</b>;</li> <li>Ground-source heat pump, any product type, ENERGY STAR certified <sup>18</sup></li> </ul>

**Şekil 2.31** : Isıtma ve soğutma sistemleri için standarti sınır koşulları [47].

### 2.3.1.3. Tam su yönetim sistemi

Yapılaşma süresince, duvarların arasında, bodrum katlarda, çatı arasında, yaşam alanlarında oluşacak olan nemin ve yağmur sızıntılarını önlemek için su yönetimi gereksinimlerini yerine getirmek gerekmektedir [42,45].

Bu gereksinimleri aşağıdaki gibi sırlayabiliriz;

- Su temelden, duvarlardan ve çatıdan uzaklaştırılmalıdır.
- Binanın su ve nem hasarını önlemek için neme karşı dayanıklı bariyerler ile inşa edilmelidir.
- Bina yapı elemanlarındaki çürüme ve küf oluşumu engellenerek yapılaşma süresince iyi bir şekilde korunmalıdır.

Energystar sertifikalı binalarda, binanın konumu ve inşası nem oluşumunda ve iyi bir su yönetimi için önem arz etmektedir. Bu sistemde özellikle nem oranı yüksek olan iklim bölgelerinde nem oluşumunu engelleyen bariyerler kullanılarak temelde ve duvar yüzeylerinde sudan kaynaklı nem oluşumu engellenir. Ayrıca bina temelinde oluşabilecek su hasarını engellemek için drenaj hattı kurulması gerekmektedir [42,45].



Çatılardan başlayıp duvar yüzeylerinden aşağıya doğru devam eden su tahliye hattının kurulması, bu hatlarda sızdırmazlığın sağlanması gerekmektedir. Çatıdan zemine taşınan su bina zarar vermeyecek şekilde uzaklaştırılmalıdır. Açılan pencereler ile çatı-duvar birleşim noktalarında suya dirençli malzemeler ile yapılan drenaj sistemi yapılmalıdır [42,45].

#### 2.3.1.4. Enerji verimli aydınlatma ve ev aletleri

Enerji verimli aydınlatmanın seçimi ve Energystar etiketli ev aletlerinin kullanılması ile Energystar standardında belirtilen gereksinimler sağlanmış olmaktadır. Energystar sertifikası binalar dışından aydınlatma ve elektrikli ev aletleri alanında da uygulandığından binalarda bu sertifikaya sahip elemanlar kullanılması durumunda standart gereksinimleri sağlanmış olmaktadır. Kullanılan aydınlatma ve evsel aletler geleneksel modellere göre %75 oranında enerji tasarrufludur. Akkor lambaların yerine kullanılan Energystar sertifikalı kompakt floresan lambalar 13-15W enerji tüketimine sahip olmalıdır. Geleneksel akkor ampullere göre 10-50 kat daha fazla uzun ömürlü nitelikli ampuller kullanılmalıdır. Energystar sertifikalı aydınlatma akkor aydınlatma ile karşılaştırıldığında %75 oranında daha az ısı yaymaktadır [42,46].

Hot Climates (2009 IECC Zones 1,2,3) <sup>15</sup>	Mixed and Cold Climates (2009 IECC Zones 4,5,6,7,8) <sup>15</sup>																					
<b>Water Heater</b>																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>DHW equipment shall meet the following efficiency requirements:<sup>22</sup></li> </ul> <table border="1"> <tr> <td>Gas:</td> <td>30 Gal = 0.63 EF</td> <td>40 Gal = 0.61 EF</td> <td>50 Gal = 0.59 EF</td> <td>60 Gal = 0.57 EF</td> <td>70 Gal = 0.55 EF</td> <td>80 Gal = 0.53 EF</td> </tr> <tr> <td>Electric:</td> <td>30 Gal = 0.94 EF</td> <td>40 Gal = 0.93 EF</td> <td>50 Gal = 0.92 EF</td> <td>60 Gal = 0.91 EF</td> <td>70 Gal = 0.90 EF</td> <td>80 Gal = 0.89 EF</td> </tr> <tr> <td>Oil:</td> <td>30 Gal = 0.55 EF</td> <td>40 Gal = 0.53 EF</td> <td>50 Gal = 0.51 EF</td> <td>60 Gal = 0.49 EF</td> <td>70 Gal = 0.47 EF</td> <td>80 Gal = 0.45 EF</td> </tr> </table>		Gas:	30 Gal = 0.63 EF	40 Gal = 0.61 EF	50 Gal = 0.59 EF	60 Gal = 0.57 EF	70 Gal = 0.55 EF	80 Gal = 0.53 EF	Electric:	30 Gal = 0.94 EF	40 Gal = 0.93 EF	50 Gal = 0.92 EF	60 Gal = 0.91 EF	70 Gal = 0.90 EF	80 Gal = 0.89 EF	Oil:	30 Gal = 0.55 EF	40 Gal = 0.53 EF	50 Gal = 0.51 EF	60 Gal = 0.49 EF	70 Gal = 0.47 EF	80 Gal = 0.45 EF
Gas:	30 Gal = 0.63 EF	40 Gal = 0.61 EF	50 Gal = 0.59 EF	60 Gal = 0.57 EF	70 Gal = 0.55 EF	80 Gal = 0.53 EF																
Electric:	30 Gal = 0.94 EF	40 Gal = 0.93 EF	50 Gal = 0.92 EF	60 Gal = 0.91 EF	70 Gal = 0.90 EF	80 Gal = 0.89 EF																
Oil:	30 Gal = 0.55 EF	40 Gal = 0.53 EF	50 Gal = 0.51 EF	60 Gal = 0.49 EF	70 Gal = 0.47 EF	80 Gal = 0.45 EF																
<b>Thermostat &amp; Ductwork</b>																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programmable thermostat shall be installed unless thermostat controls a zone with electric radiant heat, for which manual thermostat is allowed.<sup>23</sup></li> <li>Supply ducts in unconditioned attics shall have insulation <math>\geq</math> R-8; all other ducts in unconditioned space shall have insulation <math>\geq</math> R-6.</li> <li>Total duct leakage shall be <math>\leq</math> 8 CFM25 per 100 sq. ft. of conditioned floor area.<sup>24</sup></li> <li>Duct leakage to outdoors shall be <math>\leq</math> 4 CFM25 per 100 sq. ft. of conditioned floor area.<sup>24,25</sup></li> </ul>																						
<b>Lighting &amp; Appliances</b>																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Where refrigerators, dishwashers, ceiling fans, or exhaust fans<sup>26</sup> are installed, products shall be ENERGY STAR certified.</li> <li>ENERGY STAR certified light bulbs or fixtures shall be installed in 80% of RESNET-defined Qualifying Light Fixture Locations.<sup>27</sup></li> </ul>																						

Şekil 2.32 : Sıcak Su, Termostat, Aydınlatma için standartdaki sınır koşulları [47].

### 2.3.2. Energystar enerji verimliliği hesabı ve referans bina tasarımı

Binaların ulusal kanun, yönetmelik ve standartları oluşturulmuş bölgelerde energystar standardına göre enerji verimlilik hesabı yapılır ve sertifikalandırılır [47].

Binaların Energystar sertifikası alabilmesi aşağıdaki kriterlerin sağlanması durumunda mümkündür [42,47];

- Energystar sınıflandırılması, kendine ait ısıtma, soğutma, sıcak su sistemleri ile %80 ve üzeri doluluğa sahip olan,
  - Müstakil daireler,
  - Apartmanlar, 4 daireli veya daha fazla daireli konutlar
  - Apartmanlar, 3 katlı veya daha fazla katlı konutlar
  - Apartmanlar, 4 ya da 5 katlı konutlar

için yapılmaktadır.

- Energystar standardının bölüm 4'te detaylı olarak anlatılan HERS İndeksi aralığı için oluşturulmuş olduğu indeks hedef programı gereksinimlerine uygun referans bina tasarımı yapılmalıdır.
- Referans bina ile asıl bina değeri ile karşılaştırıldığında binanın enerji performans göstergesi en fazla 65-75 puan arasında olması durumunda bina energystar sertifikası almaya hak kazanır.
- Referans bina, ulusal ve yerel yönetmelik, kanun ve standartlara (2004/2006 uluslararası enerji tasarrufu kanunu-IECC) uygun olarak modellenmiş bir binadır. Referans binanın HERS indeksindeki aralığı 100'e denk gelmektedir.
- Enerji performans göstergesi  $E_{EP} = 100 \times (EP_{gerçek}/EP_{referans})$  eşitliği ile hesaplanır.
- Asıl binanın enerji tüketim değerleri, projeden alınan tasarım değerlerinin DOE tarafından yayınlanmış Energystar hesaplama yöntemi için kullanılan e-QUEST enerji simülasyon aracına veri girişi yapılarak hesaplanmaktadır.

Yukarıda belirtilen hususlar temel alınarak referans bina ve asıl binanın yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanır ve binanın enerji performansı belirlenir. Elde edilen enerji performans değerine göre sertifikalandırma yapılır.

### 2.3.3. Energystar, e-QUEST programının kullanım profili

Tüm bu bilgiler ışığında e-QUEST yazılımı temel veri girdileri ile program çıktılarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

Program temel veri girdileri;

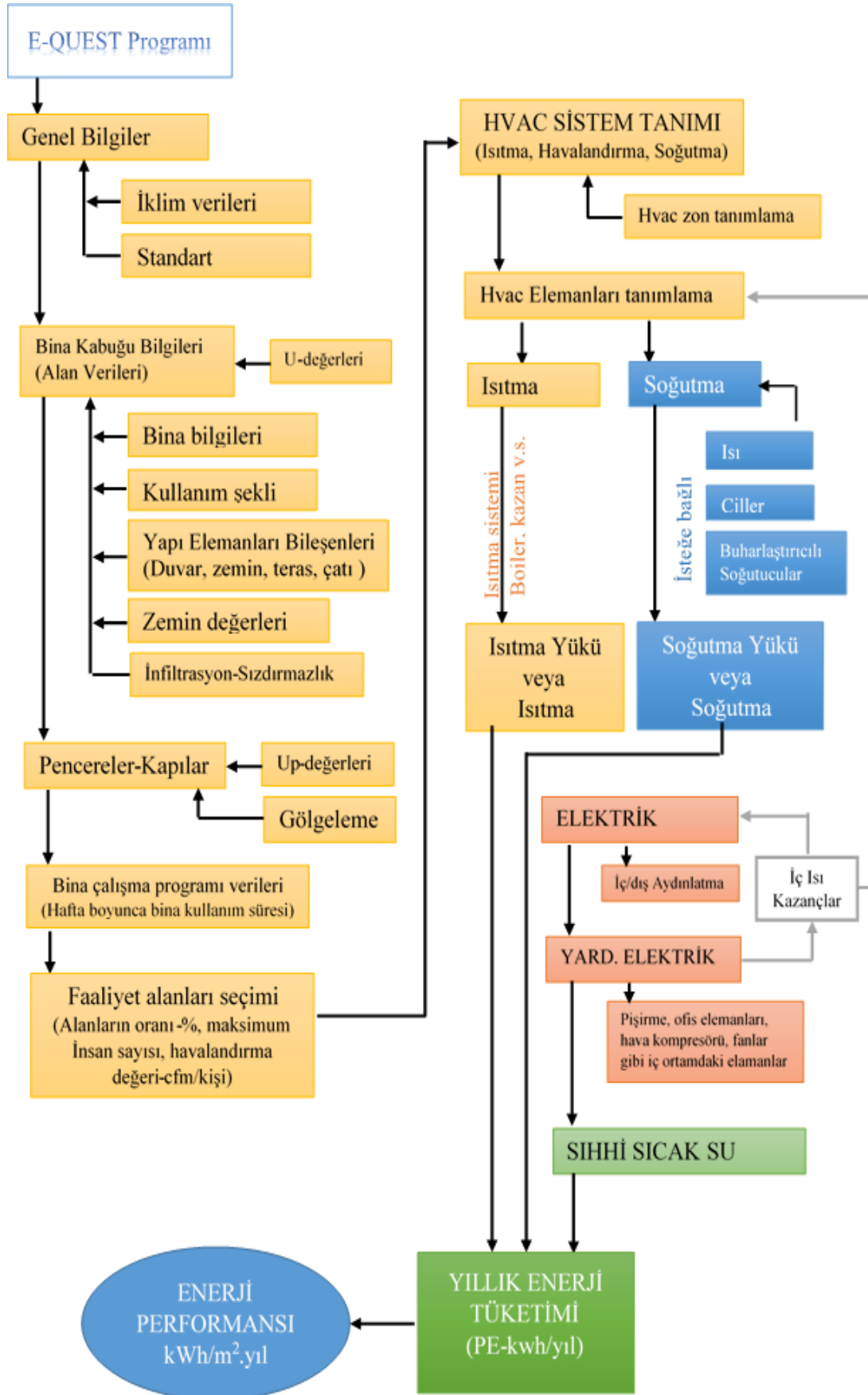
- Bina genel bilgileri ve iklim verilerinin girilmesi
- Geometrik bilgilerin girilmesi, kat tanımlaması, zonlama yapılması
- Bina ana kabuğu bilgileri ve yapı elemanları ısı özellikleri, U-değerleri veri girişi
- Pencere ve kapılara ait ısı özelliklerinin ve U-değerleri, pencere ve kapı yön bilgileri veri girişi
- Bina kullanım saatlerine ait veri girişi ve faaliyet alanlarının seçimi
- Elektrik ve yardımcı elemanlara ait veri girişi
- HVAC (Isıtma, havalandırma ve soğutma) sistem veri girişi
- Sıcak su sistemi veri girişi

Program çıktıları;

- Isıtma, soğutma, sıcak su, yardımcı elektrik, aydınlatma **aylık/yıllık enerji tüketimi** (elektrik tüketimi-kWh, gaz tüketimi-Btu)

e-QUEST'e enerji simülasyon programına ait veri giriş iş akış şeması Şekil 2.33'da gösterilmiştir. Programda aşağıdaki basamaklar takip edilerek sonuca ulaşılır.

- e-QUEST enerji simülasyon aracında iş akış diyagramından da görüleceği üzere binaya ait genel bilgiler ile iklim verileri girilmelidir.
- Farklı iklim bölgesi iklim verileri simülasyon aracına tanımlanabilmektedir. Genel bilgiler ekranında ayrıca simülasyon programının hesaplamalarda referans bina için kullanacağı standart ve yönetmelik verileri de (ASHRAE 90.1, leed gb.) girilebilmektedir.
- Yazılımda, bina ana kabuğu ile bilgiler başlıklı ekranda binanın geometrik bilgileri girilir ve zon tanımlama işlemi yapılır.
- Bina yapı elemanlarının ısı özellikleri, U-değeri verileri programa girilir.



Şekil 2.33 : e-QUEST veri akış şeması.

- Binanın kullanım şekli ve sızdırmazlık değeri girilir.
- Pencere ve kapıların çerçeve için  $U_f$  değeri, cam için  $U_g$  değeri girilir. Pencere ve kapı boyut bilgileri veri girişi yapılır.
- Eğer yapıda bir gölgeleme unsuru var ise gölgeleme şartları ve gölgeleme tipi verileri yazılıma kaydedilir.
- Isıtma, soğutma ve havalandırma yükünün hesaplanması ve binanın enerji performansını hesaplanabilmesi için programa HVAC sistemi tanımlanır.
- Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemine ait veri girişi yapılır. Yakıt cinsi tanımlanmalıdır. Çünkü simülasyon programı çalıştırıldığında sonuç olarak tüketim değerlerini seçilen enerji kaynağına göre ya gaz tüketimi ve ya elektrik tüketim olarak vermektedir.
- Binanın aydınlatma yükünün belirlenebilmesi için kullanım alanlarının aydınlatma bilgileri ve HVAC sistemine ait yardımcı elemanların programa girilir.
- Sıcak su temin şekli ve sıcak su sistemi seçilir.

Binaya ait veriler e-QUEST enerji simülasyon aracına girildikten sonra simülasyon programı çalıştırılır ve binanın aylık ve yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanır. Programda yıllık enerji tüketim sonuçları elektrik tüketimi (kWh) ve gaz tüketimi (BTU) olarak raporlanmaktadır. Birim dönüşümü ve yıllık enerji tüketim değerlerinin net kullanım alanına bölünmesi ile binanın kullanım alanı başına yıllık enerji tüketim değeri hesaplanmış olur.

Programın hesaplamış olduğu toplam tüketim değerleri, Energystar standardında belirtilen HERS index'indeki enerji performans sınıflandırmasında hangi enerji sınıfına karşılık geldiği kıyaslanabilir. Ayrıca simülasyon aracına tanımlanan tüm sistemler yapıya ait pasif sistemler ve mekanik sistemlerin yapının yapılması esnasında denetçi ve müteahhit kontrol listeleri ile Energystar gerekliliklerine göre kontrolü yapılarak hesaplamaların ve kurulu sistemin doğrulaması yapılır.

#### **2.3.4. Energystar enerji sertifika programının faydaları ve önündeki engeller**

Birçok araştırmada enerji iyileştirmesi yapan kullanıcılar veya yöneticilerden kaynaklı faydalar ve engeller tariflenmektedir.

Energystar Enerji sertifika programının faydaları;

- Energystar hesaplama yöntemi ile konutların enerji performans düzeyleri belirlenir.
- Konforlu, rahat ortamı olan evlerin inşasını sağlar.
- Enerji performansının belirlenmesi ile evlerin enerji tüketimleri hakkında bilgi edinilmesini sağlar ve enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenmesini sağlar.
- Bu program ile binalarda iyi bir havalandırma sistemi tasarımı yapıldığından iç hava kalitesinin iyi düzeylerde olması sağlanır. Binada oluşabilecek nem, küf ve su hasarları giderilir. Hava sızıntıların engellenmesi ile binanın enerji performans düzeyleri iyileştirilir.
- Binanın enerji tüketim değerlerinin hesaplanması ile mevcut binalarda iyileştirmelerin ve alınacak önlemlerin belirlenmesini sağlar. Yeni binalarda ise yapının inşası öncesi enerji modeli tasarımı enerji etkin sistemlerin belirlenmesini sağlar.

Finansal Engeller:

Enerji tasarrufunu kapsayan binalarda sürdürülebilir enerjiler için finansal engeller şu şekilde sıralabilir;

- Yatırım maliyetlerin yüksek olması,
- Finansman eksikliği ve geri ödeme süresinin birkaç yıldan fazla olması,
- Düşük enerji fiyatları ve devlet destekli enerji fiyatları
- Binalarda yapılacak enerji tasarrufu hakkındaki yetersiz bilgi
- Kullanıcıların iyileştirme çalışmasını sınırlayan üç temel engel;
  - Ekonomik ve güvenilir bir enerji uzmanına erişimdeki zorluk,
  - Dönüşüm ve kurulum maliyetleri için bütçe oluşturulamaması ve gerekli olan finansmana ulaşamama,
  - Bina sahiplerindeki(özellikle ticari binalarda) binalarının enerji verimli olduğu algısı,
- İyileştirmeler için yapılacak olan geri ödemelerin şartları,

- Geniş ve hızlı dönüşleri olan alternatif yatırımların maliyetlerindeki fırsatlar,
- Enerji iyileştirme teknolojilerinin riskleri ve iyileştirmelerde yapılacak teşviklerdeki yetersizlik,

finansal engeller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu engeller karar verme sürecinde üç şekilde ortadan kaldırılabilir;

- Enerji iyileştirmelerinin yararlarının vurgulanması,
- Bilgi seviyesini arttırmak için bilgiye erişimi kolaylaştırma
- Finansman veya finansman için kaynaklara erişimi artıran organizasyonlar

ile birlikte üstesinden gelinebilir. Bilgi ve bilgiye erişimin iyileştirilmesi Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) Portföy Yöneticisi kullanılarak yapılabilir [9,42].





### **3. ÖRNEK BİNA ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMALI ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

Araştırmanın bu bölümünde bir örnek konut binası, bu tezin ikinci bölümünde tanıtılan sertifika programları BEP-TR, PASSIVHAUS ve ENERGYSTAR ile enerji performans değerlendirmesi yapılacaktır. Örnek bina, BEP-TR için İstanbul/Türkiye, PASSIVHAUS için Freiburg/Almanya, ENERGYSTAR için Newyork/USA'de seçilen benzer iklim koşullarındaki illerde aynı fiziksel ve teknik özelliklere sahip bina üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

#### **3.1. Örnek Binanın Tanıtımı**

Bu araştırmada incelenen bina üç farklı bölgede; Türkiye'de İstanbul, Almanya'da Freiburg, Amerika'da Newyorkta yapıldığı varsayılan bir binadır. İstanbul, TS 825 Isı Yalıtım Kurallarında belirlenen derece-gün bölgelerine göre 2. Bölgede bulunmaktadır. Newyork, iklim verileri açısından İstanbul iklim verilerine çok yakın olduğu için, Freiburg'da Almanya'nın yaz aylarında sıcaklık ortalamasının en yüksek olduğu, İstanbul iklimine yaklaşmasından dolayı seçilmiştir.

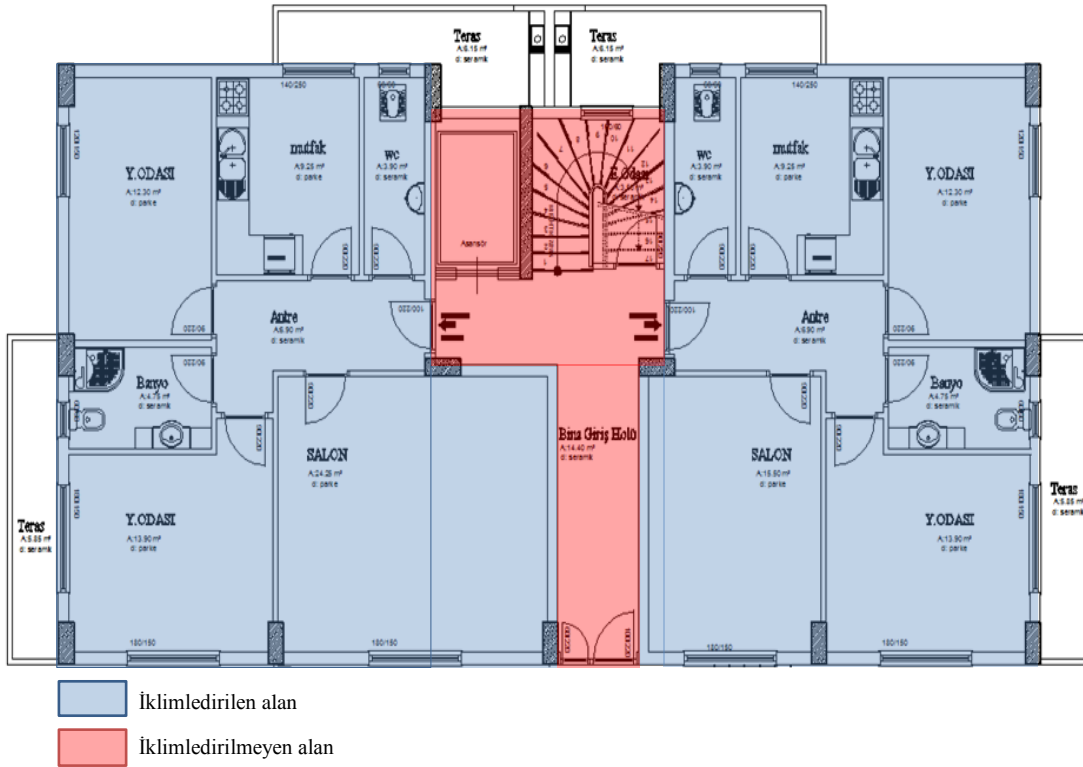
Örnek uygulamadaki bina ile ilgili;

- 4 katlı ve çatı arası kullanılmaktadır. Kat yükseklikleri 3m'dir.
- Binadaki her bir apartman dairesi 10 m<sup>2</sup> mutfak, 24m<sup>2</sup> salon üç yatak odası bir banyo ve bir wc'den oluşmaktadır.
- Toplam 9 daire bulunmaktadır. Bodrum kat bulunmamaktadır. Zemin kat döşemesi toprak temaslıdır.
- Bina yüksekliği çatı saçak altı 12,80 m, çatı ana mahyası ile birlikte 18,32m'dir.
- Doğal havalandırma ve sızıntı değeri, Bina enerji performansı hesaplama yöntemi, net enerji ihtiyacının hesaplanması dair kuralların belirlendiği ek föyde bulunan çizelgelerden hava sızdırmazlık değerine ( $n_{50}$ ) göre 0,6 h<sup>-1</sup> (0.054 cfm/ft<sup>2</sup>) olarak seçilmiştir.

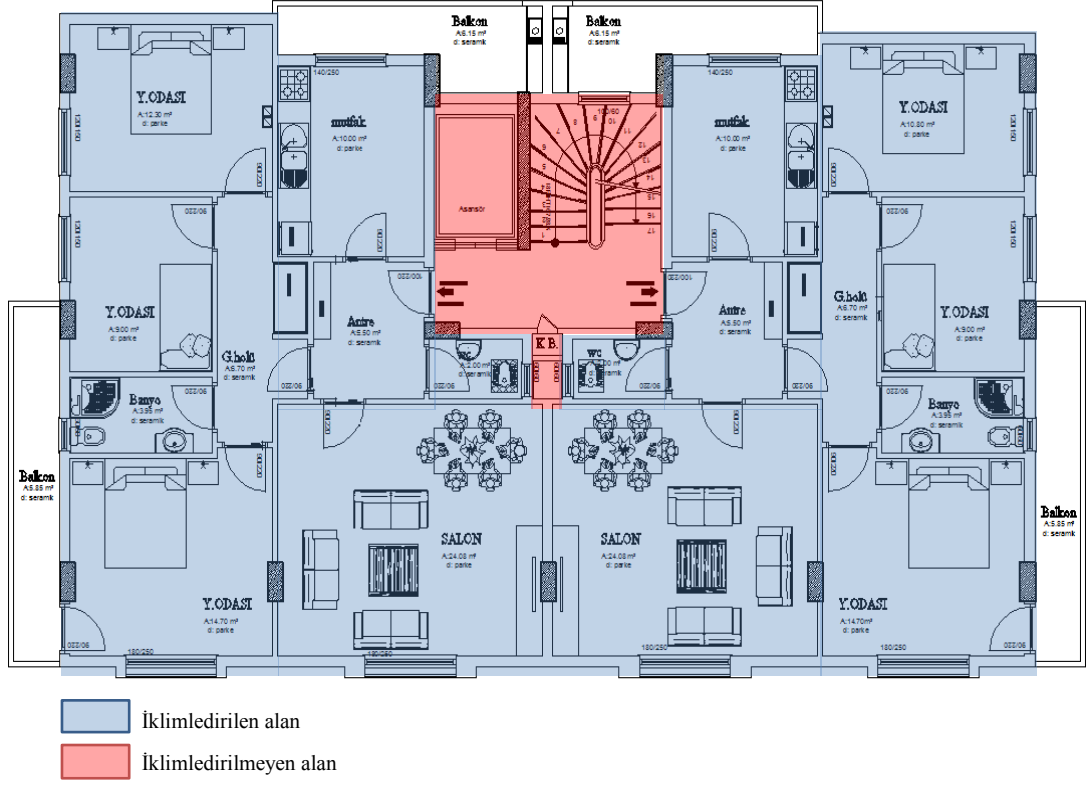
- Oda konfor sıcaklıkları kış ayları için 22°C, yaz ayları için de 25°C seçilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, üç farklı bölgede kullanılan hesaplama yöntemleri ile her bir hesaplama yönteminin bulunduğu bölgelerin kanun, yönetmelik, standartlarına bağlı olarak binanın enerji sınıfının belirlenmesi ve çıkan sonuçların analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, üç hesaplama yöntemi ile örnek binanın enerji performans hesabı yapılmıştır. Isıtma ve soğutma yüküne etki eden yapı malzemelerinin (opak ve saydam bileşen gibi), binanın yapısal özelliklerinin, binada oluşacak ısı köprülerinin ve sızdırmazlık seviyelerinin enerji performans hesaplama yöntemlerinin hepsinde de aynı olduğu varsayılmıştır.

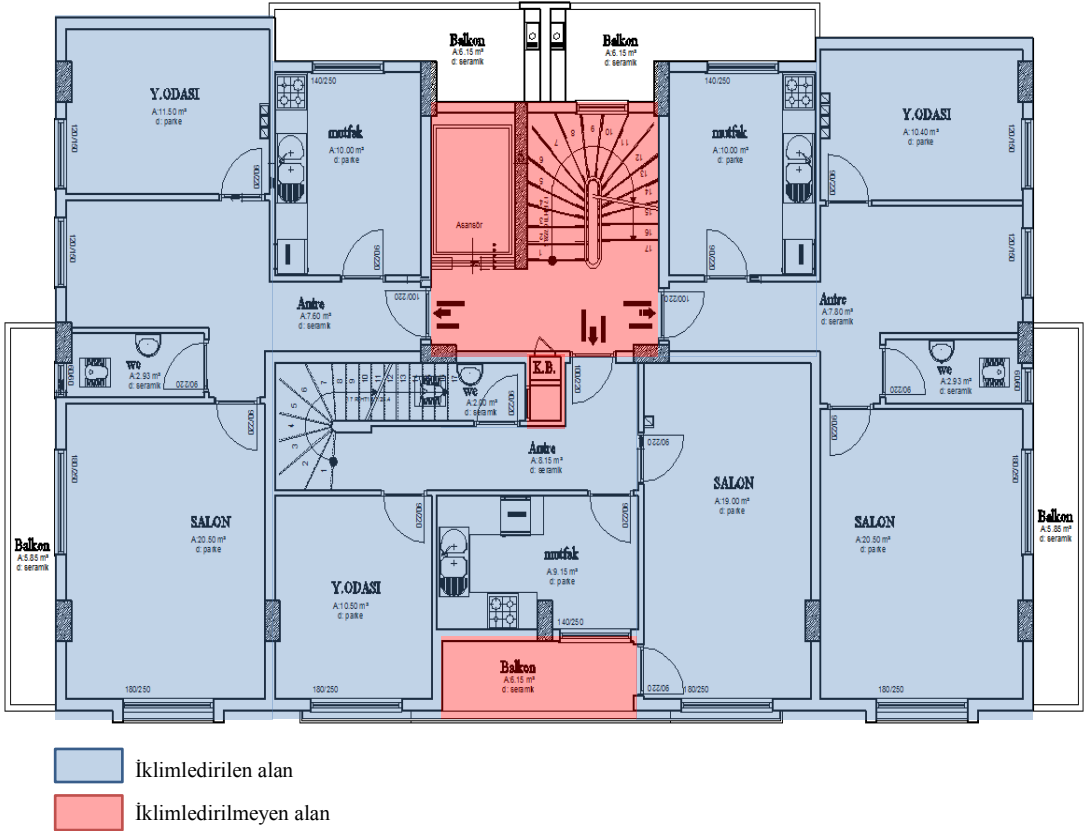
Örnek binaya ait zemin kat planı Şekil 3.1’de, bir ve ikinci normal kat planı Şekil 3.2’de üçüncü normal kat planı Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Şekil 3.4’de ise örnek binanın kesiti ve görünüşü gösterilmiştir.



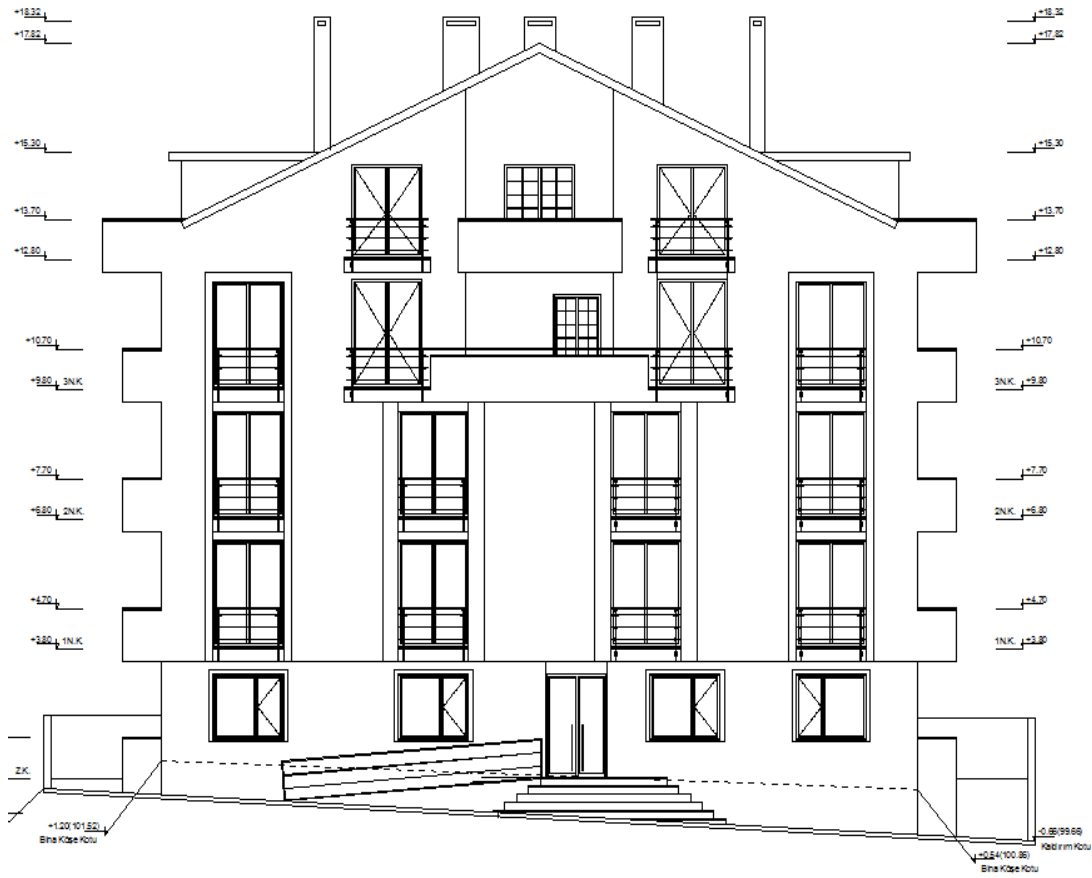
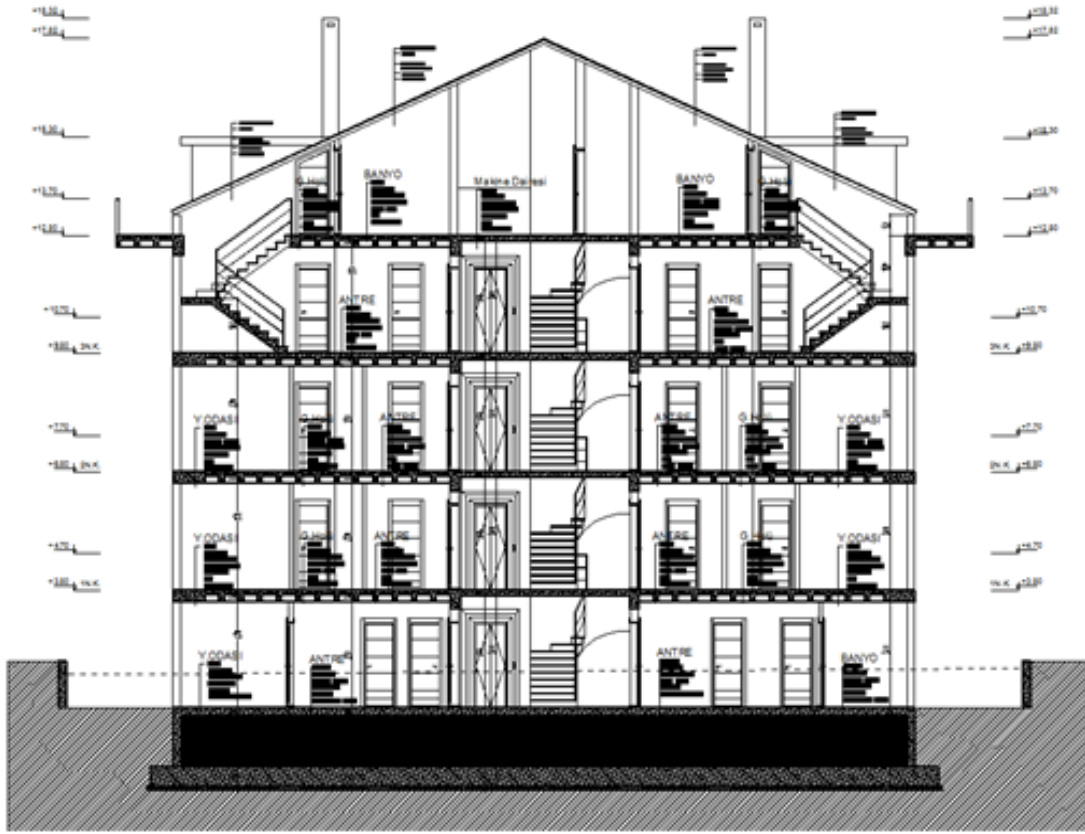
Şekil 3.1 : Örnek bina zemin kat planı.



Şekil 3.2 : Örnek bina normal kat planı.



Şekil 3.3 : Örnek bina 3. normal kat planı.



Şekil 3.4 : Örnek bina kesit ve görünüşü.

Üç analiz programına da bina bilgileri girilmiş programların verdiği sonuçlar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Binanın enerji performansı değerlendirme sürecinde izlenecek olan araştırma metodu (kullanılacak yöntemler, değişen parametreler ve amaç) Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Binanın üç hesaplama yönteminde BEP-TR için internet tabanlı BEP-TR programı, PASSIVHAUS için PHPP programı ve ENERGYSTAR için e-QUEST programı kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1 : Araştırma metodu.**

Yöntem	Değişen Parametreler	Amaç
BEP-TR BEP-TR’de Enerji performansı analizi, ulusal kanun ve standartlar	Türkiye, İstanbul İklim verileri kullanılmıştır.	Binanın BEP-TR’de enerji performansının hesaplanması ve değerlendirilmesi.
PASSIVHAUS PHPP’de Enerji performansı analizi, Passivhaus kriterleri ve ulusal kanun ve standartlar	Almanya, Freiburg iklim verileri kullanılmıştır.	Binanın PHPP’de enerji performansının hesaplanması ve değerlendirilmesi.
ENERGYSTAR e-QUEST’te Enerji performansı analizi, EPA ve DOE kriterleri, ulusal kanun ve standartlar	Amerika, Newyork iklim verileri kullanılmıştır.	Binanın e-QUEST’te enerji performansının hesaplanması ve değerlendirilmesi.

Bu araştırmaya konu olan enerji hesaplama yöntemleriyle analizi yapılacak olan örnek binanın mimari projesinde belirlenmiş olan yapı bileşenlerinde kullanılacak malzemeler ve bu malzemelerin ısı özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak binanın yapı elemanlarının U-değeri belirlenmiştir. Yapı elemanlarından dış duvarın ısı özellikleri Çizelge 3.2’de, binada bulunan döşemenin ısı özellikleri ise Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2 : Dış duvar’a ait bileşenlerin boyutları ve ısı değerleri.**

Binadaki Yapı Elemanları	Kalınlık		Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci
	d	(m)	$\lambda$ (W/mK)	R ( $m^2K/W$ )
Kireç harcı, Kireç çimento harcı	0,02		1	0,02
TS EN 998-2'ye uygun Tuğla	0,135		0,2	0,725
Çimento Harcı	0,005		1,6	0,003
Ekstrüde Polistren Köpük	0,04		0,03	1,333
Çimento Harcı	0,01		1,6	0,006

**Çizelge 3.3 :** Döşeme'ye ait bileşenlerin boyutları ve ısıl değerleri.

Binadaki Yapı Elemanları	Kalınlık		Isı İletkenlik	Isıl İletkenlik
	d	(m)	Hesap Değeri $\lambda$ (W/mK)	Direnci R (m <sup>2</sup> K/W)
Kristal yapılı püskürük malz.	0,01		2,3	0,004
Çimento Harçlı Şap	0,03		1,4	0,021
Ekstrüde Polistren Köpük	0,05		0,03	1,667
Donatı-Beton	0,3		2,5	0,120
Kum, Kum-Çakıl	0,3		2	0,150

### 3.2. Örnek Binanın BEP-TR Enerji Performansı Analizi

Enerji verimliliği kanununun önemli bir yönetmeliği olan Binalarda enerji performansı yani “BEP Yönetmeliği” kapsamında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan bep.gov.tr internet tabanlı BEP-TR enerji performans programına örnek binanın geometrik, yapı elemanları ve mekanik sistemlere ait bilgileri girilmiştir. Şekil 3.5’de görülen BEP-TR programı ana ekranında proje oluşturularak projeye bina bilgileri girilmiştir.

**Proje Bilgileri**

Proje Adı: Örnek Uygulama

Proje Kodu: 2014/162

Kapalı Kullanım Alanı: 778,77 m<sup>2</sup>

Proje Durumu:

Ada/Pafta/Parsel: 1118/18B3B/23

Adres: Tuzla/İSTANBUL

İl: İSTANBUL

İlçe: Tuzla

Belediye: Tuzla

Mevcut Bina mı?

Bina Tipi: Apartman

Bina Sahibinin Adı: Örnek Uygulama

Bina Sahibinin Adresi: Tuzla/İSTANBUL

Müşterek Tesisatların Sahibinin Adı: Örnek Uygulama

Müşterek Tesisatların Sahibinin Adresi: Tuzla/İSTANBUL

**İşlemler**

Baştan Giriş | Bilgi Girişi | Proje Kopyala

Sertifika Oluştur

**Şekil 3.5 :** BEP-TR proje bilgi giriş ekranı.

Binanın konstrüksiyon tipi tuğla veya blok bina, hava sızdırma değeri için sıva yapılmış duvar özelliği bulunduğu varsayılmıştır. Şekil 3.6'da görülen BEP-TR programı genel bilgiler ekranına binanın pencere, kapı, duvar ve inşa şekli ile sızdırmazlık bilgileri girilmiştir.

**Proje Dön** Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama Tipoloji: Apartman İl - İlçe: İSTANBUL - Tuzla

**Genel Bilgiler** Veri Giriş Şekli Kat Formu ve Ölçüler Katlar Isı Köprüleri

**Sızdırmazlık Bilgileri**

Bina Konstrüksiyon Tipi Tuğla veya Blok Bina

Bitişik Bina

Kompleks - (Dikdörtgen Olmayan Kat Planı)

Hava Sızdırma Değeri  Sıva Yapılmış Duvar

Sızdırmaz Bant Olan - Pencere ve Kapılar

Sızdırmaz Bant Olmayan - Pencere ve Kapılar

**Kiriş Bilgileri**

Kiriş Alın Yüksekliği (m) 0,3

Kiriş Bileşeni PERDE DUVAR Ara

**Yükseltilmiş Döşeme Bilgileri**

Yükseltilmiş Döşeme Var mı?

Subasman Yüksekliği (m) 0,8

**Şekil 3.6** : BEP-TR genel bilgiler ekranı.

Bina kat formu dikdörtgen bir bina geometrisi varsayımı yapılarak dikdörtgen form seçilmiştir. Kat yükseklikleri 3m olarak alınmıştır. Bina BEP-TR'de zonlaması yapılmış kat formu ve ölçüleri program kütüphanesinde bulunan en yakın form ile benzeştirilmiştir. Bina yapı malzemelerinin U-değerleri için Şekil 3.7'de görülen opak malzeme kütüphanesinde yapı elemanları belirlenmiş olup ısı-yalıtım projesi ile belirlenmiş olan dış duvar, taban v.b gibi bileşenler programa el ile girilerek bir özel malzeme kütüphanesi oluşturulmuştur ve bu elemanlar hesaplamada kullanılmıştır.

Doğal havalandırma ve sızıntı değeri, programda sadece seçim olarak “sızdırmaz bant olan pencere ve kapılar” seçimi yapılarak programa veri girişi sağlanmıştır. Program arka yüzünde, hava değişim oranı bu seçim ile 50Pa'da  $0,6 \text{ h}^{-1}$  atanmış olduğu hesaplama yöntemi net enerji hesaplama föyündeki tablolardan anlaşılmaktadır.

Projeye Dön Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama Tipoloji: Apartman İl - İlçe: İSTANBUL - Tuzla

**Duvarlar** Zemin Tavan / Çatı Odalar

Eleman Tipi  Dış Eleman  İç Eleman

Bağlı Olduğu Cephe Yüzeyi [Seçiniz] ▼

Opak Bileşen

Uzunluk (m)

Yükseklik (m)

Gömülme Derinliği

Arama

Anahtar Kelime

Ara

No	Adı	Kodu	U	Kullanım
<a href="#">47784</a>	dış duvar	erte1	0,45	Yeni Bina
<a href="#">202156</a>	DIŞ DUVAR	ERTE-9	4,14	Yeni Bina
<a href="#">162257</a>	DIŞ DUVAR YENİ	ERTE-5	0,41	Yeni Bina
<a href="#">87732</a>	dış duvar**	erte1**	0,49	Yeni Bina
<a href="#">47786</a>	DIŞ DUVAR1 ytong	ERTE-1 DUVAR	0,39	Yeni Bina
<a href="#">61215</a>	PERDE DUVAR	0021	0,61	Yeni Bina
<a href="#">162259</a>	PERDE DUVAR YENİ	ERTE-6	0,58	Yeni Bina
<a href="#">109423</a>	prefabrik duvar	erte-3	0,49	Yeni Bina
<a href="#">57356</a>	SANDVIÇ PANEL	ERRTE	0,46	Yeni Bina
<a href="#">109432</a>	SANDVIÇ PANEL*	ERRTE*	0,46	Yeni Bina

Sayfa No: 1 ▼

Eleman Kodu	Temas	Zon	Cephe	Opak Bileşen	Uzunluk
<a href="#">19047287</a>	Dış Cephe	A	dış duvar	dış duvar	11,59
<a href="#">19047288</a>	Dış Cephe	B	dış duvar	dış duvar	18,09
<a href="#">19047289</a>	Dış Cephe	C	dış duvar	dış duvar	11,59
<a href="#">19047290</a>	Dış Cephe	D	dış duvar	dış duvar	18,09

Sayfa No: 1 ▼

Şekil 3.7 : BEP-TR’de duvarlar için oluşturulmuş opak malzeme kütüphanesi.

Projeye Dön Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama Tipoloji: Apartman İl - İlçe: İSTANBUL - Tuzla

**Genel Bilgiler** Veri Giriş Şekli Kat Formu ve Ölçüler Katlar Isı Köprüleri

**Isı Köprüsü Seçimi**

Isı Köprüsü Tipi Balkonlar

[Seçiniz]

Çatılar

Balkonlar

Kolonlar

Köşeler

Bölme Duvarlar

Ara Kat Döşemeleri

Toprağa Basan Döşemeler

İklimlendirilmeyen Zona Basan Döşeme

Pencere ve Kapı Açıklıkları

Lejant

Duvar

Hafif duvar elemanı: (hafif kagir birimler veahşap karkas)

Isı-yalıtım katmanı

Kolon/Kiriş

Doğrama

Bina dışı bölge

Bina içi bölge

Toprak

B1 B2 B3 B4

Isı Köprüsü Toplam Uzunluğu 0

No	Isı Köprüsü	Resim
<a href="#">2610353</a>	R5	
<a href="#">2610354</a>	B1	

Şekil 3.8 : BEP-TR ısı köprüsü seçimi.



Binada bulunan balkonlar, pencereler gibi bağlantı noktalarında oluşabilecek ısı köprüleri, binanın mimari projesinde belirlenen bağlantı ve imalat şekline göre BEP-TR kütüphanesinde bulunan ve Şekil 3.8’de bir kısmı gösterilmiş olan ısı köprüsü tiplerine benzer olanları seçilerek belirlenmiştir.

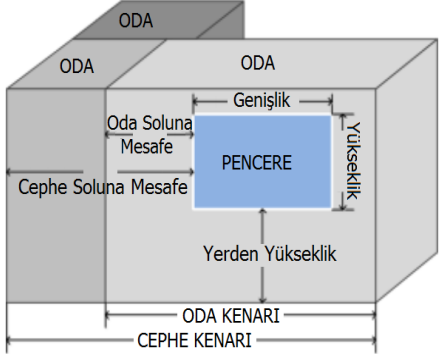
Pencerelerin ve kapıların binadaki konumları ile pencere ve kapı tipleri ve tipolojilerine ait bilgiler Şekil 3.9’da görülen BEP-TR programı bina oda pencereleri veri ekranına girilmiştir. Ayrıca bu ekranda pencerelerin etkileşim içinde olduğu bina yüzeyi de belirtilmiştir.

Proje Dönü Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama Tipoloji: Apartman İl - İlçe: İSTANBUL - Tuzla

### Oda Pencereleri

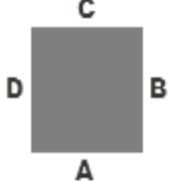
**a Yüzeyi (2) (A)**  
b Yüzeyi (3) (B)  
c Yüzeyi (2) (C)  
d Yüzeyi (3) (D)

**Ölçüler**

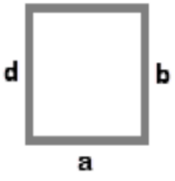


Yükseklik (m) 0  
Genişlik (m) 0  
Yerden Yükseklik (m) 0  
Oda Soluna Mesafe (m) 0  
Cephe Soluna Mesafe (m) 0

**Kat Formu:**



**Oda Formu:**



Saydam Bileşen: Ara

Temas Ettiği Eleman: daire - E19047287 - dış duvar (11,59m)

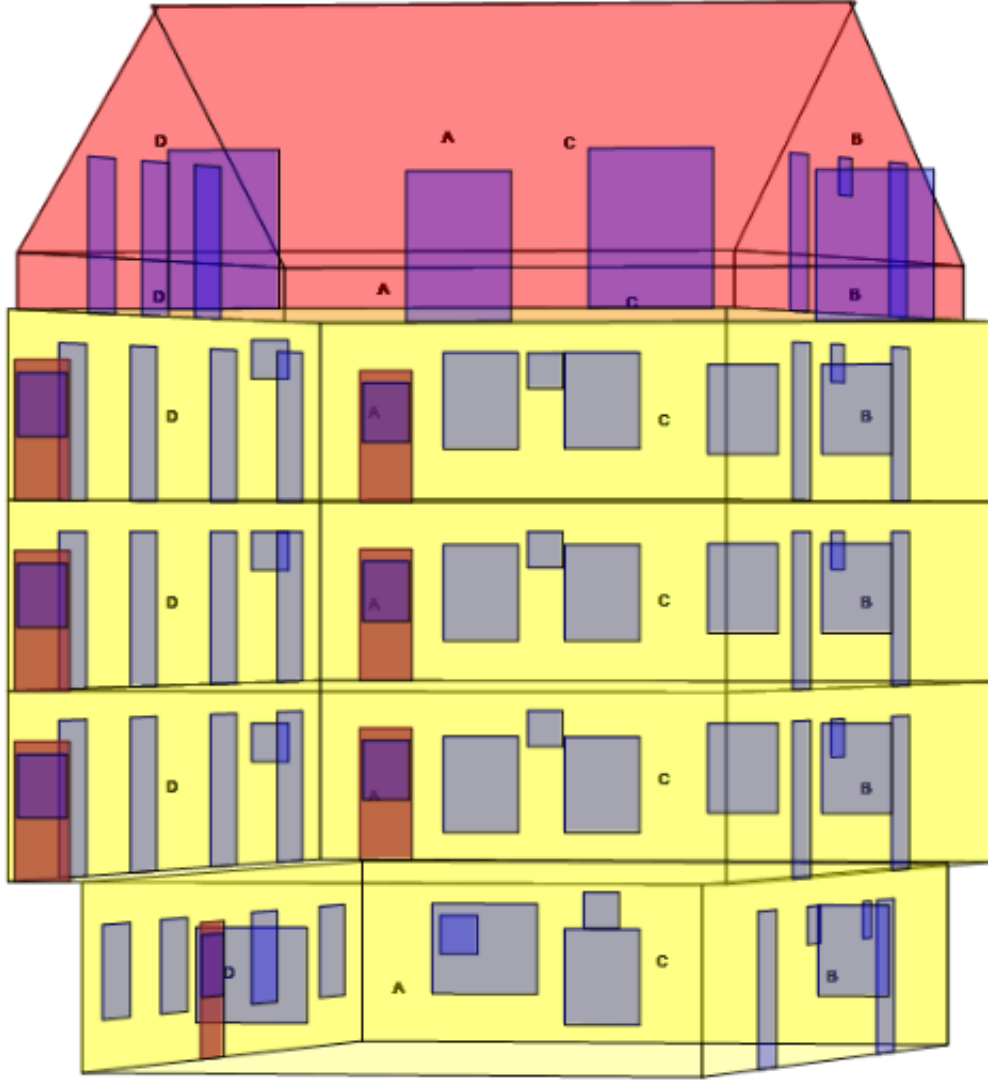
**Dış Etkenler**

Saçak Engeli Var mı?  
 Sağ Çıkıntı Var mı?  
 Sol Çıkıntı Var mı?

No	Adı	Cephe Duvarı	Eleman
<a href="#">14204861</a>	Plastik (2 odacıklı) doğramalı (4-12-4) çift camlı açılır pencere	a	19047287
<a href="#">14204869</a>	Plastik (2 odacıklı) doğramalı (4-12-4) çift camlı açılır pencere	a	19047287

Şekil 3.9 : BEP-TR oda pencereleri veri ekranı.

Bina geometrisi mimari projeden okunarak programa işlenmiştir. Veri girişi ve simülasyonu tamamlanmış olan binanın görünüşü Şekil 3.10’da görülmektedir.



**Şekil 3.10 :** BEP-TR’de enerji performansı hesaplanan binanın görüntüsü.

Büyük çoğunluğunda bina geometrisi oluşturulan programda ısıtma sistemlerine ait veriler girilmiştir. Örnek binanın ısıtması, dairelerin bireysel olarak ısıtılması ile sağlanmaktadır. Isıtma cihazı kombili sistem olarak belirlenmiş programa o şekilde tanımlanmıştır. Binada ısıtma için alternatif sistemler bulunmaktadır. Soğutma taşınabilir split klimalar ile yapılmıştır. Sıcak su için bireysel ısıtma cihazları kullanılmıştır. Bu binada sıcak su merkezi olmayan kombi cihazı ile sağlanmıştır. Binada havalandırma ve HVAC sistemi bulunmamaktadır. Aydınlatmada kompakt flüoresan kullanıldığı varsayılmıştır. Isıtma ve soğutma ve aydınlatma sistemlerine ait BEP-TR veri giriş ekranı sırasıyla ısıtma sistemi için Şekil 3.11’de, soğutma sistemi için Şekil 3.12’de, aydınlatma sistemi için Şekil 3.13’de gösterilmiştir.

**Proje Dön** Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama **Tipoloji:** Apartman **İl - İlçe:** İSTANBUL - Tuzla

### Isıtma Sistemleri

Isıtma Sistemi Adı **1**  
Isıtma sistemi gücü (kW) **36**

Pompa/brülör yönetimi Yönetim yok  
Isıtma Tipi Merkezi Isıtma  
Isıtma elemanı Radyatör/Fancoil  
Oda sıcaklık kontrolü Kontrol yok  
Tasarım sıcaklığı 55/45  
Radyatörün yeri Radyatör dış duvar üzerinde ve radyasyon korumasız pencere  
Dağıtım borularının yalıtımı Yalıtımsız boru  
Borulama şekli Çift Boru  
Depolama tankı Depolama tankı yok  
Kontrol sisteminin tipi Elektromanyetik çalıştırma ile kontrol  
Kontrol sistemi sürücü adedi **1**

Serpantin ek pompası Serpantinde ek pompa(lar) yok  
HVAC ile havalandırma var mı? HVAC ile havalandırma yok  
Sistemin çalışma şekli Kesikli çalışma  
Dengeleme kabı Dengeleme kabı yok  
Pompa kontrolü Kontrolsüz  
Kazan tipi Cebri brülörlü düşük sıcaklık ısıtma kazanı  
Kazanın yapım yılı 1994'den sonra

No	Sistem Tipi
<a href="#">652835</a>	1 [Merkezi Isıtma - Radyatör/Fancoil]
<a href="#">652837</a>	2 [Merkezi Isıtma - Radyatör/Fancoil]
<a href="#">652838</a>	3 [Merkezi Isıtma - Radyatör/Fancoil]
<a href="#">652839</a>	4 [Merkezi Isıtma - Radyatör/Fancoil]

Şekil 3.11 : BEP-TR ısıtma sistemleri veri giriş ekranı.

**Proje Dön** Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama **Tipoloji:** Apartman **İl - İlçe:** İSTANBUL - Tuzla

### Soğutma Sistemleri

Soğutma Sistemi Adı **1**  
Soğutma sistemi gücü (kW) **2**

Isı geri kazanımı Isı geri kazanımı yok  
Kondenser soğutma türü Hava soğutmalı kondenser  
Soğutmanın taşınma yöntemi Direkt sistem (DX-soğutma)  
Soğutucu gaz R410A  
DX-Soğutma sistemi Split klima  
Kapasite kontrol sistemi Tek zon sistem on/off kontrol

No	Sistem Tipi
<a href="#">753336</a>	1 []
<a href="#">753337</a>	2 []
<a href="#">753338</a>	3 []
<a href="#">753339</a>	4 []

Şekil 3.12 : BEP-TR soğutma sistemleri veri giriş ekranı.

**Geometri** | Mekanik Sistemler

- 4. çatı - Çatı
  - daire
    - daire
      - Pencereler
      - Kapılar
      - Aydınlatma**
- 3. 3.normal - Kat
  - daire
    - daire
      - Pencereler
      - Kapılar
      - Aydınlatma
- 2. 2.normal - Kat
  - daire
    - daire
      - Pencereler
      - Kapılar
      - Aydınlatma
- 1. NORMAL - Kat
  - daire
    - daire
      - Pencereler
      - Kapılar
      - Aydınlatma
- Z. ZEMİN - Kat
  - DAİRE

Proje Dönü Proje Adı - Kodu: Örnek Uygulama Tipoloji: Apartman İl - İlçe: İSTANBUL - Tuzla

Aydınlatma Elemanları

Lamba

Sayısı

No	Lamba Tipi	Adet	Güç (W)	Işık Akısı (lm)	Renk Geriverim
4917506	Kompakt fluoressan	18	27	1800	82

Sayfa No:

**Şekil 3.13** : BEP-TR aydınlatma elemanları veri giriş ekranı.

Bütün bu veri girişlerinin sonrasında program sonuçlandırıldığında, binanın enerji performans sınıfını belirleyen sertifika ‘EKB’ program tarafından oluşturulmaktadır. Örnek binamızın hesaplama sonucu ortaya çıkan ve Çizelge 3.4’de gösterilen toplam enerji performansı değeri 121,08 kWh/m<sup>2</sup>.yıl, enerji sınıfı C sınıfıdır. Sera gazı emisyon değeri ise 45.12 kg.eşd.CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.yıl olarak hesaplanmıştır. Binaya ait BEP-TR sertifikasını Ek-2’da bulunmaktadır.

**Çizelge 3.4** : Örnek binanın BEP-TR’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.

Enerji Kullanım Alanı	Nihai (kWh/yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)
Isıtma	55.025	55.025	48,15
Soğutma	52.729	124.439	46,14
Sıcak Su	22.895	22.895	20,03
Aydınlatma	7.729	18.241	6,76
Havalandırma	0	0	0,00
<b>Toplam</b>	<b>138.378</b>	<b>220.601</b>	<b>121,08</b>

### 3.3. Örnek Binanın PASSIVHAUS Enerji Performansı Analizi

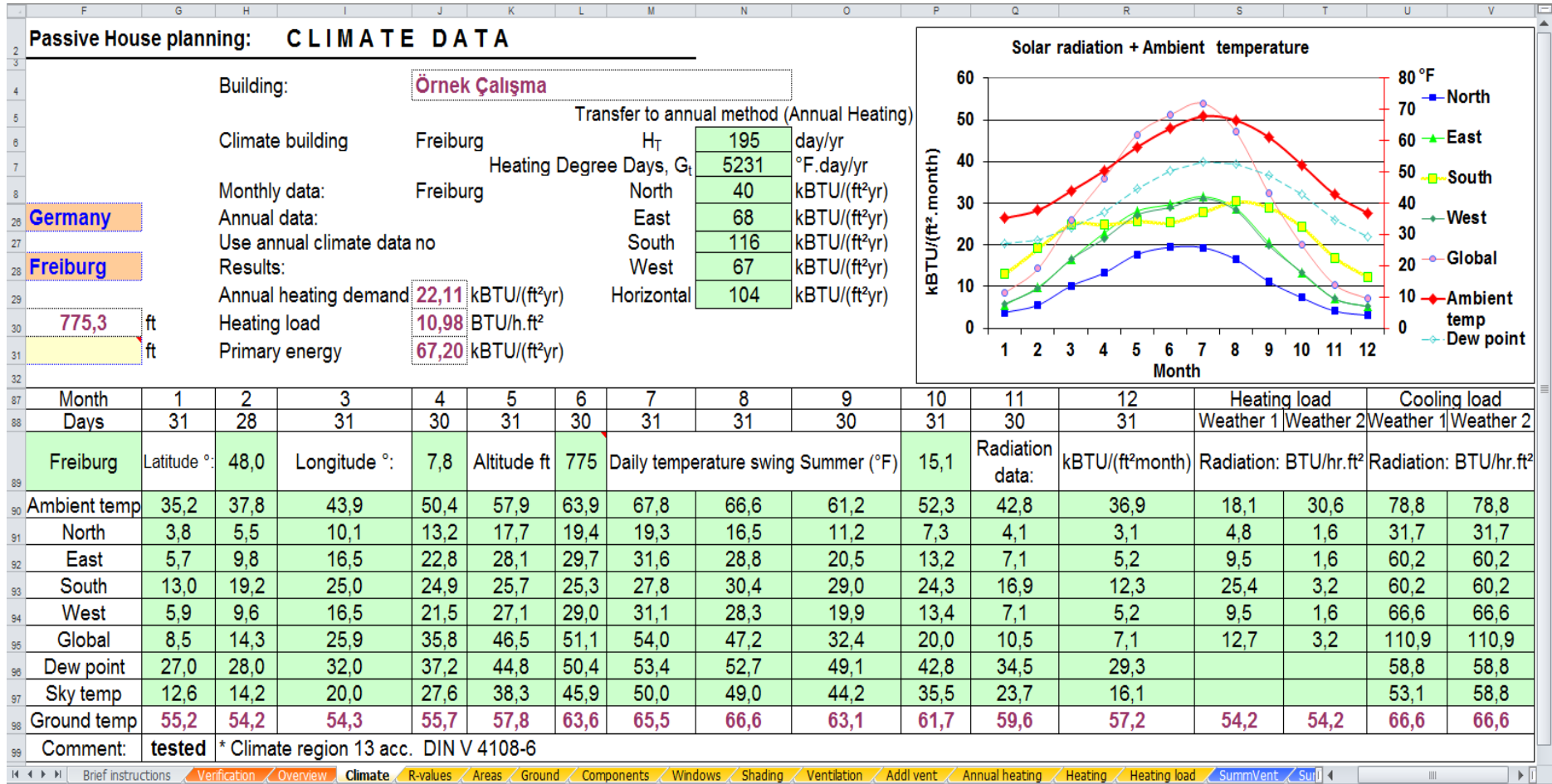
Passivhaus'da Enerji performansı analizi için örnek bina; Almanya, Freiburg merkezinde geometrik özellikleri ve yapı elemanları değiştirilmeden 9 daire olarak inşa edileceği düşünülmüştür. Pasif Ev Enstitüsünün yayınlamış olduğu Pasif Ev Planlama Paketi (Passivhaus Planning Package-PHPP) microsoft excell tabanlı enerji simülasyon programına binaya ait veriler girilerek bina enerji performansı değerlendirilmiştir.

Öncelikle bina kabuğunu oluşturan yapı elemanları oluşturulmuştur. Veri olarak girilen bina yapı elemanları, BEP-TR'de kullanılan yapı elemanlarının ısı özellikleri ( $\lambda$ , R, U v.b) ve difüzyon değerleri bakımından aynıdır. Doğal havalandırma ve sızıntı değeri 50Pa'da  $0,6 \text{ h}^{-1}$  olarak alınmıştır. Şekil 3.14'de gösterilmiş olan PHPP programında Freiburg'un iklim verileri kullanılmıştır.

Programda bina zarfını oluşturan yapı elemanlarının geometrik bilgilerine ait veriler Şekil 3.15'de gösterilmiş olan "alanlar" başlıklı çalışma sayfasında girilerek binanın dış kabuğuna ait bilgiler yön tayini ile birlikte tanıtılmıştır. Ayrıca net kullanım alanı hesabı yapılarak bina kullanılan mahallerin toplam alanı programa girilmiştir. Zeminden oluşacak ısı kayıpları ve bu kayıpların binaya etki eden ısı yükü hesaplanırken binanın bulunduğu zeminin karakteristikleri, bölgenin iklim verileri, ısıtılmayan mahallerin varlığı, zeminin su durumu, oluşacak ısı köprüsünün oluşumu gibi kriterler dikkate alınarak veri girişi yapılmıştır.

Binada bulunan pencere ve kapıların boyutları, kurulum yerleri, çerçeve ve cam özelliklerine ait veri girişleri yön tayini ile birlikte yapılmıştır. Bu binada gölgeleme unsurları olmadığı kabul edildiğinden gölgeleme şartlarına ait veri giriş yapılmamıştır. Şekil 3.16'de pencerelerin U-değeri, güneş kazanç değerlerini ve transmisyon kayıplarını gösteren çalışma sayfası görülmektedir.

Bina kabuğuna ait U- değeri hesabı her bir yapı elemanı için yapılmıştır. U-değeri için veri girişi yapılırken iç ve dış ısıl iletkenlik direnci (R) değiştirilmemiş sadece yapı malzemelerinin ısıl özelliklerine ve boyutlarına ait veriler programa girilmiştir. Şekil 3.17'de dış duvar için U-değeri hesap çizelgesi görülmektedir.



Şekil 3.14 : PHPP iklim bilgileri giriş ekranı.

Passive House planning: AREAS DETERMINATION															
Summary											Building assembly overview	Average R-Value [hr.ft².F/BTU]			
Group Nr.	Area group	Temp.-zone	Area	Unit	Comment										
1	Treated floor area		7177	ft²	Treated floor area according to PHPP manual										
2	North windows	A	309	ft²	Results come from the 'Windows' worksheet. Window areas are subtracted from individual opaque areas. which is displayed in the "Windows" worksheet.							North windows	2,4		
3	East windows	A	671	ft²								East windows	2,5		
4	South windows	A	354	ft²								South windows	1,8		
5	West windows	A	252	ft²								West windows	2,2		
7	Exterior door	A	38	ft²								Please subtract area of door from respective building assembly			
8	Exterior wall - Ambient	A	5980	ft²	Temperature zone "A" is ambient air							Exterior wall - Ambient	12,5		
9	Exterior wall - Ground	B	405	ft²	Temperature zone "B" is the ground							Exterior wall - Ground	9,7		
10	Roof/Ceiling - Ambient	A	2481	ft²								Roof/Ceiling - Ambient	11,8		
11	Floor slab / Basement ceiling	B	2076	ft²								Floor slab / Basement ceiling	12,1		
14		X	0	ft²	Temperature zone "X": Please provide user-defined ratio 75%										
Total thermal envelope			12567	ft²								Average therm. envelope	7,6		
											Go to building				
Area input											Sort: BY ID				
Area Nr.	Building assembly description	Group Nr.	Assigned to group	Qty	x (	Length [ft]	x	Width [ft]	-	Subtracted window [ft²]	) =	Area [ft²]	Selection of building element assembly / certified building system	R-Value [hr.ft²F/BTU]	
	Treated floor area	1	Treated floor area	1	x (		ft	x			) =	7177,2			
	North windows	2	North windows									308,9	From 'Windows' worksheet	2,37	
	East windows	3	East windows									671,5	From 'Windows' worksheet	2,53	
	South windows	4	South windows									353,8	From 'Windows' worksheet	1,81	
	West windows	5	West windows									251,9	From 'Windows' worksheet	2,15	
	Exterior door	7	Exterior door	1	x (	5,25	ft	x	7,22	ft	-	37,9	R-value exterior door:	1,03	
1	Dış duvar-zemin-kuzey	8	Exterior wall - Ambient	1	x (	9,84	ft	x	63,29	ft	-	83,1	= 539,8	01ud Dış Duvar - Exterior	12,5
2	Dış duvar-zemin-güney	8	Exterior wall - Ambient	1	x (	9,84	ft	x	63,29	ft	-	154,1	= 468,6	01ud Dış Duvar - Exterior	12,5
3	Dış duvar-zemin-doğu	8	Exterior wall - Ambient	1	x (	9,84	ft	x	32,81	ft	-	52,3	= 270,6	01ud Dış Duvar - Exterior	12,5
9	Dış Duvar-kapalı çıkma	9	Exterior wall - Ground	1	x (	63,29	ft	x	6,40	ft	-	0,0	= 404,9	02ud Dış Duvar Kapalı Çıkma	9,7
10	Çatı	10	Roof/Ceiling - Ambient	1	x (	63,29	ft	x	39,21	ft	-	0,0	= 2481,2	03ud Çatı - Roof	11,8
11	Zemin Döşemesi	11	Floor slab / Basement ceiling	1	x (	63,29	ft	x	32,81	ft	-	0,0	= 2076,4	04ud Döşeme - Basement	12,1

Şekil 3.15 : PHPP bina kabuğu alan verileri ekranı.

Passive House planning: REDUCTION FACTOR SOLAR RADIATION, WINDOW U-VALUE																					
Building: Örnek Çalışma		Annual heating demand: 21,66 kBTU/(ft²yr)										Heating degree days: 5231 °F.day/yr									
Climate: Freiburg																					
Window area orientation	Global radiation (cardinal points)	Shading	Dirt	Non-perpendicular incident radiation	Glazing fraction	SHGC	Solar irradiation reduction factor	Window area	Window U-Value	Glazing area	Average global radiation	Transmission losses	Heat gains solar radiation								
maximum:	kBTU/(ft²yr)	0,75	0,95	0,85				ft²	BTU/hr.ft²°F	ft²	kBTU/ft²yr	kBTU/yr	kBTU/yr								
North	40	0,75	0,95	0,85	0,70	0,77	0,42	309	0,42	216	40	16390	4081								
East	68	0,75	0,95	0,85	0,74	0,77	0,45	671	0,40	496	68	33340	15742								
South	116	0,75	0,95	0,85	0,65	0,78	0,39	354	0,55	231	116	24602	12688								
West	67	0,75	0,95	0,85	0,62	0,77	0,38	252	0,46	157	67	14692	4914								
Horizontal	104	1,00	0,95	0,85	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	104	0	0								
Total or average value for all windows.						0,77	0,42	1586	0,45	1100		89024	37424								
Window Rough Openings										Results							Frames U-values from 'Components' worksheet			Installation length	
										U- and Y-values from 'Components' worksheet can be shown through clicking the '+' sign on the top edge of the sheet.											
Qty	Description	Deviation from north	Angle of inclination from the horizontal	Orientation	Width	Height	Y <sub>Installation</sub> (avg.)	Window Area	Glazing Area	U-Value Window	R-Value Window	Glazed fraction per window	Transmission losses	Solar gains	Frame left	Frame right	Glazing	Frames			
		Degrees	Degrees		ft	ft	BTU/hr.ft²°F	ft²	ft²	BTU/hr.ft²°F	hr.ft²°F/BTU	%	kBTU/yr	kBTU/yr	BTU/hr.ft²°F	BTU/hr.ft²°F	ft	ft			
1	P-KZ01	0	90	North	4.59	8.20	0.017	38	27	0.42	2.4	71%	1973	505	0.23	0.23	21.9	25.6			
1	P-KZ02	0	90	North	1.97	1.97	0.017	4	1	0.63	1.6	28%	307	21	0.23	0.23	4.2	7.9			
1	P-KZ03	0	90	North	1.97	1.97	0.017	4	1	0.63	1.6	28%	307	21	0.23	0.23	4.2	7.9			
1	P-KZ04	0	90	North	4.59	8.20	0.017	38	27	0.42	2.4	71%	1973	505	0.23	0.23	21.9	25.6			
1	P-BZ01	270	90	West	3.94	4.92	0.017	19	12	0.47	2.1	62%	1152	379	0.23	0.23	14.0	17.7			
1	P-BZ02	270	90	West	1.97	1.97	0.017	4	1	0.63	1.6	28%	307	35	0.23	0.23	4.2	7.9			
1	P-BZ03	270	90	West	5.91	4.92	0.017	29	20	0.43	2.3	69%	1576	626	0.23	0.23	18.0	21.7			
1	P-GZ01	180	90	South	5.91	4.92	0.017	29	20	0.43	2.3	69%	1576	1081	0.23	0.23	18.0	21.7			
1	P-GZ02	180	90	South	5.91	4.92	0.017	29	20	0.43	2.3	69%	1576	1081	0.23	0.23	18.0	21.7			

Şekil 3.16 : PHPP pencere U-değeri, güneş kazançları ve transmisyon kayıpları hesap ekranı.



Passive House planning: **R - VALUES OF BUILDING ELEMENTS**

Wedge-shaped building assemblies (tapered insulation), unventilated air layers and unheated attics

Building: **Örnek Çalışma** ---> Auxiliary calculation to the right

Assembly no.	Building assembly description	Interior insulation?
1	Dış Duvar - Exterior Wall	0

Surface Film Resistance [hr.ft<sup>2</sup>.F/BTU] interior Rsi : **0,74**  
 exterior Rse : **0,23**

Area section 1	R per inch	Area section 2 (optional)	R per inch	Thickness [in]
1. Kireç-çimento harcı	0,14			0,79
2. Düşey delikli Tuğla (TS EN 998-	0,72			5,32
3. Çimento Harcı	0,09			0,20
4. XPS	4,81			1,57
5. Çimento Harcı	0,09			0,39
6.				
7.				
8.				
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Total
100%				<b>8,26</b> in

U-value supplement:  BTU/hr.ft<sup>2</sup>.°F **R-Value: 12,5** hr.ft<sup>2</sup>.°F/BTU

Şekil 3.17 : PHPP yapı elemanları U-değeri hesap ekranı.

Binadaki insanların kullanımından ve kullanım alanlarına ait hava değişiminin etkisi ve rüzgâr etkisine ait havalandırma bilgileri ve yaz aylarında gece ve gündüz pencerelerden ve havalandırma sistemiyle oluşacak hava değişimi değerleri Şekil 3.18'deki görülen programın havalandırma hesap ekranına girilmiştir.

Ventilation unit / Heat recovery efficiency design

Standard design (Ventilation worksheet see below)

Multiple vent. units, non-res building (Worksheet Additional vent)

Average	Average	Extract air	Effective heat	Specific	Heat
air exchange	air change rate	excess	recovery	power	recovery
cfm	1/h	1/h	[-]	W/cfm	SHX
582	0,59	0,00			0,0%

SHX efficiency  $\eta_{SHX}$  0%

**STANDARD INPUT FOR BALANCED VENTILATION**  
 Ventilation dimensioning for systems with one ventilation unit

Occupancy	ft <sup>2</sup> /P				
Number of occupants	P 217				
Supply air per person	P 33,0				
Supply air requirement	cfm/P 18				
Extract air rooms	cfm				
Quantity		Kitchen	Bathroom	Bathroom (shower only)	WC
Extract air requirement per room	cfm	9	9		9
Total extract air requirement	cfm	35	24	12	12
Design air flow rate (maximum)	cfm	756			

**Average air change rate calculation**

Type of operation	Daily operation duration hr/d	Factors referenced to maximum	Air flow rate cfm	Air change rate 1/h
Maximum		1,00	756	0,77
Standard	24	0,77	582	0,59
Basic			0	0,00
Minimum			0	0,00
Average value		0,77	582	0,59

Şekil 3.18 : PHPP havalandırma kısmi hesap ekranı.

Binada kullanılacak sıcak su ihtiyacının belirlenebilmesi için sıcak su çalışma sayfasında binanın sıcak su sistemine ve sıcak su sarfiyatına ait veri girişleri

yapılmıştır. Elektrik tüketimi için programda aydınlatma verilerinin yanı sıra ısıtma, sıcak su ve havalandırma sisteminin yardımcı ekipmanlarının (pompa, fan gibi) bilgileri ve evsel aletlere ait bilgilerin girişi de yapılmıştır. Bahsedilen veriler girilmediği takdirde program yıllık birincil enerji tüketimini hesaplamamaktadır.

Bina kabuğunu oluşturan yapı elemanlarına ve binada bulunan sistemlere ait tüm bilgiler girildikten sonra programda binanın enerji performans hesabını yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda binanın toplam yıllık ısıtma ihtiyacı 25,23 kBTU/m<sup>2</sup>.yıl (79,59 kWh/m<sup>2</sup>.yıl) olarak, basınçlandırma test sonucu 0,6 h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Soğutma için yıllık enerji ihtiyacı 2,91 kBTU/m<sup>2</sup>.yıl (9,17 kWh/m<sup>2</sup>.yıl) olarak bulunmuştur. Sıcak su, ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi, buharlaştırma, yardımcı elektrik ve evsel elektrik aletleri için kullanım alanı başına yıllık birincil enerji ihtiyacı 63,6 kBTU/m<sup>2</sup>.yıl (200,63 kWh/m<sup>2</sup>.yıl) olarak hesaplanmıştır. Sadece ısıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma için yıllık enerji ihtiyacı kullanım alanı başına 46,00 kBTU/m<sup>2</sup>.yıl (145,11 kWh/m<sup>2</sup>.yıl) olarak hesaplanmıştır. Yapılan tüm hesaplar Passivhaus standardına göre hazırlanmış olan PHPP simülasyon programının Şekil 3.19’da görüldüğü gibi doğrulama ekranında görüntülenerek standart kriterlerinin doğrulanması yapılmıştır.

Specific building demands with reference to the treated floor area				PHPP v8.5, IP v2.0		
		Treated floor area	71,77	ft <sup>2</sup>	Requirements	Fulfilled?*
<b>Space heating</b>	Heating demand	25,23	kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	531% of	4,75 kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	no
	Heating load	12,15	BTU/(hr.ft <sup>2</sup> )	383% of	3,17 BTU/(hr.ft <sup>2</sup> )	no
<b>Space cooling</b>	Overall specif. space cooling demand	2,91	kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	61% of	4,75 kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	yes
	Cooling load	7,54	BTU/(hr.ft <sup>2</sup> )	-	-	-
	Frequency of overheating (> 77 °F)		%	-	-	-
<b>Primary energy</b>	Heating, cooling, dehumidification, auxiliary DHW, electricity, lighting, electrical appliances	63,6	kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	167% of	38,0 kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	no
	DHW, space heating and auxiliary electricity	46,0	kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	-	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity		kBTU/(ft <sup>2</sup> yr)	-	-	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	0,6	1/h		0,6 1/h	yes
* empty field: data missing; '-': no requirement						
<b>Passive House?</b>						no

Şekil 3.19 : Passivhaus standardı PHPP doğrulama ekranı.

PHPP enerji hesaplama programında binaya ait veriler girildikten sonra programın enerji kullanım alanlarına göre asıl bina için verdiği yıllık enerji ihtiyacı Çizelge 3.5’te referans bina için yıllık enerji ihtiyacı Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5 :** Örnek binanın PHPP’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.

Enerji Kullanım Alanı	Nihai (kWh/yıl)	Kullanım alanı başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)
Isıtma	53.070	79,59
Soğutma	6.120	9,18
Sıcak Su	19.046	28,56
Aydınlatma	6.639	9,96
Havalandırma Fanları	6.587	9,88
Pompa ve Yardımcı Ekipmanlar	2.832	4,25
Toplam	94.294	141,42

**Çizelge 3.6 :** Referans binanın PHPP’de hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.

Enerji Kullanım Alanı	Nihai (kWh/yıl)	Kullanım alanı başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)
Isıtma	47.684	71,51
Soğutma	6.646	9,97
Sıcak Su	18.780	28,17
Aydınlatma	5.175	7,76
Havalandırma Fanları	6.587	9,88
Pompa ve Yardımcı Ekipmanlar	2.820	4,23
Toplam	87.692	131,52

### 3.4. Örnek Binanın ENERGYSTAR Enerji Performansı Analizi

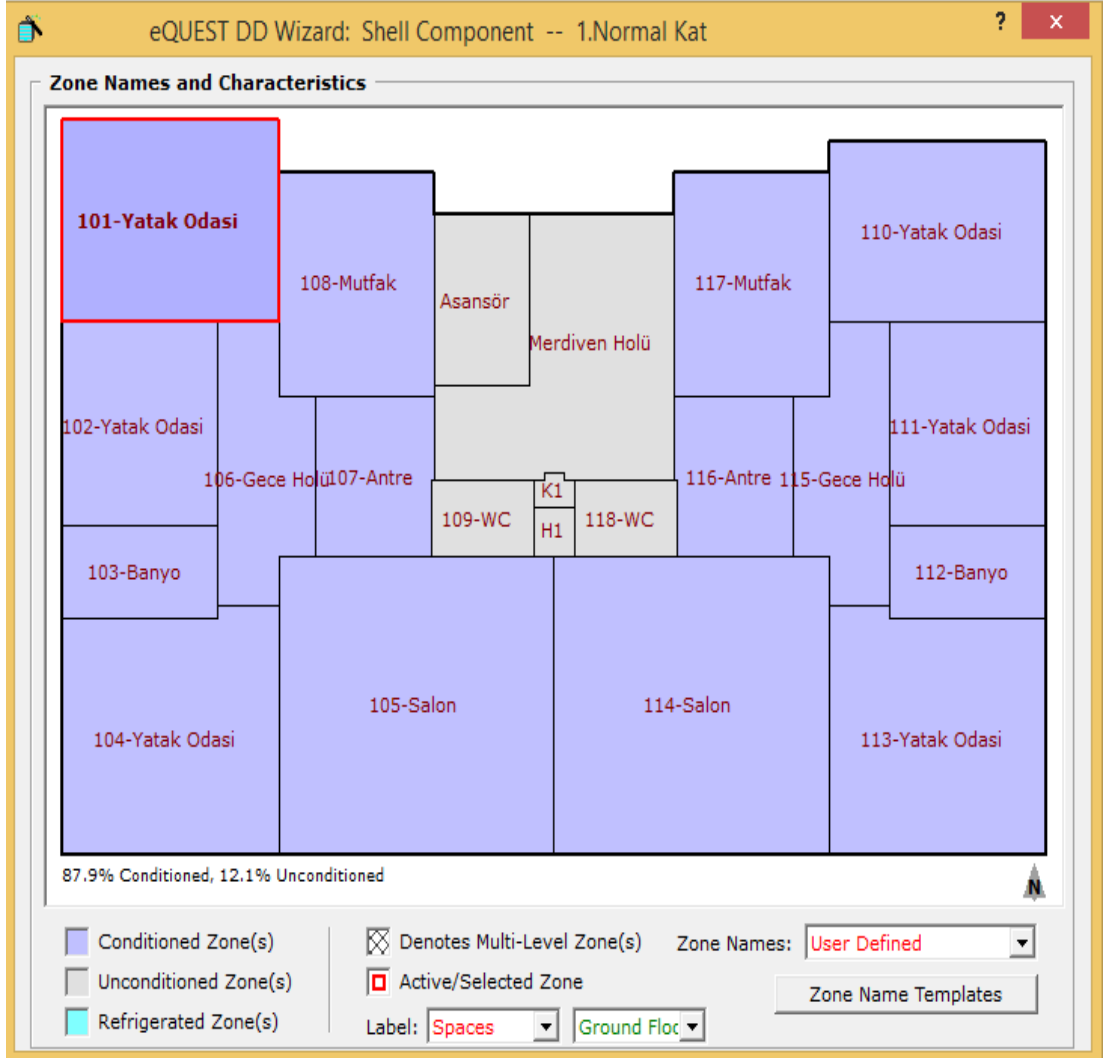
Energystar standardına göre enerji performansı analizi için örnek bina; Amerika, Newyork merkezinde geometrik özellikleri ve yapı elemanları değiştirilmeden 9 daire olarak inşa edileceği düşünülmüştür. Amerika Enerji Departmanı-DOE tarafından yayınlanmış olan ve binanın enerji simülasyonunu yapmak için kullanılan e-QUEST simülasyon programına binaya ait veriler girilerek bina enerji performansı değerlendirilmiştir.

Öncelikle programda bina kabuğunu oluşturan yapı elemanları geometrik olarak oluşturulmuş yapı elemanlarına ait veriler programa girilmiştir. Veri olarak girilen bina yapı elemanları, BEP-TR’de kullanılan yapı elemanlarının ısı özellikleri ( $\lambda$ , R v.b) ve difüzyon değerleri bakımından aynıdır. e-QUEST programı genel bilgiler ekranı Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Programda Newyork iklim verileri kullanılmıştır. Programda örnek uygulama için uyum standardı olarak ASHRAE 90.1 standardı seçilmiştir.

Şekil 3.20 : e-QUEST genel bilgiler ekranı.

Öncelikle binanın geometrik tanımlaması yapılmış ve bina karakteristiği ile ilgili veriler programa girilmiştir. Şekil 3.21’de görüldüğü gibi binanın kat tanımlamaları yapılmıştır.

Şekil 3.21 : e-QUEST simülasyon programı ana ekranı.



**Şekil 3.22 :** e-QUEST’te zon oluşturma ve bina karakterisiğinin belirlenmesi.

Bina geometrik olarak programa tanımlanmış ve zonlara ayrılmıştır. İklimlendirilen zonlar Şekil 3.22’de de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Şekil 3.23-3.28’de e-QUEST programında binanın kullanım şekli geometrik bilgileri ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma bilgileri ve sistemlerine ait girilen verilerinin listeleri görülmektedir.

Programa ilk olarak binanın geometrik verileri girildikten sonra bina yapı elemanları, pencere ve kapılara ait veriler tanımlanmıştır.

Sistemlerin kullanım süreleri mekanik tesisat sistemleri dışında binada enerji tüketen sistemlere (aydınlatma, ev aletleri, muhtelif aletler gibi) ait veri girişleri yapılmıştır. Binanın sızdırmazlık değeri başlangıçta 50Pa’da 0,6 h<sup>-1</sup> olarak belirlenmiş idi. Programa belirlenen sızdırmazlık değeri girişi yapılmıştır. Isıtma sistemi merkezi ısıtma (HVAC) sistemi olarak belirlenmiştir.

Soğutma sistemi chiller olarak belirlenmiştir. Sıcak su sistemine ait veri girişleri yapılmıştır. Isıtma, sıcak su sistemi enerji kaynağı doğal gaz olarak tanımlanmıştır. Soğutma sistemi enerji kaynağı elektrik enerjisidir. Bina ana kabuğu ve mekanik sistemlere ait veri girişleri tamamlandıktan sonra binanın enerji performansı hesaplanmıştır.

Benzer işlemler referans bina oluşturulurken de yapılmıştır. Gerçek binada veri girişleri mevcut standartlara ve tasarım değerlerine göre yapılırken, referans binada energystar hesaplama yöntemi kriterlerindeki veriler girilmiştir. Gerçek bina yıllık toplam enerji tüketimleri ile referans bina enerji tüketim değerleri kıyaslanarak binanın HERS indexine göre enerji performansı belirlenmiştir. Energystar enerji sertifikalandırmasında HERS performans göstergeleri kullanılmaktadır.

Şekil 3.23-3.28 aralığında e-QUEST programına ait ekran görüntüleri bulunmaktadır. Örnek binaya ait genel bilgilerin girildiği ekran görüntüsü Şekil 3.23’de, binanın kullanım şekline ait bilgilerin girildiği ekran görüntüsü Şekil 3.24’de, aydınlatma bilgilerinin girildiği ekran görüntüsü Şekil 3.25’de, sızdırmazlık bilgilerinin girildiği ekran görüntüsü Şekil 3.26’da, HVAC sisteminin tanımlandığı ve izlendiği ekran görüntüsü Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de gösterilmektedir.

	Space Name	Parent Floor	Zone Type	Activity Desc.	Sunspace	Temperature (°F)	X (ft)
1	EL1 North Perim ML Spc	EL1 Ground Fl	Unconditioned	Residential (Multi	No	70,0	44,00
2	Z01-Yatak Odasi	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,90
3	Z06-Mutfak	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	14,60
4	Z07-WC	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	28,55
5	Z02-Banyo	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,90
6	Z03-Yatak Odasi	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,90
7	Z04-Salon	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	18,60
8	Z05-Antre	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	14,60
9	Z14-WC	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	44,00
10	Z13-Mutfak	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	48,40
11	Z08-Yatak Odasi	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	67,55
12	Z12-Antre	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	44,00
13	Z09-Banyo	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	67,55
14	Z11-Salon	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	42,35
15	Z10-Yatak Odasi	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	67,55
16	Asansör	EL1 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	34,70
17	101-Yatak Odasi	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,60
18	108-Mutfak	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	18,60
19	102-Yatak Odasi	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,60
20	103-Banyo	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	4,60
21	107-Antre	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	20,90
22	117-Mutfak	EL2 Ground Fl	Conditioned	Residential (Multi	No	70,0	44,00

Şekil 3.23 : e-QUEST bina genel bilgileri ekranı.

Display Mode: **Occupancy**

	Space Name	Parent Floor	Activity Desc.	Occupancy Schedule	Area/Person (ft2)	Number of People	Total Ht Gain (Btu/h-person)	People S (Btu/h-per
1	EL1 North Perim ML	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	1,33	450	247
2	Z01-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,75	450	247
3	Z06-Mutfak	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,56	450	247
4	Z07-WC	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,26	450	247
5	Z02-Banyo	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,30	450	247
6	Z03-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,85	450	247
7	Z04-Salon	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	1,45	450	247
8	Z05-Antre	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,43	450	247
9	Z14-WC	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,26	450	247
10	Z13-Mutfak	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,56	450	247
11	Z08-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,75	450	247
12	Z12-Antre	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,43	450	247
13	Z09-Banyo	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,30	450	247
14	Z11-Salon	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,94	450	247
15	Z10-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,84	450	247
16	Asansör	EL1 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,29	450	247
17	101-Yatak Odasi	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,78	450	247
18	108-Mutfak	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,62	450	247
19	102-Yatak Odasi	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,57	450	247
20	103-Banyo	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,26	450	247
21	107-Antre	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,34	450	247
22	117-Mutfak	EL2 Ground	Residential (M	EL1 Bldg C	193	0,62	450	247

Şekil 3.24 : e-QUEST bina kullanım bilgileri ekranı.

Display Mode: **Lighting**

	Space Name	Parent Floor	Activity Desc.	Lighting W / Area 1 (W/ft2)	Lighting Schedule 1	Lighting Type 1
1	EL1 North Perim ML	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
2	Z01-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
3	Z06-Mutfak	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
4	Z07-WC	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
5	Z02-Banyo	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
6	Z03-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
7	Z04-Salon	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
8	Z05-Antre	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
9	Z14-WC	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
10	Z13-Mutfak	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
11	Z08-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
12	Z12-Antre	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
13	Z09-Banyo	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
14	Z11-Salon	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
15	Z10-Yatak Odasi	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
16	Asansör	EL1 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
17	101-Yatak Odasi	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
18	108-Mutfak	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
19	102-Yatak Odasi	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
20	103-Banyo	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
21	107-Antre	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor
22	117-Mutfak	EL2 Ground	Residential (Multi	0,40	EL1 Bldg InsLt Sch	Sus Fluor

Şekil 3.25 : e-QUEST aydınlatma değerleri veri giriş ekranı.

Display Mode:

	Space Name	Parent Floor	Activity Desc.	Infiltration Method	Infiltration Schedule	A-C Air Changes/hr	A-C Infiltration Flow (cfm/ft2)
1	EL1 North Perim	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
2	Z01-Yatak Odasi	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
3	Z06-Mutfak	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
4	Z07-WC	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
5	Z02-Banyo	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
6	Z03-Yatak Odasi	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
7	Z04-Salon	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
8	Z05-Antre	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) C-In	0,00	0,0540
9	Z14-WC	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
10	Z13-Mutfak	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
11	Z08-Yatak Odasi	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
12	Z12-Antre	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) C-In	0,00	0,0540
13	Z09-Banyo	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
14	Z11-Salon	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
15	Z10-Yatak Odasi	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
16	Asansör	EL1 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
17	101-Yatak Odasi	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
18	108-Mutfak	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
19	102-Yatak Odasi	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
20	103-Banyo	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540
21	107-Antre	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) C-In	0,00	0,0540
22	117-Mutfak	EL2 Ground	Resident	Air Change	ZG0-S1 (UVT) P-In	0,00	0,0540

Şekil 3.26 : e-QUEST sızdırmazlık değerleri veri giriş ekranı.

Plant Equipment | Spreadsheet | Summary

### Boiler Properties

Currently Active Boiler:  Type: HW Boiler w/ Draft

Basic Specifications | Performance Curves | Loop Attachments | Miscellaneous

Boiler Name:

Type:

Loop Assignments

HW:

Equipment Capacity

Capacity:  MBtu/h

Capacity Ratio:  ratio

Min Ratio:  ratio

Max Ratio:  ratio

Equipment Efficiency

Heat Input Ratio:  ratio

Elec Input Ratio:  ratio

Return Water Tmp.:  °F

Meter Assignments

Fuel Meter:

Electric Meter:

Location:

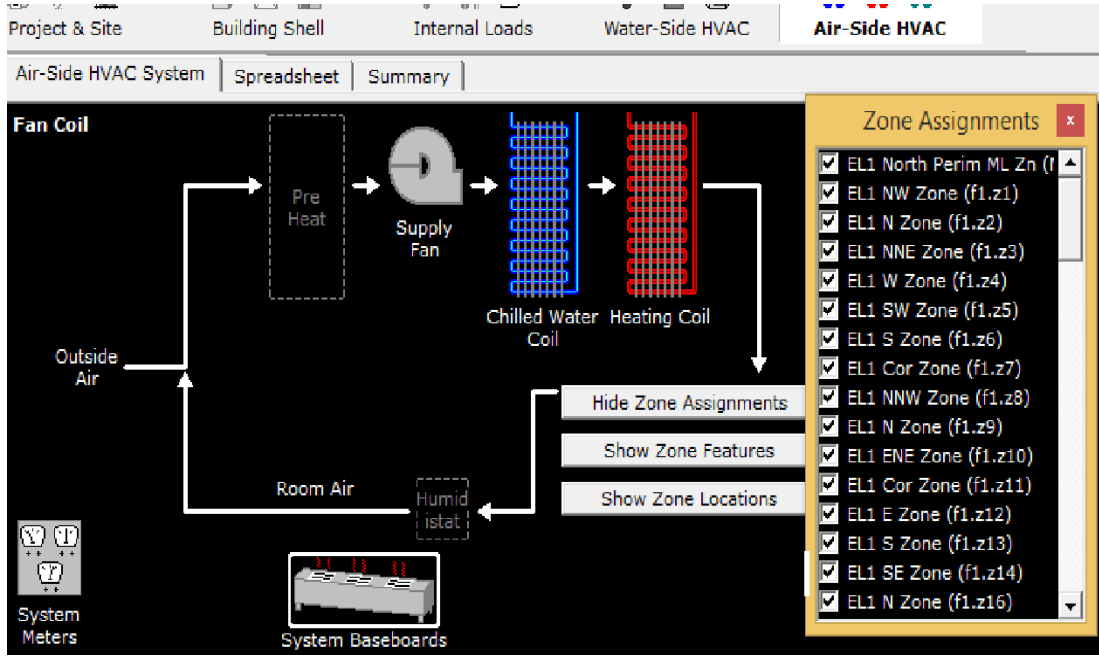
Boiler Zone:

Aquastat Setpoint T:  °F

Done

Şekil 3.27 : e-QUEST ısıtma, soğutma ve sıhhi sıcak sistemi tanımlama ve veri giriş ekranı.





Şekil 3.28 : e-QUEST, HVAC tanımlama ve veri giriş ekranı.

e-QUEST enerji hesaplama programında binaya ait veriler girildikten sonra programın enerji kullanım alanlarına göre asıl bina için verdiği yıllık enerji ihtiyacı Çizelge 3.7’de referans bina için yıllık enerji ihtiyacı Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Örnek binanın e-QUEST’te hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.

Elektrik Tüketimi(kWh)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam (kWh/yıl)
Soğutma	1.570	1.420	1.580	1.540	1.750	2.050	2.630	2.350	1.930	1.610	1.520	1.570	21.520
Isıtma	50	40	30	20	10	0	0	0	0	10	20	40	220
Havalandırma Fanları	540	490	540	520	540	520	540	540	520	540	520	540	6.350
Pompa ve Yardımcı	1.400	1.260	1.400	1.350	1.400	1.350	1.400	1.400	1.350	1.400	1.350	1.400	16.460
Muhtelif Gereçler	270	240	270	260	270	260	270	270	260	270	260	270	3.170
Aydınlatma	660	580	630	590	600	560	580	600	600	650	630	650	7.330
<b>Toplam</b>	<b>4.490</b>	<b>4.030</b>	<b>4.450</b>	<b>4.280</b>	<b>4.570</b>	<b>4.740</b>	<b>5.420</b>	<b>5.160</b>	<b>4.660</b>	<b>4.480</b>	<b>4.300</b>	<b>4.470</b>	<b>55.050</b>

Gaz Tüketimi (kWh)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Isıtma	14.018	10.512	8.590	5.126	1.712	399	196	167	489	2.192	6.154	11.374	60.929
Sıcak Su	2.324	2.195	2.447	2.327	2.125	1.843	1.682	1.580	1.533	1.732	1.858	2.157	23.803
<b>Toplam</b>	<b>16.342</b>	<b>12.708</b>	<b>11.037</b>	<b>7.453</b>	<b>3.836</b>	<b>2.242</b>	<b>1.879</b>	<b>1.747</b>	<b>2.022</b>	<b>3.924</b>	<b>8.013</b>	<b>13.531</b>	<b>84.733</b>

Çizelge 3.8 : Referans binanın e-QUEST’te hesaplanmış yıllık enerji tüketim değerleri.

Elektrik Tüketimi(kWh)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam (kWh/yıl)
Soğutma	1.420	1.280	1.440	1.410	1.690	2.100	2.700	2.380	1.910	1.490	1.370	1.420	20.610
Isıtma	40	30	20	10	0	0	0	0	0	10	20	30	160
Havalandırma Fanları	510	460	510	490	510	510	510	510	490	510	490	510	6.010
Pompa ve Yardımcı	1.200	1.090	1.200	1.160	1.200	1.200	1.200	1.200	1.160	1.200	1.160	1.200	14.170
Muhtelif Gereçler	550	490	540	530	550	540	540	540	530	550	530	540	6.430
Aydınlatma	810	720	780	740	750	740	740	740	750	800	780	810	9.160
<b>Toplam</b>	<b>4.530</b>	<b>4.070</b>	<b>4.490</b>	<b>4.340</b>	<b>4.700</b>	<b>5.090</b>	<b>5.690</b>	<b>5.370</b>	<b>4.840</b>	<b>4.560</b>	<b>4.350</b>	<b>4.510</b>	<b>56.540</b>

Gaz Tüketimi (kWh)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Isıtma	11.858	8.572	6.673	3.464	809	117	47	100	381	1.594	4.803	9.560	47.979
Sıcak Su	2.432	2.298	2.559	2.430	2.207	1.908	1.738	1.627	1.577	1.791	1.934	2.254	24.753
<b>Toplam</b>	<b>14.290</b>	<b>10.870</b>	<b>9.232</b>	<b>5.894</b>	<b>3.016</b>	<b>2.025</b>	<b>1.785</b>	<b>1.726</b>	<b>1.958</b>	<b>3.385</b>	<b>6.738</b>	<b>11.814</b>	<b>72.731</b>

e-QUEST’te örnek bina ve referans bina için hesaplanmış olan enerji tüketim değerleri raporları Ek-3 ve Ek-4’de bulunmaktadır.



#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

“BEP-TR, PASSIVHAUS ve ENERGYSTAR hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması” başlıklı bu tez kapsamında, bir örnek bina üzerinden üç ayrı sertifika programı incelenmiş hesaplama yöntemleri ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hesaplama yöntemlerindeki benzerlikler ve farklılıklar aşağıda (bölüm 4.1’de) detaylı bir şekilde incelenmiştir. Temel mantığı aynı olan üç program detayda bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların en önemli birkaç tanesi aşağıda özetlenmiştir:

- Binanın ısıtma ve soğutma enerji tüketimi üzerinde iç ısı kazançları ile etkisi olan elektrikli ev aletlerinin etkisi, PHPP ve e-QUEST programlarındaki hesaplarda spesifik veri girişi yapılarak dikkate alınırken, BEP-TR hesaplama yönteminde elektrikli ev aletlerine ait herhangi bir spesifik veri girişi yapılmamaktadır.
- Binaların kullanım aralığının BEP-TR ve Passivhaus hesaplama yönteminde dikkate alınmaması, BEP-TR programında alınıyorsa bile bu verinin hangi yöntemle alındığı tespit edilememekte ve gerçek veriler programa girilememektedir.

Üç programda da yapılan analizlerin karşılaştırılabilmesi için aşağıda (bölüm 4.2’de) detaylı bir şekilde anlatılan ve bina enerji performans sınıflandırma sistemi olan HERS sistemi (Home Energy Rating Systems) kullanılmıştır.

Bölüm 4.2’de anlatıldığı üzere üç farklı hesaplama yöntemi ile örnek bir binanın yıllık enerji ihtiyacı ve enerji performans aralığı hesaplanmıştır. Üç hesaplama yönteminde hem asıl bina hem referans bina için aynı bina özelliklerine sahip (yapı elemanları ve geometrik özellikler değiştirilmeden) benzer iklim özellikleri gösteren bölgeler temel alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Asıl binanın yıllık enerji ihtiyacı hesabı yapılırken binanın tasarım ve proje değerleri esas alınmıştır. Referans binanın yıllık enerji hesabı yapılırken binanın bulunduğu bölgedeki ulusal kanun, yönetmelik ve standartların öngördüğü asgari değerler esas alınmıştır. İklim özellikleri açısından

birbirine yakın üç farklı bölgede bulunan enerji hesaplama yöntemlerinin kendi bölgelerindeki ulusal kanun ve standartlara göre yapılacak analiz sonucunda; ulusal kanun, yönetmelik ve standartlardan kaynaklı oluşabilecek farklılıkların karşılaştırılması ve hesaplama programlarındaki farklılıkların değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

#### **4.1. BEP-TR, PASSIVHAUS ve ENERGYSTAR Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Hesaplama yöntemleri bölüm 2’de detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu tez kapsamında; BEP-TR, PASSIVHAUS, ENERGYSTAR hesaplama yöntemleri yapılan örnek çalışma sonucunda karşılaştırılmıştır. Hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılabilmesi için yöntemlere ait enerji performansı belirleme araçları sırasıyla BEP-TR için BEP-TR, PASSIVHAUS için PHPP ve ENERGYSTAR için e-QUEST hesaplama aracı kullanılmıştır. Üç hesaplama yönteminde de enerji ihtiyacı belirlenecek binanın programa girilecek verileri 7 ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar;

- Bina kabuğu ile ilgili yapısal ve geometrik bilgilerin girilmesi
- Elektrik yüklerinin tayini,
- İç ısı kazançları hesabı
- Mekanik sistemlerin tanıtılması
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı
- Hesap sonuçları ve Binanın enerji performans değerlendirmesi
- Doğrulama (test) yapılmasıdır.

Programların veri giriş yöntemlerine ve program veri gereklilikleri karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.1- 4.9 arasında verilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Hesaplama yöntemleri karşılaştırma çizelgesi.**

	BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Program	Karşılaştırmalı Enerji hesaplama aracı (Referans Bina ile)	Enerji simülasyon aracı	Enerji simülasyon aracı
Hesaplama Yöntemi	Basit Saatlik Dinamik Hesaplama	Aylık/Yıllık Dinamik Hesaplama	Aylık/mevsimsel Statik Hesaplama

Programlar hesaplama yöntemleri açısından karşılaştırıldığında farklı oldukları görülmektedir.

### **Hesaplama yöntemi:**

BEP-TR enerji performansı programında karşılaştırmalı hesap yöntemi kullanılmaktadır. Karşılaştırmalı hesap yönteminde programa binanın gerçek değerleri; yani tasarım değerleri girilirken program arka yüzünde gerçek bina ile aynı geometrik ve yapısal verilere sahip fakat U-değerleri ve mekanik sistemler açısından BEP yönetmeliği ve ilgili standartlarda belirlenmiş olan sınır değerler kullanılarak referans bina hesaplanmaktadır. Bu iki hesap karşılaştırılarak binanın enerji performans aralığı belirlenmektedir.

e-QUEST ve PHPP'de gerçek binaya ait binanın tasarım değerleri ve sistemler girilmekte ve programa verilerin girilmesinden sonra binaya ait bir enerji ihtiyacı hesabı yapılmaktadır. Sonuçlar standart kriterlerini sağlıyor ise bina Enerji performansı açısından ENERGYSTAR, PASSIVHAUS etiketi almaktadır.

e-QUEST binanın enerji simülasyonunu yapmaktadır. Energystar standart kriterlerine göre yani yapı elemanları ısı geçirgenlik katsayıları (U-değeri), pencere ısı geçirgenlik katsayıları ( $U_w$ -değeri), sızdırmazlık değerleri gibi veri girişleri ile referans bina oluşturulur. Elde edilen referans bina ve gerçek bina sonuçları karşılaştırılarak bina performansı belirlenir ve HERS indeks skoruna göre enerji sınıfı belirlenir.

PHPP ise sadece bir hesaplama programı olmasından ziyade bir tasarım aracıdır. Tasarımda yapılan her değişikliğin, tercih edilen her yapı malzemesinin enerji tüketimine olan etkisini birer birer göstermektedir. Bu simülasyon programı ile bina tasarımcısı binayı daha doğru bir yaklaşımla tasarlayabilmektedir. Passivhaus'un tasarlanması PHPP program veri giriş detaylarından da anlaşılacağı üzere yüksek düzeyde teknik bilgi gerektirmektedir.

PHPP'nin ve e-QUEST'in avantajı ve belirgin farkı BEP-TR de genel olarak yapılan kutuları işaretlemekten yani program arka yüzündeki birçok kabulden ibaret olmayıp, gerçekte işleyen bir tasarım aracı olmasıdır.

BEP-TR'de hesaplamalara sadece yenilenebilir enerji teknolojilerini ekleyerek, sürdürülebilir bir bina inşa edilmesi amaçlanırken pratikte beklendiği gibi iyi bir

performans değerine ulaşılamamaktadır. Programların veri giriş yöntemlerinde de farklılıklar görölmektedir.

### **Bina kabuğu ile ilgili Yapısal ve Geometrik Bilgiler;**

Bina kabuğu ilgili verilerin veri giriş yöntemlerindeki benzerlikler ve farklılıklar aşağıda açıklanmalı olarak belirtilmiş olup ayrıca Çizelge 4.2’de karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

### **Bina kabuğu ile ilgili veriler:**

BEP-TR de binanın geometrik ölçüleri program yönlendirmesi ile birebir girilmekte ve yön tayini ile birlikte zonlama yapılmakta ve binanın yapı elemanlarına ait iletim değerleri tanıtılmaktadır.

e-QUEST’te ise bina genel bilgi girişi yapıldıktan sonra binaya ait planların ya çizilmesi veya transfer edilmesi daha sonra ise bir zonlama yapılmakta ve iletim değerleri programa girilmektedir.

PHPP programında zonlama yapılmayıp geometrik bilgi girişi ile yapı elemanlarının (dış duvar, döşeme, tavan, çatı) boyutları girilmektedir. PHPP de zonlama yapılamadığından net kullanım alanının proje üzerinden hesaplanarak çıkan değerin programa girişi yapılmalıdır. Her üç programda da tüm yapı elemanlarına ait ısıl geçirgenlik katsayısı (U-değeri) veri girişi yapılmaktadır.

### **Pencerelere ait veri girişi:**

- PHPP ve e-QUEST’te detaylı olarak girilmektedir. Bu programlarda pencereye ait ısıl geçirgenlik katsayısı, çerçeve ( $U_f$ ) ve cam ( $U_g$ ) için ayrı ayrı girilmelidir.
- BEP-TR de ise pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı  $U_p$  değerinin girilmesi yeterli olmaktadır.
- Gölgeleme elemanlarına ait bilgiler üç programda da benzer şekilde girilmektedir.

### **Sızdırmazlık:**

- Doğal ve mekanik havalandırma sistem tipi, bina sızdırmazlık değeri, havalandırılan ortama ait veriler PHPP ve e-QUEST te ayrıntılı spesifik değer olarak girilir.

- BEP-TR de ise sızdırmazlık değeri için spesifik bir veri girişi yapılamamaktadır. Sızdırmazlık ile ilgili bilgi yapıda sızdırmaz bant olan veya olmayan pencere seçimi ile programa girilmiş olur.

Yıl boyunca binanın kullanım aralığı değerleri sadece e-QUEST’te spesifik olarak girilmektedir. Diğer hesaplama araçlarında böyle bir veri girişi bulunmaktadır.

**Çizelge 4.2 :** Hesaplama yöntemlerindeki bina kabuğu ile ilgili yapısal ve geometrik bilgilere ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.

Bina kabuğu ile ilgili Yapısal ve Geometrik Bilgiler		BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Alanlar ve Boyutlar	Kullanım alanı (Net kullanım alanı-NKA)	x	x	x
	Pencere alanı	x	x	x
	Dış kapı alanı	x	x	x
	Dış duvar (çevre)	x	x	x
	Dış duvar (zemin)	x	x	x
	Çati-Tavan	x	x	x
	Zemin döşemesi	x	x	x
	Isıl köprü (çevre)	x	x	x
	Çevresel ısı köprü	x	x	x
	Bitişik komşu duvar	x	x	x
	Zemin karakteristiği	Döşemeden olan ısı kayıpları	x	x
U-Değeri	Yapı Elemanları veri girdisi (duvar-tavan-taban -döşeme)	x	x	x
	Isı köprüsü noktaları	x	x	x
Pencereler	Pencere boyutları	x	x	x
	Pencere çerçevesi veri girdisi	x	x	x
	Uf-değeri			
	Pencere camı veri girdisi Ug-değeri	x	x	x
	Gölgeleme (çevresel yapı engelleri)	x	x	x
	Gölgeleme (Çıkma)	x	x	x
	Pencere sızdırmazlık değerleri	x	x	x
Havalandırma	İnfiltrasyon değeri	x	x	x
	Havalandırma sistemi tipi	x	x	x
	Havalandırılan ortam verileri	-	x	x
Bina kullanım aralığı	Yıl boyunca haftanın günleri 24 saat içinde	-	-	x
Kullanım alanı yaklaşımı	Kullanım alanı belirleme	x	x	x
Zonlama	Hesaplarda zon oluşturma	x	-	x
Bina oryantasyonu	Yön tayini	x	x	x
Yaz Havalandırması (Doğal havalandırma ile)	Pencerelerden hava değişimi	-	x	-
	Hijyenik hava değişimi (pencerelerden)	-	x	-
	Gece hava değişimi	-	x	-

### Elektrik yüklerinin tayini

Doğrudan elektrik tüketen elemanlara, cihazlara veya aydınlatma sistemlerine ait veri girişleri üç programda da farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar aşağıda anlatılmakla beraber ayrıca Çizelge 4.3’de de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

- BEP-TR de elektrik yükü olarak sadece aydınlatma verileri girilmekte ve aydınlatma ile ilgili enerji performansı belirlenmektedir. Yardımcı elektrik yükleri; ayrı hesaplanmamakta sistemlere ait elektrik enerjisi ihtiyacı; ısıtma için ise ısıtma yüküne, soğutma için ise soğutma yüküne eklenmektedir.
- PHHP de aydınlatma için hesaplama yapılırken binada kurulacak olan ısıtma sistemi için, sıcak su sistemi ve havalandırma sistemi için yardımcı elektrik yükü hesabı yapılır ve bu değer ısıtma, sıcak su ve havalandırma yüküne eklenmez. Ayrıca konut elemanları (çamaşır makinesi, buzdolabı, ocak gibi) cihaz sayıları ve cihaz güçleri programa girilerek cihazların elektrik yükü hesabı yapılır. Soğutma ünitelerine ait yük soğutma yükü içinde değerlendirilmektedir.
- e-QUEST’te ise yardımcı elektrik yükü binada tasarlanan tüm sistemlerin kaynak kullanımına göre elektrik ya da doğalgaz gibi ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Elektrik yükü sıcak su, havalandırma elemanları, aydınlatma, varsa elektrikli ısıtma, soğutma ve yardımcı elemanlar (konut elemanları ve ofis elemanları gibi) ayrı ayrı hesaplanır ve listelenir ve ayrıca toplam elektrik yükü değeri de verilir, e-QUEST’te elektrik tüketim hesabı daha detaylandırılmıştır.

**Çizelge 4.3 :** Hesaplama yöntemlerindeki elektrik yüklerine ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.

Elektrik yükleri		BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Elektrik Talebi	Aydınlatma yükü (kWh/m <sup>2</sup> .yıl) (kBtu/ft <sup>2</sup> .yıl)	x	x	x
	Elektrikli ev aletleri, Ofis elemanları ve muhtelif yükleri	-	x	x
Yardımcı Elemanlar Elektrik yükü (Aux. Electricity)	Isıtma, Havalandırma, sıcak su sistemi elektrik yükü	x (ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı içinde hesaplanmaktadır.)	x	x

### İç ısı kazançları hesabı;

İç ısı kazançları hesabı için programların veri giriş yöntemlerindeki benzerlikler ve farklılıklar aşağıda açıklamalı olarak belirtilmiş olup ayrıca Çizelge 4.4’de karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



- BEP-TR’de aydınlatma etkisi ve konutta kullanılacak cihazlara ait herhangi bir veri girişi bulunmamaktadır. Sadece binadaki insan sayısına ait bilgi girişi yapılabilmektedir
- e-QUEST ve PHPP’de aydınlatma etkisi ve konutta kullanılacak tüm cihazlara ve HVAC sistemleri yardımcı elemanlarına ait spesifik veriler girilerek bu cihazlardan kaynaklı iç ısı kazancı değeri hesaplanmaktadır.

**Çizelge 4.4 :** Hesaplama yöntemlerindeki iç ısı kazançlarına ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.

İç ısı kazançları		BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
İç ısı kazançları hesabı	Aydınlatma, cihazlar, pişirme, sıcak su, insan, tesisat v.s.	x (hesaplamalarda sadece binadaki insan sayısı verisi girilmekte)	x	x

#### **Mekanik Sistem (HVAC) Tanımlama;**

Hesaplama yöntemlerinde mekanik sistemlere ait veri girişlerinde de bazı temel farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar aşağıda anlatılmış olup ayrıca Çizelge 4.5’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

#### **Isıtma yükü hesabı:**

- BEP-TR binanın yapısal ve termofiziksel özellikleri ve iç ısı kazançlarının etkisi göre hesaplanan ısı ihtiyacına, sistem yardımcı ekipmanların (pompa, fan, kontrol üniteleri gibi) yardımcı elektrik yükleri ilave edilmekte ve ısı yükü hesaplanmaktadır. Ayrıca ısıtma yükünün hesaplanabilmesi için bir ısıtma sistemi seçimi yapılmalıdır.
- PHHP ve e-QUEST’te binanın yapısal ve termofiziksel özellikleri ve iç ısı kazançlarının etkisine göre hesaplanırken yardımcı elektrik yükleri ayrı olarak hesaplanmaktadır.

#### **Isıtma sistemi:**

- e-QUEST’te, BEP-TR’de olduğu gibi programda bir ısıtma sistemi seçilmeden ısıtma yükü hesabı yapılmamaktadır. BEP-TR ve e-QUEST’te ısıtma yükü sonuçlarına elde edebilmek için programa bir ısıtma sistemi tanımlanmalıdır.

- PHPP’de ısıtma sistemi seçimi yapılmadan ısıtma yükü hesaplanmaktadır. Ayrıca sistem seçimi yapılabilmektedir.

### **Soğutma yükü hesabı:**

- BEP-TR’de yine binanın yapısal ve termofiziksel özelliklerine ve iç ısı kazançlarının etkisi ve güneş kazançlarına göre hesaplanan soğutma ihtiyacına, sistem yardımcı ekipmanların (soğutma üniteleri, kontrol üniteleri gibi) yardımcı elektrik yükleri ilave edilir ve soğutma yükü hesaplanmaktadır. Soğutma yükünün hesaplanabilmesi için soğutma sisteminin seçimi ve veri girişi yapılmalıdır.
- e-QUEST’te yardımcı elektrik yükleri ısıtma da olduğu gibi ayrı hesaplanmaktadır, soğutma yüklerinin hesaplanabilmesi için programa soğutma sistemi verilerinin girilmesi gerekmektedir. PHPP’de soğutma yükü binanın yapısal ve termofiziksel özelliklerine ve iç ısı kazançlarının etkisi göre hesaplanmakta bu programda ayrıca yaz havalandırma bilgileri spesifik olarak girilmelidir. Yaz havalandırması, pencerelerin açılması, iç ortamdaki sağlıklı hava ihtiyacında dolayı yapılan ve geceleri açılan pencerelerden gerçekleşen hava değişim oranları olarak tariflenebilir.
- PHPP’de diğer hesaplama araçlarında farklı bir özgül soğutma yükü hesabı yapılmaktadır. Özgül soğutma yükü hesabında kompresör soğutma ünitelerinin etkisi göz önünde bulundurulmamakta olup sadece binanın termofiziksel özelliklerine göre net enerji hesabı yapılmaktadır.

### **Sıcak su yükü:**

Sıcak su yükü sistem seçimi ile hesaplanmaktadır.

- BEP-TR, PHPP ve e-QUEST’te sıcak su sistemi bireysel ve merkezi sıcak su sistemi olarak tariflenmekte ve sisteme ait veri girişi yapılmaktadır. PHPP’de sıcak su sistemine ait detaylı veri girişi (dış/iç boru boyu, verim gibi) yapılmaktadır.

### **Güneş enerjili sıcak su sistemi:**

- Üç programda da güneş enerjili sıcak su sistemi var ise bu sistemin merkezi sistem sıcak su entegrasyonu ve veri girişleri yapılabilmektedir.

**Çizelge 4.5 : Hesaplama yöntemlerindeki mekanik sistemlere (HVAC) ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.**

Mekanik sistemler		BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Isıtma	Isıtma Sistemi tanımlama	x	x (ısıtma yüküne etkisi yok)	x
	Isıtma sistemi yardımcı elemanlar enerji ihtiyacı	x (ısıtma yüküne eklenmektedir.)	x (yardımcı elektrik yükü olarak hesaplanmakta, yıllık enerji tüketimini etkilemektedir.)	x (yardımcı elektrik yükü olarak hesaplanmaktadır)
	Yıllık Isıtma Talebi (kWh/m <sup>2</sup> .yıl) (kBTU/ft <sup>2</sup> .yıl)	x	x	x
	Yıllık Isıtma Yükü (W/m <sup>2</sup> ) (kBTU/ft <sup>2</sup> .yıl)	x	x	x
Soğutma	Soğutma sistemi tanımlama	x	x (Soğutma üniteleri kapasite, güç v.s. verileri tariflenir.)	x
	Soğutma üniteleri enerji ihtiyacı hesabı	x (Soğutma yüküne eklenmekte)	x	x
	Yıllık Soğutma Talebi (kWh/m <sup>2</sup> .yıl) (kBTU/ft <sup>2</sup> .yıl)	x	x	x
	Özgül Yıllık Soğutma Talebi (kWh/m <sup>2</sup> .yıl) (kBTU/ft <sup>2</sup> .yıl) Soğutma Yükü (W/m <sup>2</sup> ) (BTU/hr.ft <sup>2</sup> )	- x	x x	- x
Sıhhi Sıcak Su (DHW)	Sıcak su sistemi tanımlama	x	x	x
	Güneş Enerjili Sıcak Su tanımlama	x (merkezi sisteme destek olarak tanımlanır.)	x	x
	Sıcak su yükü (W/m <sup>2</sup> ) (BTU/hr.ft <sup>2</sup> )	x	x	x

#### Toplam yük hesapları:

- BEP-TR ve e-QUEST'te ısıtma, soğutma ve sıcak su sistemi seçmeden program yıllık enerji tüketim değerlerini hesaplanamamaktadır.
- PHPP'de ise sistem seçimi yapılmadan ısıtma, soğutma ve sıcak su yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanmaktadır. Mekanik sistemlere ait veri girişi yapılmaz ise sadece yıllık toplam enerji ihtiyacı hesaplanmamaktadır. Havalandırma ve yaz havalandırma şartları belirlenmeden soğutma yükü hesaplanmamaktadır.

### Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı:

- BEP-TR’de fotovoltaik (PV) ve ısı pompası sistem tanımlaması yapılamamaktadır.
- PHPP ve e-QUEST'te ise fotovoltaik (PV) ve ısı pompası sistem tanımlaması yapılabilmektedir.

**Çizelge 4.6 :** Hesaplama yöntemlerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarına ait program veri girdileri karşılaştırma çizelgesi.

Yenilenebilir Enerji	BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Fotovoltaik sistem (PV)	-	x	-
Isı pompası	-	x	x

### Hesap sonuçları ve binanın enerji performans değerlendirilmesi;

Enerji performans analizi yapılan binaya ait veri girişleri tamamlandıktan sonra programların hesaplamış olduğu toplam yıllık enerji tüketim değerinin içeriğinde ve hesaplanma yöntemlerinde de farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar aşağıda anlatıldığı gibi ayrıca Çizelge 4.7’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

### Yıllık enerji tüketim değeri:

- BEP-TR’de; ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma ve havalandırma yükünün toplamından oluşmaktadır. BEP-TR hesaplaması sonucunda tüm bu yüklerin ayrı ayrı sonucunu verirken toplam yükü de hesaplamaktadır. BEP-TR’de havalandırma sistem verileri girilmemesi durumunda yıllık enerji tüketim değeri hesaplanırken, havalandırma dışındaki sistemler programa girilmek zorundadır. Diğer sistemlerin programa girilmemesi durumunda program sonuçları vermemektedir.
- e-QUEST’te; ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma, yardımcı elemanlar, elektrikli ev aletleri elektrik ve havalandırma yükünün toplamından oluşmaktadır. Yukarıda belirtilen sistemlerden herhangi birine ait veri girilmemesi durumunda sadece verisi girilmeyen sistemin yükü hesaplanmaz.
- PHPP’de; ısıtma, soğutma, sıcak su, buharlaştırma, aydınlatma, yardımcı elemanlar, elektrikli ev aletleri elektrik yükünün toplamından oluşmaktadır.

**Çizelge 4.7 : Enerji hesaplama yöntemlerinin hesap sonuçlarının karşılaştırılması.**

Hesap sonuçları ve binanın enerji performans değerlendirilmesi		BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
Enerji Tüketim Değeri	Toplam Enerji Tüketimi (yıllık ve kullanım başına) (kWh/m <sup>2</sup> .yıl) (kBTU/ft <sup>2</sup> .yıl)	* Isıtma, * Soğutma, * Sıcak Su, * Aydınlatma, * Havalandırma	* Isıtma, * Soğutma, * Sıcak Su, * Aydınlatma, * Yardımcı Elektrik * Elektrikli cihazlar	* Isıtma, * Soğutma, * Sıcak Su, * Aydınlatma, * Yardımcı Elektrik * Elektrikli cihazlar

### Doğrulama:

Yapılan çalışmada, binaların sertifikalandırılabilmesi için binadaki inşa, imalat, montaj ve tadilat faaliyetleri tamamlandıktan sonra uygulanan sistemlerin ölçümü ve doğrulanması gerekmektedir. BEP-TR hesaplama yönteminde montaj ve imalat sonrasında uygulanan sistemlerin ölçümü ve testi ve enerji performans analizlerinin doğrulanması yapılmamakta olup sadece enerji performans analizlerine göre bina sertifikalandırılmaktadır. ENERGYSTAR hesaplama yönteminde ise enerji performans analizi yapıldıktan sonra montaj ve imalat süresi ve sonrasında uygulanan sistemlerin ölçümü ve testi Energystar standardı ile tanımlanmış olan Çizelge 4.8’de sıralanmış olan kontrol listeleri ile yapılmaktadır. Bu kontrol listeleri Sertifikasyon süreci önkoşuludur. Kontrol listelerindeki hükümleri uyum sağlanmış olmalıdır. PASSIVHAUS hesaplama yönteminde de imalat ve montaj sonrasında uygulanan sistemlerin ölçümü ve testi DIN EN13829 ve diğer standartlara bağlı olarak yapılmaktadır. Energystar ve Passivhaus hesaplama yönteminde ölçüm ve test işlemleri yapıldıktan sonra doğrulanması yapılan binalar sertifikalandırılmaktadır.

**Çizelge 4.8 : Sertifika programlarında uygulanan doğrulama yöntemlerine ait karşılaştırma çizelgesi.**

	BEP (BEP-TR)	PASSIVHAUS (PHPP)	ENERGYSTAR (e-QUEST)
TEST Uygulanan sistemlerin ölçümü ve testi	-	x Sızdırmazlık DIN EN 13289 hava boşluğu testiyle ölçülür.	* Isıl Muhafaza sistemi kontrol listesi, * HVAC sistemi yüklenici kontrol listesi, * HVAC sistemi denetçi kontrol listesi, * Su yönetim sistemi yapımçı firma kontrol listesi,

Üç simülasyon programındaki mekanik sistemlere ait yardımcı ekipmanların elektrik yüklerinin hangi yük değerleri üzerine etkisi olduğunu karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.9’da görebiliriz.

**Çizelge 4.9 : Mekanik sistemlere ait yardımcı elektrik yüklerinin etkisinin karşılaştırılması.**

	BEP-TR	PHPP	e-QUEST
Isıtma yükü	Binanın ısııl özelliklerinden kaynaklanan ısıtma yüküne, tanımlanan ısıtma sistemindeki yardımcı elemanların (pompa, kompresör v.s) enerji yükü ilave edilmektedir. Hepsi birden ısıtma sistem yükünü oluşturmaktadır	Binanın ısııl özelliklerine göre ve bina yön durumu dikkate alınarak ısıtma yükü hesaplanır. Yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri elektrik yükü içinde değerlendirilmektedir.	Binanın ısııl özelliklerine göre ve bina yön durumu dikkate alınarak ısıtma yükü hesaplanır. Yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri elektrik yükü içinde değerlendirilmektedir.
Soğutma yükü	Binanın ısııl özelliklerinden ve iç ısııl kazançlarından kaynaklanan soğutma yüküne, tanımlanan soğutma sistemindeki yardımcı elemanların (pompa, kompresör v.s) enerji yükü ilave edilmektedir. Hepsi birden soğutma sistem yükünü oluşturmaktadır.	Binanın ısııl özelliklerine ve iç ısııl kazançları ve yaz havalandırma oranına göre bir soğutma yükü hesaplanmaktadır. Kompresör soğutma ünitelerine ve yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri soğutma yükünde hesaplanır. Ayrıca Kompresör soğutma üniteleri dikkate alınmadan Özgül Soğutma yükü de hesaplanmaktadır.	Binanın ısııl özelliklerine göre ve iç ısııl kazançları bina yön durumu dikkate alınarak soğutma yükü hesaplanır. Soğutma sistemi yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri elektrik yükü içinde değerlendirilmektedir.
Sıcak Su yükü	Sıcak su tüketim değeri hesaplanmaktadır.	Sıcak su tüketim değeri iç/dış boru boyu, tasarım sıcaklığı, kayıp katsayısına göre hesaplanmaktadır.	Sıcak su tüketim değeri tank kapasitesi, su tasarım sıcaklığı, bekleme kayıpları, yalıtım özelliklerine göre hesaplanır.
Havalandırma yükü	Havalandırma sistem tanımlanması ile havalandırma yük hesabı yapılmaktadır.	Ayrı bir havalandırma yükü tanımlamayıp eğer ki sistem seçimi var ise soğutma ve ısıtma yükü üzerine etkisi değerlendirilmektedir. Havalandırma ünitelerindeki yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri elektrik yükü içinde değerlendirilmektedir.	Ayrı bir havalandırma yükü tanımlanmamakta, eğer ki sistem seçimi var ise soğutma ve ısıtma yükü üzerine etkisi değerlendirilmektedir. Havalandırma ünitelerindeki yardımcı elemanlara ait tüketim değerleri elektrik yükü içinde değerlendirilmektedir.

#### 4.2. Örnek Binanın BEP-TR, PHPP ve e-QUEST Programlarına Göre Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Üç program analiz sonuçları Bina enerji sınıflandırma sistemi olan HERS indeksi enerji performans göstergesi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

### **Bina enerji performansı sınıflandırma sistemi (HERS-Home energy rating systems):**

HERS-Home Energy rating systems, evlerin enerji verimliliğini sınıflandırmak amaçlı hazırlanmış bir skala sistemidir. “Amerika konut enerji servisleri ağı (RESNET- the Residential Energy Services Network)” tarafından 2006 yılında oluşturulmuştur. Mevcut ve iyileştirme yapılacak binalar ile yeni yapılacak binaların enerji verimlilik sınıfını belirlemek için kullanılmaktadır. Enerji değerlendirmeleri, farklı iklim koşullarına göre farklı bölgelerdeki binaların enerji tüketim hesaplamaları sınıflandırma yapan enerji kullanım indeksi olarak adlandırılan HERS indeks skoru ile yapılmaktadır. İndekste enerji performans göstergesi olan 100 değeri Amerika kanun ve standartlarındaki (2004-IECC kanunu) bir binanın enerji performans göstergesine, 130 değeri ise mevcut binaların hesaplanmış enerji performans göstergesine denk gelmektedir. Eğer bina kendi ihtiyacı olan enerjiyi dış enerji kaynaklarına ihtiyaç duymadan karşılıyorsa bu binanın enerji performans göstergesi indekste 0(sıfır)’a karşılık gelmekte ve sıfır enerji ev olarak adlandırılmaktadır. HERS indeksindeki gösterge değerlerinin küçülmesi bina enerji performansının yükselmesi anlamına gelmektedir.

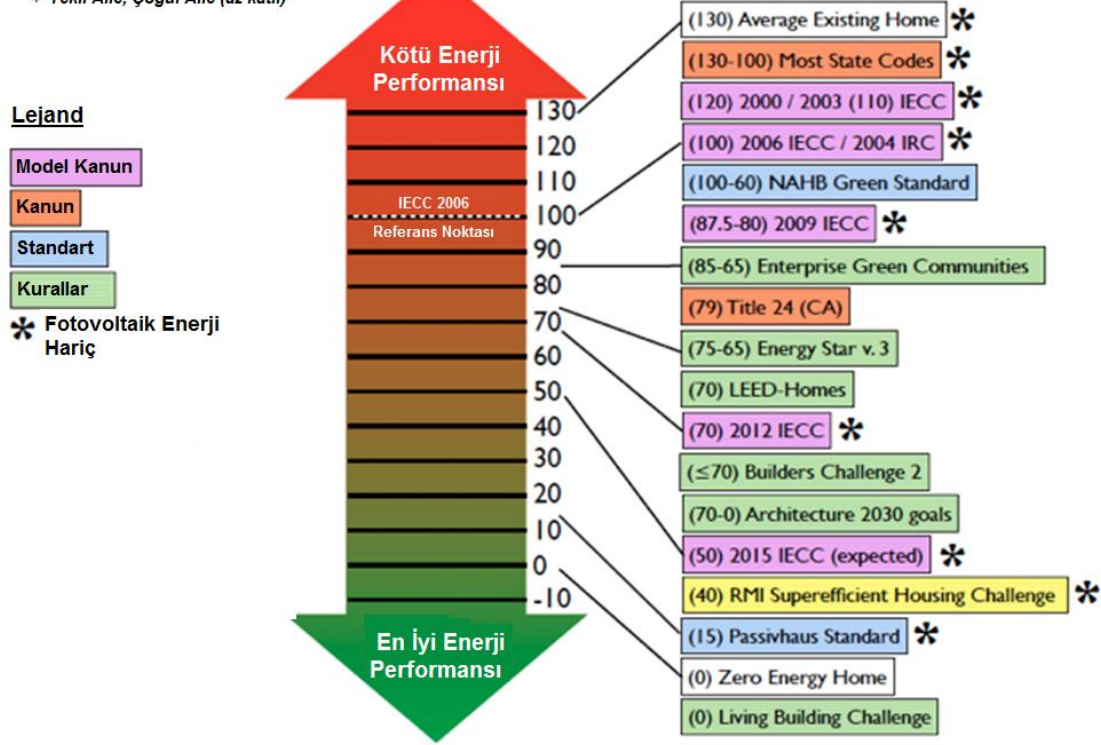
- Bir binanın HERS indeks göstergesi 70 ise bina, referans binadan %30 daha fazla verimlidir.
- Bir binanın HERS indeks göstergesi 130 ise bina, referans binadan %30 daha az verimli olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 4.1’de RESNET HERS indeks göstergesinde, konut binalarının buldukları bölgedeki enerji kanunları ve standartlarına göre karşılaştırılması ve yerleri görülmektedir. Energystar standardına göre bir binanın kabul edilebilir enerji performans aralık değeri HERS indeks göstergesine göre 65-75 aralığındadır. Passivhaus standardına göre bir binanın kabul edilebilir enerji performans aralık değeri HERS indeks göstergesine göre 15 değerine karşılık gelmektedir. BEP-TR standartlarındaki bir binanın enerji performans göstergesi bu indekste 100’e karşılık gelmektedir.

Enerji performans göstergesi  $E_{EP} = 100 \times (EP_{gercek}/EP_{referans})$  eşitliği ile hesaplanmaktadır.

## Binaların\* Karşılaştırılması Enerji Kanunları & Standartlar (HERS İndeksi üzerinde)

\* Tekil Aile, Çoğul Aile (az katlı)



Şekil 4.1 : HERS indeksi enerji performans göstergesi,  $E_p$ .

BEP-TR, PHPP ve e-QUEST programlarında, proje ve tasarım değerleri temel alınarak binanın yapı elamanları, mekanik sistemleri ve elektrik yüklerine ait veri girişleri ile asıl binanın yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Ulusal kanun, yönetmelik ve standartlardaki sınır değerler temel alınarak binanın yapı elamanları, mekanik sistemleri ve elektrik yüklerine ait veri girişleri ile de referans binanın yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Her iki bina için programa aynı geometrik veriler ve bina özellikleri girilmiştir.

Üçüncü bölümde detaylı bir şekilde açıklandığı gibi her bir bina için asıl bina ve referans bina oluşturulmuş, aynı hesaplama yöntemi her iki bina için de çalıştırılarak hem asıl bina için hem referans bina için yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.

### 4.2.1. BEP-TR programı sonuçları

Asıl binanın BEP-TR'de kullanım alanı başına toplam yıllık enerji tüketimi 121,08 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak hesaplanmıştır. Referans bina yıllık enerji tüketim değeri programın ara yüzünde hesaplanmaktadır. Örnek binanın enerji performansı; BEP



yönetmeliğinde yayınlanan ve bu tezin 2.bölümü Çizelge 2.16’da da gösterilen enerji performans göstergesinde 80-99 aralığında olup C sınıfına karşılık gelmektedir. Binalarda enerji performansı ulusal hesaplama yöntemine dair tebliğin, 4 numaralı ekinde belirtilen ve aşağıda da gösterilen enerji performans göstergesi referans değeri 100, HERS indeksinde de aynı konuma gelmektedir. Yapılan hesap sonuçları Çizelge 4.10’da detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.10 : BEP-TR’de hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri.**

Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri			Sınıfı
		Nihai (kWh/yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m <sup>2</sup> .yıl)	
Isıtma	Isıtma sistemi	55.025	55.025	48,15	C
Sihhi Sıcak Su	Sıcak su sistemi	22.895	22.895	20,03	D
Soğutma	Soğutma sistemi	52.729	124.439	46,14	D
Aydınlatma	Kompakt Floüresan	7.729	18.241	6,76	B
<b>Toplam</b>		<b>138.378</b>	<b>220.601</b>	<b>121,08</b>	<b>C</b>
Performans Aralığı		80-99			

#### 4.2.2. PHPP programı sonuçları

PHPP’de hesaplanan kullanım alanı başına toplam yıllık enerji tüketimi asıl bina için 141,44 kWh/m<sup>2</sup>.yıl, referans bina için 131,54 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak hesaplanmıştır. Binanın enerji performans göstergesi 107,53 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.11’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11 : PHPP’de hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri.**

Enerji Kullanım Alanı	Referans Bina		Asıl Bina	
	Yıllık Enerji Tüketimi kWh/yıl	Kullanım Alanı Başına Yıllık Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup> .yıl	Yıllık Enerji Tüketimi kWh/yıl	Kullanım Alanı Başına Yıllık Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup> .yıl
Isıtma	57.091	85,64	62.489	93,73
Soğutma	6.646	9,97	6.120	9,18
Sıcak Su	18.780	28,17	19.046	28,57
Aydınlatma	5.175	7,76	6.639	9,96
<b>Toplam</b>	<b>87.692</b>	<b>131,54</b>	<b>94.294</b>	<b>141,44</b>
HERS İndeks Skoru	107,53			

#### 4.2.3. e-QUEST programı sonuçları

e-Quest programında kullanım alanı başına toplam yıllık enerji tüketimi asıl bina için 136,29 kWh/m<sup>2</sup>.yıl, referans bina için 122,95 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak hesaplanmıştır. e-QUEST'te simüle edilen binanın enerji performans göstergesi ise 110,85 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.12'de sonuçlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.12 :** e-QUEST yazılımında hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri.

Enerji Kullanım Alanı	Referans Bina		Asıl Bina	
	Yıllık Enerji Tüketimi kWh/yıl	Kullanım Alanı Başına Yıllık Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup> .yıl	Yıllık Enerji Tüketimi kWh/yıl	Kullanım Alanı Başına Yıllık Enerji Tüketimi kWh/m <sup>2</sup> .yıl
Isıtma	48.139	85,64	62.489	93,73
Soğutma	20.610	9,97	6.120	9,18
Sıcak Su	24.753	28,17	19.046	28,57
Aydınlatma	9.160	7,76	6.639	9,96
Toplam	102.662	131,54	94.294	141,44
HERS İndeks Skoru	110,85			

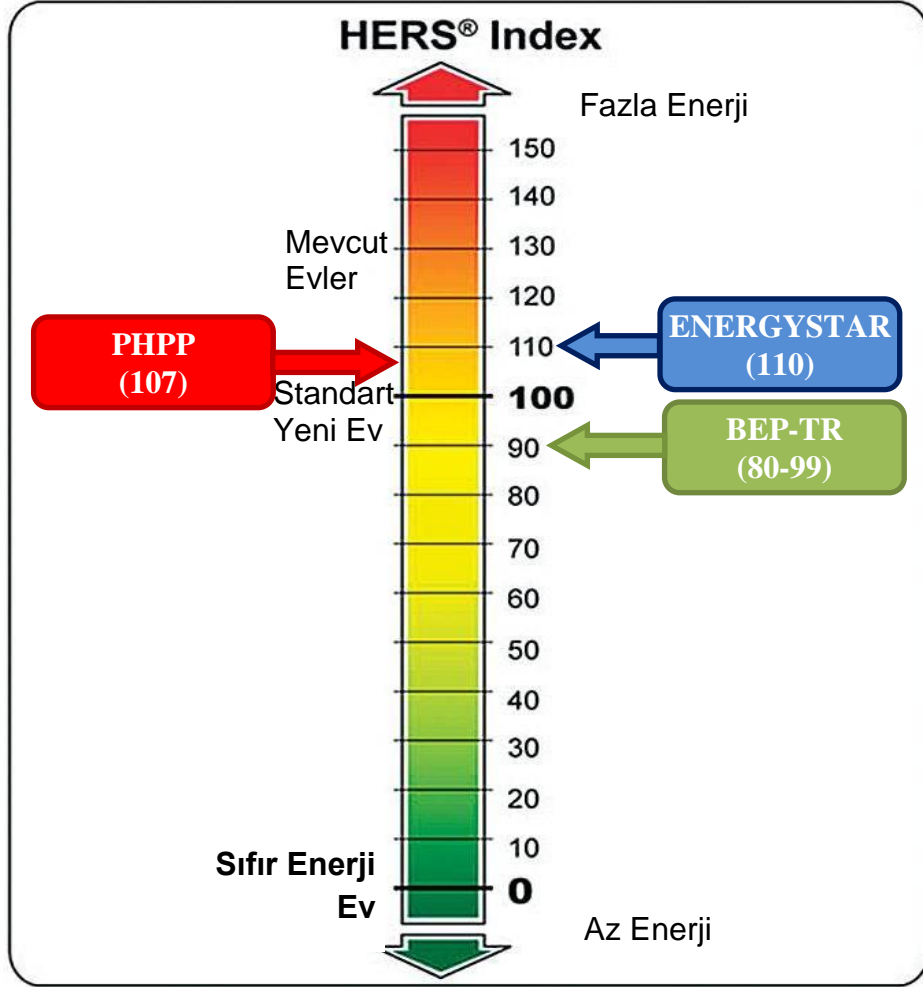
#### 4.2.4. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Örnek binanın üç hesaplama yöntemiyle hesaplanan enerji performans göstergesi Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi BEP-TR için C sınıfı 80-99 aralığında (151,35-122,30); ENERGYSTAR için 110,85; PASSIVHAUS için 107,53 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler HERS indeksi enerji performans aralığına yerleştirildiğinde HERS indeksi aralığındaki yeri ise Şekil 4.2'de görülen konumlara denk gelmiştir.

- Hesaplamalar sonucunda üç hesaplama yönteminde; ısıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma yıllık enerji tüketimlerini kapsayan asıl binanın yıllık enerji tüketim değerleri birbirine yakın çıkmasına rağmen enerji performans göstergelerinin farklılık gösterdiği anlaşılmıştır.

**Çizelge 4.13 :** Hesaplanan performans göstergeleri.

Hesaplama Yöntemi	Gerçek Bina kWh/m <sup>2</sup> .yıl	Referans Bina kWh/m <sup>2</sup> .yıl	Performans Göstergesi
BEP-TR	121,08	Program ara yüzü (151,35-122,30)	80-99
ENERGYSTAR	139,63	125,97	110,85
PASSIVHAUS	141,42	131,52	107,53



Şekil 4.2 : Sonuçların HERS indeksindeki yeri.

- Örnek binanın BEP-TR enerji performansı 80-99 aralığında çıkmıştır. Bu değer HERS indeksinde 100 değerinin altında bir değer aralığında olup BEP-TR kriterlerine göre yeri kabul edilebilir C sınıfına denk gelmektedir.
- ENERGYSTAR standardına göre tasarlanan bir evin kabul edilebilir enerji performansı değeri Şekil 4.1’de da görüleceği üzere 75 olarak belirlenmiştir. HERS indeksi enerji performans skalasındaki 75 sınır değeri ile 0 değeri arasındaki tüm değerler Energystar standardı için kabul edilebilir değerlerdir. Örnek binanın hesaplanmış enerji performans aralığı (110,85) Energystar standartlarına göre yüksek bir değerdir.
- PASSIVHAUS standardına göre bir evin enerji performansı ise Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 15 aralığında olmalıdır. Örnek binanın hesaplanmış enerji performans değeri (107,53) Passivhaus standartlarını açısından kabul edilemez olup yüksek bir değerdir.

Aynı bina özelliklerine sahip benzer iklim özellikleri gösteren bölgeler temel alınarak yapılan analiz sonuçlarının farklılıklar göstermesinin nedenleri iki temel başlıkta toplanabilir. Bunlar;

- Ülke bazındaki standartlardan kaynaklanan farklılıklar
  - Hesaplama yöntemlerinde kullanılan girdilerin detaylandırılmasından kaynaklanan farklılıklardır.
- Bina özellikleri aynı kabul edilmesine rağmen BEP-TR'ye göre yapılan hesaplamada kabul edilebilir enerji performans aralık değerinin ENERGYSTAR'da hesap edilen değerden düşük çıkmasının nedeni BEP-TR programında veri girişlerinin yeterince detaylandırılmamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin BEP-TR'de hava sızdırmazlık değerine ait bilgiler, spesifik bir veri girişi olmadan sadece duvarlarda sıva var yada yok, sızdırmaz bant olan veya olmayan pencere ve kapılar gibi seçeneklerin işaretlenmesiyle programa tanıtılmakta sistem değerleri otomatik olarak ayarlanmaktadır. Mekanik sistemlerde sistemler yardımcı elemanlar, verim, oran, ısıtma sistemi gücü gibi spesifik veri girişleri yapılmamaktadır. Öte yandan ENERGYSTAR'da bu değerler spesifik olarak girilmektedir. Bundan dolayı sonuçlarda bu şekilde farklılıklar oluşmaktadır.
  - PASSIVHAUS temel kriter değerleri oldukça düşük kabul edildiğinden kabul edilebilir enerji performans değeri Şekil 4.1'de de görüleceği üzere oldukça düşük (15 aralığında) kabul edilmiştir. Örnek binanın PHPP'de hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri ve enerji performans göstergesi değeri her ne kadar passivhaus kriterlerine göre kabul edilemez olsa da aslında skaladaki yeri düşük enerjili evlere göre gayet uygun olup enerji tasarruflu evler skalasındaki yeri normal seviyelerdedir. Bunun nedeni de Passivhaus bölümünde (bölüm 2.2) anlattığımız gibi passivhaus standartlarındaki bir binanın iklim şartları ne olursa olsun geleneksel binalara kıyasla çok daha az enerji tüketimini sağlamak için tasarlanmış olması ve passivhaus standardı sınır değerlerinin çok düşük (toplam yıllık enerji tüketim değeri en çok 120 kWh/m<sup>2</sup>.yıl) olmasından dolayı çıkan sonuç passivhaus standardına göre kabul edilemez bir sonuçtur.

Temel mantığı aynı olan üç hesaplama yöntemi ve bağlantılı programlar detayda farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar yukarıda da belirttiğimiz gibi 7 ana başlıkta toplanarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Programlardaki farklılıklar her hesaplama yönteminin bağlı bulunduğu ülkedeki kanun, standart ve yönetmeliklerden kaynaklandığı gibi her hesaplama yönteminin kabul edilebilir standart değerleri de farklıdır. Bu farklılıklar ve bunların enerji performans değerlendirmesine etkisini göstermek bu tezde amaçlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- [1] **BEP.** (2009). Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, adres: [www.mevzuat.gov.tr](http://www.mevzuat.gov.tr)
- [2] **CEC.** (2001). “Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings”, Presented by The Commission of the European Communities, Brussel, Belgium, 3-8.
- [3] **Karakaya E.** (2003). “Türkiye Açısından Kyoto Protokolü’nün Değerlendirilmesi ve Ayrıştırma Yöntemi ile CO2 Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi” VII. ODTÜ Ekonomi Kongresi, Ankara adres: <http://www.researchgate.net/publication/252322096>.
- [4] **Directive 2002/91/EC.** Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings.
- [5] **Tanrıverdi B.** (2015). “TS 825 2.Derece Gün Bölgesinde Yer Alan İllerin, Isıtma Ve Soğutma Derece Gün Bölgelerine Göre Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Gliedt T, Hoicka C.E.** (2015). “Energy upgrades as financial or strategic investment? Energy Star property owners and managers improving building energy performance”, Department of Geography and Environmental Sustainability, Univesity of Oklahoma, United States, Faculty of Enviromental Studies, York University, Canada.
- [7] **Durmuş G, Önal S.** (2014). “Uluslararası Standartlarında inşa edilen yapının enerji kimliğinin belirlenmesi: Gaziantep Örneği” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt. 1, No. 2, S. 43-51, Haziran 2014, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Beşevler, Ankara.
- [8] **Erikci S.N.** (2013). “Türkiye’de Binaların Enerji Performansı Hesaplama Yönteminin farklı iklim bölgelerinde değerlendirilmesi.” Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Tonn B, Hawkins B, Schweitzer M, Eisenberg J.** (2012). “Process evaluation of the home performance with ENERGY STAR program”, Oak Ridge National Laboratory, 1 Bethel Valley Road, Oak Ridge, TN 37831, USA, December 27.
- [10] **Can E.** (2012). “Almanya ve Türkiye Bina Enerji Sertifikasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Yılmaz A.Z, Corgnati S.P, Gali G.** (2011). “Kompleks Binaların Enerji Sertifikasyonu Açısından analizleri: standart ve detaylı Simulasyon araçlarının karşılaştırılması”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir.

- [12] **Aktacir M.A, Nacar M.A, ve Yeşilata B.** (2011). “Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir.
- [13] **McLeod R.S, Hopfe C.J, Rezgui Y.** (2011). “Application and Limitations of Regional and Future Predictive Climate Data in Passivhaus Design” Cardiff University, School of Engineering, BRE Institute of Sustainable Engineering Cardiff, Wales UK.
- [14] **Yılmaz A.Z.** (2011). “Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi (BEP-TR) ile Isıtma ve Soğutma Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.
- [15] **Atmaca M.** (2010). “Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR) ile Otel Binalarının Enerji Performansının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Gümüş Y.** (2010). “İstanbul’da Bir Toplu Konut Örneğinde Enerji Etkinliğin Değerlendirilmesine Yönelik Uygulama Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Yılmaz A.Z.** (2006). “Türkiye ve İrlanda’daki Binaların Enerji Etkin Tasarım ve Yapımı için Sürdürülebilirlik Stratejileri”, İTÜ Araştırma Fonu Projesi, İstanbul.
- [18] **Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD).** (2009). İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği. “Enerji Tüketiminde Dönüşüm için Binalarda Enerji Verimliliği Raporu”, Geneva, adres: <http://www.skdturkiye.org/userfiles/file/Documents/9g5f5kd49mi5bg4vxwvrm7pljs6n0p.pdf>
- [19] **Yılmaz A.Z.** (2010). “EN 13790 ve BEP-TR Net Enerji Hesaplama Yöntemi”, TSE dergisi, adres: <https://www.tse.org.tr/tr/icerikdetay/2152/3497/nisan-2010.aspx>
- [20] **Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (27778 mükerrer).** (2010). “Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi”, T.C. Resmi Gazete.
- [21] **Harputlugil Ulukavak G.** (2013). “Bina Enerji Performansı Değerlendirme Araçları-Enerji Simülasyonu”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17/20 Nisan, İzmir.
- [22] **Yılmaz A.Z, Atmaca M, Kalaycıoğlu E.** (2011). “Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR) ile Otel Binalarının Enerji Performansı değerlendirilmesi”, X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13/16 Nisan, İzmir.
- [23] **Bayram M.** (2010). Sunumlar: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı, Ankara, adres: <http://www.enerjikimlikbelgesi.net/wp-content/themes/ecogreen2/BEPHesaplamaYontemi.pdf>
- [24] **TS 825.** (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Tür Standartları Enstitüsü, Ankara.



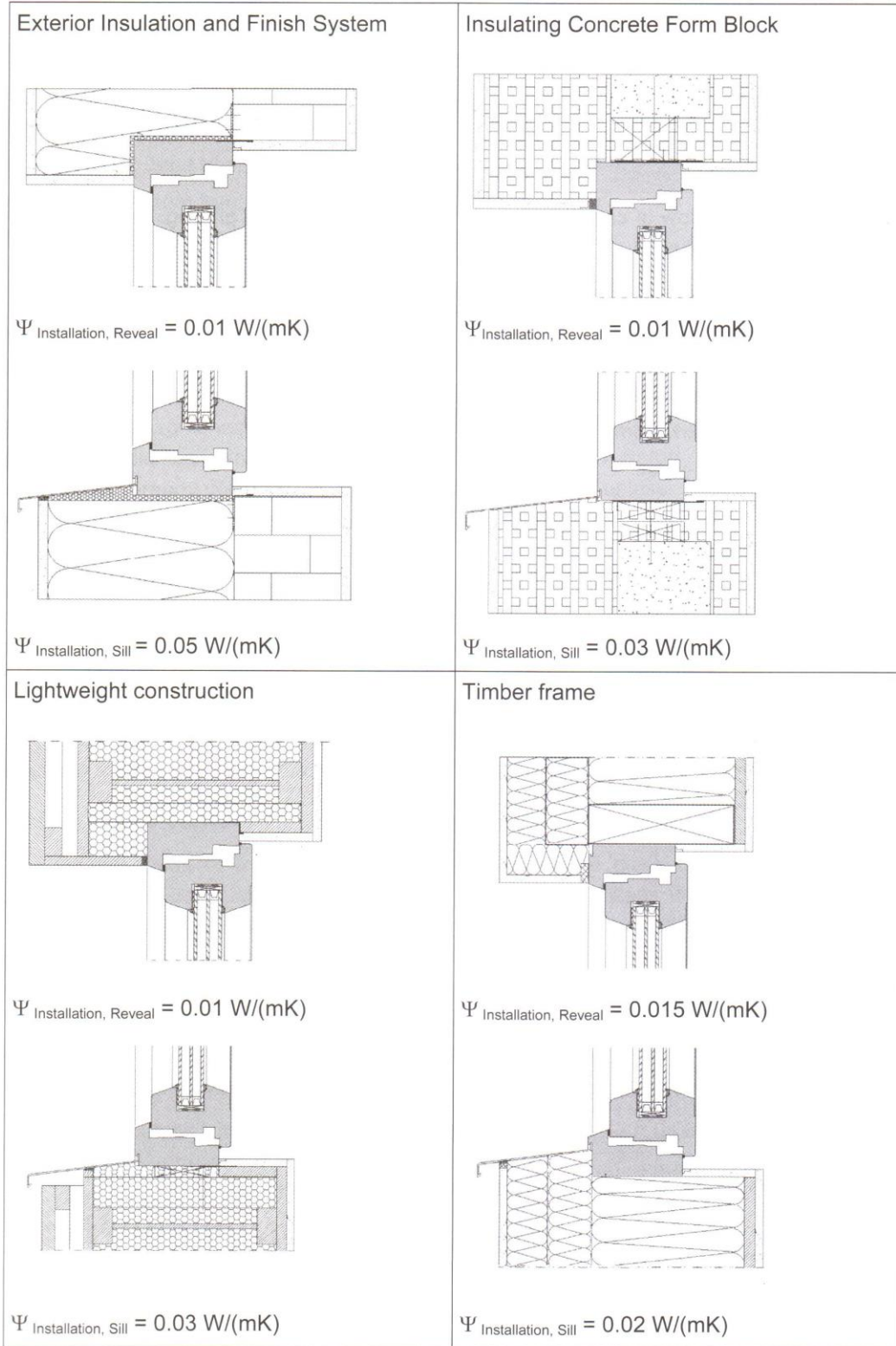
- [25] **Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (27778 mükerrer)**. (2010). “BEP-Referans Bina Belirleme Yöntemi”, T.C. Resmi Gazete
- [26] **TMMOB Makine mühendisleri odası**. (2011). X. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Uygulamaları Paneli Mevcut Durum Analiz Raporu, “BEP-TR Yazılımı, Uygulaması ve Metodolojisi ile İlgili Görüşler”, Nisan 2011, İzmir.
- [27] **Adamson, B.** (1992). “Passive Climatisation of Residential Buildings in China”, Lund University, Report TABK-92/3006.
- [28] **Xu Gu**. (2012). “Evaluate the Feasibility of Passive House in China Context”, A theses submitted in partial fulfilment for the requirement of the degree Master of Science, Department of Mechanical and Aerospace Engineering.
- [29] **Passipedia**, The Passive House Resource, alındığı tarih: 20 Mart 2015, adres: <http://www.passipedia.org> - Passivhaus Institute, Darmstadt, adres: <http://www.passivehouse.com>
- [30] **Cotterell J, Dadeby A.** (2012). “The Passivhaus Handbook”, published 2012
- [31] **Feist W.** (1994). “Certified PassivHouse, Passivehaus criterias”, Passivhaus Institute, Darmstadt, Germany.
- [32] **Certification Criteria for residential Passive House building**. published Passivhaus Institute adres: [http://passiv.de/downloads/03\\_certification\\_criteria\\_residential\\_en.pdf](http://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_residential_en.pdf)
- [33] **Feist, W.** (2010). “Passive House Planning Package 2007: Requirements for Quality Approved Passive Houses. Technical information PHI-2007/1 (E)”, 2nd revised edition March 2010, Passivhaus Institute, Darmstadt, Germany.
- [34] **PHPP-Passivhaus Planning Package**. (2013). “Energy Balance and Passive House Design Tool”, published Passiv House Institute.
- [35] **Feist, W.** (1992). “Bauvorbereitendes Forschungsprojekt Passive Häuser; Endbericht”, Darmstadt , Germany.
- [36] **Feist, Wolfgang**. (1993). Passivhäuser in Mitteleuropa; Dissertation, Universität Kassel, (Passive Houses in Central Europe, Dissertation, Kassel University 1993).
- [37] **Passive House Institute**. (1999). “Thermal bridge free design; Protocol Volume No. 16 of the Working Group for Cost-effective Passive Houses, 1st Edition”, Passive House Institute, Darmstadt 1999 Wärmebrückenfreies Konstruieren ; Protokollband Nr. 16 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999.
- [38] **Tanasa C., Maduta C., Stoian V., Dan D., Stoian D., Pescari S.** ( “Study on Energy Efficiency Requirements in Building.”, Recent advances in Urban Planning, Department of civil engineering, Politehnica University of Timisoara.

- [39] **Passive House Institute.** (1997). Energiebilanz und Temperaturverhalten; Protokollband Nr. 5 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997.
- [40] **Passive House Institute.** (1998). “Energy balances with the Passive House Planning Package; Protocol Volume No. 13 of the Research Group for Cost-effective Passive Houses, first edition,” Passive House Institute, Darmstadt 1998.
- [41] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Energystar Certified Home Features, Energy Efficiency guidelines set by EPA, alındığı tarih: 7 Nisan 2015, adres: [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=next\\_generation.ng\\_qualified\\_new\\_homes&s=footer](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=next_generation.ng_qualified_new_homes&s=footer)
- [42] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Commercial website, alındığı tarih: 30 Mart 2015, adres: <http://www.energy.gov>
- [43] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Energystar Certified Home Features, “A Complete Thermal Enclosure System” Energy Efficiency guidelines set by EPA, alındığı tarih: 7 Nisan 2015, adres: <http://www.energystar.gov>
- [44] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Energystar Certified Home Features, “A Complete Heating and Cooling System” Energy Efficiency guidelines set by EPA, alındığı tarih: 7 Nisan 2015, adres: <http://www.energystar.gov>
- [45] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Energystar Certified Home Features, “A Complete Water Management System” Energy Efficiency guidelines set by EPA, alındığı tarih: 7 Nisan 2015, adres: <http://www.energystar.gov>
- [46] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (t.y.). Energystar Certified Home Features, “Efficient Lighting and Appliances” Energy Efficiency guidelines set by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), adres: <http://www.energystar.gov>
- [47] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (2014). “Energystar Certified Homes, National Program Requirements version 3.1 rev.02”, July 8, 2014
- [48] **The U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (2014). “Inspection Checklist for National Program Requirements version 3 (rev.07)”, January 8, 2014

## **EKLER**

- EK A** : Isı kayıp katsayıları ve kurulum örnekleri
- EK B** : Örnek uygulama yıllık enerji tüketim raporları
- EK C** : Sertifikalar

## EK A



**Şekil A.1:** Pasif evlere uygun pencereler için ısı köprüsü yaklaşık ısı kayıp katsayıları ve kurulum örnekleri.

**EK B**

<b>Passive House verification</b>			
Photo or Drawing			
Building:	Örnek Çalışma		
Street Address:	İstanbul		
City, State, Zip:	34000		
Country:	Türkiye		
Building type:	Residential building		
Climate:	Freiburg	Altitude of building site (feet above sea level):	
Home owner / Client:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Architecture:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Mechanical system:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Year of construction:	2014	Interior temperature winter:	68,0 °F
No. of dwelling units:	9	Interior temperature summer:	77,0 °F
No. of occupants:	33,0	Internal heat sources winter:	0,67 BTU/h.ft²
Spec. capacity:	15 BTU/F per ft² TFA	Ditto summer:	0,80 BTU/h.ft²
		Enclosed volume V <sub>e</sub> ft³:	93702
		Mechanical cooling:	x
<b>Specific building demands with reference to the treated floor area</b>			
	Treated floor area	7177 ft²	
<b>Space heating</b>	Heating demand	25,23 kBTU/(ft²·yr)	531% of 4,75 kBTU/(ft²·yr)
	Heating load	12,15 BTU/(hr.ft²)	383% of 3,17 BTU/(hr.ft²)
<b>Space cooling</b>	Overall specif. space cooling demand	2,91 kBTU/(ft²·yr)	61% of 4,75 kBTU/(ft²·yr)
	Cooling load	7,54 BTU/(hr.ft²)	-
	Frequency of overheating (> 77 °F)	%	-
<b>Primary energy</b>	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	63,6 kBTU/(ft²·yr)	167% of 38,0 kBTU/(ft²·yr)
	DHW, space heating and auxiliary electricity	46,0 kBTU/(ft²·yr)	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kBTU/(ft²·yr)	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	0,6 1/h	0,6 1/h
			* empty field: data missing; '-': no requirement
<b>Passive House?</b>			no
We confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this application.		Name: _____ Surname: _____ Company: _____	PHPP v8.5, IP v2.0 Issued on: _____ Signature: _____

**Şekil B.1 : Asıl Bina PHPP yıllık enerji tüketim raporu.**

## Passive House verification

Photo or Drawing

Building:	Örnek Çalışma		
Street Address:	İstanbul		
City, State, Zip:	34000		
Country:	Türkiye		
Building type:	Residential building		
Climate:	Freiburg	Altitude of building site (feet above sea level):	
Home owner / Client:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Architecture:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Mechanical system:			
Street Address:			
City, State, Zip:			
Year of construction:	2014	Interior temperature winter:	68,0 °F
No. of dwelling units:	9	Interior temperature summer:	77,0 °F
No. of occupants:	33,0	Internal heat sources winter:	0,67 BTU/h.ft²
Spec. capacity:	15 BTU/F per ft² TFA	Ditto summer:	0,74 BTU/h.ft²
		Enclosed volume V <sub>e</sub> ft³:	93702
		Mechanical cooling:	x

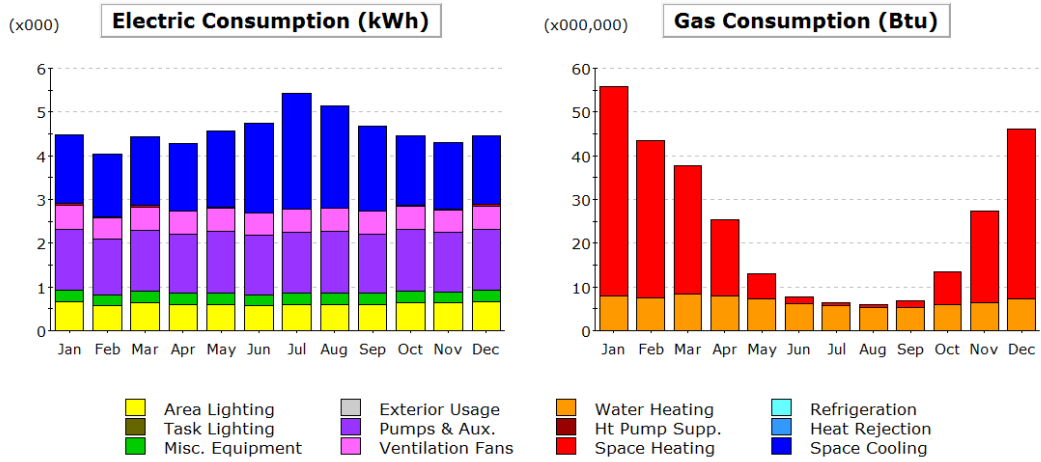
Specific building demands with reference to the treated floor area			
	Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
<b>Space heating</b>	Heating demand	477% of 4,75 kBTU/(ft²·yr)	no
	Heating load	352% of 3,17 BTU/(hr.ft²)	no
<b>Space cooling</b>	Overall specif. space cooling demand	66% of 4,75 kBTU/(ft²·yr)	yes
	Cooling load	-	-
	Frequency of overheating (> 77 °F)	-	-
<b>Primary energy</b>	Heating, cooling, dehumidification, DHW, auxiliary electricity, lighting, electrical appliances	158% of 38,0 kBTU/(ft²·yr)	no
	DHW, space heating and auxiliary electricity	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	-	-
<b>Airtightness</b>	Pressurization test result n <sub>50</sub>	0,6 1/h	yes

\* empty field: data missing; '!': no requirement

Passive House?	no
----------------	----

<p>We confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this application.</p>	<p>Name: _____</p> <p>Surname: _____</p> <p>Company: _____</p>	<p>PHPP v8.5, IP v2.0</p> <p>Issued on: _____</p> <p>Signature: _____</p>
--	--	---

Şekil B.2 : Referans Bina PHPP yıllık enerji tüketim raporu.



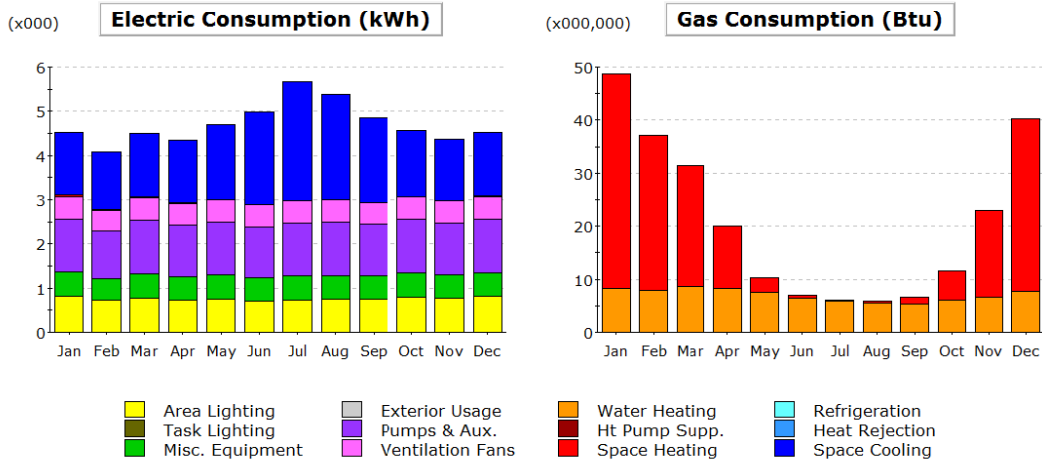
**Electric Consumption (kWh x000)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	1,57	1,42	1,58	1,54	1,75	2,05	2,63	2,35	1,93	1,61	1,52	1,57	21,51
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,22
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	0,54	0,49	0,54	0,52	0,54	0,52	0,54	0,54	0,52	0,54	0,52	0,54	6,34
Pumps & Aux.	1,40	1,26	1,40	1,35	1,40	1,35	1,40	1,40	1,35	1,40	1,35	1,40	16,47
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	0,27	0,24	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	3,13
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	0,66	0,58	0,63	0,59	0,60	0,56	0,58	0,60	0,60	0,65	0,63	0,65	7,35
<b>Total</b>	<b>4,48</b>	<b>4,03</b>	<b>4,44</b>	<b>4,28</b>	<b>4,56</b>	<b>4,75</b>	<b>5,42</b>	<b>5,15</b>	<b>4,67</b>	<b>4,47</b>	<b>4,31</b>	<b>4,46</b>	<b>55,01</b>

**Gas Consumption (Btu x000,000)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	47,83	35,87	29,31	17,49	5,84	1,36	0,67	0,57	1,67	7,48	21,00	38,81	207,90
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	7,93	7,49	8,35	7,94	7,25	6,29	5,74	5,39	5,23	5,91	6,34	7,36	81,21
Vent. Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>55,76</b>	<b>43,37</b>	<b>37,66</b>	<b>25,42</b>	<b>13,09</b>	<b>7,65</b>	<b>6,41</b>	<b>5,96</b>	<b>6,90</b>	<b>13,39</b>	<b>27,34</b>	<b>46,16</b>	<b>289,11</b>

**Şekil B.3 : Asıl Bina e-QUEST yıllık enerji tüketim raporu.**



**Electric Consumption (kWh x000)**

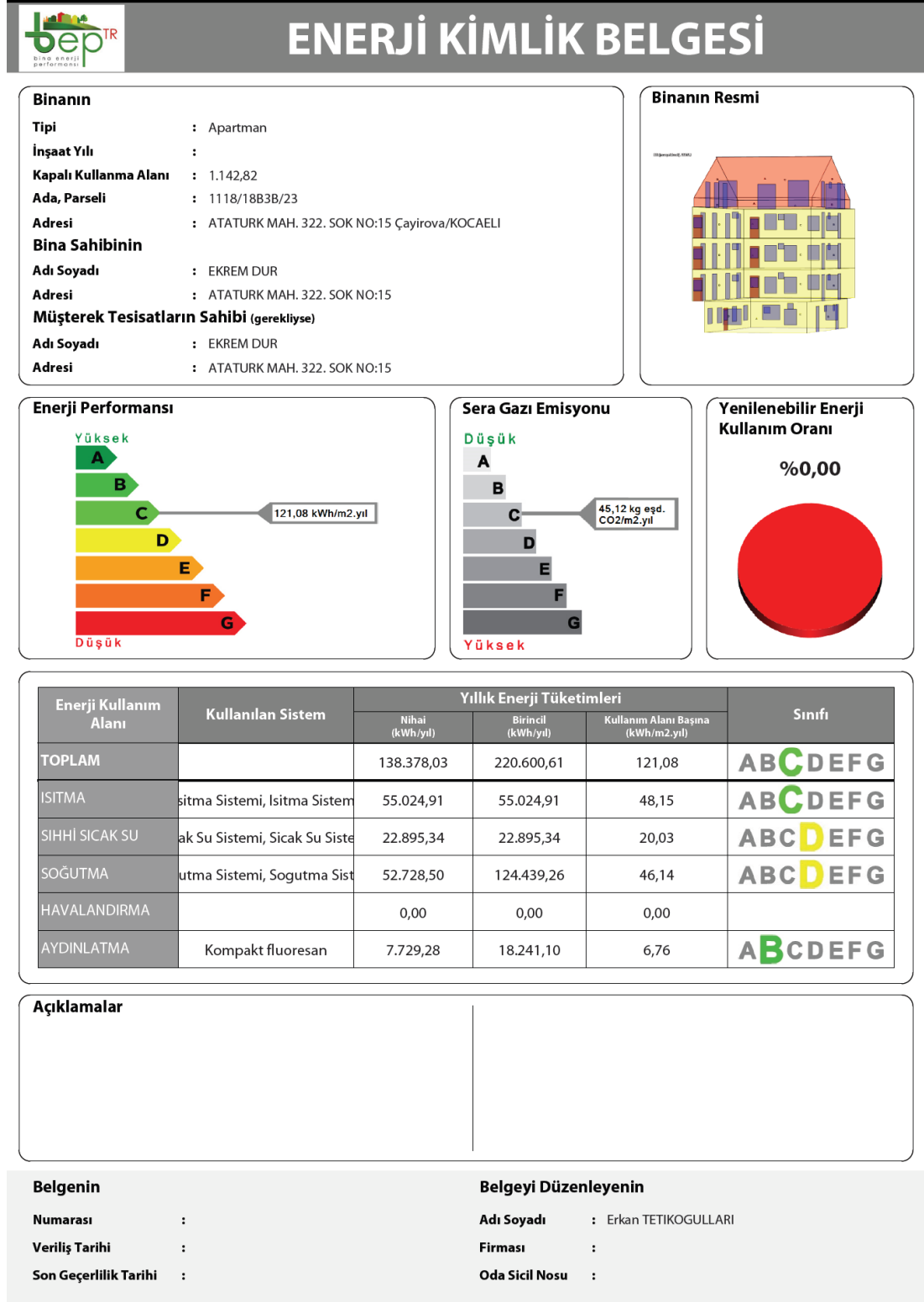
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	1,42	1,28	1,44	1,41	1,69	2,10	2,70	2,38	1,91	1,49	1,37	1,42	20,61
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,15
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	0,51	0,46	0,51	0,49	0,51	0,49	0,51	0,51	0,49	0,51	0,49	0,51	6,00
Pumps & Aux.	1,20	1,09	1,20	1,16	1,20	1,16	1,20	1,20	1,16	1,20	1,16	1,20	14,17
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	0,55	0,49	0,54	0,53	0,55	0,53	0,54	0,54	0,53	0,55	0,53	0,54	6,42
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	0,81	0,72	0,78	0,74	0,75	0,70	0,73	0,74	0,75	0,80	0,78	0,81	9,11
<b>Total</b>	<b>4,52</b>	<b>4,07</b>	<b>4,50</b>	<b>4,34</b>	<b>4,70</b>	<b>4,99</b>	<b>5,68</b>	<b>5,38</b>	<b>4,84</b>	<b>4,56</b>	<b>4,36</b>	<b>4,52</b>	<b>56,46</b>

**Gas Consumption (Btu x000,000)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	40,46	29,25	22,77	11,82	2,76	0,40	0,16	0,34	1,30	5,44	16,39	32,62	163,70
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	8,30	7,84	8,73	8,29	7,53	6,51	5,93	5,55	5,38	6,11	6,60	7,69	84,47
Vent. Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>48,76</b>	<b>37,10</b>	<b>31,50</b>	<b>20,11</b>	<b>10,29</b>	<b>6,91</b>	<b>6,09</b>	<b>5,89</b>	<b>6,68</b>	<b>11,55</b>	<b>22,99</b>	<b>40,30</b>	<b>248,18</b>

**Şekil B.4 : Referans Bina e-QUEST yıllık enerji tüketim raporu.**





Şekil C.1 : BEP-TR bina enerji sertifikası.



# ENERGY STAR® CERTIFIED NEW HOME

**Builder Name:** Gamble Builders  
**Permit Date/Number:** 4 April 2011  
**Home Address:** 1310 L Street,  
Washington DC 20005

**Rating Company:** G Force Testing  
**Rater Identification Number:** 2345678  
**Rating Date:** 6 July 2011  
**Version:** 3.0

## Standard Features of an ENERGY STAR Certified New Home

Your ENERGY STAR certified new home has been designed, constructed, and independently verified to meet rigorous requirements for energy efficiency set by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), including:

### Thermal Enclosure System

A complete thermal enclosure system that includes comprehensive air sealing, quality-installed insulation and high-performing windows to deliver improved comfort and lower utility bills.



**Air Infiltration Test:** 4 ACH50

**Primary Insulation Levels:**  
Ceiling: R30 Floor: R-10  
Wall: R19 Slab: R-6

**Primary Window Efficiency:**  
U-Value: 0.60 SHGC: 0.27

### Water Management System

A comprehensive water management system to protect roofs, walls, and foundations.



Flashing, a drainage plane, and site grading to move water from the roof to the ground and then away from the home.

Water-resistant materials on below-grade walls and underneath slabs to reduce the potential for water entering into the home.

Management of moisture levels in building materials during construction.

### Heating, Cooling, and Ventilation System

A high-efficiency heating, cooling system, and ventilation system that is designed and installed for optimal performance.



**Total Duct Leakage:**  
6 CFM25 per 100 sq. ft.

**Duct Leakage to Outdoors:**  
4 CFM25 per 100 sq. ft.

**Primary Heating (System Type • Fuel Type • Efficiency):**  
Fuel-fired Hydronic Distribution • Natural Gas • 90 AFUE

**Primary Cooling (System Type • Fuel Type • Efficiency):**  
Ground-source Heat Pump • Electric • 14.5 SEER

### Energy Efficient Lighting and Appliances

Energy efficient products to help reduce utility bills, while providing high-quality performance.

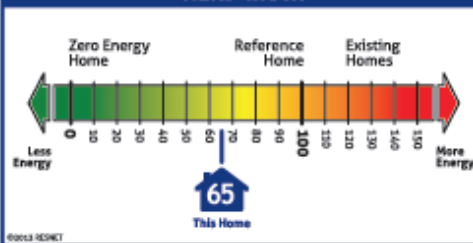


**ENERGY STAR Qualified Lighting:** 75%

**ENERGY STAR Qualified Appliances and Fans:**  
Refrigerators: 1 Dishwashers: 1  
Ceiling Fans: 4 Exhaust Fans: 3

**Primary Water Heater (System Type • Fuel Type • Efficiency):**  
Electric Resistance Heater • Electric • 0.94 EF

### HERS® Index



This certificate provides a summary of the major energy efficiency and other construction features that contribute to this home earning the ENERGY STAR, including its Home Energy Rating System (HERS) score, as determined through independent inspection and verification performed by a trained professional. The Home Energy Rating System is a nationally-recognized uniform measurement of the energy efficiency of homes.

Note that when a home contains multiple performance levels for a particular feature (e.g., window efficiency or insulation levels), the predominant value is shown. Also, homes may be certified to earn the ENERGY STAR using a sampling protocol, whereby one home is randomly selected from a set of homes for representative inspections and testing. In such cases, the features found in each home within the set are intended to meet or exceed the values presented on this certificate. The actual values for your home may differ, but offer equivalent or better performance. This certificate was printed using REMRate™ (Version XX.XX).

Learn more at [www.energystar.gov/homefeatures](http://www.energystar.gov/homefeatures)

Şekil C.2 : ENERGYSTAR bina enerji sertifikası.

## Zertifikat

Das Passivhaus Institut verleiht dem folgenden Gebäude  
das Siegel „Zertifiziertes Passivhaus“:

Passivhaus, Passivstr. 100, D-12345 Passivstadt



Bauherrschaft: ...  
Passivstr. 100, D-12345 Passivstadt  
Architektur: ...  
Passivstr. 101, D-12345 Passivstadt  
Haustechnik: ...  
Passivstr. 102, D-12345 Passivstadt

Die Planung des Gebäudes erfüllt die vom Passivhaus Institut vorgegebenen Kriterien für  
Passivhäuser. Bei sachgemäßer Bauausführung genügt es den folgenden Anforderungen:

- Das Gebäude hat einen rundum ausgezeichneten Wärmeschutz und bauphysikalisch hochwertige Anschlussdetails. Der wohnflächenspezifische Kennwert für die Gebäudeheizung ist begrenzt auf **einen Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder eine Gebäudeheizlast von 10 W/m<sup>2</sup>**
- Die Behaglichkeit bei warmen Außentemperaturen kann durch passive Maßnahmen bzw. mit sehr geringem Energieeinsatz für Kühlung und Entfeuchtung gemäß den standortspezifischen Anforderungen an Passivhäuser gewährleistet werden.
- Die Gebäudehülle besitzt eine gemäß ISO 9972 geprüfte, sehr gute Luftdichtheit, die eine Zugluftfreiheit und einen niedrigen Energieverbrauch ermöglicht. Der Luftwechsel über die Gebäudehülle wird bei 50 Pascal Druckdifferenz begrenzt auf **0,6 je Stunde, bezogen auf das Gebäudeluftvolumen**
- Das Haus verfügt über eine kontrollierte Wohnlüftung mit hochwertigen Filtern, hocheffizienter Wärmerückgewinnung und niedrigem Stromverbrauch. Dadurch werden eine hohe Innenluftqualität und zugleich ein niedriger Energieverbrauch erreicht.
- Der gesamte wohnflächenspezifische, jährliche Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen, Trinkwarmwasser, Hilfsstrom, Haushalts- und Gemeinschaftsstrom beträgt bei Standard-Nutzung nicht mehr als **120 kWh/(m<sup>2</sup>a)**

Das Zertifikat ist nur in Verbindung mit dem Zertifizierungsheft zu verwenden. Hieraus gehen die genauen Kennwerte für dieses Gebäude hervor.

Passivhäuser bieten ganzjährig eine sehr gute Behaglichkeit. Sie können mit geringem Aufwand beheizt bzw. gekühlt werden, z. B. durch Temperierung der Zuluft. Die Gebäudehülle von Passivhäusern ist auch bei kalten Außentemperaturen auf der Innenseite gleichmäßig warm; die Temperaturen der inneren Oberflächen unterscheiden sich kaum von der Raumlufttemperatur. Durch die hohe Dichtheit sind Zugerscheinungen bei normaler Nutzung ausgeschlossen. Die Wohnlüftungsanlage stellt eine gleichbleibend gute Innenluftqualität sicher. Die Energiekosten für die Gewährleistung einer ausgezeichneten Behaglichkeit sind in einem Passivhaus sehr gering. Daher bieten Passivhäuser eine hohe Sicherheit bei künftigen Energiepreiserhöhungen oder Energieverknappungen. Darüber hinaus wird die Umwelt optimal geschützt, da Energieressourcen sehr sparsam eingesetzt und nur geringe Mengen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und von Luftschadstoffen emittiert werden.

ausgestellt:  
Darmstadt, den xx.xx.xxxx

Dr. Wolfgang Feist

Şekil C.3 : PASSIVHAUS bina enerji sertifikası.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Muhammed Fatih KINACI  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1981/Doğuşehir/MALATYA  
**E-posta** : mfatihkinaci@hotmail.com  
**Adres** : Çayırova/KOCAELİ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006, Eciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölüm 3.cülüğü
- Çayırova Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Makine mühendisi, 2007-  
devam ediyor. Çayırova/KOCAELİ

