



T.C.
NECMETTİN ERBAKANÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YAKLAŞIK SIFIR ENERJİLİ BİR BİNA
TASARIMI İÇİN ENERJİ PERFORMANSI
MODELLEMESİ ve SİMÜLASYONU**

Sarah Waleed Abdulsattar SAFFAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz -2022

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAKLAŞIK SIFIR ENERJİLİ BİR BİNA TASARIMI İÇİN ENERJİ PERFORMANSI MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU

Sarah Waleed Abdulsattar SAFFAR

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

2022, 70 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Havva DEMİRPOLAT

Son yıllarda Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina kavramı, bina enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Yaklaşık Sıfır enerjili bina hedefine ulaşmak için bina sistemleri ve tasarım stratejileri yerel iklim koşullarına bağlı olarak entegre ve optimize edilmelidir. Bu tez çalışmasında, yerel mimari şartlarda alışılagelmiş duvar bileşenleri ve sıradan çift camlı 100 m² müstakil bir evin enerji performansının, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) haline getirilmesi için teorik ve nümerik analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı sunulmuştur. Enerji performansı kapsamında sadece ısıtma-soğutma ve aydınlatma yükleri dikkate alınmıştır. Isıtma-soğutma yükleri olarak iki farklı iklim bölgesi seçilmiştir ki bunlar: soğuk ve sıcak iklim bölgesi olarak sırayla Konya ve Kerkük seçilmiştir. Bu şehirlere ait meteorolojik veriler DESIGN BUILDER programı kütüphanesinden son beş yılı en iyi temsil eden 2021 yılı değerleri esas alınmıştır. Isıtma-soğutma yüklerinde önemli ölçüde tasarruf sağlayacak, bina kabuğu bileşenlerinde (dış duvar, pencere, döşeme ve tavan) yapılacak yalıtım ve iyileştirmeler ile binanın enerji talebini azaltmak üzere farklı çözüm alternatifleri sunulmuştur. Çalışmanın temel hedefi yaklaşık sıfır enerjili binalar için tanımlanmış standartlarda belirtilen en yüksek ısı geçirgenlik katsayıları (U-değeri) ve azami yıllık birincil enerji tüketimi 44 kWh/m²-yıl değerlerinin altına düşürebilmektir. Sonuç olarak bina kabuğunda yapılan iyileştirmeler ile Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina standartlarında öngörülen hedeflere ulaşmak için yapılması gereken yatırım ile elde edilecek enerji tasarruf miktarları ve yapılan yatırımın geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina, Isı yalıtımı, Design Builder.

ABSTRACT

MS THESIS

ENERGY PERFORMANCE MODELING and SIMULATION to DESIGN a NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

Sarah Waleed Abdulsattar SAFFAR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN ENERGY SYSTEM ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

2022, 70 Pages

Jury

Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Dr. Havva DEMİRPOLAT

In recent years, the concept of nearly zero energy buildings (NZEBs) has emerged as a viable option to improve building energy efficiency and reduce energy consumption. To achieve the NZEB goal, building systems and design strategies must be integrated and optimized based on local climatic conditions. In this study, theoretical and numerical analyzes have been made to transform the energy performance of a 100 m² single-family home in local architectural conditions by conventional wall components and ordinary double glazing into a Near Zero Energy Building (NZEB). Consequently, the presented results are given comparatively. Within the scope of energy performance, only heating-cooling and lighting loads are considered. Two different climatic zones were chosen as heating-cooling loads, which are respectively Konya and Kirkuk as cold and hot climatic zones. From the DESIGN BUILDER program library the meteorological data of these cities are based on the values of the year 2021, which best represents the last five years. Various solution alternatives have been presented to reduce the energy demand of the building, with insulation and improvements to be made in the building envelope components (external wall, window, floor and ceiling) that will provide significant savings in heating-cooling loads. The main objective of the study is to reduce the highest heat transmission coefficients (U-value) and maximum annual primary energy consumption below 44 kWh/m²-year values specified in the defined standards for nearly zero-energy buildings. As a result, with the improvements made in the building envelope, in order to reach the targets envisaged in the Near Zero Energy Building standards the amount of energy savings and the payback periods have been determined to be achieved with the investment to be made.

Keywords: Nearly zero energy building, Thermal insulation, Design Builder.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez sürecimde danışmanlığımı yapan değerli hocam Prof. Dr. Ahmet SAMANCI' ya teşekkürlerimi sunarım. Aldığım tüm kararlarımda yanımda olan, sevgisini, inancını ve desteğini esirgemeyen evladı olduğum için gurur duyduğum annem ve babam Viyen ve Waleed KAZANCI 'ya, beni sürekli motive eden sevgili kardeşlerim Afnen ve İbrahim KAZANCI 'ya, umutsuzluğa kapıldığımda her zaman umut ışığı olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sarah Waleed Abdulsattar SAFFAR

KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi.....	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN TANIMI	9
3.1. Optimum Maliyet Enerji Performansı.....	11
3.2. Enerji Verimliliği Önlemleri (EEMs).....	13
3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları (RESs).....	14
3.4. NZEB Tasarım Stratejileri.....	15
3.4.1. Bina Kabuğu	17
3.4.2. Pencereler / Camlar	17
3.4.3. Duvarlar / Çatılar / Zeminler	19
3.5. Bina Enerji Performansı Simülasyonu ve Analiz Programları.....	21
4. MATERYAL ve METOD	24
4.1. Materyal.....	24
4.2. Metod.....	27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	29
5.1. Binanın Modellenmesive Genel Bilgileri	29
5.2. İklim Bölgeleri.....	31
5.2.1. Soğuk İklim Bölgesi (Konya)	31
5.2.2. Sıcak İklim Bölgesi (Kerkük).....	32
5.3. Bina Kabuğu Bilgileri	33
5.4. Binanın Enerji Tüketim Değerleri.....	35
5.5. Binanın NZEB Durumuna Yönelik Yapılan Değişim Sonuçları	38
5.5.1. Isı Yalıtım Senaryoları.....	38
5.5.1.1. Maliyet Analizi ve Enerji Tasarrufu	42
5.5.2. Cam Senaryoları.....	50
5.5.3. Aydınlatma Sisteminin Değişimi.....	53
5.5.3.1. Enerji Tasarrufu Analizi.....	56
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER ve KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEDG	Gelişmiş Enerji Tasarımı Klavuzu
ASHRAE	Amerika Isıtma ve Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
BLC	Bina Yaşam Döngüsü
CDD	Soğutma Derece-Gün Sayısı
DOE	ABD Enerji Bakanlığı
HDD	Isıtma Derece-Gün Sayısı
COP	Soğutma Performans Katsayısı
C_A	İlk Yıllık Yatırım Maliyeti
CO ₂	Karbondioksit
DHW	Kullanım Sıcak Suyu
E_C	Yıllık Enerji Maliyeti
E_t	Yılda Harcanan Toplam Enerji
E_S	Enerji Tasarrufu
ECMs	Enerji Tasarrufu Önlemleri
EEMs	Enerji Verimliliği Önlemleri
EU	Avrupa Birliği
EPBD	Binaların Enerji Performansı Direktifi
EPI	Enerji Performans İndeksi
GHG	Sera Gazı
HTC	Isı Transfer Katsayıları
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
I_A	Toplam İlk Yatırım Maliyeti
IAQ	İç Hava Kalitesi
IEQ	İç Ortam Kalitesi
IMP	Irak Planlama Bakanlığı
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
LED	Light Emotion Diode
LCC	Yaşam Maliyeti Analizi
N	Toplam Lamba Sayısı
NZEB	Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina

O_H	Çalışma Saati
PV	Fotovoltaik
RES	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
SHGC	Güneş Isısı Kazanç Katsayısı
T_v	Görünür İletimi
U	Toplam Isı Transfer Katsayısı
W	Tüketilen Güç
WWR	Duvar-Pencere Oranı

1. GİRİŞ

Bina enerji performansı; nihai enerji tüketimi/talebi, birincil enerji tüketimi/talebi, enerji maliyetleri, CO₂ emisyonları vb. olarak ifade edilebilir ve hepsi ısıtma, soğutma, elektrik, kullanım sıcak suyu, aydınlatmanın ve diğer herhangi bir enerji tüketen aktivite yıllık/mevsimselin toplamıdır. Bina enerji verimliliği ise birçok parametreye bağlıdır. Konum, yön, iklim gibi alanla ilgili, yapı tasarımıyla ilgili 'biçim, yüzey/hacim oranı, plan şeması, kullanılan malzemeler, mekanik sistemler, yenilenebilir enerji ve dolulukla' ilgili kullanım çizelgeleri ve alışkanlık parametreleri gibi parametreler vardır. Tüm bu parametreler, bina enerji verimliliğini diğerleriyle çelişecek şekilde etkiler. Bu nedenle, yüksek enerji verimliliği, aynı anda yüksek enerji performansı anlamına gelen nihai/birincil enerji tüketimleri, enerji maliyetleri vb. gibi daha düşük toplam değerlere ulaşmak için tüm bu parametrelerin optimizasyonunu gerektirir. Binalar tarafından tüketilen enerji, toplam tüketimin büyük bir kısmını, genellikle %30 - %40'ını oluşturmaktadır.

Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB- Nearly Zero Energy Building) tasarım stratejisi; konum, iklim, maliyetler, mevcut kaynaklar ve malzemeler dâhil olmak üzere faktörlerin karmaşık etkileşimine bağlıdır. Ayrıca, enerji kullanımını önemli ölçüde azaltmak ve yenilenebilir enerjinin toplam payını artırmak için umut verici bir potansiyele sahiptir. NZEB, referans standart binalara karşı enerji talebini mümkün olduğunca sıfıra indirmeyi ve binalarda minimum enerji performansı gereksinimlerinin optimum maliyet seviyelerinin oluşturulmasını hedeflemektedir. Enerji tasarrufu çabalarının önemi ile ilgili endişeler, dünya nüfusu artışının artan anlayışın ve mevcut kaynak tükenme faaliyetlerinin büyük çevresel etkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Bisegna, 2018).

Yakın tarihli Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) raporuna göre; küresel olarak, bina toplam nihai enerji kullanımının yüzde 32'sini (117 EJ'ye eşit) ve küresel elektrik talebinin yüzde 51'ini oluşturuyor. Öte yandan, kentleşen ülkelerde ısıtma ve soğutmaya yönelik enerji talebinin 2050 yılında konut ve ticari binalar için 2010 seviyelerinin üzerinde küresel olarak sırasıyla %179 ve %183 oranında artmasının öngörüldüğünü göstermiştir.

İnşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin 1/3'ünden fazlasını oluşturmaktadır. Binaların uzun süreli enerji kullanımını üzerinde etkisi vardır. Şimdiye kadar görüldüğü gibi, inşaat sektörü Avrupa'da nihai enerji kullanımının %40'ından ve CO₂ emisyonlarının %36'sından sorumludur; bu, ekolojiye etkisini en aza indirmek ve enerji yeterliliğini sağlamak için büyük çaba ile yenileme ve yapılı çevrenin iyileştirilmesini gerektiren bir bulgudur.

2013 tarihinde bina ısı yalıtımını kurallarını belirleyen Türk Standardı TS 825, yeni inşa edilecek veya mevcut binanın en yüksek U- değerlerini kapsamıştır. Binalarda hesaplanan ısıtma enerji ihtiyaç kuralları Türkiye'nin kurak ve sıcak yazlarla karakterize edilen güneydoğusu ile ılıman iklime sahip kuzey ve batısı için ısıtma derece günlerine göre dört derecelik gün bölgelerini dikkate alınarak güncellenmiştir. Binalarda, bina kabuğunun yalıtılmaması nedeniyle iç mekân iklim konforu sağlanmadığından çok fazla enerji harcamaktadır. Irak'ın yapı ruhsatlarında, İskân ve İnşaat Bakanlığı ve Irak Planlama Bakanlığı tarafından diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi yıllık enerji kullanımına odaklanan bir düzenleme bulunmamaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, iki farklı iklim bölgesinde örnek bir müstakil bina ele alınarak soğuk iklim bölgesi için Türkiye'nin Konya şehri ve sıcak iklim bölge çalışmasında Irak'ın Kerkük şehri seçilmiştir. Örnek alınan bina Türkiye standardı TS825 ısı transfer değeri ile değişik olduğu görülmüştür. Irak'taki binalar varsayılan standartlara göre inşa edilmediğinden yapı elemanları için Irak'ın ısı transferi (U-değeri) standartları güncellenmemiştir. Bu nedenle, çalışmamızda yaklaşık sıfır enerjili bina hedef değerini sağlayabilmek için Avrupa ve ABD standart ısı yalıtım değerleri esas alınmıştır. Binanın birincil enerji tüketimi, aylık ve yıllık ısıtma/soğutma tüketim miktarları simüle edilerek yaklaşık sıfır enerjili binaya getirilmesi hedeflenmektedir. Isı yalıtımı uygulanarak soğutma ve ısıtma yüklerinin ve iklim koşulları dikkate alınarak aydınlatma, pencere ve cam ısı oranlarının azaltılması amacıyla istenen NZEB stardart U-değeri ve düşük ısı kaybı sağlayan yalıtım malzemeleri incelenerek enerji tasarrufu hesaplanmıştır. Son olarak iki bölgenin elde edilen analiz sonuçları binanın birincil enerji tüketim miktarı ile karşılaştırılmıştır ve literatüre bakıldığında bu konuyla ilgili kullanılan simülasyon programları ve yalıtım malzemeleri hem Türkiye'de hem de uluslararası çalışmalarda incelenerek mukayese edilmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Binalarda enerji üretimindeki istikrarsızlık ve yetersiz enerji arzı nedeniyle gerçek verilerin toplanması zor olduğundan, çalışma gerçek durumu değerlendirmek için halihazırda yazılım programı kullanılarak simülasyon yaklaşımına dayandırılmıştır. İki farklı iklim bölgesi için tasarım edilerek aynı binanın bulunduğu farklı koşullara göre yaklaşık sıfır enerjili bina olması için uygulanan değişimler ve sunulan çözümler aynı olmaması nedeniyle, bu çalışmada iklimsel etkene önem verilmiştir. Oluşturulan değişme işlemler, bina verimliliğini artırmak içindir ve sadece Türkiye ve Irak binalarına yönelik enerji talebine ve enerji maliyetine daha az bedel ödemek için değildir. Yanı sıra, küresel ısınmaya olan etkiyi azaltmak ve çevrenin kirlenmesini, hava kalitesinin bozulmasını, karbondioksit sera gazı salınımının havadaki kirlilik oranlarının insan sağlığına olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak bu çalışmada önemi vurgulanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu literatür araştırmasında, yaklaşık sıfır enerjili binaların tasarımı ile ilgili olarak kullanılan parametreler, farklı iklimler için yapılan araştırmalar ve enerji tasarrufu yapılan çalışmalara ilişkin kaynaklar incelenmiştir.

Hasan Yıldırım (2020), tez çalışmasında Design Builder (DB) vasıtasıyla Malatya'da mevcut kamu binasının modülasyon ve EnergyPlus programı kullanarak yaklaşık sıfır enerjili bina haline getirmiştir. Bina kabuğu için uygulanan yalıtım malzemesi olarak farklı kalınlıkta (XPS, EPS, cam yünü ve taş yünü) seçilmiştir. Ardından, düşük emisyonlu çift ve üçlü cam türleri ile farklı ara boşluk gaz tipi kullanılmıştır. Aydınlatma sisteminde LED ampuller ile değiştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynağı için PV güneş paneli ile toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Yapılan tüm değişimler sonucunda binanın birincil enerji tüketimi 127 kWh/m²-yıl düşürerek yaklaşık %26 tasarruf sağlanmıştır.

Khalid Alaloosi (2020), yüksek lisans çalışmasında Design Builder (DB) programı kullanılarak Ankara'daki bir fabrika 1862 m² alana ve 9310.4 m² büyüklüğünde binaya ilişkin toplam enerji tüketimi ve CO₂ tüketimini hesaplamasında 11 farklı HVAC soğutma ve ısıtma yükü bilgisi program tarafından belirlenmiş ve dış duvar, çatı, döşeme ve pencereler için yapı izolasyonu malzemesi olarak cam yünü belirlenmiştir. Teknik, çevresel ve ekonomik faktörlere önem verilerek endüstriyel binalar (Su Kaynaklı Isı Pompaları) tercih edilmiş ve en iyi alternatif olarak tespit edilmiştir.

Sinem Canlı (2019), çalışmasında Design Builder (DB) aracıyla mevcut bir okul binasını pasif okul kriterlerine getirmek için bina tasarımı yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar, yıllık ısıtma ve birincil enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır ve son olarak binanın pasif duruma dönüşmesi için farklı alternatifler oluşturularak yapılan iyileştirmelerin sonuçları karşılaştırılarak yıllık ısıtma tüketiminde %80.6 ve yıllık birincil enerji tüketiminde %56.7 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Ece Kalaycıoğlu (2017), doktora çalışmasında Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD- The Energy Performance of Buildings Directive) tarafından belirlenen referans, optimal maliyet ve sifıra yakın enerjili bina ile ilgili Eskişehir'e yakın bir sanal

ilçe alanında 34 konut, 7 ofis ve 1 veri merkezi örnek binası uygulanarak hesaplanmıştır. Binaların geometrik modeli Design Builder (DB) aracıyla yapılmıştır, daha sonra fotovoltaiik (PV) sistemli kojenerasyon, kazan ve chiller üniteleri olmak üzere 8 farklı bölge enerji sistemi alternatifi önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar optimal maliyet seviyeleri birincil enerji tüketiminde yaklaşık %35- 40 iyileşme sağlarken, sifira yakın enerji seviyeleri %50 iyileştirmeden fazlasını sağlar.

Nazanin Moazzen Ferdos (2015), çalışmasında ilköğretim okul binası için enerji tasarruf etkinliği iki farklı iklim bölgesi İstanbul ve Erzurum şehirlerini seçerek, Design Builder ve EnergyPuls program vasıtasıyla referans binanın enerji performansı incelenmiştir. Dış kabuğu, aydınlatma sistemi ve HVAC sistemlerinde uygulanan iyileştirmeler geri ödeme süresi ve optimal maliyetleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığının fiyatları esas alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar İstanbul şehri için birincil enerjideki tüm paketlerin karşılaştırılmasıyla İstanbul bölgesinde minimum geri ödeme süresinin 2 yıldan az olduğunu ve dünya çapında maliyet değişimi %51.2 iken %52.5 tasarruf sağlanmıştır. Ancak, Erzurum ikliminde küresel maliyet değişimi %45.4 iken %46.7 enerji tasarrufu sağlanmıştır ve minimum geri ödeme süresi 2 yıldan az olduğu görülmüştür.

Neşe Ganiç Sağlam (2017), doktora çalışmasında EnergyPlus vasıtasıyla çok katlı mevcut apartmanı yaklaşık sıfır enerjili binaya dönüşmesi için üç farklı iklim bölgesi olarak Antalya ili sıcak iklim bölgesi, İstanbul ili ılımlı nemli iklim bölgesi ve Erzurum ili soğuk iklim bölgesini seçmiştir. Pencere açıklıklarının doğal havalandırmasından yararlanılarak önerdiği iyileştirme ile soğutma yüklerini azaltarak binanın birincil enerji tüketimi hesaplanmış ve %80 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Burcu Sağlam (2015), tez çalışmasında EnergyPuls analiz programı kullanarak konut binayı yaklaşık sıfır enerjili bina olabilmesi için iki farklı iklim bölgesi olarak İzmir şehri sıcak iklim bölgesi ve Berlin şehri soğuk iklim bölgesi seçilmiştir. Bina dış kabuğu, döşeme ve çatı için yalıtım kalınlığını arttırarak (EPS ile XPS) malzemeleri seçilmiştir. Ardından, pencere boyutlarının ve yönlerinin alternatif senaryoları sunulmuştur ve üçlü ara boşluk argon gazı seçilmiştir. HAVC için VFE ve Fan coil farklı iki sistem seçeneği sunulmuş yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır. PVsyst vasıtasıyla yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş panelleri iki farklı iklim için elektrik üretmesiyle nihai elde edilen

birincil enerji tüketimi İzmir için 0 kWh/m²-yıl ve Berlin için 59.5 kWh/m²-yıl düşürülmüştür.

Farshid Roudi (2015), tez çalışmasında karbondioksit emisyonlarını en aza indirmeye yönelik en uygun maliyetli tekniğe ve farklı iklim bölgelerinde yaklaşık sıfır enerjili binaya ulaşmak için enerji verimliliğinin bazı tasarım gerekliliklerini hedeflemiştir. Mantıksal yaklaşık sıfır enerjili binanın bileşenleri olarak kabul edilen alternatif enerji kaynağı; güneş PV, yeraltı suyu ısı pompası, pasif güneş tasarım stratejileri, bina kabuğunun yüksek performansı, aydınlatma, güneşliği ve düşük enerji tüketimi gibi stratejiler kullanılmıştır. Buna dayanarak, tüm iklimlerin elektrik üretmek için PV sistemi kullanılmış ve iç mekânlar için iyi bir termal konfor sağlamıştır.

Bhaumik Chanchpara (2019), tez çalışmasında enerji talebini azaltan tasarım stratejileri ve özellikleri kullanarak net sıfır enerjili bina (ZEB) konsepti tanımlanmıştır. Bina kabuğu için malzeme ve ekipman seçiminde farklı stratejiler, elektrik sistemi, mekanik sistem ve bir binadaki yükü analiz etmek için eQuest yazılım tasarım programı kullanılmıştır. Bina çevresinde sürekli bir yalıtım katmanı oluşturmak için duvarlara 1-inç kalınlığında yalıtım ve çatıda 2-inç kalınlığında yalıtım eklenmiştir. Yüksek verimli çatı üstü için güneş fotovoltaik panellerinin yıllık toplam enerji talebini azaltmaya yönelik kullanılmıştır.

Waleed Aldajani (2019), çalışmasında İsviçre’de bir bina kompleksindeki örnek yeni yapı binaların yaklaşık sıfır enerjili bina (NZEB) yenileme potansiyelini araştırarak enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji önlemleri uygulamıştır. Seçilen iyileştirme önlemleri, kanıtlanmış optimum maliyet ve binaları NZEB enerji tüketim seviyelerine getirme potansiyeline dayanmaktadır ve bir dizi araç kullanılarak hesaplanmıştır: PVSOL, EED ve Excel. Sonuçlar, Boverket için belirlenen yenilemenin ekonomik performans, sermaye ve işletme giderlerinin değerindeki artış dikkate alınarak analiz edilmiştir ancak sonuçlar, enerji verimliliğine yönelik yapılan uygulamaların enerji talebini %35 düşürdüğünü göstermiştir; ama karşılık gelen birincil enerji performansı (EPPET) değeri, ofis hizmetli binalar için belirlenen İsveç NZEB hedeflerine ulaşamadığını göstermiştir.

Maria Kapsalaki (2012), doktora tezinde MATLAB geliştirilen araçla uygulandığı algorithmada üç iklim için (Stockholm, Lizbon ve Iraklion) iki örnek tasarım aşamasında olan bir müstakil ev ve bir yüksek binanın ekonomik açıdan verimli NZEB optimal en düşük yaşam döngüsü maliyetlerine sahip tasarım değişkenlerinin kombinasyonunu veya başlangıç maliyeti ile yaşam döngüsü maliyeti arasında iyi bir uzlaşmayı belirlemek için kullanılması amaçlanan bir yazılım aracında uygulanan bu amaç için bir yöntem geliştirmiştir. Binanın enerji talebi ve arzı için on dört ana tasarım değişkeni tanımlanmıştır. Örneği ısı yalıtım, pencere, gölgeleme, camlı alan, aydınlatma, havalandırma ve ısıtma soğutma sistem tipleri seçilmiştir. Binanın enerji talebini ve arzını büyük ölçüde belirleyen on dört ana tasarım değişkeni tanımlanmıştır örneği: ısı yalıtım seviyesi, pencere ve gölgeleme tipi, camlı alan, havalandırma, aydınlatma ve ısıtma soğutma sistemi tipi faktörleri dikkate alınmıştır. Örnek binaların incelemelerinin sonuçları ekonomik olarak verimli ve ekonomik olarak verimsiz bir NZEB arasındaki farkların, hem ilk maliyet açısından hem de yaşam döngüsü maliyeti açısından üç katından fazla olabileceğini göstermiştir.

Salih Najib (2019), yüksek lisans çalışmasında Kerkük'te mevcut bir okulun Revit ve Green Building Studio programlarını kullanarak modellemesini ve binanın enerji tasarrufu hesaplanmıştır. Irak binalarında U-değeri standartlarına dayanarak duvar, döşeme ve pencere oranlarını değiştirerek pasif hale getirilmiştir. Kerkük'te uygulanan güneş panellerini yıllık enerji üretimi ve sistemlerin özellikli üretimi miktarları içinde PV*SOL ve PVsyst yazılım araçlarıyla binanın çatısında fotovoltaik (FV) panelleri simülasyonu yapılmıştır.

Arzu Yılma (2012), tez çalışmasında Konya ve Erzincan illerinden seçilen 10 örnek apartmanın yalıtımsız ve yalıtımlı durumlarında enerji harcaması ve tasarrufu hesaplanmıştır. Binaların fotoğrafları termal kamera ile çekilen binanın dış kabuğunun ısı kayıpları tespit edilmiş ve sonuç olarak kullanılan farklı yalıtım malzemeleri ile binaların toplam ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi karşılaştırılmıştır.

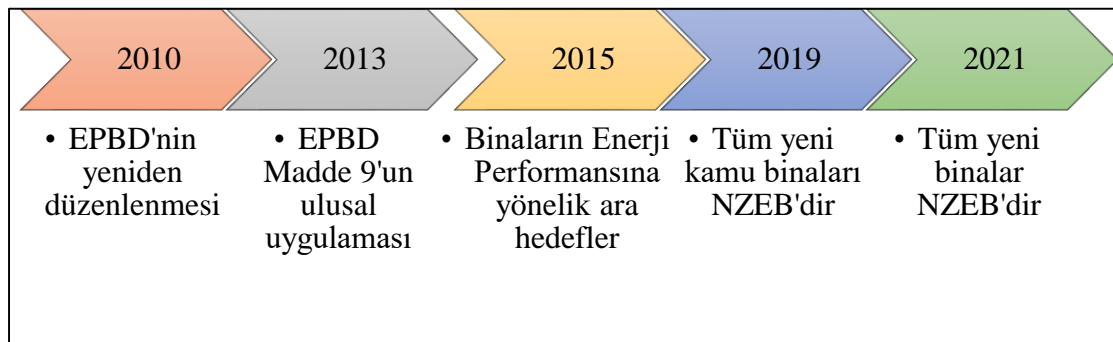
Barış Yılmaz (2009), çalışmasında Carrier HAP aracıyla örnek bir ofis binasının yıllık ısıtma, soğutma, havalandırma, vb. için tüketilen enerji miktarı hesaplanarak binanın saatlik enerji simülasyonu incelenmiştir ve karbondioksit miktarını azaltmak amacıyla farklı alternatifler de verilmiştir. Binalarda uygulanan Kojenerasyon ve

fotovoltaik simülasyon sonucunda ekonomik açıdan olumsuzluklar görülmüştür, bunun yanında önerilen HAVC sisteminin maliyeti arttırmamasıyla, kojenerasyon uygulanmasında karbondioksit miktarı ve enerji tüketimi azalmıştır.

3. YAKLAŞIK SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN TANIMI

Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) modern bir bina hedefi olarak benimsenmesi, enerjiyi azaltmanın kritik anahtarlarından biridir. Son on yılda, Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD) “Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina’yı “çok yüksek enerji performansına sahip bir bina” olarak tanımlamaktadır. Gerekli olan sifıra yakın veya çok düşük miktardaki enerjinin çok önemli ölçüde yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerjiyle karşılanması gerektiği, sahada (on-site) veya yakınında üretilen yenilenebilir enerji kaynakları da buna dâhildir (Elisa, 2013). Binaların Enerji Performansına İlişkin 19 Mayıs 2010 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2010/31/EU sayılı Direktifi (Yeniden Düzenlenen) Şekil 3.1.’de gösterildiği gibi, yaklaşık sıfır enerjili binalara (NZEB’ler) yönelik yönerge madde 9’da görünen yeni yapılara odaklanmıştır.

1. 31 Aralık 2020 itibariyle, tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili bina olarak inşaa edilmesi;
2. 31 Aralık 2018’den sonra, kamu yetkilileri tarafından kullanılan ve sahip olunan yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili bina olması ve buna ek olarak,
3. Bina kategorisine göre...“ulusal, bölgesel veya yerel koşulları yansıtan ve birincil enerji kullanımının yıllık kWh/m²-yıl cinsinden olarak ifade edilmesini ” içermektedir.

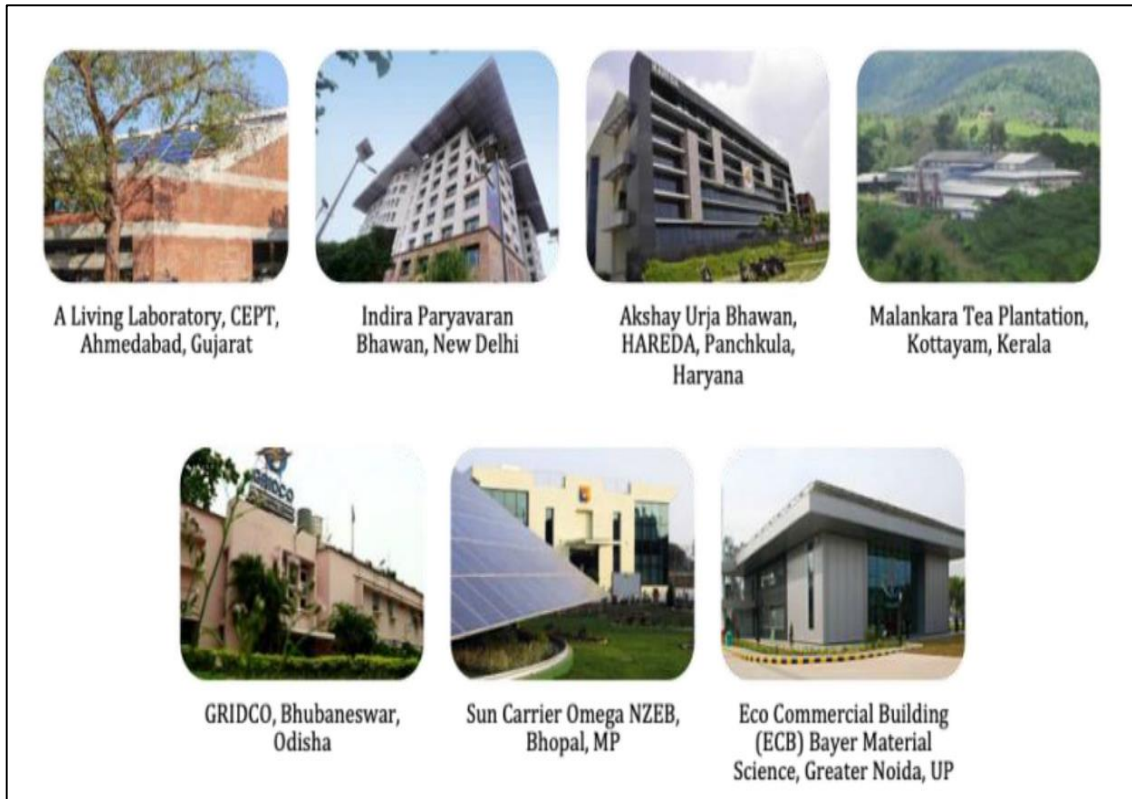


Şekil 3.1. EPBD yeniden düzenlenmesine göre, NZEB'lerin uygulanması için zaman çizelgesi (D'agostino, 2016).

Yaklaşık sıfır enerjili bina iklim ve saha koşullarından etkilenen yapılardır, pasif tasarım sayesinde binanın ısıtma, havalandırma ve aydınlatma taleplerini azaltmak, enerji ekipman geliştirmek ve teknolojik araçlar sayesinde, sistem güvenilirliği müdahaleler ve

yenilenebilir enerjiden tam olarak yararlanır (Wang, 2021). Ayrıca, NZEB'lerin günümüz modern binalarına kıyasla 2- 3 kat daha az enerji kullanması, yüksek kaliteli bir iç ortam atmosferine sahip olması, uzun ömürlü olması, bakımı ve işletiminin kolay olması beklenmektedir. Erken tasarım aşamalarında mimarlar bina performansını etkileyen önemli parametrelere değinilir bu aşamada alınan tasarım kararlarının %20'si daha sonra tüm tasarım kararlarının %80'ini etkiler.

Avrupa ülkelerinde çok sayıda sertifikalı yaklaşık sıfır enerjili bina kavramı ve standardına göre inşa edilmiştir, Şekil 3.2.'de sıcak ve kuru olan Hindistan iklimi 9565 m²'lik bir proje alanı başlangıcı ile 33.777 m²'den fazla öngörülen alana sahip 7'den fazla NZEB projesi sertifikalı ve tamamen kullanılmıştır. Enerji performans indeksi (EPI) bir binanın yıllık tüketilen toplam enerjinin kWh/m²- yıl cinsinden toplam inşa edilmiş alana bölünmesiyle elde edilir. Ayrıca, EPI bir bina enerji verimli olup olmadığının değerlendirilmesi için en basit ve en ilgili gösterge olarak kabul edilir ve bu yapılarda yaklaşık 30 –90 kWh/m²-yıl değerleri arasında sonuçlar alınmıştır (Sudhakar, 2019).



Şekil 3.2. Hindistan'daki yaklaşık sıfır enerjili binalar.

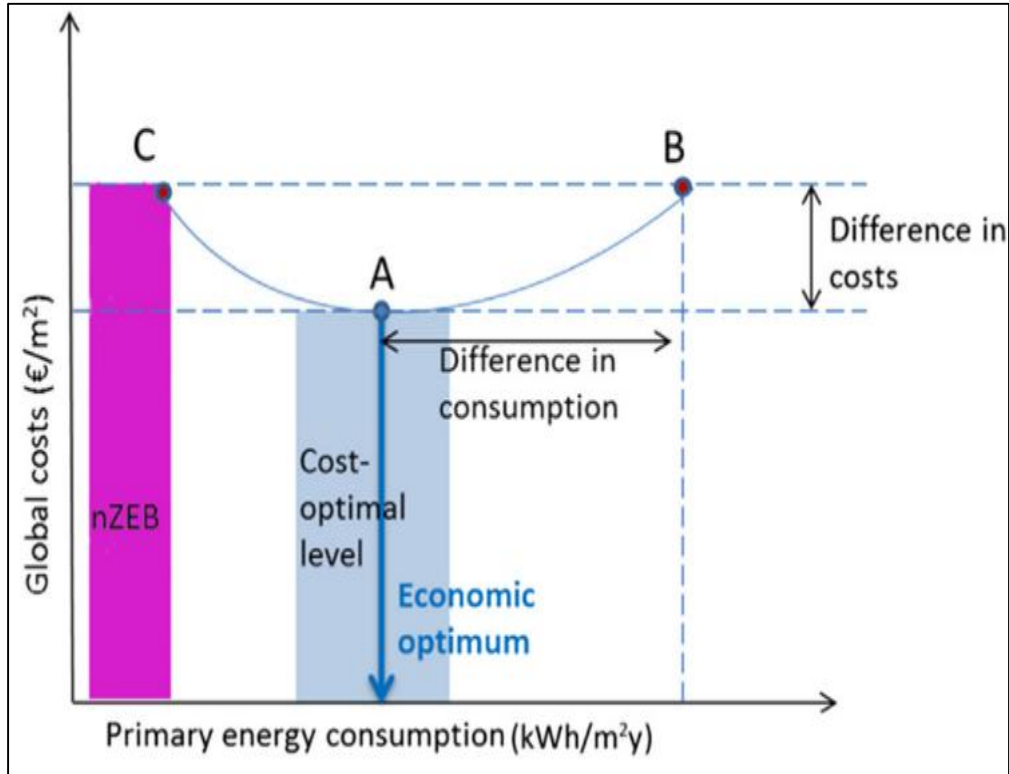
3.1. Optimum Maliyet Enerji Performansı

Optimum Maliyet, yüksek performansı sürdüren en düşük maliyetler olarak ifade edilebilir ve bina ömrü boyunca en önemli maliyet türlerinden biridir. Artan yapı verimliliği sadece küresel iklim değişikliğini değil, aynı zamanda yüksek işletme maliyetlerini ve bunun sonucunda ortaya çıkan ekonomik kaynak bağımlılığını da endişelendiriyor (Bayraktar, 2015). Öte yandan, 2010/31/EU Direktifine göre “optimal maliyet seviyesi, tahmini ekonomik yaşam döngüsü boyunca en düşük maliyete yol açan enerji performans seviyesi anlamına gelir” olarak tanımlanan optimal maliyet getirilmesi ile ilgiliydi. 2021 yılına kadar, maliyet açısından optimum, yaklaşık sıfır enerjili bir bina, 30 kWh/m²-yıl 'dan daha az ısıtma ve soğutma enerjisi sağlayan bina olarak tanımlanacaktır, çok aileli konutların değerinin 78 kWh/m²'in, ofislerin ise 65 kWh/m²'nin altında olması gerekmektedir (Hermelink, 2013).

Optimal maliyet teorisi, enerji performansını artırmak için referans binada dış duvardaki yalıtım kalınlığı, daha verimli aydınlatma armatürleri veya daha verimli kazanlar gibi yapı elemanlarının değiştirilmesi anlamına gelir. EPBD (Madde 5)'e göre, enerji ile ilgili yatırım maliyetleri, onarımlar, işletme maliyetleri ve uygun olduğunda, bertaraf ve bakım maliyetlerinin tümü analize dâhil edilecektir. Ayrıca, iklim koşulları gibi seçilen referans binalar (boyut, şekil ve pencere alanı payı) optimum maliyet sonuçlarında önemli rol oynamaktadır. Referans binalara uygulanan her önlem paketi için, yıllık birincil enerji kullanımı olarak enerji performansı ve yatırım, yenileme, bakım ve uzun vadeli işletme maliyetlerini içeren küresel maliyetler bu adımda hesaplanacaktır.

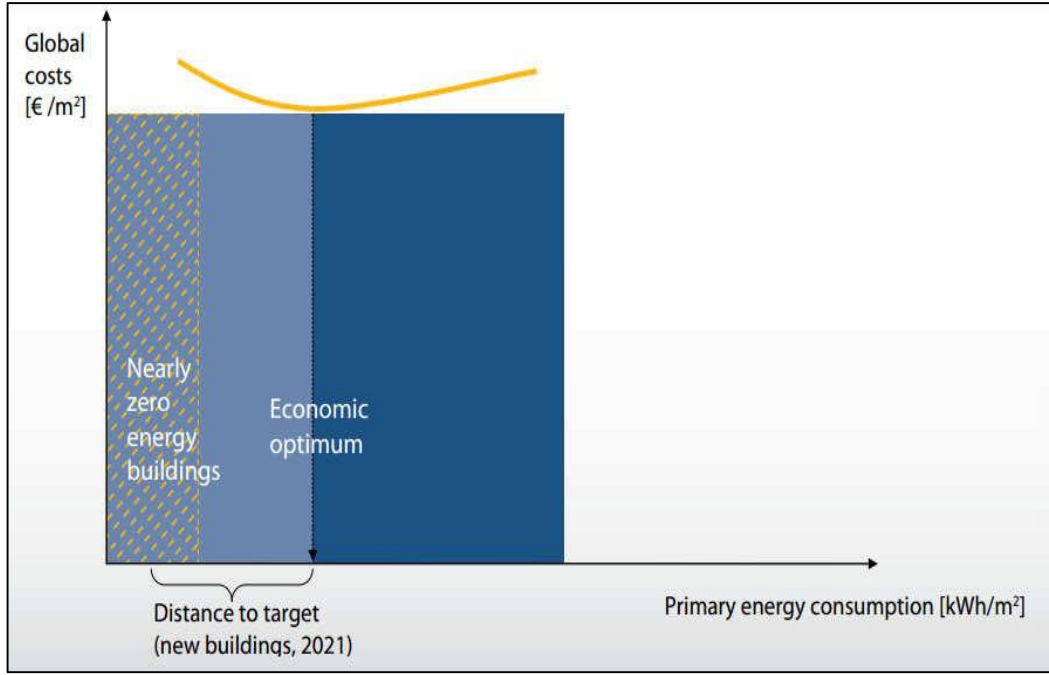
2010/31/EU Direktifine göre en düşük maliyetin küresel maliyete ve yaşam döngüsüne karşılık geldiği yerde üye devletlerin önce değerlendirmeleri sonra binanın tipolojisi üzerine dikkate alınması gerektirir. Sonuç olarak, küresel maliyet ve buna karşılık gelen birincil enerji karşılaştırılarak optimum maliyet düzeyi elde edilir, her ikisi de her ölçü/paket/varyant için hesaplanır. Önlem paketleri, bina yönetimine uygun olması ve yaklaşık sıfır enerjili binaları gerçekleştiren bina kabuğu ve enerji sistemlerindeki en iyi uygulamaları kapsmalıdır. Paketler ayrıca yerel yenilenebilir enerji üretimi için çeşitli seçenekler içerebilir.

Çözümlerin çeşitliliği, bir maliyet eğrisinin türetilbileceği noktalardan oluşan bir “bulut” oluşturacaktır Şekil 3.3.’te eğrinin en alt kısmı, x ekseninde birincil enerji kullanımını [$\text{kWh/m}^2\text{-yıl}$] önlem paketleri için ekonomik optimumu temsil eder. Eğrinin ekonomik optimumu sağındaki kısmı, y ekseninde küresel maliyetleri [€/m^2] tanımlayan her iki açıdan (çevresel ve finansal) düşük performans gösteren çözümleri temsil eder (Hamdy, 2015).



Şekil 3.3. Küresel maliyet eğrisi (A= optimum ekonomik, B= kuvvet ihtiyacı, C= güç gereksinimi ile karşılaştırıldığında maliyet nötr).

Daha iyi enerji veya çevresel performans elde edebilmek için, bazı AB üye devletleri ekonomik optimumdan (eğrinin sol kısmı) daha katı şartlar seçebilirse Şekil 3.4.’te 2021’den itibaren yeni binalar için yaklaşık sıfır enerjili bina hedefinde birincil enerji faktörlerinin azalmasıyla artan enerji maliyetlerinin artması beklenmektedir (Nazanin, 2015).



Şekli 3.4. 2021'de finansal ve çevresel yaklaşık sıfır enerjili binalar ve optimal maliyet arasındaki farklılıklar.

3.2. Enerji Verimliliği Önlemleri (EEMs)

Enerji verimliliği, belirli bir hizmeti gerçekleştirmek için gereken enerjinin süreç için kullanılan birincil enerji miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır (Kreith, 2007). Konut ve sanayi sektörlerindeki enerji verimli gelişmeler, giderek daha fazla gelişmekte ve inşaatla ilgili operasyon enerji kullanımını azaltmakta ve ayrıca daha enerji verimli bina tasarımı ile sürekli artan enerji talebini hafifletmektedir. Gerçekleşen bina enerji verimliliği programları endüstri dinamiklerine ve standart seviyelere dayalıdır.

Üç tür enerji verimliliği çeşitleri vardır: pasif mimari, operasyon yapısı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (RES'ler) güç üretimi. Bunlar üç grupta sınıflandırılabilir:

1. Bina kabuğu; yansıtıcı/yeşil çatılar, ısı yalıtım sistemleri, ısı kütlesi, yüksek performanslı pencereler/camlar (ısı aktarım katsayısı, güneş ısı kazanım katsayısı pencere-duvar oranı dâhil) ve ısı yalıtım sistemleri.
2. İç ısı yükleri; elektrikli aydınlatma ve ekipman /cihazlardan dolayı ve iç mekân tasarım koşulları.

3. Bina hizmetleri sistemleri; HVAC (ısıtma ve havalandırma), elektrik hizmetleri (aydınlatma sistemleri dâhil) ve dikey ulaşım (asansörler ve yürüyen merdivenler), iyi hava sızdırmazlığı ve taze hava ısı geri kazanım sistemleri, DHW (kullanım sıcak suyu) sistemleri (Li, 2013)(Deng, 2014).

3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları (RES)

Yenilenebilir enerji, geleneksel enerji kaynaklarının kullanımını en aza indirirken ve emisyon sorunlarını azaltırken, binalarda minimum enerji gereksinimlerine ulaşmayı amaçlayan yaklaşık sıfır enerji konseptinde önemli bir rol oynamaktadır. 2010/31/EU direktifinin son EPBD yeniden düzenleme tanımlarını dikkate alan gereken yaklaşık sıfır veya çok düşük miktarda enerji, yerinde veya yakınında üretilen yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji de dâhil olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan gelen enerji ile çok önemli ölçüde karşılanmalıdır (Liu,2019). NZEB, bir binanın enerji kullanımı ile yenilenebilir enerji sistemlerinin yarattığı enerji arasındaki dengeyi ifade eden bir kavramdır. Güneş, jeotermal ve rüzgâr enerjisi gibi yapı endüstrisinde yenilenebilir enerji kullanımının coğrafi dağılımından büyük ölçüde etkilendirir.

Türkiye 26° – 45° doğu boylamları ve 36° – 42° kuzey enlemleri arasında yer almaktadır, bu nedenle yenilenebilir kaynaklardan yüksek oranda yararlanma olasılığı vardır. Türkiye; rüzgâr, hidro, biokütle, güneş ve jeotermal gibi farklı alternatif enerji kaynaklarından yararlanma potansiyeline sahiptir. Bu kaynaklar, Türkiye'de artan enerji sorununun çözümünde kilit faktör olarak gösterilmektedir. Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi pazarında diğer bazı Avrupa ülkelerine kıyasla seçkin bir konuma sahiptir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının her türlüünü kullanmaya isteklidir. Türkiye'nin büyük ve maliyetli ithal ettiği geleneksel kaynakların kullanımını sınırlandırarak ve yakıtın elektrik enerjisine dönüştürülmesinden kaynaklanan emisyonları azaltarak 2030 yılına kadar ulaşılması gereken bir plan ortaya koydu, Tablo 3.1.'de elektrik üretimi için yenilenebilir enerji hedeflerini göstermektedir (Barış, 2009).

Tablo 3.1. Türkiye'nin MW cinsinden elektrik üretimi için yenilenebilir enerji hedefleri.

Enerji Kaynağı	2017	2019	2023	2030
Biokütle	27.700	32.000	1000	1000
Rüzgâr	9500	10.000	5000	20.000
Jeotermal	420	700	1000	1000
Güneş	540	3000	20.000	5000
Hidro	1800	700	34.000	34.000

Irak'ın coğrafi konumu, çöl iklimine sahiptir. Ülkenin çoğu yerinde iklim koşullarını büyük ölçüde belirlemiştir. Çok kuru, kışın soğuk ve yazın çok sıcaktır. Kış mevsiminde çok az yağmur yağar. Irak'ın konumunun güneş kuşağı ülkelerine yakınlığı, yüksek yoğunlukta radyasyon almasını sağlar. Mükemmel bir şekilde elektrik üretmek ve güneş santrallerini çalıştırmak için yeterlidir. Irak ayrıca ülkenin değişken bölgelerinde elektrik üretmek için diğer yenilenebilir enerji türlerinin kullanılmasını mümkün kılan bir dizi özelliğe sahiptir.

3.4. NZEB Tasarım Stratejileri

Bina enerji tüketimi, küresel enerji gereksinimlerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bina uygun şekilde tasarlanırsa, inşa edilirse ve işletilirse binada önemli enerji tasarrufları sağlanabilir. Enerji ihtiyaçlarını en aza indirmek için enerji verimli teknolojileri, etkin şebeke entegrasyonu tüketim ve üretim arasında uygun dengeyi sağlamak için mevcut yenilenebilir enerji kaynakları içerir. Aynı zamanda, yüksek işletme maliyetlerini ve buna bağlı olarak ekonomik kaynak bağımlılığını geliştirir.

Böylece, NZEB tasarımı (pasif) binanın mimarisi optimize edecek, bina enerji tüketimini azaltmak için aktif yapıların enerji verimliliğini artıracak ve nihayetinde kalan enerji ihtiyaçlarını karşılayarak yenilenebilir enerji üretimini içerecektir. Bu nedenle, bina enerji verimliliği için tasarlamak, bina sistemleri tarafından tamamlanan bina kabuğu ile ayrılan dış ortam ve iç koşullar arasındaki karmaşık etkileşimler dikkate alınacaktır (Bayraktar, 2015).

Enerji verimliliği önlemleri, binaların gerçek enerji talebini (ve buna bağlı olarak gerekli enerji arzını) azaltırken, kendi kendini tedarik eden enerji önlemleri, bina enerji faaliyetinin dinamik doğası nedeniyle satın alınan enerji ihtiyacını azaltacak enerji, ekonomi, çevre verimliliği ve kullanıcı konforu gibi tasarım hedeflerindeki sayısız etkili unsurdur. Sürdürülebilir mimari için yüksek performanslı bina tasarım kılavuzunda: site potansiyelini optimize, enerji kullanımını optimize, suyu korumak ve muhafaza, bina alanı ve malzeme kullanımını optimize edilmesi. Ayrıca, İç Ortam Kalitesi (IEQ) geliştirilen işletme ve bakım uygulamalarını optimize edilmesi sonucunda tüm bina tasarımı, yapıyı bir dizi parçadan ziyade bir bütün olarak ele alır ve bunun ardından site planlama, bina tasarımı, inşaat, işletme ve bakımın tüm yönlerini etkin bir şekilde içeren çok disiplinli bir yaklaşım gerektirmektedir.

Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE), bir NZEB tanımlarını uygulamak için gelişimine rehberlik edecek standartlar ve rehberlik geliştirme süreci NZEB tasarım kılavuzu geliştirerek ABD ve bazı Arupa ülkelerinin paydaşlarıyla birlikte hazırlandı. ASHRAE'nin gelişmiş enerji tasarımı kılavuzu (Advanced Energy Design Guideline -AEDG) bina tasarımcılarına ve operatörlerine NZEB teknolojileri seçenekleri ve işletim parametreleri hakkında bilgi sağlamayı amaçlamaktadır (Feng, 2019).

Tablo 3.2. ABD ve Avrupa konut ve ticari binalara yönelik NZEB standart hedeflerinin özeti
(Erhorn, 2014) (Radwa, 2020).

NZEB Hedefleri	Konut	Konut Dışı
Dış Duvar U-değeri (W/m ² K)	0.11- 0.29	0.11
Zemin Kat U-değeri (W/m ² K)	0.10- 0.29	0.10
Tavan U değeri (W/m ² K)	0.80- 0.10	0.92
Pencere U-değeri (W/m ² K)	0.13- 1.16	0.15
Hava geçirgenlik oranı (m ³ / m ² saat @50Pa)	1.0- 3.0	1.0- 3.0
Yıllık birincil enerji tüketimi (kWh/m ² -yıl)	44	125 veya en az %60 azalma
Karbonemisyonlarında	10	En az %50 azalma

3.4.1. Bina kabuğu

Bina kabuğu binanın iç kısmından dış ortamı (hava durumu) ayıran şeydir. Değişen dış koşullardan bağımsız olarak iç ortam havasının sıcaklığının belirlenmesinde ve iç ortam sıcaklıklarının kontrol edilmesinde en önemli unsurdur; ayrıca güneş ışığını, dışarıdaki manzaraları ve estetik sunar. Bir evin uzun ömürlülüğü, iç hava kalitesi (IAQ), ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sisteminin boyutu, yapısal mimari ve bakım, diğer faktörlerin yanı sıra, yapımında kullanılan malzemelerden etkilenir. Bina zarfları iki şekilde geliştirilebilir: ısı geçirgenlik katsayısı (U-değerleri) düşürerek ve bunları pasif ısıtma veya soğutma ile birleştirerek. U-değerleri, ısı kazancını/kaybını en aza indirerek binanın enerji kullanımı üzerinde bir etkiye sahiptir. Duvarlar, çatılar ve zeminler için ısı transfer katsayıları (HTC'ler) 0.1 ila 0.2 (W/m² K) arasında değişebilir, ancak daha iyi pencereler U-değerleri 0.7 ila 1.0 (W/m² K) olabilir (Jelle, 2015).

Dış yalıtım, gölgeleme, görünür iletim, güneş ısı kazanc katsayısı (SHGC- Solar Heat Gain Coefficient) ve pencere-duvar oranı (WWR- Window-Wall Ratio), duvar ve çatı ısıtma ve soğutma için enerji tasarrufunda önemli faktörlerdendir, U-değerlerini düşürerek bina enerji verimliliğini artırır. Ayrıca ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler düşük ısı iletkenliğine ve düşük yoğunluğa sahip olup, organik veya inorganik bir yapıya sahiptirler ve blok, levha veya şilte şeklinde sunulurlar.

Hücresel yalıtım, lifli yalıtım ve yansıtıcı yalıtım, bina yalıtım malzemelerinin üç türüdür. Hafif, düşük termal iletkenlik, yüksek gerilim, mükemmel akustik direnç, esneklik ve düşük üretim maliyeti sifıra yakın enerjili binalar için bitkisel elyaf yalıtımı kullanmanın avantajlarındandır.

3.4.2. Pencereler / Camlar

Pencereler, enerji verimli yapılar inşa etmede önemli bir bileşendir. Pencereler genellikle bina kabuğu boyunca iletim kayıplarının %30- 50 'sini oluşturduğundan, konforlu iç mekân koşullarını sağlamak için toplam ısı kazancını/kayıplarını en aza indirerek pencerelerin bina enerji kullanımı üzerindeki etkisini azaltmaya çok dikkat edilmiştir. WWR'yi (pencere / duvar oranı) düşürmek, pencere çerçevesini ve düşük U-değerine sahip olan cam malzemelerden ve dış duvarın pencerelerinden oluşan

bölümünden hesaplanır. Öngörülebilir şekilde, pencere çerçevesi “kabukları” olarak birleştirilen cam elyafı veya vinil, bu yalıtım çerçevelerinin alüminyum, metal pencere çerçeveleri ve masif ahşap çerçevelerden çok daha iyi termal direnç sağlaması nedeniyle yavaş ısı transferi özelliğine sahiptir. Bu kapsamda, pencere camı tek bir sabit optik ve termal özelliğe sahip statik cam ve üç ana özelliğe sahip dinamik cam ile statik veya dinamik olarak sınıflandırılabilir.

Dinamik cam, optik anahtarlama sistemlerini içerir (kromojenik teknolojiler - gaz kromik, vb.) ve ayrıca toplam ısı transfer katsayısı (U- değeri), görünür iletim (TV- Visible Transmission) ve güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC), fotokromik ve elektrokromik, termotropik, sıvı kristal ve asılı parçacıklar (Bahaj, 2008). Bu kapsamda, gelişmiş camlar çok katmanlı camlar, asma filmler, vakumlu camlar, düşük emisyonlu (low-E) kaplamalar, güneş kontrol kaplamaları, akıllı camlar, fotovoltaiik camlar, aerojel camlar, kripton camlar, PCM camlar, gaz dolgulu camlar ve kendi kendini temizleyen cam, renkli cam, yansıtıcı cam ve kendi kendini temizleyen cam, yeni pencere yeniliklerinin örnekleridir (Pikas, 2014).

Şişmecam A.Ş. Türkiye'nin temel cam özellikle (ısıcama®) yalıtım cam ürünleri taleplerini karşılamak üzere kurulmuştur. Bugün gerek Türkiye'de gerekse uluslararası alanda cam sektörünün tüm kilit alanlarında faaliyet göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.5.'te sıradan çift cam kullanılması halinde en düşük U-değeri $2.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 'ken %50 az ısı kaybı sağlanıl ancak düşük emisyonlu üçlü yalıtım cam tiplerin en düşük U-değeri $0.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 'ken %77 ısı kaybının azalmasını göstermektedir.

PERFORMANS DEĞERLERİ									
ISICAM® SİSTEMLERİ		Cam Kombinasyonu	Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)		Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) W/m²K (EN 673)		
			Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Toplam Geçirgenlik %	Gölgeleme Katsayısı	Hava	Argon	
	Sıradan Çift Cam	4+12+4	80	14	75	0,86	2,9	2,7	
		4+16+4					2,7	2,6	
	%50 AZALTIR	S	4+12+4	79	12	55	0,64	1,6	1,3
			4+16+4					1,3	1,1
	%77 AZALTIR	S 3+	4(#)+12+4+12+(#)+4	69	14	48	0,55	0,9	0,7
			4(#)+16+4+16+(#)+4					0,7	0,6
%40 AZALTIR	%50 AZALTIR	K	4+12+4	71	10	44	0,51	1,6	1,3
			4+16+4					1,3	1,1
%48 AZALTIR	%77 AZALTIR	K 3+	4(#)+12+4+12+(#)+4	63	12	39	0,44	0,9	0,7
			4(#)+16+4+16+(#)+4					0,7	0,6

TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda yeni binalar için tavsiye edilen $U_p=2,4W/m^2K$ değerine (pencerelerin cam+doğrama, ısı geçirgenlik katsayısı), Isıcam Sistemleri S Serisi ve K Serisi ürünleriyle ulaşılabilmektedir. Isıcam S 3+ ve K 3+'da kaplama iç ve dış camın iç yüzeyinde yer almaktadır.

Şekil 3.5. Farklı cam yalıtım konfigürasyonlarına bağlı U-değerlerini değişimi.

3.4.3. Duvarlar / Çatılar / Zeminler

Dış duvarlar ve çatılar, binalarda enerji kullanım talebini azaltmada önemli bir etkiye sahiptir. Opak ve şeffaf bileşenlerden oluşan yapı kabuğu, çevre ile dış örtü görevi görerek tüm ısı kazanımları ve ısı kayıpları zarf yoluyla gerçekleşir. Bu bina kabuğu, hava ve ışığın girişini veya çıkışını kontrol etmek için iç ve dış koşullar arasında bir filtre rolünü yerine getirir.

Binalardaki ısı kayıpları yapının mimarisine ve yapı projesinin durumuna göre değişebilmekle birlikte genel olarak çok katlı binaların ısı kayıpları dış duvarların %40'ı, pencerelerin %30'u, çatının %7'si, bodrum döşemesinin %6'sı ve %17'si hava kaçaklarından kaynaklanmaktadır. Tek katlı dış duvarı binanın ısı kaybı %25'i, pencerelerin %20'si, çatının %22'si, bodrum döşemesinin %20'si ve hava kaçaklarının %13'ü olarak hesaplanmaktadır (Basarir, 2012).

Bina kabuğundan ısı transfer oranı düşürülmesinin iki yolu vardır. Birincisi, malzemelerin ısı depolama kapasitesini de göz önünde bulundurarak yapı kabuk bileşenlerinde ısı direnci artırmak veya U değerini azaltmak, aynı zamanda yalıtımın uzunluğunu (veya derinliğini) artırarak veya daha düşük ısı iletkenliği olan yalıtımı seçerek. İkincisi, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkını azaltmaktır; eğer, kullanıcı konforu dikkate alınır sıcaklığı azaltmak daha zor olacaktır. Bina kabuğunun ısı transfer hızının düşürülmesi, mekanik sistemlerin binayı ısıtırken ve soğuturken daha az enerji kullanmasını sağlayacak ve böylece binayı daha enerji verimli hale getirecektir.

Bu kapsamda çeşitli yalıtım malzemeleri Tablo 3.3.'te incelenmiş olup, duvar ve döşeme yalıtımını düzenleyerek ısı kaliteyi, konforu artırabilen ve normalden daha fazla enerji tasarrufu ve depolayabilen malzemeler gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin temel özellikleri

Malzemeler	Yoğunluk ρ (kg m ⁻³)	Isı iletkenlik (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Yangına dayanım sınıflandırır	Organik/İnorganik	Boyutsal Değişim	Su ve Nem Direnci	Ses Yalıtımı	Maliyeti (\$/m ³)
XPS	28-45	0.03- 0.04	E	■	+	●	*	45- 50
EPS	30 -34	0.03- 0.06	E	■	+	○	*	60- 70
PU	30 -35	0.02- 0.03	B - C	■	+	●	*	10- 30
Mineral yünü	30- 100	0.03- 0.04	A1	□	-	○	*	40- 70
Taş yünü	30- 200	0.03- 0.04	A1	□	-	○	**	30- 50
Cam yünü	11- 45	0.03- 0.04	A1-A2	□	-	○	**	10- 40

A1: Hiç yanmaz, A2: Zor yanıcı, B: Hiç alevlenmez, C: Zor alevlenen, E: Hızlı alevlenen, + : Evet, - : Hayır, ■: Organik, □:İnorganik, ● :Yüksek, ○: Orta, ○:Düşük, *: İyi, **: Çok iyi (Hasan, 2019) , (Nazife, 2019), (info.tr@rockwool.com), (www.alibaba.com), (www.insulation-info.co.uk)

3.5. Bina Enerji Performansı Simülasyonu ve Analiz Programları

Bina performans modelleri, bir bina inşa edilmeden önce farklı bina tasarımları, teknolojileri ve kontrol strateji etkilerini değerlendirmek için kullanılacak değerli bir araçtır. Bir modelin yardımıyla, bir projede bina performansını artırabilecek, maliyetleri azaltabilecek ve zamandan tasarruf sağlayabilecek önemli kararların erken alınabilmesidir. Bu bölüm, yaklaşık sıfır enerjili binaların modellenmesi ve simülasyonu için ana araç kullanımları sunuldu. Mimar tarafından, Bina Yaşam Döngüsünün (Building Life Cycle- BLC) inşaat sonrası aşamalarının yanı sıra tasarım sürecindeki enerji bina performansını hesaplamak için araştırılan birçok araç vardır. Bu araç analitik süreçleri, malzeme bileşen verileri, standartları, tasarım bilgilerini uygulama profesyonellerine dâhil etmek ve kullanıma yararlanmak için Tablo 3.4.'te sıkça kullanılan modellenme ve simülasyonu araçların özellikleri sunulmuştur.

Tablo 3.4. Bina enerji performansı programlarının özelliklileri (Harputlugil, 2013).

Simülasyon	ECOTECH	e-QUEST	Design Builder	Esp-r	TRNSYS
Bina modellenmesi, 3d çizim tasarımı	√	√	√	√	√
Isıtma / soğutma sisteminin tasarımı ve simülasyon analizi	√	-	√	√	√
Yenilenebilir enerji kaynaklarının analizi	-	-	√	√	√
Bina kabuğu malzemelerin kütüphanesi	-	-	√	√	-
Güneşlik analizleri ile alternatif çözümlerin mimari modellemesi	√	√	√	√	√
Doğal havalandırma analizine sahip hava akışı simülasyonu (CFD)	-	-	√	√	√
Günlü ışığı faktörü ve aydınlatma seviyeleri için modelleme	-	√	√	√	√
İç mekân hava kalitesi CFD analizinin analizi	-	-	√	√	√

Bu çalışmada, ana ekranı kolay kullanılabilir ve bir çok özeliğe sahip olan Design Builder (DB) çalışmanın amacını kapsadığı için modellenme programı olarak seçilmiştir, programın ara yüzü olan EnergyPlus simülasyon için kullanılmıştır.

Design Builder (DB), kullanımı kolay OpenGL katı modelleyici tarafından kullanır böylece 3 boyutlu uzayda "blok" yapılandırıldığında, gerdirme ve kesme yoluyla yapı modeli üretimi sezgisel olarak gerçekleştirilebilir. Tasarım ve değerlendirme aşamasında her bir bina modeli detaylı olarak belirlenebilmektedir. Bina bileşeninin kalınlığı ve odanın alanı ve hacmi görsel olarak veri şablonları kullanılarak açılır listeden seçim yapılarak genel bina yapısı, bina içi aktiviteler kontrol edilebilir. HVAC, doğal aydınlatma kontrol sistemleri modeli yüklenebilir ve simülasyonu yapılarak aydınlatmanın enerji tasarruf miktarı hesaplanır. Gölgeleme, panjur, asma vizör, yan güneşlik, iç gölgeleme ve perde ayarı ile sağlanabilir. Tüm simülasyon verileri bir yıl, bir ay, bir gün, bir saat ve hatta daha küçük zaman aralıklarına göre görüntülenebilir. İç ortam sıcaklığı, meteorolojik veriler, duvarlardan, çatılardan, havalandırmadan ve diğer bina kabuğundan geçen ısı transferi, ısıtma ve soğutma yüklenerek binanın enerji tüketimi hesaplanır.

Design Builder, en son ASHRAE (Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği) dünya meteorolojik verilerine ve gözlem yeri verilerine (4429 veri seti) sahiptir ve Energy Plus'ın saatlik meteorolojik dosyaları ücretsiz olarak kullanılabilir (Lin Zhang, 2014).

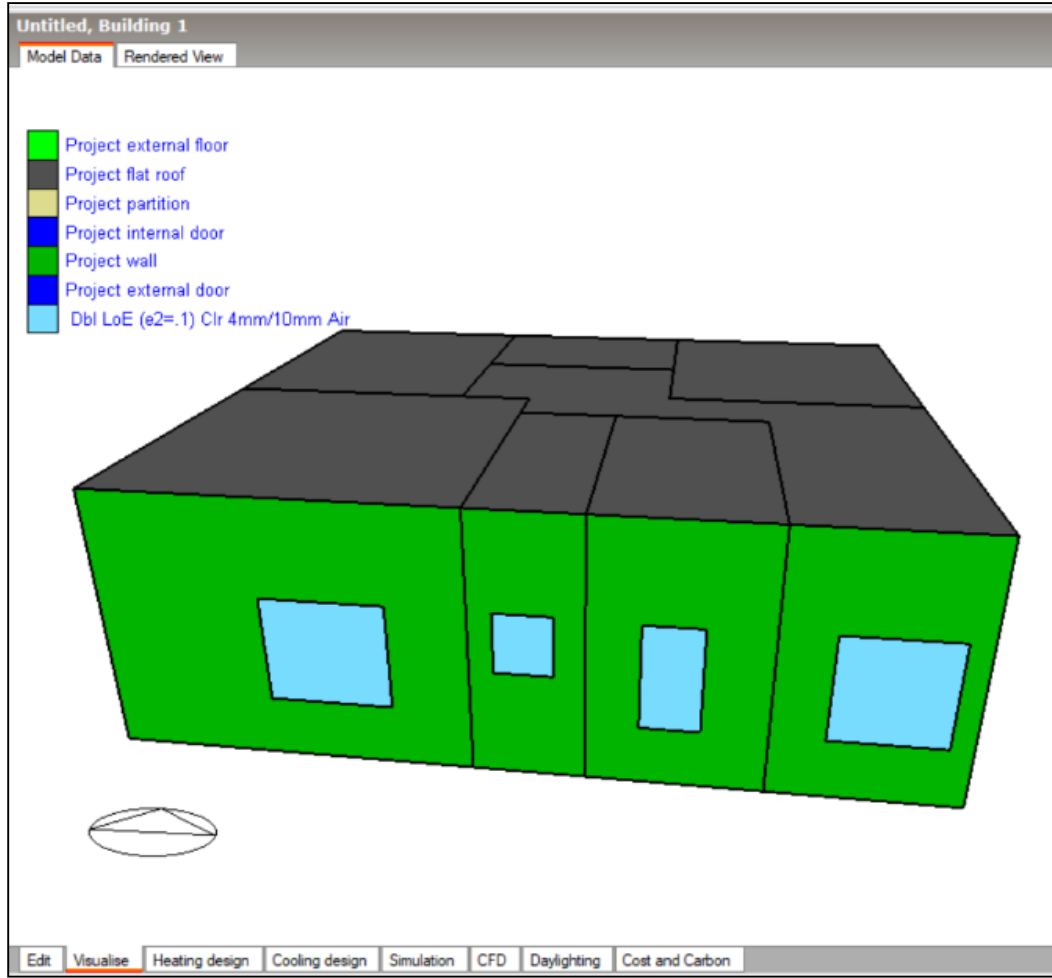
Bu tez çalışmasında, ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından geliştirilen enerji simülatör programlarından biri olan EnergyPlus aracılığıyla bir binanın enerji tüketimi ve termal yükünün dinamik bir simülasyon çalıştırılmasına izin verir. Binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarının simülasyon aracı olarak tanınmakta ve kullanıldığı için bu program seçilmiştir ve çalışmada yazılımın 9.4 versiyonu EnergyPlus kullanılmıştır.

4. MATERYAL ve METOD

Bu tez çalışmasında, yerel mimari şartlarda alışlagelmiş duvar bileşenleri ve sıradan çift camlı 10mx10m=100 m² müstakil bir evin enerji performansının, Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina (NZEB) haline getirilmesi için teorik ve nümerik analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı sunulmuştur. Enerji performansı kapsamında sadece ısıtma-soğutma ve aydınlatma yükleri dikkate alınmıştır. Isıtma-soğutma yükleri olarak iki farklı iklim bölgesi seçilmiştir ki bunlar: soğuk ve sıcak iklim bölgesi olarak sırayla Konya ve Kerkük seçilmiştir. Bu şehirlere ait meteorolojik veriler DESIGN BUILDER programı kütüphanesinden son beş yılı en iyi temsil eden 2021 yılı değerleri esas alınmıştır. Isıtma-soğutma yüklerinde önemli ölçüde tasarruf sağlayacak, bina kabuğu bileşenlerinde (dış duvar, pencere, döşeme ve tavan) yapılacak yalıtım ve iyileştirmeler ile binanın enerji talebini azaltmak üzere farklı çözüm alternatifleri sunulmuştur.

4.1. Materyal

Teorik ve nümerik bir çalışmayı içeren bu tezde, örnek bir müstakil evin Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina'ya dönüşmesi için öncelikle her iki şehirde yalıtımsız bina inşaatında kullanılan standart malzeme ve ölçüler esas alınmıştır. Bina modellemesi, AutoCAD üzerinden 2d boyutunda çizilmiş ardından Design Builder (DB) programında 3d hâline getirilmiştir. Programa her iki şehrin iklim verileri yüklenmiş ve iklim koşulları dikkate alınarak birincil enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Örnek müstakil evin Design Builder çizimi

Başlangıçta binanın dış duvar, çatı ve döşemelerinin yalıtımsız olduğu varsayılmıştır ve program üzerinden U-değeri ile R değeri alınmıştır. U-değeri aşağıdaki gibi hesaplandı;

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Ardından, cam türü olarak normal çift kaplamalı (4+16+4 mm) hava boşluğu olan cam tipi seçilerek pencere ve PVC çerçeve ölçüsü programdan 1m x 2m = 2m² olarak sabit tutulmuştur. Aydınlatma sisteminde flörens ampul (300 lux - 60 Watt) seçilerek çalışma saatleri; yaz ve kış mevsiminde güneşin doğması ve batması dikkate alınarak ayarlanmıştır. HVAC sistemi olarak Kerkük için elektrikli duvar tipi klima (splits), Konya için doğalgazlı kombi seçilmiştir.

Gelecek aşamada programa girilecek veriler, EnergyPlus'la simüle edilmiştir ve binanın yıllık birincil enerji tüketimi hesaplanmıştır. Örnek bina birincil sonuçları NZEB standart değerleri ile karşılaştırıldığında, tüketim miktarlarının yüksek olduğu görülmüş ve olumsuz sonuçlar alınmıştır. Yöntemin bir sonraki aşaması, enerji verimliliğinin artırılması için alternatifler üretmek olmuştur.

Öncelikle iki şehrin fiziksel özelliklerinden dolayı dış duvar, çatı ve döşeme için ülke standarttı belirlenmiştir buna bağlı bina kabuğu bileşenleri Tablo 5.1 ile 5.2'de gösterilmiştir ve NZEB durumunda istenilen U-değerleri. Program hali hazırda alınan U-değerleri teorik hesaplaması yapılarak doğrultusu tespit edilmiştir. Bu hesaplamada denklem 1'ile test edilmiştir. Piyasada kolaylıkla elde edilebilir dört farklı yalıtım malzeme türü (XPS, EPS, cam yünü ve taş yünü) seçilmiştir. 6 farklı kalınlık (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 cm) ile test edilerek istenen NZEB durumu için U-değerleri hesaplanmıştır. Binaya uygulanan her önlem için enerji tüketimindeki potansiyel azalmayı tahmin etmek amacıyla teorik olarak aşağıdaki denklem ısı kayıpları hesaplanmıştır;

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

Konya şehir için ortalama iç hava sıcaklığı 21°C ve dış hava sıcaklığı -12°C ifade edilmiştir. Kerkük şehri için ortalama iç hava sıcaklığı 24°C ve dış hava sıcaklığı 20 °C belirlenmiştir. Bu aşama sonuçlandıktan sonra, NZEB değeri sağlayan malzemelerin maliyeti analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Denklem 2'de hesaplanarak denklem 11'de optimum yalıtım kalındığı elde edildi. Ardından, denklem 12 ve 13'ile enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan parametreler Tablo 5.4 - 5.6'de verilmiştir ve sonuçlar Şekil 5.14-5.17'de gösterilmiştir. Çift ve üçlü camların 16 ara boşluk gazları ile U-değerleri test edilerek teorik yöntemle ayı şekilde yıllık ısı kaybı Q_{yl} denklemle hesaplandı. Son olarak, pencere-duvar alanı %20 program üzerinden sabit tutuldu.

Cam alternatifleri için sıradan çift cam, çift emisyonlu cam ve üçlü düşük emisyonlu cam tipleri kullanılmıştır. Ardından, 16mm ara boşluk test edilerek hava ve argon gazları kullanıldı. ele alınarak nihai sonuçlar 5.18-5.19'de U-değeri, yıllık ısı kaybı ve gaz maliyeti grafik olarak sunulmuştur.

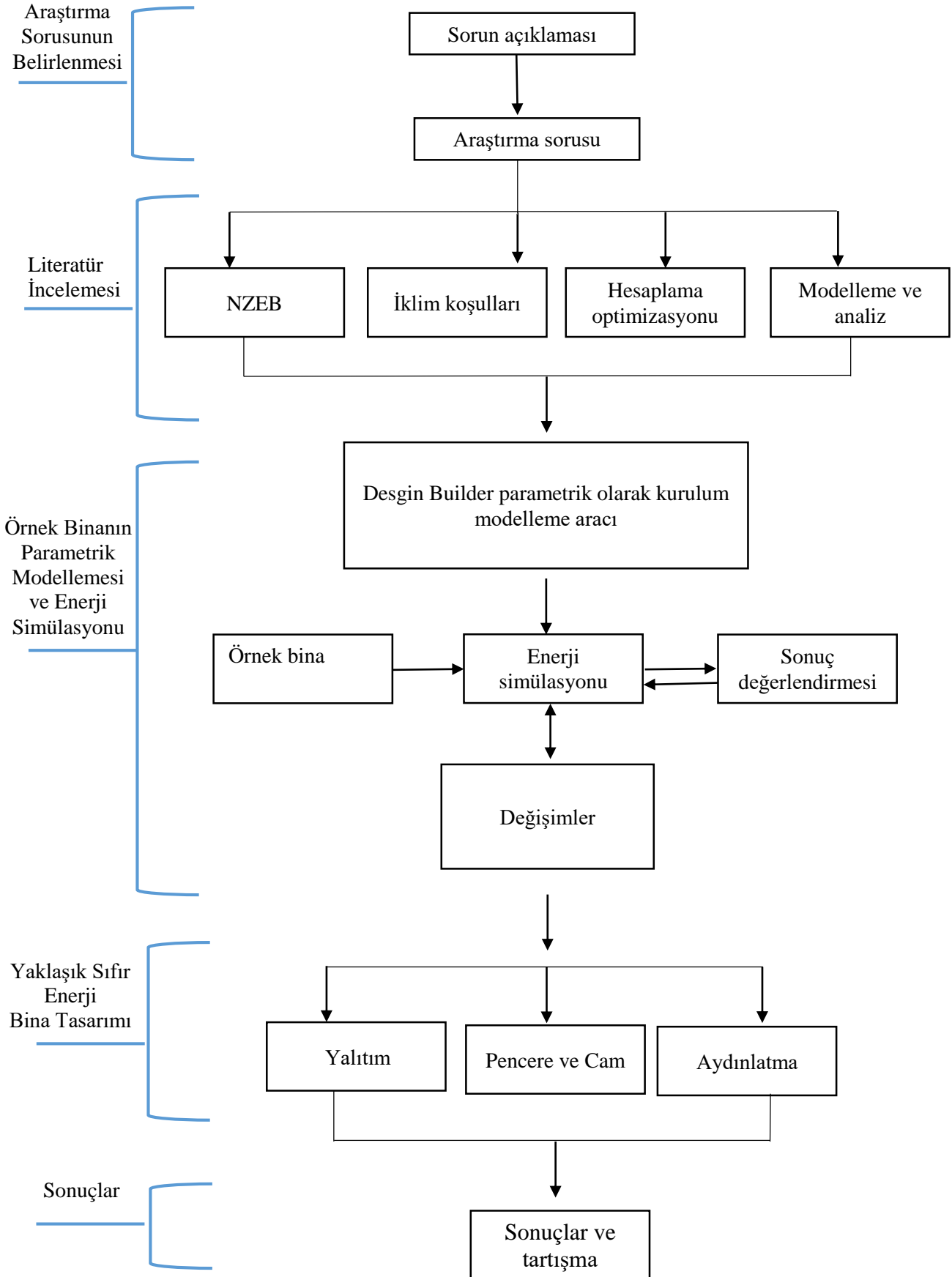
Aydınlatma sistemi, LED armatörler ile değiştirilmiş ve her bir oda için uygun ışığı sağlayan (lux - Watt) sunuldu. Her bir oda için günlük/aylık/yıllık enerji tüketimi hesaplandı, bunun yanında, enerji tasarruf ile geri ödeme süresi Excel vasıtasıyla hesaplandı grafik 5.20'de sunuldu. İki ülkenin finansal hesaplamasında, Türkiye'nin piyasası için Hepsiburada ve Trendyol üzerinden fiyatlar esas alınmış ve dolar (\$) birimi, iki şehir için sabit tutulmuştur.

4.2. Metod

Çalışma için aşağıdaki prosedür izlenmiştir:

1. Yaklaşık Sıfır Enerjili Binaların (NZEB) araştırılması ve buna göre sistem sınırlarının tanımlanması.
2. Piyasada uygulanabilirliği kanıtlanmış enerji ölçüm teknolojisi, malzemelerin araştırılması ve iklim koşullarının tespit edilmesi.
3. Binanın enerji önlemlerinin uygulanmasının nümerik analizi ve enerji performansı ile binanın enerji tasarrufu ve optimum maliyet ilişkin ekonomik faydaları.

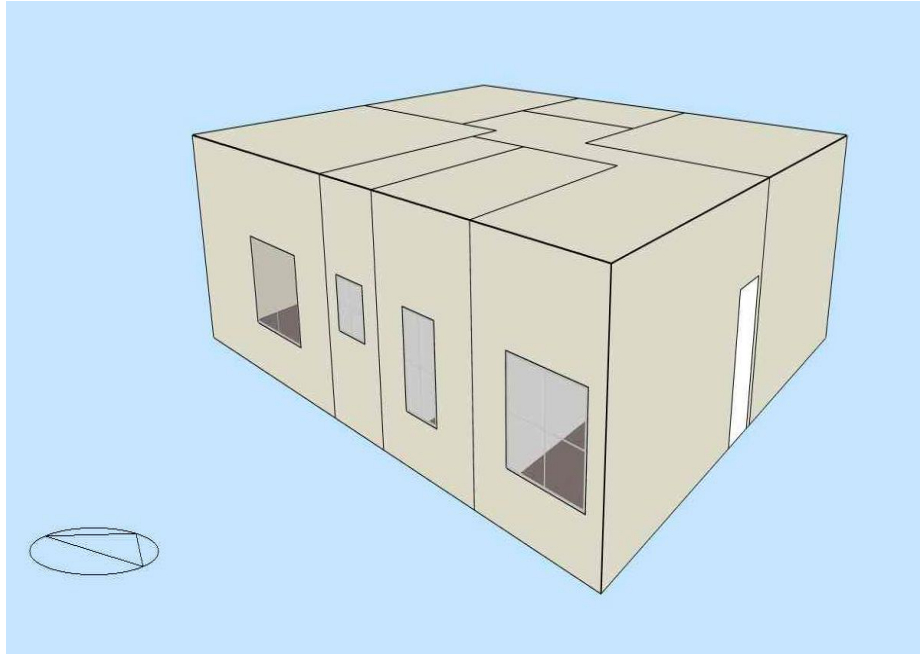
Yaklaşım ve metodoloji;



5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

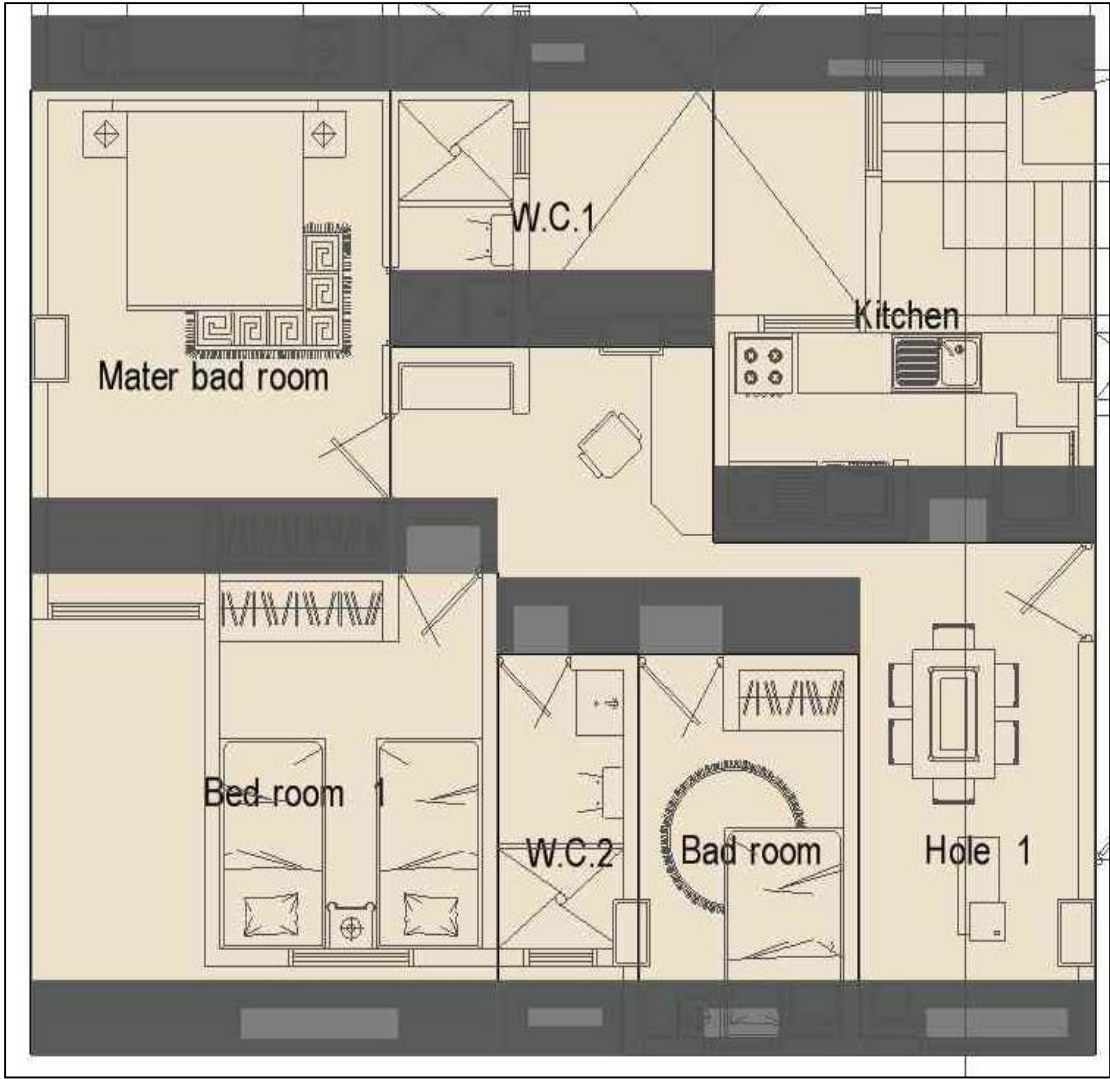
5.1. Binanın Modellenmesi ve Genel Bilgileri

Örnek olarak ele alınan 100 m² müstakil konut binasının NZEB hale getirilmesi için iyileştirmeler yapılmıştır. Bina, toplam taban alandan oluşmaktadır. Binanın işkâl (doluluk saatleri), sıcak su tüketim oranı, aydınlatma, iklimlendirme ve iç kazançları gibi bilgileri program üzerinden tanımlanmıştır. Aynı model, Konya ve Kerkük şehirleri için esas alınmış ancak hesaplamalarda simülasyon için girilen verilerin gerçeğe daha yakın olması için şehirler arasındaki aydınlatma, iklimlendirme vb. farklıklar dikkate alınmıştır.



Şekil 5.1. Örnek binanın Design Builder ile 3D modeli.

Binada; üç adet yatak odası, iki banyo, bir mutfak ve misafir odası bulunmaktadır. Simülasyon modelindeki tüm odalar için sabit boyutlar seçilmiştir: yatak odaları, salon ve mutfak pencere boyutları, 140×150 cm; banyolar için 80×210 cm sabit varsayılmıştır. Standart ev ölçüleri tercih edilerek ana giriş kapısı, 100×210 cm çizilmiştir. Yatak odaları, salon ve mutfak kapıları 90×210 cm sabit tutulmuştur. Şekil 5.2.'de binanın AutoCad vasıtasıyla 2D çizimi, Desgin Builder'de 3m uzunluk verilerek bir blok hâlinde çizilmiş, ardından odalar (Zone) bölünmüştür.



Şekil 5.2. Design Builder ile binanın iç görsel çizimi.

Şekli 5.3'te bina kullanıcı profilinde; mevsimler veya hafta içi-sonu günler arasında hiçbir ayırım olmaksızın tüm yıl için ev sakinleri, 7/24 olduğu varsayılmıştır. Binanın gün içerisinde kullanımını hâlinde İç Mekân Sıcaklığı Değerleri [Set Point (SP)], programda; Konya için $SP = 22^{\circ}C$ ve Kerkük için $SP = 24^{\circ}C$ olarak tanımlanmıştır.

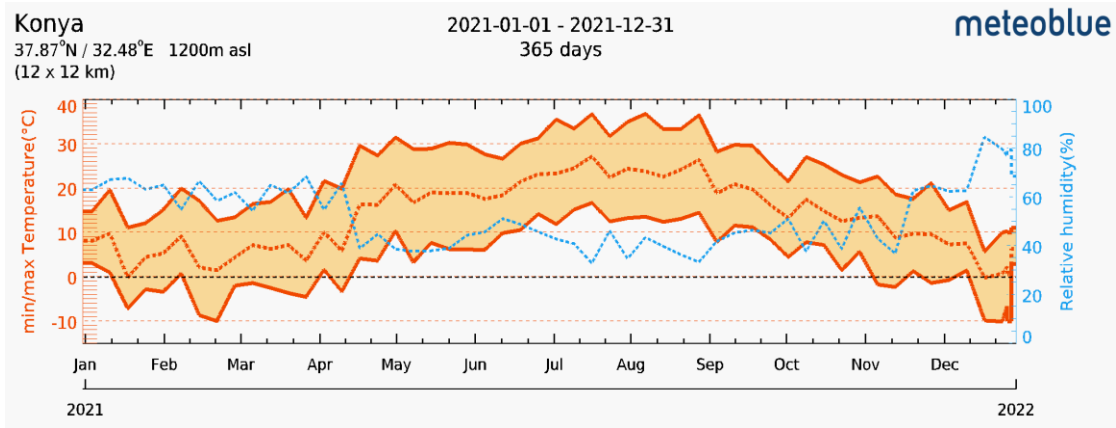
Activity Template	
Template	Residential
Sector	General
Zone multiplier	1
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in thermal calculations	
<input checked="" type="checkbox"/> Include zone in Radiance daylighting calculations	
ASHRAE 90.1 Settings	
Floor Areas and Volumes	
Building rotation (°)	0.0
Conditioned/Unconditioned	
Conditioned floor area (m2)	87.7
Conditioned volume (m3)	306.8
Unconditioned floor area (m2)	0.0
Unconditioned volume (m3)	0.0
Occupied/Unoccupied	
Occupancy	
<input checked="" type="checkbox"/> Occupied?	
Floor area per person (m2/person)	17.54
Schedule	On 24/7
Metabolic	
Clothing	
Comfort Radiant Temperature Weighting	
Air Velocity	
Contaminant Generation and Removal	
Holidays	
DHW	
Consumption rate (l/m2-day)	33.250
Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	24.0
Heating set back (°C)	19.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	21.0
Cooling set back (°C)	35.0
Heating Comfort PMV Setpoints	
Cooling Comfort PMV Setpoints	
Humidity Control	
Ventilation Setpoint Temperatures	
Natural Ventilation	
Minimum Fresh Air	
Fresh air (l/s-person)	3.500
Mech vent per area (l/s-m2)	0.305

Şekil 5.3. Kerkük için Design Builder veri girişin ara yüzü.

5.2. İklim Bölgeleri

5.2.1. Soğuk İklim Bölgesi (Konya)

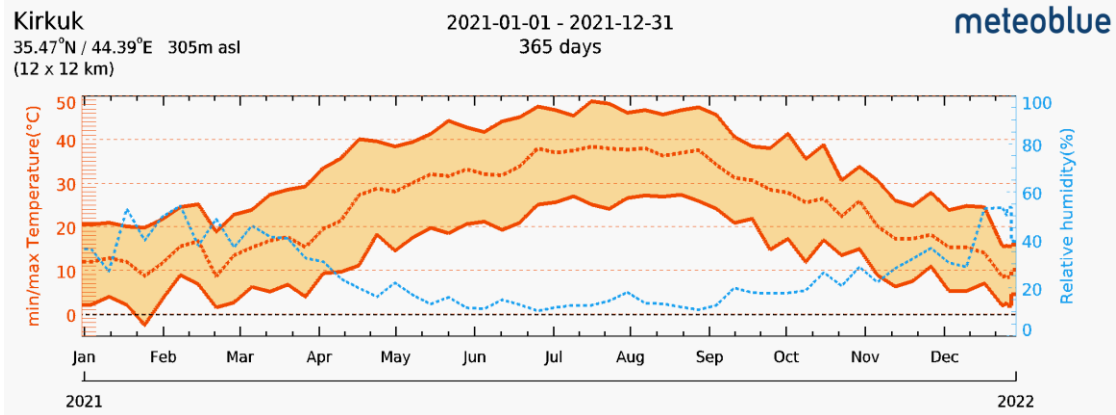
İç Anadolu'nun güney bölgesinde yer alan Konya ili, coğrafi konumu nedeniyle yılın dört mevsimini de yaşamaktadır. Genellikle kış aylarında yaşanan yoğun kar yağışları ile soğuk ve sis, ilkbahar aylarında da görülür. Konya, karasal iklime sahip olduğundan yaz ayları bölgede sıcak ve kurak geçer. Meteoroloji istasyonuna göre yaz mevsimi, yaklaşık 3 ay uzunluğundadır. Temmuz ve Ağustos ayları, en sıcak aylardır. Kış mevsimi ise yaklaşık 4 ay uzunluğundadır. En soğuk aylar, Ocak ve Şubat'tır. Şekil 5.4.'te yılın maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin yaklaşık 35°C ve -10°C olduğunu gösterir.



Şekil 5.4. Konya iline ait 2021 yılı bağıl nem ile ortalama, minimum ve maksimum hava sıcaklıklarının yıl boyu değişimi [kaynak: meteoblue]

5.2.2. Sıcak İklim Bölgesi (Kerkük)

Kerkük'ün iklimi; yazları 8 ay kuru sıcak, kışları ise 4 ay ılıman olmak üzere çoğunlukla iki mevsimden oluşur. Irak'ın kuzeyinde yer alan Kerkük şehri, çok sıcak ve kuraktır. Sıcaklığı, yaz ortasında 49 santigrat dereceyi geçebilir. Meteoroloji istasyonundan alınan aylık sıcaklık değişimiyle ilgili bilgilere göre 2021 dönemi için Kerkük kentindeki en yüksek sıcaklık değeri, Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanır. Yılın en soğuk ayları olan Ocak ve Şubat aylarında, sıcaklığın 5 ila 10°C arasında değiştiği görülür. Şekil 5.5.'de koyu kırmızı çizgi, yılın maksimum ve minimum sıcaklık derecelerini ve koyu mavi çizgi, nem oranını gösterir.



Şekil 5.5. Kerkük iline ait 2021 yılı bağıl nem ile ortalama, minimum ve maksimum hava sıcaklıklarının yıl boyu değişimi [kaynak: meteoblue]

5.2. Bina Kabuğu Bilgileri

Her iki binanın yıllık birincil enerji tüketimini hesaplamak için binaların yalıtımsız olduğu varsayılmıştır. Türkiye standart kriterleri, Türkiye TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'na göre ve Irak standart kriterleri, Irak Planlama Bakanlığı'nın (IMP) IS1477 ve IS1475'e göre belirlenmiştir. Dış duvar, döşeme ve çatı yapı birleşenleri gibi standart özellikler, örnek binalarda birbirinden farklı tanımlanmıştır. Ancak pencere özelliklerinin iki bina için aynı olduğu kabul edilmiştir. TS825'e göre Türkiye coğrafyası, 4 farklı sıcaklık bölgesine ayrılmıştır. Konya ili, 3. bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki bina bileşenlerinin U-değerlerinin düşük olması önerilmektedir. TS825 standartlarına dayanarak üçüncü iklim bölgesinde yer alan Konya ilinde bulunan binaların dış duvar U-değerlerinin (0.5 W/m² K) değerinden, çatı alanlarının (0.3 W/m² K) değerinden, taban alanlarının (0.45 W/m² K) değerinden daha düşük olması önerilmiştir.

Tablo 5.1'de yalıtımsız örnek binanın TS825 göre yapı özellikleri, Desin Builder programı üzerinden elde edilen U-değerleri ile nümerik olarak aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır. Sonuçların karşılaştırılması sırasında nümerik ile teorik değerler arasında ciddi bir fark görülmemiştir. Bu nedenle programdan alınan U-değerleri, doğru kabul edilmiştir.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (1)$$

Burada,

U : yalıtım katmanı olan dış duvar için toplam ısı transfer katsayısıdır (W/m² K), R_t (m² K/W) yalıtımsız duvarın ısı direncidir.

Tablo 5.1. Örnek binanın Konya için yapı bileşenleri [TS825]

Bina kabuğu	Bina kabuğu bileşenleri	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m K)	Design Builder U-değeri (W/m ² K)	Teorik U-değeri (W/m ² K)	NZEB olması için gereken U-değeri (W/m ² K)
Dış duvar	Kireç sıva	2	1600	0.80	0.4	0.37	0.29
	Donatılı beton	30	2000	1.13			
	Çimento harçlı sıva	2	1760	0.72			
Çatı	Kireç sıva	2	1600	0.80	0.6	0.59	0.14
	Beton dökme	12	500	0.16			
	Çimento harcı	3	1650	0.72			
Döşeme	Seramik	2	2300	1.30	0.2	0.17	0.29
	Çimento harçlı şap	3	2100	1.40			
	Donatılı beton	30	2000	1.13			
	Kum ve taş	30	1950	2.00			

Irak Planlama Bakanlığı IMP, binaların yalıtım malzemeleri seçilirken binanın duvar kalınlığının en az 15 cm üzerinden U-değerleri hesaplamalarına dâhil edilmesini önermiştir. Ancak 40°C 'lik sıcak bir yüzdeki ısıl iletkenliği (k) değerleri, (0.034 - 0.037 W/mK) değerlerini aşmayan herhangi bir yalıtım malzemesiyle uygulanmalıdır. Binaların tavan için seçilen yalıtım malzemesi, nem geçirmemeli; ısı yalıtım malzemesinin temas ettiği yüzeylerde korozyona neden olacak herhangi bir malzeme içermemeli ve (10-6) asitlik fonksiyonuna sahip olmalıdır. Tablo 5.2.'de örnek binanın Irak yapı standartlarına bağlı konstrüksiyon özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Örnek binanın Kerkük için yapı bileşenleri [IS1477, IS1475]

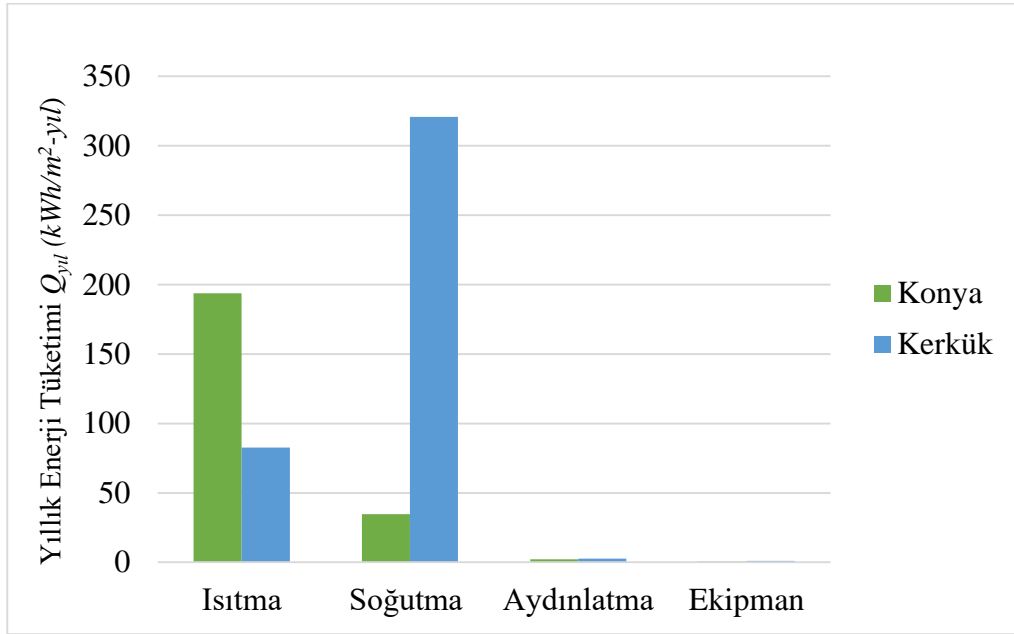
Bina Kabuğu	Bina kabuğu bileşenleri	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m K)	Design Builder U-değeri (W/m ² K)	Teorik U-değeri (W/m ² K)	NZEB olması için gereken U-değeri (W/m ² K)
Dış duvar	Çimento sıva	3	1600	0.80	0.5	0.49	0.29
	Tuğla	20	1920	0.72			
	Alçı sıva	3	1120	0.51			
Çatı	Beton karosu	3	2100	1.50	0.3	0.24	0.14
	Asfalt	2	1000	0.30			
	Beton(% 1çelik takviyeli)	20	2300	2.30			
Döşeme	Seramik/porselen	4	2300	1.30	0.2	0.22	0.29
	Çimento harçlı	10	2800	0.88			
	Zemin/çatı şapı	7	1200	0.41			
	Kum ve taş	20	1950	2.00			

5.4. Binanın Enerji Tüketim Değerleri

Örnek binanın enerji tüketim analizi, Design Builder yardımı ile yapılmıştır. Soğuk iklim bölgesi olan Konya ili için yıl içerisindeki ısıtma ihtiyaçlarını hesaplamak amacıyla programda doğalgaz kombi kullanılmıştır. Kerkük'ün sıcak iklim bölgesinde yer alması, enerjinin büyük miktarının soğutma ihtiyaçlarında kullanılmasına neden olur. Simülasyon programında ısıtma ve soğutma sistem tanımında, Performans Katsayısı 3.0 olan bir duvar tipi klima (splits) klima kullanıldığı varsayılmıştır. Klima çalışma saatleri belirlenerek soğutma derecesi, 24 dereceye ayarlanmıştır. Kışı sert geçmeyen Kerkük şehrinde, ısıtma kullanımı program üzerinden 22 dereceye sabit tutulmuştur.

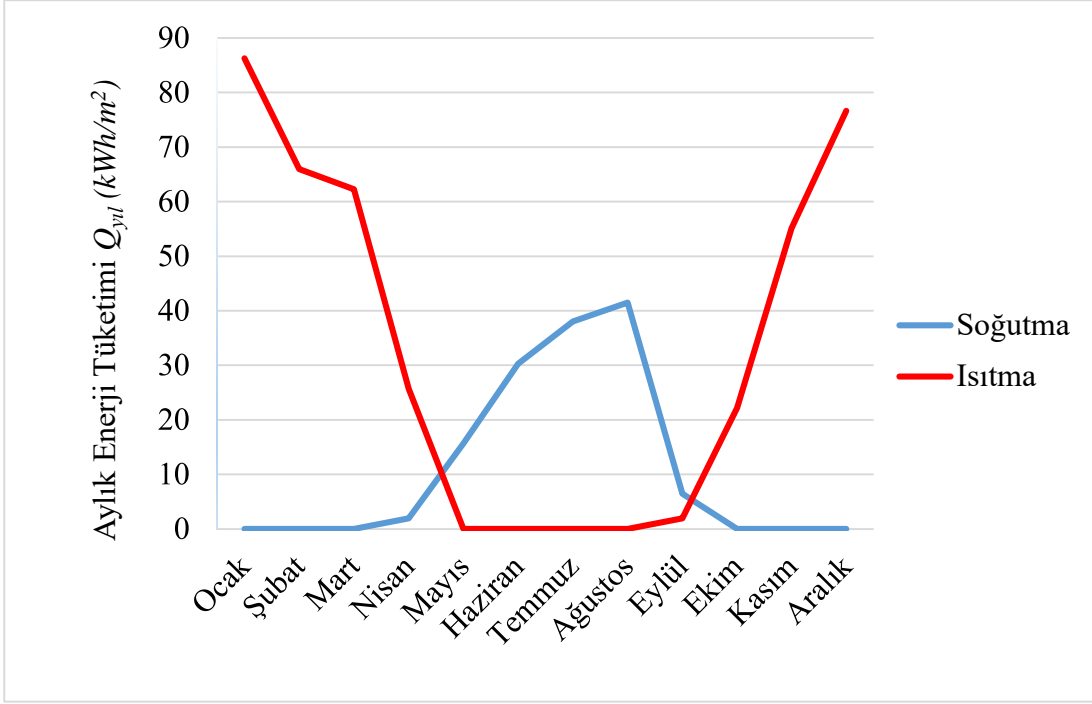
Öncelikle binanın birincil yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma ve ekipmanlarının toplam enerji tüketimi hesaplanmıştır. Analiz sonucunda, Konya için yapılan analiz sonucunda, binanın yıllık birincil enerji tüketiminin 246 kWh/m²-yıl olduğu görülmüştür. Yıllık doğalgaz tüketimi, 407 kWh/m²-yıl iken enerji tüketiminin %87'si ısıtma için; %12'si soğutma için kullanılmıştır. Şekil 5.6.'da yapılan analiz sonucunda, bina

yalıtımsızken birincil enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Ancak, Kerkük şehri için binanın yıllık toplam birincil enerji tüketimi, 232 kWh/m²-yıl'dır. Örnek binada harcanan enerji simülasyonu sonucunda, yaklaşık 434 kWh/m²-yıl miktar elektrik tükenmiştir. Tüklenen elektriğin %79'una soğutma sezonunda ihtiyaç duyulurken ısıtma talebi, sadece %20'de kalmıştır.



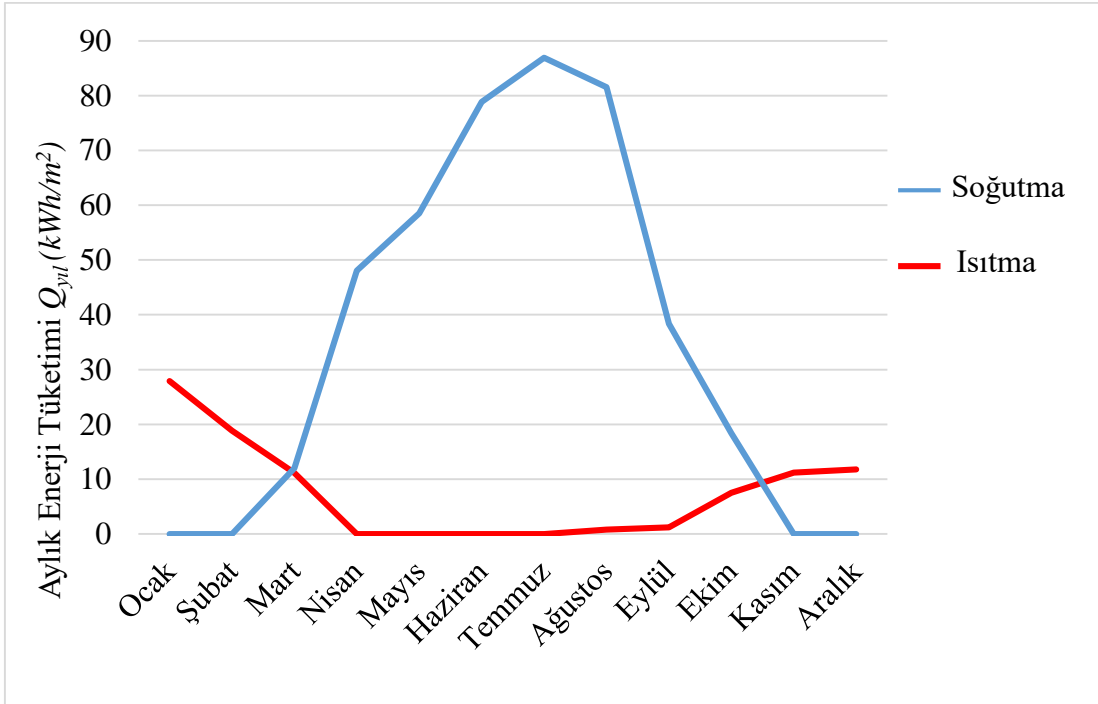
Şekil 5.6. Örnek binanın yıllık birincil enerji tüketim miktarları

Şekil 5.7.'de görülen sonuçlarda Konya şehri için ısıtma değerleri en yüksek, Ocak ile Aralık aylarında görülmüştür. Temmuz ve Ağustos aylarında ise maksimum soğutma ihtiyacı duyulmuştur.



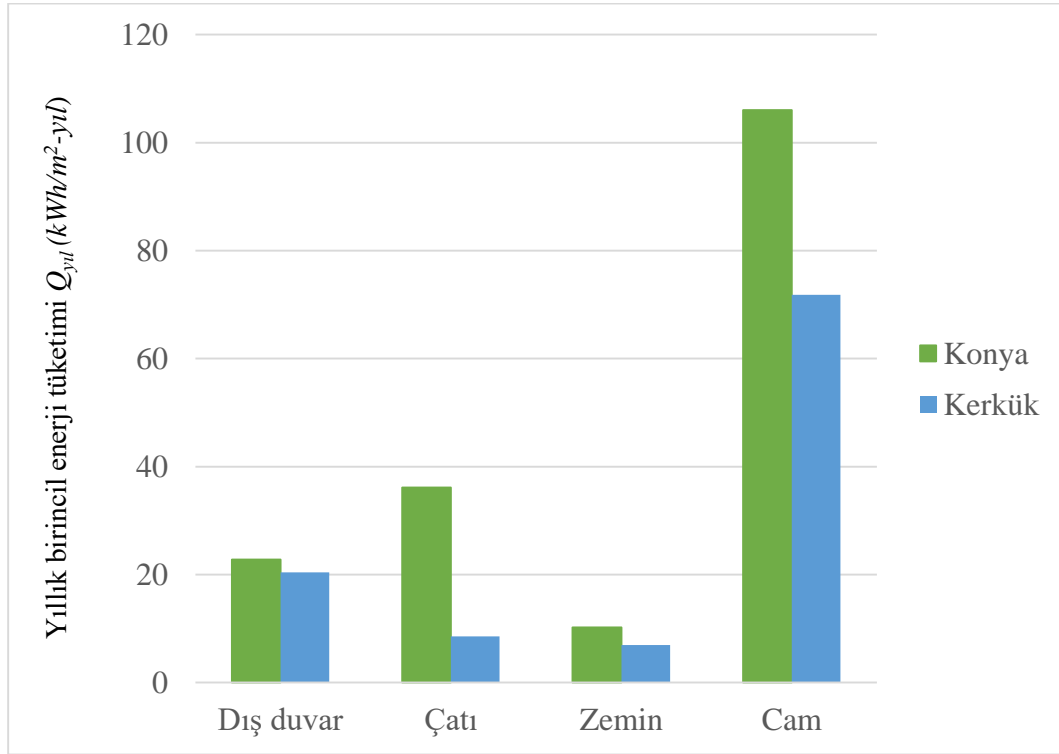
Şekil 5.7. Konya için ısıtma ve soğutma enerji talebinin yıllık değişimi simülasyon sonuçları

Şekil 5.8.'deki aylık birincil enerji tüketim miktarları grafiğine bakıldığında, Kerkük şehri için soğutmanın en çok ihtiyaç duyulduğu ayın Temmuz ayı; ısıtmanın en çok ihtiyaç duyulduğu ayın Ocak ayı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.8. Kerkük için için ısıtma ve soğutma enerji talebinin yıllık değişimi simülasyon sonuçları

Design Builder vasıtasıyla binanın metrekare başına yıllık birincil enerji tüketimi alınmıştır. Konya için simülasyon sonucunda elde edilen analiz değerlerinden bina enerji kayıplarının %15'i dış duvardan kaynaklanmıştır. Çatı ve döşeme kayıpları, sırasıyla %19 ve %6'dır. Sonuç olarak çift camlı pencereden tüketilen enerji, %60'tır. Şekil 5.9.'da, örnek binanın yalıtım uygulamadan önce yıllık birincil enerji tüketim değeri gösterilmiştir. Kerkük için farklı malzeme birleşenlerinin kullanımı farklılık yansıtmıştır. Buna bağlı olarak binanın neredeyse %20 gibi yüksek bir orandaki kaybı, yalıtımsız hâlde bulunan dış duvardan kaynaklanmıştır. Çatıdan kaynaklı kayıp %10, döşemeden kaynaklanan ısı kayıpları %6 olmuştur ve pencerelerden kaynaklı kayıp nedeniyle yaklaşık %66 tüketim görülmüştür.



Şekil 5.9. Örnek binanın bir yıllık enerji tüketimi dağılımının simülasyon sonuçları

5.5. Binanın NZEB Durumuna Yönelik Yapılan Değişim Sonuçları

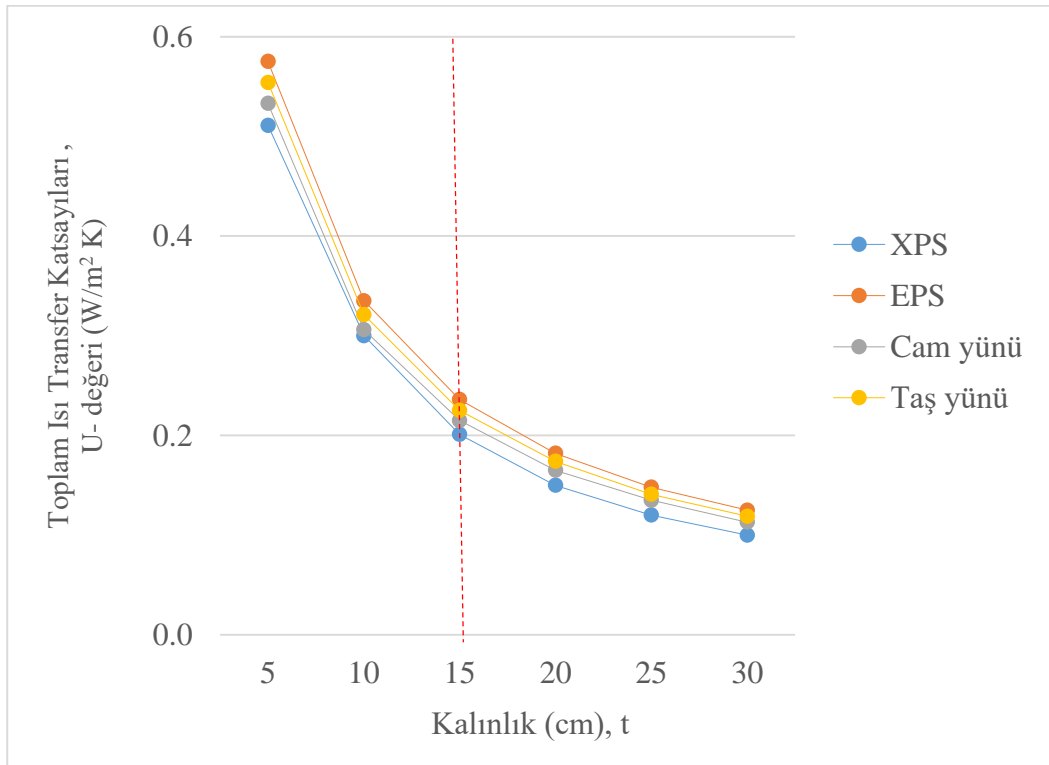
5.5.1 Isı Yalıtım Senaryoları

Optimum seçime ulaşmak için bir dizi olası yapı malzemesi kullanılmıştır ve malzeme değişiklikleri arasında yalıtımlı çatılar ve kaplama malzemelerine yer verilmiştir. Malzeme seçimi, piyasada mevcut olanlara göre yapılmıştır. Örnek binanın

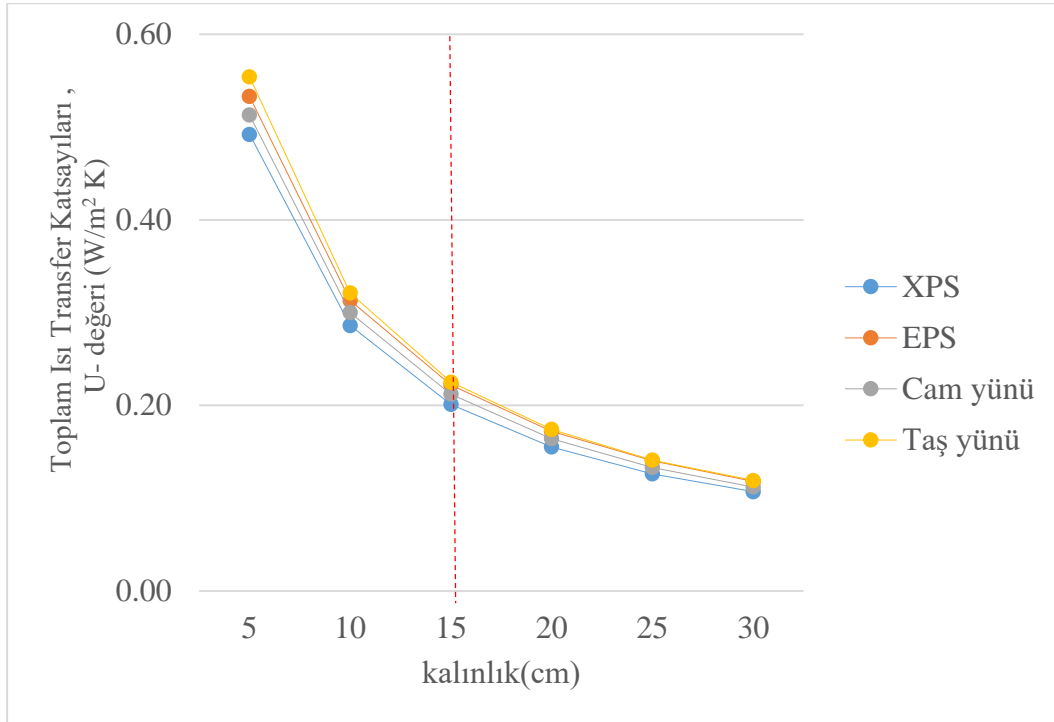
inşaatı dışında farklı kaplama, döşeme ve çatı yalıtım senaryoları da test edilmiştir. Yapılan değişim sonucunda, yıllık enerji tüketimi ve yalıtım maliyeti hesaplanmıştır.

Duvarların dış yalıtımı; çatı ve döşeme için 5 ila 30cm arasında değişen yalıtım kalınlıkları ile test edilmiştir. Duvar yalıtımı için toplamda 24 senaryo, dört farklı yalıtım malzemesi ve 6 yalıtım kalınlığı ile test edilmiştir. U-değerleri, Design Builder programı üzerinden alınmıştır. Ancak enerji tüketim miktarı, Excel’de nümerik olarak yıllık Isı Kaybı $Q_{yıl}$ (kWh/m²-yıl), Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri (HDD ve CDD) Konya ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından (2507 ve 1700) olarak kabul edilmiştir. Tarım Bakanlığı Irak Agrometeoroloji Merkezi ise 2021 yılında Kerkük şehri için HDD’yi (1700) olarak kabul etmiştir. Hesaplamalar, aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır (Kürekci, 2020; Mahdi, 2015).

Dış duvar U-değeri, Konya için 0.4 (W/m² K) ve Kerkük için 0.5 (W/m² K)’dir. Ancak NZEB durumunda istenen U-değeri, 0.29 (W/m² K) olmalıdır. Her iki ülkede de farklı standartlar nedeniyle aynı yalıtım kalınlığı eklenmesine rağmen U-değerleri Şekil 5.10. ve 5.11.’de dikkate alındığında istenen kalınlık Konya ve Kerkük şehirleri için YM- XPS (15 cm) malzemesi sağlamıştır.

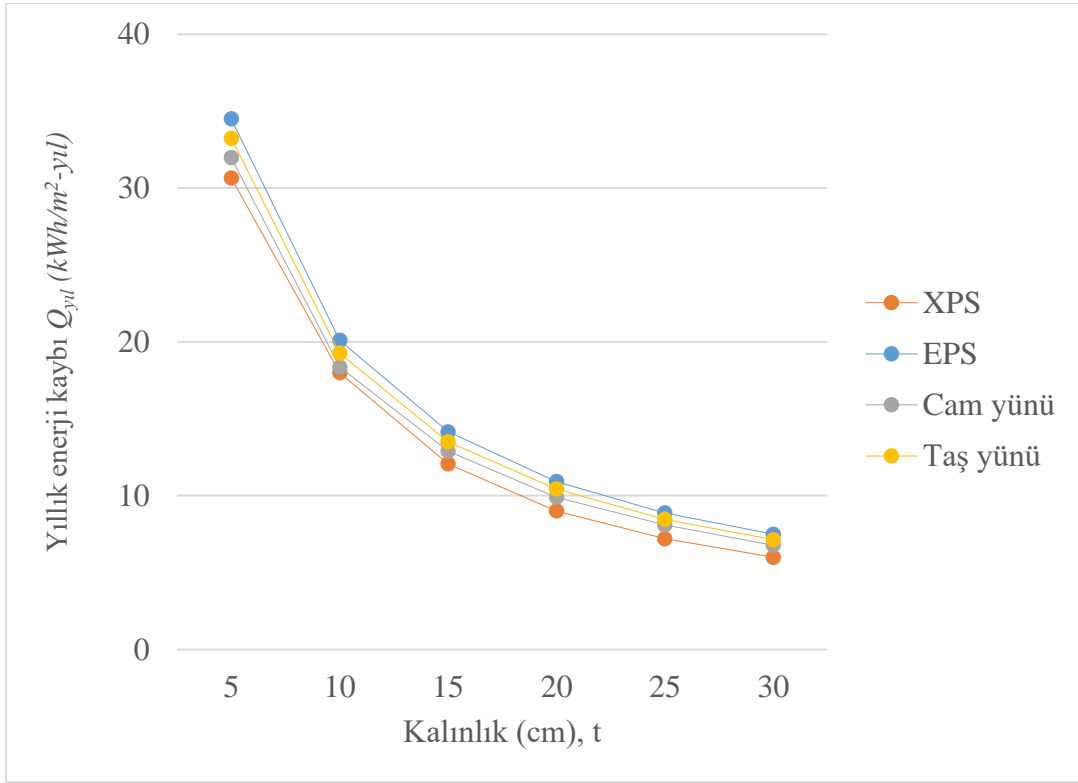


Şekil 5.10. Konya için dış duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığına bağlı U-değerlerinin değişimi

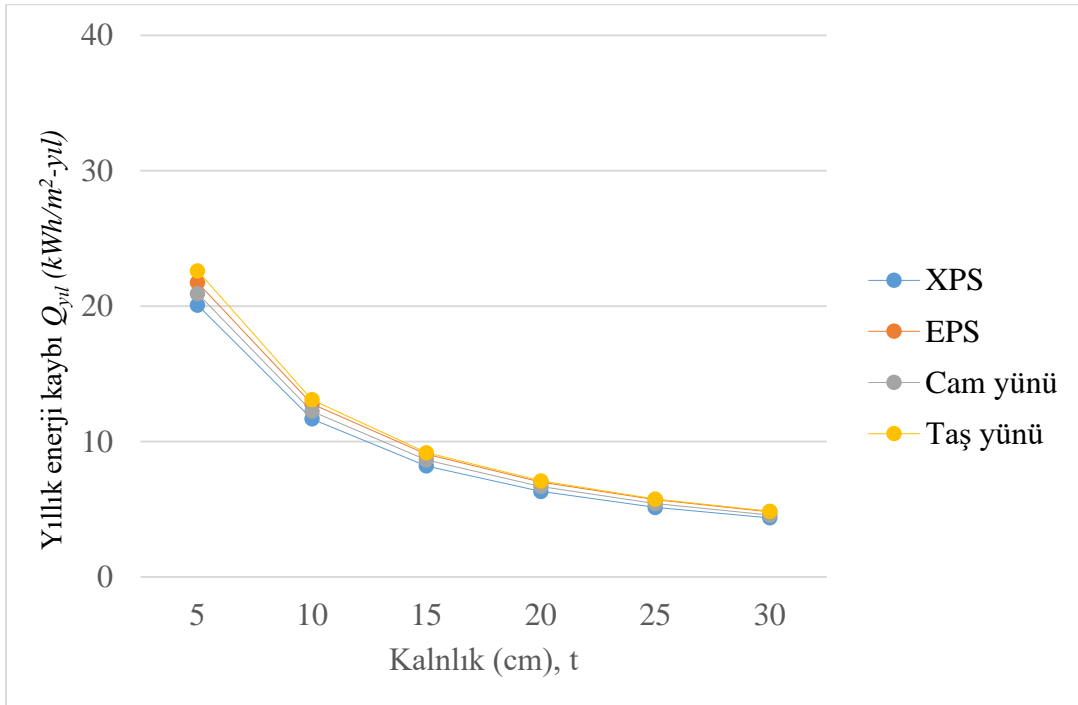


Şekil 5.11. Kerkük için için dış duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığına bağlı U-değerlerinin değişimi

Dış duvar yalıtımı kalınlığının artmasıyla birlikte toplam enerji tüketiminin düşüş eğilimi gösterdiği, Şekil 5.12. ve 5.13.'de iki şehir için de açıkça gösterilmiştir. Konya için uygulanan yalıtım sonucunda, 22.8 kWh/m²-yıl'dan YM-XPS (15cm) eklenmesiyle 12.1 kWh/m²-yıl'a azalmıştır. Görüldüğü üzere YM-XPS (15cm) senaryosunda, yıllık birincil enerji kaybı ile karşılaştırıldığında yalıtım eklenmesiyle Kerkük için 20.4 kWh/m²-yıl'dan 8.2 kWh/m²-yıl'a düşmüştür.



Şekil 5.12. Konya için dış duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığına bağlı yıllık dış duvar enerji tüketimi değişimi



Şekil 5.13. Kerkük dış duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığına bağlı yıllık dış duvar enerji tüketimi değişimi

Çatının doğrudan çevreyle temasta olması ve dalgalanan iklim değişiklikleri nedeniyle ısı oranı yüksektir. Bu gerçeğe dayanarak seçilen çatı malzemelerinin Türkiye ve Irak'ın iklim koşullarına uygun olması gerekir. Bu, diğer yapı özelliklerinin yanı sıra ısı yalıtımı açısından da önemlidir. Bununla birlikte aynı işlem, çatı yalıtımında da kullanılmıştır. Farklı çatı parametreleri uygulanarak U-değerleri, Konya için YM-XPS (20cm) ancak YM-XPS ile YM-cam yünü ve YM-taş yünü (15cm) yalıtım malzemeleriyle sağlanmıştır. Aynı işlem, Kerkük için YM-XPS (20cm), YM-EPS (30cm), YM-cam yünü (25cm) ve YM-taş yünü (25cm) olarak istenen NZEB U-değerini sağlamıştır. Yalıtım, ne kadar kalın olursa ısı aktarım hızı o kadar düşük olur. Ama aynı zamanda yalıtım maliyeti de o kadar yüksek olur. Bu nedenle, yalıtım ve ısı kaybının minimum birleşik maliyetine karşılık gelen optimum bir yalıtım kalınlığı olmalıdır. Uygulanan yalıtım sonucunda çatıdan kaynaklanan enerji kaybı $Q_{yıl}$ miktarı, Konya için 36.1 kWh/m²-yıl'dan yalıtım eklenmesiyle yıllık ısı kaybı sırasıyla 12.7 kWh/m²-yıl düşmüştür. Kerkük için yıllık birincil enerji tüketimi, 8.5 kWh/m²-yıl'dan yalıtım eklenmesiyle 6.6 kWh/m²-yıl'a düşmüştür.

Simülasyon sonucunda iklim farkındalık ile döşemeden kaynaklanan enerji tüketimi dış duvar ve çatı bazında karşılaştırıldığında, değerlerin daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak, tavana yalıtım uygulanması hâlinde enerji performansı artmıştır. Tavan için yalıtım eklenmiştir. Binanın NZEB hâlinde istenen U-değeri, 0.29 (W/m² K)'dır. Programdan alınmış U-değeri senaryoları, Konya şehri için en düşük kalınlıkta YM-XPS ile YM-cam yünü (10cm) ve YM-EPS ile YM-taş yünü (15cm) yalıtım malzemesiyle istenen değer sağlanmıştır. Ancak Kerkük için sadece YM-XPS (10cm) ve diğer malzemeler için (15cm) yalıtım malzemesiyle istenen NZEB U-değeri görülebilmektedir. Konya ve Kerkük şehirleri için yıllık birincil enerji tüketimi yalıtım eklenmesiyle sırasıyla, 16.5 kWh/m²-yıl ve 11.7 kWh/m²-yıl olmuştur.

5.5.1.1. Maliyet Analizi ve Enerji Tasarrufu

Bu çalışmada, binanın optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve enerji tasarrufu maliyet analizi yapılmıştır. Belirlenen optimum yalıtım kalınlığına göre iki şehir için binanın toplam yıllık net tasarrufları (\$/m²) ve yatırımın geri dönüş süresi belirlenmiştir. Hesaplamalarda Konya için bina ısıtılmasında doğalgaz, Kerkük için soğutmada ise

elektrik enerjisi kullanıldığı varsayılmıştır. Ayrıca, binaların optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde kullanılan yöntemler birçok parametreye bağlı olarak Konya için sadece ısıtma, Kerkük için sadece soğutma gerektiren bina Derece-Gün DD sayısına bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı belirlenmemiştir. Bu çalışmada, kullanılan U-değerleri, Isı iletim katsayısı k (W/m K) ve Isı iletken R (m^2 K/W) değerleri DB programından alınmıştır dış duvar, çatı ve taban için hesaplanmıştır.

Yıllık ısı kaybı $Q_{yıl}$, derece gün kullanılarak hesaplanır.

$$Q_{yıl_c} = 24. CDD. U \quad (\text{kWh/m}^2\text{-yıl}) \quad (2)$$

$$Q_{yıl_h} = 86400. HDD. U \quad (\text{J/m}^2\text{-yıl}) \quad (3)$$

Burada,

$Q_{yıl_c}$; yıllık soğutmanın ısı kaybı, $Q_{yıl_h}$; yıllık ısıtmanın ısı kaybıdır. Eşitlikteki (2) ve (3)'te yer alan "24", bir günün saat cinsinden ve "86400" ise bir günün saniye cinsinden karşılığıdır.

Burada ;

$$U = \frac{1}{Rt + \frac{x}{k}} \quad (\text{W/m}^2 \text{ K}) \quad (4)$$

U : yalıtım katmanı olan dış duvar için toplam Isı Transfer Katsayısıdır ($\text{W/m}^2 \text{ K}$), R_t ($m^2 \text{ K/W}$) yalıtımsız duvarın ısı direncidir, x (m) ve k (W/m K).

Soğutma ve Isıtma için yıllık enerji ihtiyacı, yıllık ısı kaybını Soğutma Cihazının Performans Katsayısına (COP) bölerek hesaplanır. Ancak ısı kaybı ile ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı, yıllık ısı kaybının Isıtma Sisteminin Verime (η) bölünmesi ile elde edilir.

Yıllık Yakıt Maliyeti (C_f) ısıtma ve soğutma için, yılda kullanılacak yakıt miktarının yakıtın birim fiyatı ile çarpılmasıyla bulunur. Yakıtın birim fiyatı olan birim yüzey alanı için yakıtın yıllık maliyeti aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

Yıllık soğutma yakıt maliyeti C_A ($\$/m^2$ -yıl) aşağıdaki denklem 5'le hesaplanır.

$$C_A = \frac{Q_{yil} \cdot C_{fel} \cdot PWF}{COP} \quad (\$/m^2\text{-yıl}) \quad (5)$$

Yıllık ısıtma yakıt maliyeti C_A ($\$/m^2\text{-yıl}$) denklem 6'ya göre hesaplanır.

$$C_A = \frac{Q_{yil} \times C_{fyakit} \times PWF}{\eta * Hu} \quad (\$/m^2\text{-yıl}) \quad (6)$$

Burada, C_A ; yıllık yakıt maliyeti ($\$/m^2\text{-yıl}$), C_{fel} ; elektrik maliyeti ($\$/kWh$) ve C_f ; doğalgaz maliyetidir ($\$/m^3$).

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamak için yıllık enerji maliyeti, yakıtın düşük ısı değeri (Low heat value of the fuel- H_u) doğalgaz için (J/m^3) birim karşılığıdır, Şimdiki Değer Faktörü (Present worth factor- PWF) , Faiz oranı (I) ve Enflasyon oranı (g) fonksiyon oranlarına bağlı olarak aşağıda verilen denklem yardımı ile hesaplanabilir, bu denklemlerde kullanılan parametreler Tablo 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

$$r = \frac{(i-g)}{(1+g)} \quad \text{Eğer } (i > g),$$

$$r = \frac{(g-i)}{(1+g)} \quad \text{Eğer } (i < g),$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r (1+r)^N} \quad (7)$$

Burada, N: ömür sürecidir ve bu çalışma için 10 yıl alınmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığı için toplam yalıtım maliyeti ve toplam yalıtım maliyeti hesaplanmıştır. Yıllık yalıtım maliyeti C_f ($\$/m^2\text{-yıl}$) yalıtımın birim hacim başına maliyetini ve kalınlığını temsil eder.

$$C_f = ic \times x \quad (\$/m^2\text{-yıl}) \quad (8)$$

Burada, ic : yalıtım maliyeti $\$/m^2$ 'tür ve x yalıtım kalınlığıdır.

Yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti E_{ct} ($\$/m^2\text{-yıl}$), şu şekilde verilir.

$$E_{ct} = C_A + C_f \quad (\$/m^2 \text{-yıl}) \quad (9)$$

Optimum yalıtım kalınlığı (x_{opt}), yıllık maliyetin en düşük olduğu nokta olarak ifade edilebilir. Bu noktada yapılacak olan yalıtım, minimum maliyet ve maksimum enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Soğutma için optimum kalınlık aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$x_{opt} = \sqrt{\left(\frac{0.024 \cdot CDD \cdot fc \cdot PWF \cdot K}{ic \cdot COP} \right)} - k \cdot R_t \quad (10)$$

Ancak, ısıtma için optimum maliyet ise:

$$x_{opt} = \sqrt{\left(\frac{86400 \cdot HDD \cdot fc \cdot PWF \cdot K}{ic \cdot Hu \cdot \eta} \right)} - k \cdot R_t \quad (11)$$

Hesaplanmaktadır.

Denklem 10 ve 11'de, optimum yalıtım kalınlığının derece-günlere, yakıt ve yalıtım malzemesinin fiyatına, PWF değerine ve duvarın özelliklerine ve yalıtım malzemesine bağlı olduğu görülebilir. Bu hesaplamalarda kullanılan parametreler ve bunlara karşılık gelen değerler Tablo 5.4 ve Tablo 5.6'da verilmiştir. Enerji Tasarrufu Deklem 12 ile hesaplanmıştır.

Enerji Tasarrufu E_s şu şekilde hesaplanmıştır.

$$\% E_s = \frac{Enoi - Ect}{Enoi} \quad (12)$$

Burada:

$Enoi$; yalıtım kullanılmadığında yıllık birincil enerji tüketimi ve Ect ; yalıtım kullanıldığında yıllık nihai enerji tüketimi

Yalıtım malzemesinin Geri Ödeme Süresi (GÖS) yıllık yakıt tasarruf C_A ($\$/m^2$) elde edilen miktar yıllık yalıtım tasarrufuna C_f ($\$/m^2$) bölünerek hesaplanabilir (Erdoğan, 2018) :

$$GÖS = C_A / C_f \quad (13)$$

Tablo 5.4. Konya için optimum yalıtım kalınlığı hesabında kullanılan parametreler

Parametre	Değeri
Isıtma derece günü , HDD	2415 ¹
Enflasyon oranı, g	0.78 ²
Faiz oranı, i	0.17 ³
Doğalgaz maliyeti (Isıtma için), $C_{\text{fyakıt}}$, (\$/m ³)	0.23
Isıtma Sisteminin Verimi , η	0.90
Yakıtın düşük ısı değeri , H_u , J/m ³	34.5×10^6
Şimdiki Değer Faktörü , PWF	8.69
(https://mgm.gov.tr) ¹ (https://ifs.org.uk) ² (https://www.tcmb.gov.tr) ³	

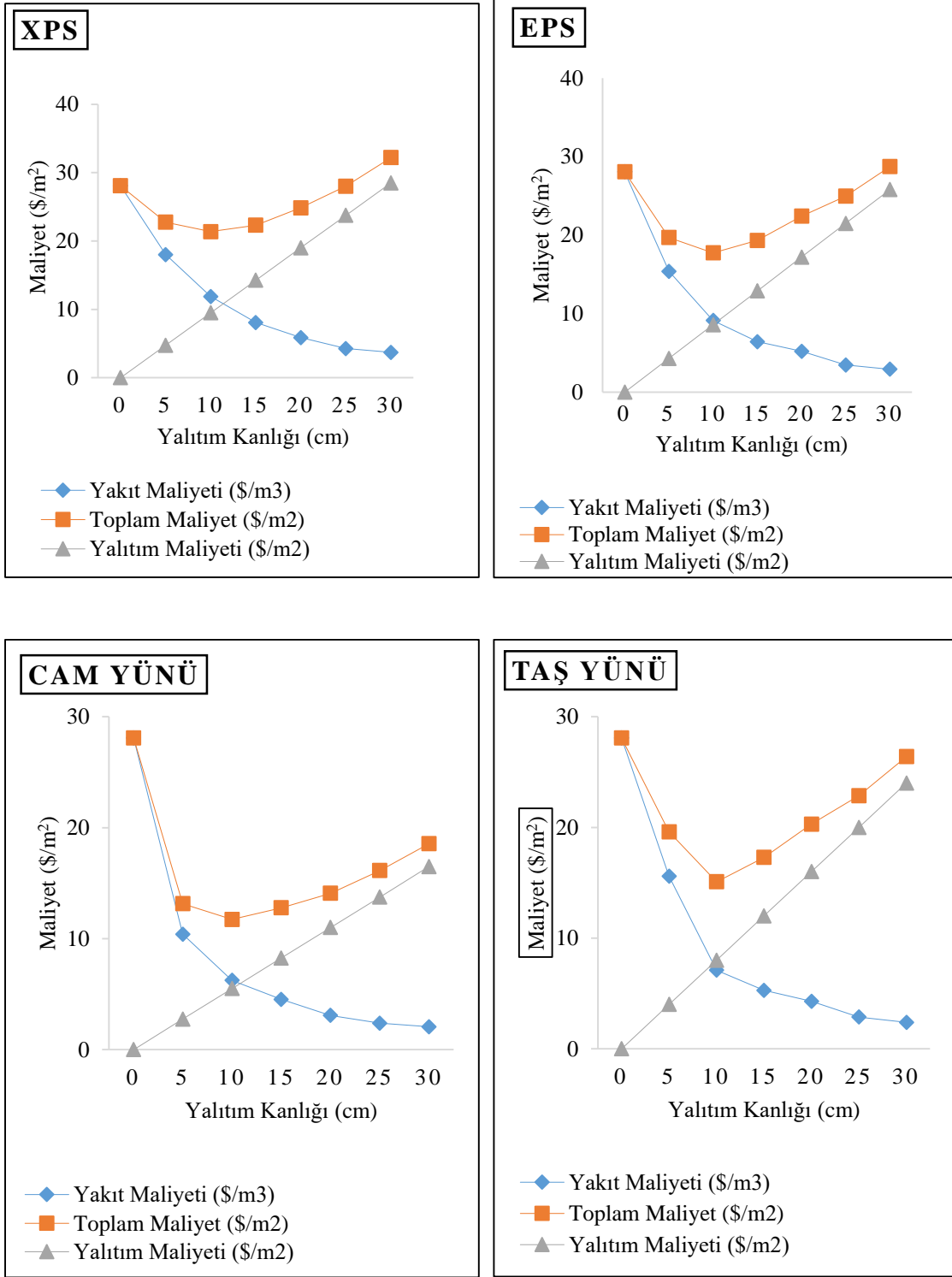
Tablo 5.5. Kerkük için optimum yalıtım kalınlığı hesabında kullanılan parametreler

Parametre	Değeri
Soğutma derece günü, CDD	1700 ¹
Enflasyon oranı, g	0.02 ²
Faiz oranı, i	0.04
Elektrik maliyeti (Soğutma için), C_{fel} , (\$/kWh)	25
Cihazının Performans Katsayısına, COP	2.6
Şimdiki Değer Faktörü, PWF	0.17
(M., M., 2018) ¹ (Mahdi, 2015) ²	

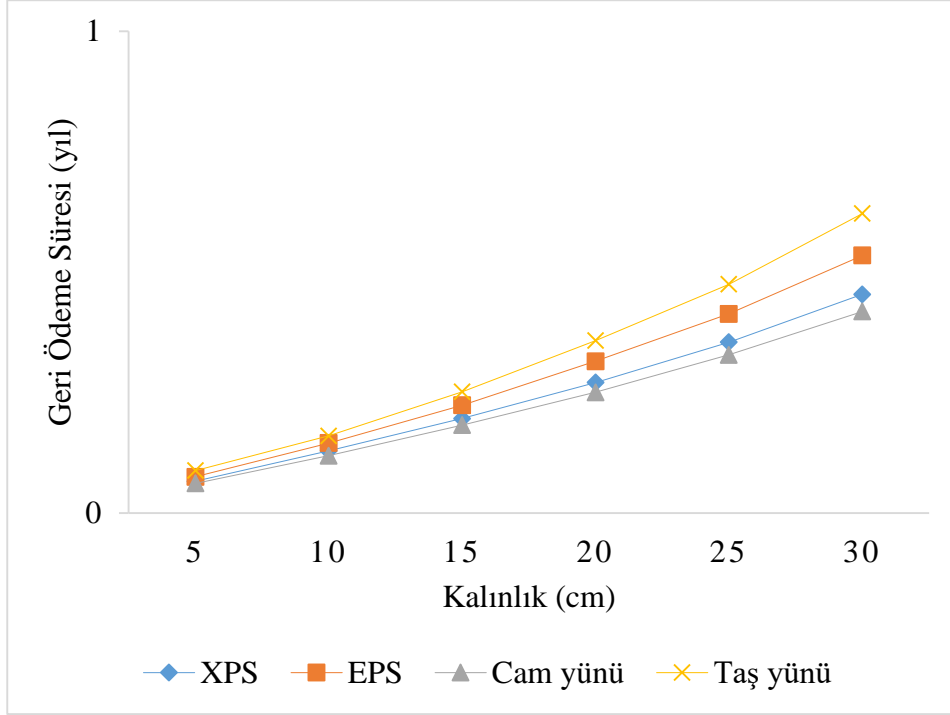
Tablo 5.6. Optimum yalıtımda kullanılan parametreler

Yalıtım Malzemesi	Isı iletim katsayısı k (W/m K)	Fiyat (\$/m ³)
XPS	0.034	95
EPS	0.040	86
Cam yünü	0.036	55
Taş yünü	0.038	80

Şekil 5.14’de Konya şehri için yalıtım malzeme kalınlığına göre yalıtım maliyetinin, enerji maliyetinin ve toplam maliyetin gelişimi görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı incelendiğinde en yüksek tasarruf değeri XPS olmuştur bu da yüksek ısı iletkenliği özelliği taşıması nedeniyledir. Ancak, düşük ısı iletkenliği nedeniyle en düşük optimum yalıtım kalınlığı EPS yalıtım malzemesi sağlandı.

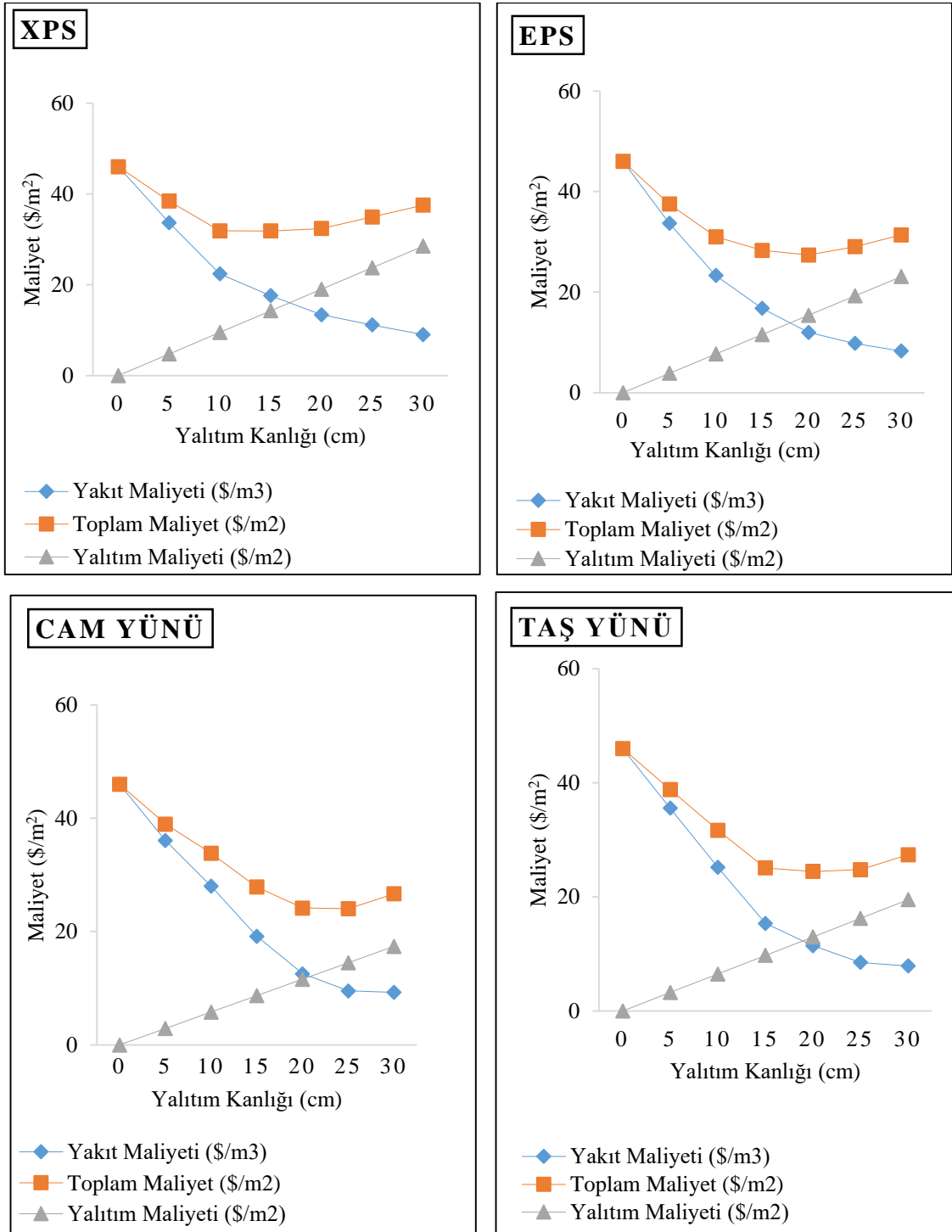


Şekil 5.14. Konya'daki örnek evin bir yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının karşılanması için yalıtım kalınlığı ile yakıt, yalıtım ve toplam maliyetin değişimi

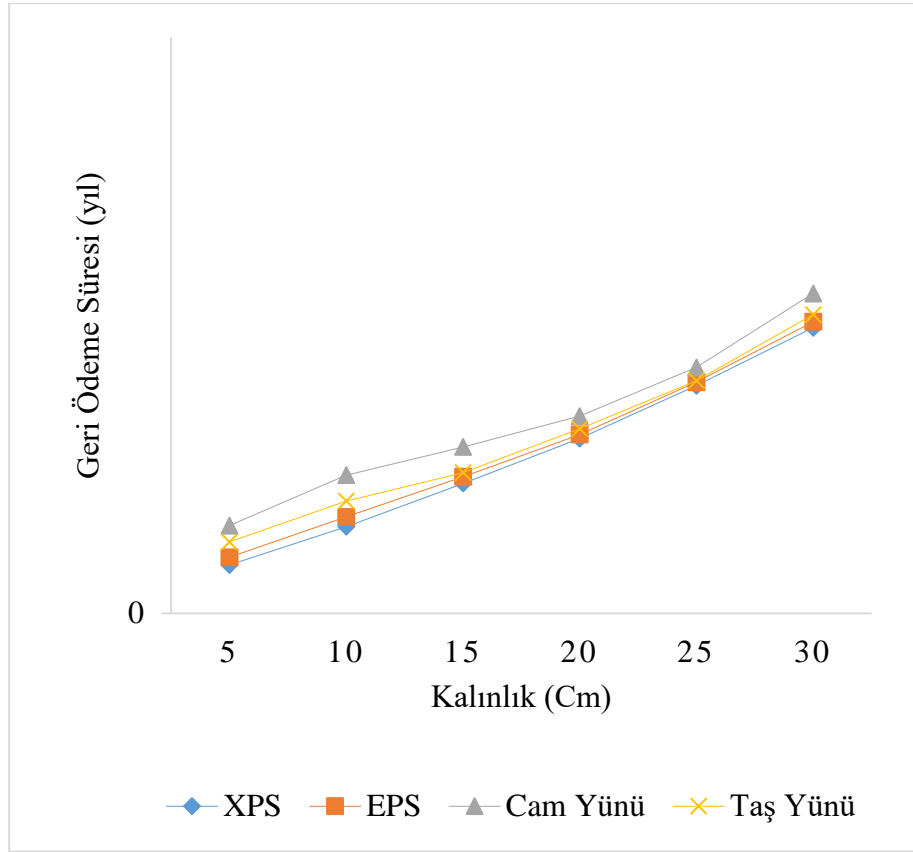


Şekil 5.15. Konya için farklı yalıtım malzemelerinin geri ödeme sürelerinin yalıtım kalınlığı ile değişimi

Şekil 5.16'da Kerkük şehrinde yalıtım kalınlığındaki bir artış, yakıt maliyetinde bir azalmaya ve yalıtım maliyetinde doğrusal bir artışa neden olur ancak toplam maliyetler, optimum yalıtım kalınlığına eşit olan tepe noktasından sonra artan yalıtım kalınlığı ile azalır ve ardından artar. Tasarrufun yüksek oranda XPS malzemesinde görülmüştür ve en düşük optimum kalınlığı 7cm'ile EPS sağlamıştır.



Şekil 5.16. Kerkük'deki örnek evin bir yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının karşılanması için yalıtım kalınlığı ile yakıt, yalıtım ve toplam maliyetin değişimi



Şekil 5.17. Kerkük için farklı yalıtım malzemelerinin geri ödeme sürelerinin yalıtım kalınlığı ile değişimi

Tablo 5.7. Binanın optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri

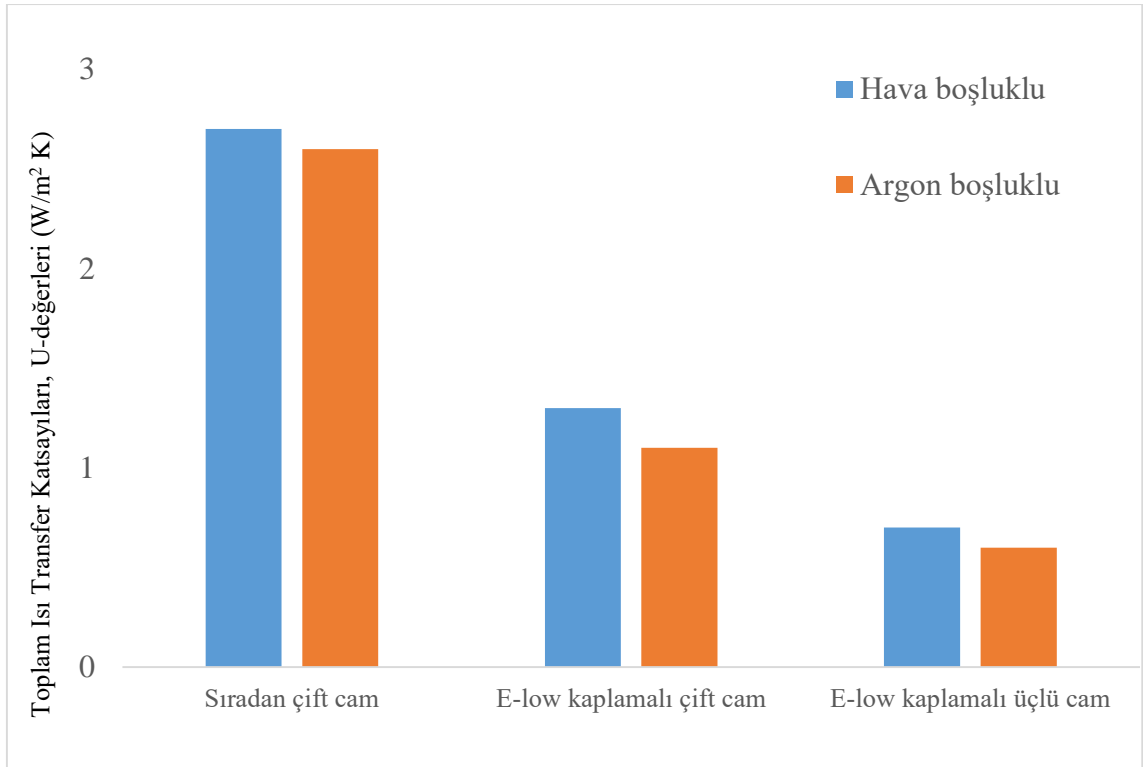
Konya				
Yalıtım Malzeme Türü	XPS	EPS	Cam Yünü	Taş Yünü
Optimum Yalıtım Kalınlığı (cm)	8	7	11	11
Enerji Tasarrufu (\$/m ²)	73	60	42	50
Geri Ödeme Süresi (Yıl)	1.2	1.1	1.0	1.0
Kerkük				
Yalıtım Malzeme Türü	XPS	EPS	Cam Yünü	Taş Yünü
Optimum Yalıtım Kalınlığı (cm)	13	7	11	11
Enerji Tasarrufu (\$/m ²)	63	48	30	40
Geri Ödeme Süresi (Yıl)	1.2	1.5	2.2	1.0

5.5.2. Cam Senaryoları

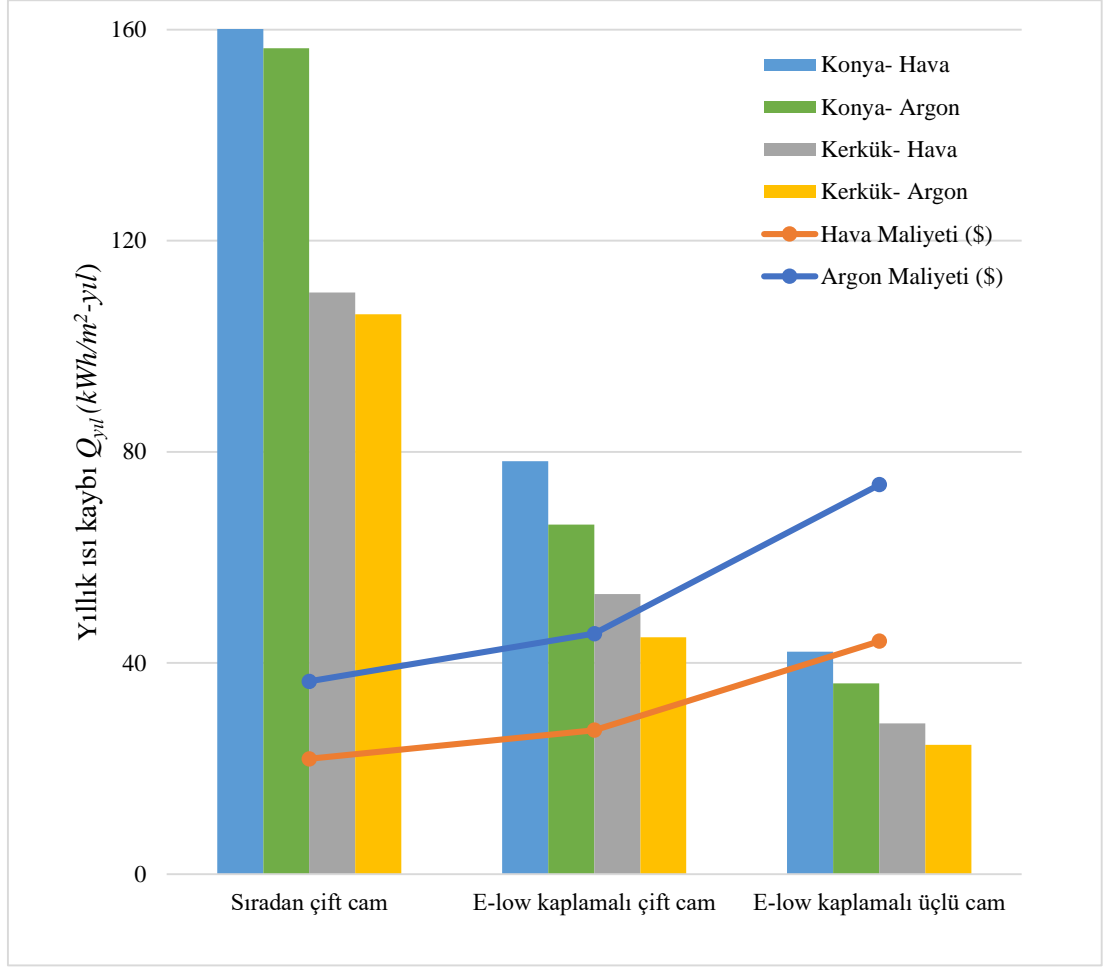
Örnek binada; PVC doğramalı, normal 4 mm kalınlığında ve 16 mm hava boşluğuna sahip pencere bulunmaktadır. İklim koşullarına bağlı olarak kışları sert geçen Konya şehrinde, kış mevsiminde neredeyse pencereler hiç açılmazken yaz aylarında günlük yaklaşık dört saat -sabah ve akşam gün batımı- açılmaktadır. Kerkük şehrinde ise yaz mevsiminde sabahları iki saat ile akşamları iki saat arasında pencereler açık kalır ancak

kış mevsiminde günlük sadece bir saat açık bırakılır. Bu da yetersiz havalandırmaya neden olur. Yapının NZEB durumuna getirilmesi için yalıtımlı çift ve üçlü E-Low 'Düşük Emisyonlu' cam alternatifleri oluşturulmuştur. İki farklı boşluk genişliğinde Hava ve Argon gazları uygulanarak U-değerleri ve ısı kayıp miktarları hesaplanmıştır. Mevcut yapının U-değeri, $1.761(\text{W}/\text{m}^2 \text{K})$ 'dir. Ancak NZEB durumunda istenen U-değeri, $1.16(\text{W}/\text{m}^2 \text{K})$ olmalıdır.

Şekil 5.18.'de istenilen değeri çift düşük emisyonlu kaplama cam 16mm aralığında Argon gazında bulunmuştur. Ancak bu gazların genel ülke piyasasında zor elde edilmesi ve yüksek maliyetli olması nedeniyle 16mm aralık Hava boşluğu tercih edilmiştir. Şekil 5.18.'de görüldüğü üzere uygulanan değişimler sonucunda 16mm Hava aralığında daha düşük değerler elde edilmiştir. Hesap sonucunda binanın birincil enerji tüketim değeri, Konya için $106 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{-yıl}$ ve Kerkük için $71.8 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{-yıl}$ olarak hesaplanmıştır ve Şekil 5.19'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Farklı cam sistemleri için U-değerinin değişimi



Şekil 5.19. Her iki şehir için 16mm gaz boşluğuna sahip farklı cam alternatifleri ile yıllık ısı kaybı ile camlama maliyetinin değişimi

5.5.3. Aydınlatma Sisteminin Değişimi

Programda aydınlatma çalışma saati, iki şehir için de mevsimlere göre farklı saatler olarak belirlenmiştir. LED'ler, çoğu flüoresan lambadan %30 ile %40 daha az enerji kullanır. Maliyet analizinde, bina odalarında mevcut olan armatör gücü belirlenmiş ve günlük 5 saat çalıştığı varsayılarak günlük/aylık/ yıllık harcanan enerji miktarı (kWh) cinsinden hesaplanmıştır. Bu işlemde, maliyet birimi dolar (\$) bazından hesaplanmıştır. Eşdeğer lümen Flöresan armatörle LED karşılaştırarak toplam enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplandı. Enerji maliyet tasarrufunda elektrik birim fiyatı 2022 yılında KDV tarafından 3 TL/kWh olarak belirlenmiş, bu analizde 0.16 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.20'de Excel üzerinden tasarruf analizi görünmektedir, görselde Led armatör yıllık yaklaşık %37 tasarruf sağlandığı görünmektedir.

Aydınlatılan mahaller	Işık şiddeti lux	Armatör gücü		İşletme Maliyet		Yatırım Maliyeti		Günlük harcanan enerji		Aylık harcanan enerji		Yıllık harcanan enerji	
		Flüoresan (Watt)	LED (Watt)	Flüoresan (\$)	LED (\$)	Flüoresan (\$)	LED (\$)	Flüoresan (kWh)	LED (kWh)	Flüoresan (kWh)	LED (kWh)	Flüoresan (kWh)	LED (kWh)
	Salon	200	40	25	3.2	1.3	6.4	2.7	0.2	0.1	6.0	3.8	73.0
Yatak odası	100	20	12	2.4	1.2	4.8	2.5	0.1	0.1	3.0	1.8	36.5	21.9
Çocuk odası	100	20	12	2.4	1.2	4.8	2.5	0.1	0.1	3.0	1.8	36.5	21.9
Mutfak	300	60	40	4.6	1.9	9.3	3.7	0.3	0.2	9.0	6.0	109.5	73.0
Koridor	100	20	12	2.4	1.2	4.8	2.5	0.1	0.1	3.0	1.8	36.5	21.9
W.C.	200	40	25	3.2	1.3	6.4	2.7	0.2	0.1	6.0	3.8	73.0	45.6
Toplam				18.3	8.2	36.5	16.5	1.0	0.6	30.0	18.9	365.0	230.0
Örnek evin aydınlatma sistemi için LED dönüşümün													
Bir yıllık enerji tasarrufu (kWh/yıl)		135.1											
Enerji maliyet tasarrufu (\$/kWh/yıl)		21.6											
Geri Ödeme Süresi (yıl)		0.8											

Şekil 5.20. Aydınlatma sistemi için yapılan maliyet analizin Excel görseli.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, soğuk iklim bölgesinde yer alan Konya ve sıcak iklim bölgesinde yer alan Kerkük şehrinde bulunan yalıtılmamış müstakil bir evde, iki şehre ait standart yapı bileşenleri ve ölçüleri örnek seçilmiştir. Örnek bina, Design Builder programı vasıtasıyla modellenmiş, ardından binanın detaylı parametreleri incelenerek EnergyPlus 9.6.0. ile simüle edilmiştir. Binanın birincil yıllık toplam enerji tüketimi ve en yüksek ısı kaybının hangi faktörden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen değerlerin oldukça yüksek enerji kaybı içerdiği görülmüştür. Şehirlerin koşullarına uygun alternatifler sunmak ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Bina dönüşümünü sağlamak için bazı karşılaştırmalar yapılmıştır.

İlk işlem binanın dış duvarı, çatı ve döşemesine yönelik yapılmıştır. Dört farklı yalıtım malzemesi ve farklı kalınlığı test edildi. Dış duvar kalınlığının enerji tüketimi üzerindeki etkisi, en büyük olup bunu çatı kalınlığı ve döşeme yalıtım kalınlığı izlemektedir. Test sonucunda Konya için istenen NZEB durumunda U-değeri, optimum kalınlık sonucunda YM- cam yünü ve YM-taş yünü $X_{opt}= 11$ cm'le istenen U-değeri elde edildi. Karşılaştırma yapıldığında aynı yalıtımı sağlayan iki malzeme arasında YM-taş yünü yıllık 50 (\$/m²) enerji tasarrufu ve 1 yıl geri ödeme süresi sonucunda YM-cam yünü yıllık enerji tasarrufu 42 \$/m²'ken 1.1 geri ödeme sağlanmıştır. Bu nedenle, YM-taş yünü Konya şehrinin dış duvar yalıtımı için seçilmiştir. Yıllık birincil tüketimi 22.8 kWh/m²-yıl'ken YM-taş yünü , $X_{opt}= 11$ cm izolasyon ile dış kabuğunun yıllık ısı kaybı yaklaşık 17.6 kWh/m²-yıl azaltılmıştır. Bina çatısının mevcut birincil tüketimi, 36.1 kWh/m²-yıl'dır. YM-cam yünü ve YM-taş yünü (15cm)'de yıllık ısı kaybı sonuçları, sırasıyla 11.7 kWh/m²-yıl ile 12.2 kWh/m²-yıl'a azalmıştır. Bina döşemesinin mevcut birincil tüketimi, 10.2 kWh/m²-yıl'ken düşüş olması nedeniyle yalıtım uygulaması ihmal edilmiştir. Konya için mevcut bina kabuğunun toplam birincil enerji tüketimi, 69.1 kWh/m²-yıl'ken uygulanan yalıtım sonucunda 40 kWh/m²-yıl'a düşürülmüştür. Böylece %42 tasarruf sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak YM- yünü Konya şehri için kullanılması öngörülmüştür.

Kerkük için istenen NZEB durumunda U-değeri, YM- XPS optimum yalıtım kalınlığı hesaplamasında $X_{opt}= 13$ cm sağlanması sonucunda 63 \$/m² yıllık enerji tasarrufu ve 1.2 geri ödeme sağlanmıştır. Bu durumda yıllık birincil enerji tüketimi dış duvar için 20.4 kWh/m²-yıl'ken 9.67 kWh/m²-yıl miktarında düşük göstermiştir.

Bina çatısının mevcut birincil tüketimi, $8.5 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ken düşük değerin nedeni standart çatı bina bileşenleri asfalt katranı kullanılmasıdır. Bina döşemesinin mevcut birincil tüketimi, $6.9 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ken düşük enerji kaybı sağlanmıştır. Bu sebeple çatı ve döşeme için yalıtım kullanılmamasının daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır. Değerleri karşılaştırarak ve malzeme özelliklerini dikkate alınarak XPS'in uygun malzeme olduğu kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak Kerkük için mevcut bina kabuğunun toplam birincil enerji tüketimi, $35.8 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ken uygulanan yalıtım sonucunda $25.1 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'a düşürülmüş böylece %21 tasarruf sağlanmıştır.

Binanın yaklaşık %60 ısı kaybı cama uygulama yapılmamasından kaynaklanmıştır. İstenen NZEB durumunda U-değeri, üçlü düşük emisyonlu (4mm) cam ve (16mm) argon boşluğudur. İki şehir için duvar pencere oranı, %20'de sabit tutularak en düşük ısı kaybı sağlanmıştır. Konya ili için sabit tutulan birincil tüketim, 106 kWh/m^2 'den 36 kWh/m^2 'ye azaltılmıştır. Kerkük için birincil enerji tüketimi, 71.8 kWh/m^2 'iken 25 kWh/m^2 'ye düşürülmüştür.

Bir sonraki işlem, aydınlatma sistemi için farklı güç alternatif LED ampuller sunulmuştur. Mevcut binada (300 lux- 60 watt) flüoresan armatürler kullanılmıştır. LED armatör değişimi yapıldığı halde yıllık 135 kWh toplam enerji tasarrufu elde edilerek 0.8 yıl'dan az geri ödeme süresi sağlanmasına sebep olmuştur.

Değişimler sonucunda binanın toplam birincil enerji tüketimi, Konya şehri için toplam yıllık $246 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ken büyük oranda ısı kaybına $183 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ı bina kabuğu, pencere ve aydınlatma sisteminden neden olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan tüm işlemlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında binanın yıllık tüketimi, $100 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'a düşmüş ve %45 tasarruf sağlanmıştır. Kerkük şehri için enerji tüketimi, $232 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ 'ken büyük ısı kaybı miktarı yaklaşık $113 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$; bina kabuğu, pencere ve aydınlatmadan kaynaklanmaktadır. Binanın NZEB hâline getirilmesi amacıyla uygulanan değişim paketleri sonucunda toplam tüketim, $178.4 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ olarak belirlenmiş, böylece toplam %23 tasarruf sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında oluşturulan model, literatürde daha önce incelenmesi yapılan modellere göre farklılık içermekte ve literatüre farklı bir bakış kazandırmaktadır. Geliştirilen modelin bu konuda araştırma yapacaklara ve tasarımcılara, yalıtım kalınlığının belirlenmesi hususunda oldukça yüksek doğrulukla pratik bir çözüm sunacağı öngörülmektedir. Bu tez çalışmasında, yaklaşık sıfır enerjili bina kavramı kapsamlı olarak ele alınamamıştır. Bu nedenle kabul edilebilir bir yaklaşık sıfır enerjili bina hedefine ulaşabilmek için örnek alınan müstakil binada yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalı ve alternatif çözüm paketleri uygulanmalıdır. Böylece daha iyi değişimlerle daha düşük değerlerin elde edilebileceği ve Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar oluşturulabileceğine dair inanç varlığını koruyacaktır. Bir bütün olarak bu tezde sunulan yalıtım uygulaması, bina güçlendirmeleri yoluyla büyük enerji ve maliyet tasarrufu açısından umut verici görünmektedir. Bu umut verici gelişmenin sonraki yıllarda derin bir araştırma, makul bir planlama ve mutlak bir çabayla geliştirilmesi beklenmektedir. Daha önceki ve güncel çalışmalara bağlı olarak, NZEB ve yenilenebilir enerji sistemleri geliştirmek için gösterilen çabalar elbette burayla sınırlı kalmamalıdır. Türkiye ve Irak ülkelerinde birçok yenilenebilir enerji kaynağı türü vardır. Biokütle, jeotermal, mikro-hidro gibi diğer kaynakların da bağımsız hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri şeklinde entegrasyonuna ilişkin yapılacak tekno-ekonomik çalışmalarla sonraki çalışmalar için farklı bir ufuk açılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abbood, A. W., Al-Obaidi, K. M., Awang, H., & Abdul Rahman, A. M. (2015). Achieving energy efficiency through industrialized building system for residential buildings in Iraq. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2015.02.002>
- ALDAJANI, W. (2018). Towards Nearly Zero-Energy Buildings Renovation Case Study: Telefonplan. *Degree Project In Industrial Engineering And Management, Second Cycle, 30 Credits Stockholm, Sweden*, 43.
- Alaloosi, K. (2020). Selection of The Best HVAC System for Industrial Buildings by Using Multi-Criteria Decision-Making Tools. *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Atılım University*.
- Arzu YILMA. (2012). Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya Ve Erzincan Örneği). *SELÇUK ÜNİVERSİTESİ*.
- Bahaj, A. S., James, P. A. B., & Jentsch, M. F. (2008). Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates. *Energy and Buildings*, 40(5), 720–731.
- Barış YILMAZ. (2009). Binalarda Enerji Verimliliği Ve Sürdürülebilirlik. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Basarir, B. Sahin Diri1, B. Diri, C. (2012). Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings. *Istanbul, Mimar Sinan Fine Arts University*
- Bayraktar, Meltem. 2015. “A Methodology For Energy Optimization Of Buildings Considering Simultaneously Building Envelope Hvac And Renewable System Parameters.” *Istanbul Technical University*.
- Bisegna, F., Evangelisti, L., Gori, P., Guattari, C., & Mattoni, B. (2018). From efficient to sustainable and zero energy consumption buildings: Green buildings rating systems. *In Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812817-6.00038-3>
- Burcu SAĞLAM. (2015). Farklı İklim Tipleri İçin Sıfır Enerjili Bina Tasarımı. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- ÇANLI, S. (2019). Bir İlkokul Binasının Pasif Okul Kriterlerine Göre Performansının Değerlendirilmesi Ve İyileştirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- D’Agostino, D., Zangheri, P., Cuniberti, B., Paci, D., Bertoldi. (2016). Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs). *In Joint Research Center (JRC) publications*. <https://doi.org/10.2790/659611>

- Deng, S., R. Z. Wang, and Y. J. Dai. (2014). "How to Evaluate Performance of Net Zero Energy Building - A Literature Research." *Energy* 71(2014):1–16.
- Ece KALAYCIOĞLU. (2017). A New Approach To Evaluate The Nearly Zero Energy Concept Of Epbd Recast At District Scale. *Istanbul Technical University*.
- Elisa Di Giuseppe.(2013). Nearly Zero Energy Buildings and Proliferation of Microorganisms A Current Issue for Highly Insulated and Airtight Building Envelopes. *Springerbriefs In Applied Sciences And Technologyisbn*. DOI:10.1007/978-3-319-02356-4
- Erdem YILDIRIM., (2015). Bina Dış Duvar Yalıtımının Enerji Ve Ekserji Analizi Yöntemiyle Optimize Edilmesi. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Erhorn, H. (2014). Selected Examples of Nearly Zero-Energy Buildings Detailed Report. *Concerted Action Energy Performance Of Buildings*, 1-8.
- Harputlugil, Gülsu Ulukavak. (2013). Bina Enerji Performansi Değerlendirme Araçları - Enerji Simülasyonu. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* 949–58.
- Hamdy, M., Abdelhamed Mostafa Mohamed, A., Hasan, A., & Mohamed, A. (2015). Net-and Nearly-Zero Energy Buildings: A Review of the Definitions and Case Studies.*RIPI Conventions Center*.
<https://www.researchgate.net/publication/280443863>.
- Hayalı, O. al. (2020). Techno-Economic Optimization Of Standalone Microgrid Hybrid Energy System In Zero Energy Buildings For Remote Community In Ankara. *Atılım University*.
- Hermelink, A., S. Schimschar, T. Boermans, L. Pagliano, P. Zangheri, R. Armani, K. Voss, and E. Musall. (2013). Towards Nearly Zero- Energy Buildings: Definition of Common Principles under the EPBD. *Ecofys for the European Union* 467.
- Hendron, R., Anderson, R., Judkoff, R., Reeves, P., & Hancock, E. (2003). Calculating Energy Savings in High Performance Residential Buildings Programs. *Energy*, August.
- Jelle, B. P., Kalnæs, S. E., & Gao, T. (2015). Low-emissivity materials for building applications: A state-of-the-art review and future research perspectives. *Energy and Buildings*, 96, 329–356.
- Kapsalaki, M. (2012). Economic - efficient design of residential net zero energy buildings with respect to local context. *Universidade Do Porto*, June, 155.
- Kürekci, N. A. (2020). Optimum Insulation Thickness For Cold Storage Walls: Case Study For Turkey. In *Journal of Thermal Engineering* (Vol. 6, Issue 5). Yildiz Technical University Press.

- Kreith, F., & Yogi Goswami, D. (2007). Energy Efficiency and Renewable Energy (p. 1568).
- Li, Danny H. W., Liu Yang, and Joseph C. Lam. (2013) . Zero Energy Buildings and Sustainable Development Implications - A Review. *Energy 54:1–10*.
- Liu, Zhijian, Yuanwei Liu, Bao Jie He, Wei Xu, Guangya Jin, and Xutao Zhang. (2019). Application and Suitability Analysis of the Key Technologies in Nearly Zero Energy Buildings in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 101(August 2018):329–45*.
- Lin Zhang. (2014). Simulation Analysis of Built Environment Based on Design Builder Software. *Applied Mechanics and Materials Vols 580-583 (2014) pp 3134-3137 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.3134*.
- M., M., & T., N. (2018). Calculation of Daily Cooling Degree for Selected Stations in Iraq. *Diyala Journal For Pure Science, 14(4), 26–39*.
<https://doi.org/10.24237/djps.1404.440c>
- Mahdi, M. S., & Khadom, A. A. (2015). Study The Economical And Optimum Thermal Insulation Thickness Of Building Walls For Energy Saving In Iraq. *Diyala Journal of Engineering Sciences, 1999–8716*.
- NAJIB, S. H. (2019). A Proposal For An Energy-Efficient School Building Model In Kirkuk/Iraq. *Firat University*.
- Nazanin M. F. (2015). An Approach For Cost Optimum Energy Efficient Retrofit Of Primary School Buildings In Turkey. *Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology*.
- M., M., Neşe G. S. (2017). A New Approach To Identify Achievable Nearly-Zero Energy Building Targets For Existing Building Retrofits. *Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology*.
- ERDOĞAN, Ö. (2018). ekonomik parametreler dikkate alınarak bina dış duvarlarına uygulanan isil yalıtım kalınlığının optimizasyonu. *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ekonomik, 1–6*.
- Pikas, E., M. Thalfeldt, and J. Kurnitski. (2014). Cost Optimal and Nearly Zero Energy Building Solutions for Office Buildings. *Energy and Buildings 74:30–42*.
- Radwa Salem, Ali Bahadori-Jahromi, Paulina Bohdanowicz, & Anastasia Mylona. (2020). Nearly-zero energy buildings: retrofitting to meet the standard. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36142.74568>.
- Roudi, F. (2015). Understanding Net Zero Energy Building Concept Through Precedents from Different Climate Zones. May, 146. <http://irep.emu.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11129/2934/1/roufar.pdf>

Shadan K., (2016). Derece-Saat Yöntemi Kullanarak Irak'taki Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi*.

Sudhakar, K., Winderla, M., & Priya, S. S. (2019). Net-zero building designs in hot and humid climates: A state-of-art. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100400>

YILDIRIM, H. Y. (2019). Sıfıra Yakın Enerjili Bina Tasarımı Ve Karşılatırılması. *Gazi Üniversitesi Fen*.

Wang, Ran, Wei Feng, Lan Wang, and Shilei Lu. (2021). A Comprehensive Evaluation of Zero Energy Buildings in Cold Regions: Actual Performance and Key Technologies of Cases from China, the US, and the European Union. *Energy* 215:118992.