

**BİNA BİLGİ MODELLEME UYGULAMALARI İLE
BİNALARDA ENERJİ ANALİZİ**

Sare Gökçen ARMUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

**Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ayça GÜLTEN
TEMMUZ -2019**

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yapmamda bana yol gösteren ve çalışma boyunca beni yönlendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayça GÜLTEN'e, hayatım boyunca yanımda olan ve beni her zaman destekleyen aileme, mutluluk ve üzüntülerimi paylaştığım yeri geldiğinde birbirimize destek olduğumuz dostlarıma, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Sare Gökçen ARMUTLU

ELAZIĞ – 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	III
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ	6
2.1. Bina Enerji Performansını Etkileyen Parametreler	8
2.1.1. Bina Yönlendirmeleri	8
2.1.2. Bina Kabuğu	9
3. BİNA BİLGİ MODELLEME	13
3.1. Bina Performans Analizi	14
3.2. <i>Green Building Studio (GBS)</i>	16
3.3. AUTODESK REVIT 2017	17
4. BIM ile BİNALARDA ENERJİ ANALİZİ UYGULAMASI	20
4.1. Geçerlilik Çalışması	20
4.2. Autodesk Revit 2017 ile Enerji Analizi	25
4.2.1. <i>LCA (Life cycle Assesment)</i> – Yaşam döngüsü Analizi	26
4.2.2. CO ₂ Emisyonu	27
5. UYGULAMA ÇALIŞMASI	29
5.1. Mevcut Konut Bilgileri	30
5.1.1. Örnek Konut Analiz Sonuçları	35
5.2. Bina Yönelimindeki Değişim ile Elde Edilen Bulgular	39
5.3. Güney Cephe Saydamlık Oranındaki Değişim İle Elde Edilen Bulgular	53
5.4. Isı Yalıtım Malzemesindeki Değişim ile Elde Edilen Bulgular	57
5.5. Bina Performansını İyileştiren Alternatif Öneri ile Mevcut Durumun Karşılaştırılması	63
6. SONUÇLAR	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	81

ÖZET

Enerji kullanımının önemli bir kısmının konutlardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bina bilgi modelleme programları kullanılarak, enerji kullanımını azaltmaya yönelik analizleri binaların tasarım aşamasında gerçekleştirmek veya uygulanmış bir binanın enerji etkinliğini arttırmak mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Bina Bilgi Modelleme (BIM) uygulamalarının binaların enerji performansı üzerindeki etkisi bir uygulama çalışması ile ortaya koyulmuştur. BIM, bir binanın yaşam döngüsü boyunca tasarımını ve proje verilerini dijital formatta yönetmek için oluşturulmuş politikalar, süreçler ve teknolojilerin bütünü olarak tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşım, inşaat sektörünün bina ve altyapıyı daha verimli planlama, tasarlama, inşa etme ve yönetme konusunda bilgi ve araçlar sağlayan üç boyutlu model tabanlı bir sürecini oluşturmaktadır.

Çalışmada halihazırda kullanılmakta olan bir konutun, bina bilgi modelleme programı olan Revit ile enerji analitik modeli oluşturulmuştur. Model üzerinden enerjinin etkin kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak çalışmanın doğruluğunu teyit etmek amacıyla, seçilen konutun Autodesk Revit 2017 ve Carrier'in *Hourly Analysis* (HAP) programlarında ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her iki program için bulunan ısıtma ve soğutma yüklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Daha sonra seçilen konutun mevcut hali için bina enerji performansını etkileyecek parametreler (bina yönelimi, güney cephe saydamlık oranı, yalıtım malzemesi ve kalınlığı) belirlenmiş ve bu parametrelerin ayrı ayrı ele alındığı analiz çalışmaları yapılmıştır. Sonuçlar; yakıt ve elektrik kullanımının ele alındığı enerji analizleri, yaşam döngüsü analizleri ve yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyon miktarına göre değerlendirilmiştir.

Binanın mevcut konumu "0° yönlenme" olarak kabul edilip, yönlenme saat yönünde 15° lik artan açılarla değiştirilmiş ve +195° en uygun yönlenme açısı olarak belirlenmiştir. Mevcut durumda % 6.5 olan güney cephe saydamlık oranının %15, 30, 40, 50, 65, 80 değerleri için analizleri yapılmış ve % 40 değeri uygun saydamlık oranı olarak belirlenmiştir. Mevcut durumda yalıtım bulunmayan dış duvarlar için 3, 5 ve 8 cm kalınlığında XPS, EPS, camyünü ve taşyünü için değerlendirmeler yapılmış ve 8cm'lik XPS uygun yalıtım malzemesi ve kalınlığı olarak belirlenmiştir. Son olarak belirlenen uygun bina yönelimi, güney cephe saydamlık oranı, yalıtım malzemesi ve kalınlığının kullanılmasıyla oluşturulan alternatif bina ile mevcut bina arasında kıyaslama yapılmıştır. Buna göre mevcut durumda

62810 \$ olan yaşam döngüsü maliyeti, oluşturulan alternatif durum için 46574 \$ olarak elde edilmiştir. Yakıt kullanımı için elde edilen CO₂ emisyon değerleri ise mevcut ve alternatif durumlar için sırasıyla 6.2 Mg ve 3.3 Mg olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, tasarım aşamasında veya uygulanmış bir yapı için BIM tabanlı programlar kullanılarak, binaların enerji performansının iyileştirilebildiği ve bu sayede sağlanacak çevresel etki somut olarak ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: BIM, Revit, Enerji kullanımı, Enerji analizi, CO₂ Emisyonları, Bina Enerji Performansı, Alternatif Tasarımlar, Yaşam Döngüsü Analizi

SUMMARY

ENERGY ANALYSIS IN BUILDINGS WITH BUILDING INFORMATION MODELLING APPLICATIONS

It is known that a significant part of energy use comes from the houses. By using building information modeling programs, it is possible to perform analyzes to reduce energy use during the design phase of buildings or to increase the energy efficiency of an applied building. In this study, the effect of Building Information Modeling (BIM) applications on the energy performance of buildings have been demonstrated by an application study. BIM can be defined as a set of policies, processes, and technologies created to manage the design and project data in a digital format throughout the life cycle of a building. This approach constitutes a three-dimensional model-based process of the construction sector that provides information and tools to plan, design, build and manage buildings and infrastructure more efficiently.

In this study, energy analytical model of a house which is currently in use was created with Revit, a building information modeling program. Efforts were made to use energy efficiently through the model. Firstly, in order to confirm the accuracy of the study, the heating and cooling loads of the selected house in Autodesk Revit 2017 and Carrier's Hourly Analysis Program (HAP) were calculated and the results were compared. As a result, it was seen that the heating and cooling loads for both programs were close to each other. Then, the parameters that will affect the building energy performance (building orientation, south façade transparency ratio, insulation material, and thickness) were determined for the current condition of the selected house and analysis studies were conducted in which these parameters were handled separately. Results were evaluated according to energy analysis derived from fuel and electricity use, life cycle assessment and CO₂ emissions from fuel use. The current position of the building is accepted as “0° orientation, and the orientation is changed with 15 ° incrementing angles and + 195° is determined as the most appropriate angle. In the present case, the southern facade transparency ratio, which is 6.5%, were analyzed for 15, 30, 40, 50, 65, 80 values and 40% was determined as the appropriate transparency ratio. For the external walls which are not insulated at present case, evaluations

have been made for XPS, EPS, glass wool and rock wool with a thickness of 3, 5 and 8 cm and XPS of 8 cm has been determined as the suitable insulation material and thickness. Finally, the determined building orientation, south façade opening, insulation material, and thickness were used to compare the alternative building with the existing building. Accordingly, the current life cycle cost of \$ 62810 was \$ 46574 for the alternative case generated. CO₂ emission values obtained for fuel use were obtained as 6.2 Mg and 3.3 Mg for current and alternative situations, respectively. As a result, it has been demonstrated that the energy performance of buildings can be improved during the design phase or using BIM-based programs for an applied structure and thus the environmental impact will be achieved.

Keywords: BIM, Revit, Energy Consumption, Energy Analysis, CO₂ Emissions, Building Energy Performance, Alternative Designs, Life Cycle Assessment

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	Konutlarda nihai enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı..... 7
Şekil 2.2.	Çok ve tek katlı yapıların genel olarak ısı kayıp oranları.....9
Şekil 2.3.	Low-e film kaplamalı çift camlar10
Şekil 3.1.	BPA'nın ana yapısı.....15
Şekil 3.2.	GBS çalışma şeması.....16
Şekil 4.1.	HAP programına ait arayüz görüntüsü20
Şekil 4.2.	Örnek konut modeli21
Şekil 4.3.	Kat planları.....22
Şekil 4.4.	Revit programı örnek arayüz görüntüsü.....25
Şekil 4.5.	Revit enerji ayaları ekranı.....26
Şekil 4.6.	Aynı binanın yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki emisyon miktarları.....28
Şekil 5.1.	Çalışma akış şeması.....29
Şekil 5.2.	Mevcut konuta ait görsel.....31
Şekil 5.3.	Kat planları (Boyutlar m'dir.).....32
Şekil 5.4.	Mevcut binaya ait (a) kesit ve (b) perspektif.....33
Şekil 5.5.	Bina ve çevresindeki binaların mevcut konumu.....34
Şekil 5.6.	Yıllık elektrik kullanımı.....36
Şekil 5.7.	Yıllık yakıt kullanımı.....36
Şekil 5.8.	Yıllık enerji kullanımı.....37
Şekil 5.9.	Aylık yakıt maliyeti.....38
Şekil 5.10.	Aylık enerji maliyeti.....39
Şekil 5.11.	Bina yönelimi.....40
Şekil 5.12.	Bina yönelimleri ile yıllık enerji kullanım grafiği.....43
Şekil 5.13.	Bina yönelimleri ile yıllık yakıt maliyet grafiği.....44
Şekil 5.14.	Bina yönelimi için önerilen alternatif.....52
Şekil 5.15.	Güney cephe saydamlık oranı yıllık enerji maliyet grafiği.....54
Şekil 5.16.	Güney cephe saydamlık oranı yıllık yakıt maliyet grafiği.....55
Şekil 5.17.	Mevcut bina dış duvar kesiti.....58

Şekil 5.18.	Yalıtım malzemesi için yıllık enerji maliyet grafiği.....	60
Şekil 5.19.	Yalıtım malzemesi için yıllık yakıt maliyet grafiği.....	61
Şekil 5.20.	Oluşturulan alternatif için yıllık enerji maliyet grafiği.....	64
Şekil 5.21.	Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık enerji maliyetleri.....	65
Şekil 5.22.	Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık yakıt maliyetleri.....	65
Şekil 5.23.	Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık elektrik kullanımları.....	68
Şekil 5.24.	Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık yakıt kullanımları.....	68
Şekil 5.25.	Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık enerji kullanımları.....	69

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Konutun bulunduğu konumun iklim verileri.....	22
Tablo 4.2. Bina tasarım verileri.....	23
Tablo 4.3. Yapı bileşenlerinin özellikleri ve ısı geçirgenlik katsayıları.....	24
Tablo 4.4. Revit ile HAP sonuçlarının karşılaştırılması.....	24
Tablo 5.1. Kullanılan ölçü birimleri.....	30
Tablo 5.2. Konutun bulunduğu konumun iklim verileri.....	34
Tablo 5.3. Bina tasarım verileri.....	35
Tablo 5.4. Yapı bileşenlerinin özellikleri ve ısı geçirgenlik katsayıları.....	35
Tablo 5.5. Örnek konut için enerji analiz verileri.....	37
Tablo 5.6. Bina yönelimlerine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları.....	41
Tablo 5.7. Bina yönelimlerinin aylık yakıt kullanımı maliyetleri (\$).....	45
Tablo 5.8. Bina yönelimlerinin ısıtma miktarına etkileri.....	46
Tablo 5.9. Bina yönlenmeleri için yaşam döngüsü analizi ve CO2 emisyon miktarı.....	49
Tablo 5.10. Güney cephe saydamlık oranına göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları.....	53
Tablo 5.11. Güney cephe saydamlık oranı için aylık yakıt maliyetleri (\$).....	55
Tablo 5.12. Güney cephe saydamlık oranının ısıtma miktarına etkileri.....	56
Tablo 5.13. Güney cephe saydamlık oranı için yaşam döngüsü analizi ve CO2 emisyon miktarları.....	57
Tablo 5.14. Farklı yalıtım malzemelerinin termal değerleri.....	58
Tablo 5.15. Yalıtım malzemelerinin kalınlıklarına göre bina dış duvarına ait U değerleri.....	59
Tablo 5.16. Yalıtım malzemesine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları.....	59
Tablo 5.17. Yalıtım malzemeleri için aylık yakıt maliyetler (\$).....	61
Tablo 5.18. Yalıtım malzemelerinin ısıtma miktarına etkileri.....	62
Tablo 5.19. Yalıtım malzemesi için yaşam döngüsü analizi ve CO2 emisyon miktarı.....	63
Tablo 5.20. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık enerji ve yakıt kullanımları.....	64

Tablo 5.21. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin aylık yakıt maliyetleri (\$).....	66
Tablo 5.22. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin ısıtma miktarına etkileri.....	66
Tablo 5.23. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yaşam döngüsü analizi ve CO2 emisyon miktarları.....	67

KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma Soğutma ve Klima Mühendisleri Birliği
BIM	: Building Information Modelling – Yapı Bilgi Modelleme
BPA	: Buildin Performance Analysis - Bina Performans Analizi
CAD	: Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Tasarım
GBS	: Green Building Studio
FC	: Fan-Coil System
HAP	: Hourly Analysis Program - Saatlik Analiz Programı
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditionoing - Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme
IEA	: International Energy Agency - Uluslararası Enerji Ajansı
LCA	: Life Cyle Assessment - Yaşam Döngüsü Analizi
Low-E	: Low emissivity
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient - Solar Isı Kazanç Katsayısı
U	: Isı Geçirgenlik Katsayısı

1. GİRİŞ

20. yüzyılda sanayileşme ile birlikte teknoloji ve yaşam standartları yükselmiş ancak doğal kaynak ve hammadde tüketim oranı hızla artış göstermiştir [1]. Bu çevresel sorunun çözülmesiyle birlikte enerjiyi etkin kullanma adına çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Türkiye’de enerji tüketiminde kullanılan kaynaklar büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Özellikle doğalgaz kullanımı ülkemizin dışarıya bağımlılığını artırmaktadır. Türkiye toplam sera gazı artış oranı en yüksek olan ülkedir ve 1990 yılından 2008 yılına kadar sera gazı emisyonu %96 artış göstermiştir [2]. Sera Gazı Ulusal Envanterine göre; ulusal CO₂ emisyonunun %16’sı enerji sektöründen, %18’i konut sektöründen kaynaklanmaktadır [3].

Hükümetlerin, uzun vadeli iklim hedeflerine ulaşmaları ve enerji kaynaklı hava kirliliğini azaltmaları konusunda en önemli etkenlerden biri olan enerji verimliliği konusunda daha fazla çaba göstermeleri gerekmektedir [4]. Ülkemizde enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak adına çözüm üretmek için binaların tasarım aşamasında yapılacak çalışmalar büyük önem taşır. Enerjiyi verimli bir şekilde kullanmaya uygun yöntemlerin kullanılmasıyla ısıtma ve soğutma için %60, yapay aydınlatma için yaklaşık %50 enerjiden tasarruf etmek mümkündür [3]. Binaların enerji verimliliği artırıldığında, CO₂ emisyonu da azalacaktır.

Binanın enerji performansını etkileyen birçok parametre vardır. Yapı inşa edilmeye başlamadan önce bu parametreleri dikkate almak, sonradan doğabilecek sorunları önleme açısından ve enerjiden tasarruf edilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu konuya binanın tasarım aşamasında özen gösterilmediğinde daha sonra düzeltilmesi mümkün olmayan sorunlar ortaya çıkabileceği gibi, geliştirilebilecek farklı çözüm yöntemleri zaman ve maliyet kaybına neden olacaktır [5].

Literatürde, mevcut binalar için enerji performanslarını iyileştirmeye yönelik ve BIM tabanlı programlardan destek alınarak yapılmış bir çok çalışma mevcuttur. Abanda ve Byers [6], örnek bir bina üzerinden yola çıkarak bu binanın Revit programında enerji tüketimini hesaplamıştır. Bina yönelimleri değiştirildiğinde özellikle elektrik ve yakıt tüketiminde tasarruf edilebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Savaşkan [7], Autodesk REVIT yazılımını kullanarak örnek bir konut tohum modeli üzerinden oda sayısı, saydamlık oranı, çatı örtüsü ve ısı yalıtım malzemesini değiştirerek farklı senaryolar oluşturmuştur. Bu senaryolar üzerinden enerji verimliliği yüksek binalar tasarlanabileceğini gösteren bir çalışma yapmıştır.

He, Hoyano ve Asawa [8] komşu binaların ve ağaçların enerji performansına etkisinin değerlendirilmesinde simülasyon araçlarının önemini vurgulamaktadır. Çalışmada, ağaçların binaların ısıtma-soğutma yüklerine ve iç mekan sıcaklığına etkisini simülasyon programı üzerinden incelemiştir.

Leinartas ve Stephens [9] Chicago'da, 1978 tarihi öncesinde inşa edilmiş, müstakil ve dış duvar malzemesi tuğla olan 10 tip örnek bina üzerinden BEopt ve EnergyPlus programlarını kullanarak maliyet ve enerji performanslarını hesaplamıştır. Sonuç olarak, bina üzerinde yaptığı yenilemeler ile en az % 50 enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu enerji yenilemelerinin 1978 öncesi Chicago bölgesi konut binalarının tamamına uygulanmasının bölgeye yatırım fırsatı sağlayacağını ortaya koymuştur.

Spiegelhalter [10], pasif ve aktif enerji tasarruf stratejileri ile bina işletim maliyeti ve CO₂ emisyonunu azaltmaya yönelik stratejilerini incelemiştir. Çalışmada pasif ve aktif stratejileri geliştirmek için Autodesk REVIT MEP, eQuest, Green Building Studio Cloud Software ile bir eğitim binasının üç boyutlu modellemesini yaparak senaryolar oluşturmuştur. Çalışmasına ait eğitim binasında enerji kullanımına yönelik sonuçlara ulaşmıştır.

Kota vd [11] bina performansını incelemeye yönelik simülasyon yönteminin kullanımı anlatmıştır. Revit programının gün ışığı simülasyon araçlarıyla entegrasyonunda hangi zorluk ve faydaların bulunduğu odaklanmıştır. Bu çalışma için Revit programı üzerinden gün ışığı simülasyon araçları olan Radiance ve DAYSIM'i bütünleştirmek için bir prototip geliştirmiştir. Günışığı analizinin yapı bilgi modelleme ortamına entegrasyonun bilinçli tasarım kararları vermeye yardımcı olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Kuo, Hsieh, Guo, Chan [12] bir yapının, konsept tasarım aşamasında BIM tabanlı enerji analizinin güvenilirliğini araştırmıştır. Bu çalışma, simülasyon programında hesaplanan elektrik kullanımına ilişkin değerleri elektrik üretiminin ölçülen gerçek verileri ile karşılaştırılarak BIM tabanlı programlar aracılığıyla enerji analizinin uygulanabilirliği ve güvenilirliğini kanıtlamıştır.

Atmaca [13], binalarda Enerji Performansı Hesap Yönteminin geliştirilmesinin gerekliliğini araştırmıştır. Çalışma için, Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi - Türkiye (BepTr) ile 5 değişkene göre (saydamlık oranı, ortam sıcaklık ayarı, güney cepheye bakan kenar, tek veya 4 zon kriteri, hesap yöntemi) 8 senaryo oluşturmuştur. Çalışmaya bu seneryoların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılaştırarak devam etmiştir. Sonuç olarak binanın formuna ve ebatlarına göre güneş kazançlarının dağılımı sağlaması gerektiğini ve BepTr ile yönlere ve yüzey uzunluklarına göre katın 4 zon olarak bulunan sonuçlarının EnergyPlus yazılımı ile hesaplanan sonuçlara yakın olduğunu ortaya koymuştur.

Kürekçi ve Kaplan [14], ısıtma ve soğutma yükü hesaplama programlarının doğruluğunu incelemiştir. HAP ve REVIT programlarında, örnek bir ofis binasının aynı iç ve dış koşullar altındaki ısıtma-soğutma yüklerini hesaplamıştır ve her iki programda da benzer sonuçlar elde etmiştir.

Kadirlioğlu [15], enerji etkin yapı tasarımı için mimari tasarım ilkeleri belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla literatür araştırmaları ve enerji analizleri ile tablo oluşturmuştur. Tasarım kararları, iklim analizleri ve enerji etkin sistemlerin kullanımı ile enerji kullanımının belli bir miktarda azaltacağını belirlemiştir.

Koyun vd. [16], çift cam, tek cam ve kaplamalı (low-e) cam tiplerinin pencere/duvar oranı üzerinden enerji tüketimine etkisini araştırmıştır. Mekanik tesisat hesapları programına göre pencerelerin ısı kayıplarını hesaplamıştır. Ekonomik ve uygulanabilir olması açısından optimum değerinin bulunması gerektiği sonucuna varmıştır.

Ünsal [17], binaların enerji verimliği konusu üzerinde çalışmıştır. TOKİ konutlarının Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerine göre, 4 farklı yönelme durumu ve bina kabuğunun değiştirilmesiyle Design Builder programını kullanarak ısıtma ve soğutma yükünün azaltılmasına yönelik alternatif çözüm yollarını incelemiştir. TOKİ konutlarına yönelik çalışmaların enerjinin etkin kullanımına önemli katkılar sağlayacağını vurgulamıştır.

Sancaktar [18], 2000 yılı öncesi binalarda ısıtma performansını incelemiştir. Çalışma için beş katlı iki bloktan oluşan binayı TS 825 hesap programı üzerinden TS 825 standartlarına göre yapılabilecek iyileştirmeler ile yeniden düzenleyerek performans ve maliyet analizi yapmıştır. Duvarlar ve pencerelerde yaptığı iyileştirmeler %56.8 enerji tasarrufu sağlamıştır. Ancak tanımladığı bölgede standartlara göre bulunduğu sonuçlar, sınır değerlerine göre yüksek çıkmıştır.

Öktem ve Ergen [19], yapı bilgi modellemeye firmaların adapte olması için klavuz oluşturmayı amaçlamıştır. Bunun için iki çerçeve oluşturmuş, bu çerçevelerin geçerliliğini

ve uygunluğunu değerlendirmiştir. Sonuç olarak firmalarda kılavuz olarak kullanılacak, operasyonel bir yapı bilgi modelleme çerçevesi oluşturmuştur.

Akcatir, Nacar ve Yeşilata [20], enerji yükü hesaplamalarında kullanılan programlarını değerlendirilebileceği kriterler belirlemiştir. Bunun için EnergyPlus, Design Builder ve Hourly Analysis Program (HAP) yazılımlarını kullanımını incelemiştir ve EnergyPlus yazılımı ile örnek bir uygulama çalışması yapmıştır. Sonuç olarak önemli yazılımların güvenilirliği karşıladığını belirtmiştir.

Lı [21], yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin; binaların enerji, su ve malzeme tüketiminde daha iyi performans elde etmelerine yardımcı olarak çevreye zararının daha az olacağı konusu üzerinde durmuştur. Çalışmasında, LEED sertifikalandırmaları için gerekli belgeleri üretilme sürecinde yapı bilgi modellemesi kavramının uygulanma yöntemini açıklamaktadır. Bunun için AUTODESK Revit 2014 ile modellediği örnek bir uygulama yapmıştır. Çalışma ile BIM'i LEED sertifikasyon sistemine entegre etmenin mümkün olduğu, ancak iş akışını akıcı hale getirmek için ilave çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varmıştır.

Douglass [22], yapı bilgi modellemeyle enerji analizi ve simülasyonları kullanımını incelemiştir. Bunun için Autodesk Revit ile modellediği bir konutun Autodesk Ecotect ve DesignBuilder ile analiz çalışmalarını yapmıştır. Sonuç olarak yapı bilgi modelleme verilerini analiz araçlarına alma sürecinde bazı sorunlarla karşılaştığı ancak, tüm sorunları çözülebildiğini gözlemlemiştir. Ayrıca, Ecotect ve DesignBuilder'dan elde edilen simülasyon sonuçları, en iyi durumda ve en kötü durumda pasif güneş tasarımı stratejileri arasında yıllık ısıtma ve soğutma enerjisinde % 15'lik bir fark göstermiştir.

Martin [23], araştırmasında, yapı bilgi modellemeyle bir ilköğretim okulunun enerji tüketimi, yaşam döngüsü enerji maliyeti ve karbon emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmak için Autodesk Green Building Studio'nun entegrasyonu ile karşılaştırmalı bir çalışma hazırlamıştır. Bunun için, yapı bilgi modelleme aracılığıyla binaların sürdürülebilir ve kullanım ömrü maliyetinin faydalarını ortaya çıkaracak incelemeler yapılmıştır. Yaptığı incelemeler sonucunda, enerji modelleme analizlerinin inşaat projelerinin kavramsal tasarımına erken dahil edilmesinin önemini vurgulamıştır. Erken tasarım enerji analizinin, binanın yaşam döngüsünün başında maliyet kararlarını alma, yapı bilgi modelleme ve *Green Buildig Studio* kullanımıyla enerji tasarrufunu sağlama fırsatı sunacağını bildirmiştir.

Le [24], bina analiz etmede bir yazılım olan Autodesk *Green Buildig Studio*'yu tanıtmıştır. Bu yazılım su kullanımı ve maliyetleri, doğal havalandırma potansiyeli, gerçek

bir modele dayanan karbon emisyonları, yerel enerji kaynakları ve hava durumu verileri gibi enerji tüketiminin sonuçlarını verir. Çalışmasını Revit ile modellenen 279 m²'lik villa üzerinden yapmıştır. Sonuç olarak, gelecekteki projeler için en iyi enerji verimli, sürdürülebilir tasarım önerilmiştir. *Green Buildig Studio'nun*, gerçek standartlar altında çalışan ve yüksek güvenilir sonuçlar veren çok güçlü ve kullanışlı bir araç olduğuna çalışmasının sonuçları arasında yer vermiştir.

Gençer [25], yalıtım malzemeleri ile konutlarda ısı tüketimini azaltması üzerinde çalışmıştır. Yalıtımsız bir binanın ısı kaybını hesaplayıp bulduğu sonucu, yalıtım malzemesi ekleyerek hesapladığı sonuçla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak yalıtım malzemesi eklendiğinde yakıt tüketimi %55 azalmıştır.

Flores [26], bir binanın enerji kullanımını tahmin etmek ve inşaat sürecinden önce uygulanabilecek potansiyel tasarım kararlarını ana hatlarıyla belirlemeyi amaçlamıştır. Bunun için bir eğitim binasında Autodesk Revit 2017'yi kullanarak bina performans analizi geliştirmeye çalışmıştır. Sonuç olarak kullanılan yöntemin geçerliliği, dikkate değer sonuçlar göz önünde bulundurularak doğrulanmıştır. Ayrıca bu konu üzerine olası pratik uygulamalar ve daha fazla araştırma potansiyeli bulunduğu dikkat çekmektedir.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle kullanımı artan yapı bilgi modelleme yöntemleri, inşaat sektörüne birçok yönden kolaylık sağlamak ve çözümler üretebilmektedir [13]. Bu programlar yapının tasarım evresinin uzamasına neden olsa da daha sonra doğabilecek zorlukların öngörülebilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada Bina Bilgi Modelleme (BIM) uygulamalarının tasarım aşamasında veya uygulanmış bir binanın enerji etkinliğini iyileştirmek üzerindeki etkisi bir uygulama çalışması ile ortaya koyulmuştur. Daha önce yapılan ve BIM kullanılan çalışmalardan farklı olarak, değerlendirmeler yaşam döngüsü maliyeti ve ısınma için gerekli olan yakıtın CO₂ emisyonu üzerinden hesaplanmıştır. Bu şekilde BIM uygulamalarının, sağladığı enerji ve maliyet tasarrufunun yanı sıra çevresel etkiye katkısı da vurgulanmak istenmiştir. Bu amaçla Bina Bilgi Modelleme uygulamaları ile bir konutun mevcut durumu ile yönlenme, güney cephe saydamlık oranı ile dış duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığı değişkenlerine göre belirlenen alternatif durumu için yaşam döngüsü maliyeti ve CO₂ emisyonu değerleri üzerinden kıyaslama yapılmıştır. Çalışmada, Autodesk Rewit ile üç boyutlu modellemeler yapılmış ve Green Building Studio (GBS) ile enerji analizleri elde edilmiştir. Yapılan analizlerin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla HAP programı üzerinden bir geçerlilik çalışması da yapılmıştır.

2. ENERJİ

Türk dil kurumu enerjiyi ‘Maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç.’ şeklinde tanımlamıştır. Enerji; ısı, elektrik enerjisi, mekanik enerji olarak gruplanmıştır. Enerji ile günlük hayatın ısı konforu, ulaşım, aydınlatma gibi aktivite ve ihtiyaçlarının karşılanması enerjinin önemini gösterir.

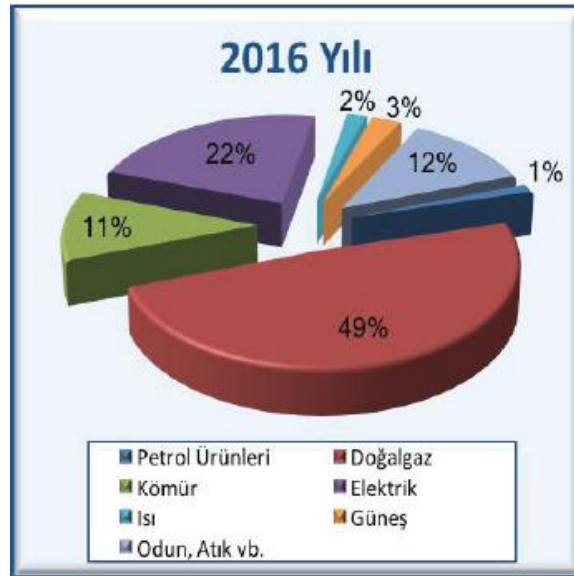
Enerji ülke politikalarında etkili bir konudur [15]. Bir ülkede kişi başına düşen enerji kullanım miktarının yüksek olması bu ülkenin ekonomik faaliyetlerinin canlılığını ve refah düzeyinin yüksek olduğunu gösterir. Enerji kullanım yoğunluğunun az olması ise enerjinin verimli bir şekilde kullanıldığını gösterir. Tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, kaliteyi ve bina performansını düşürmeden en aza indirilmesi gerekmektedir. Enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi enerjiden tasarruf etmeyi sağlayacak çalışmalar arasında bulunmaktadır [28].

Enerji yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Enerji kaynakları sıvı, gaz, ışınım veya elektriğe dönüştürülerek kullanılmaktadırlar [34]. Doğalgaz, petrol, kömür yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; biyogaz, biyokütle, güneş, jeotermal, rüzgâr, dalga, gel-git, hidrojenidir. Dünya genelinde yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanım oranı daha fazladır. Ancak yenilenemeyen enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı sırasında çevreye zararlı gazların salınmasına neden olurlar ve doğada sınırlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme ve bakım maliyetleri düşüktür ve çevreye verdiği zarar yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre daha azdır [62].

Binalarda kullanılan enerjinin büyük bir bölümü yenilenemeyen fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Geleneksel yapıların enerji ihtiyacının %85’inin doğalgaz, petrol, kömür gibi yenilenemeyen fosil enerji kaynaklarından sağlanması, enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtların önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterir [50]. Sanayileşme ile başlayan enerji kullanım oranındaki artışa karşı fosil yakıt rezervleri hızlı bir şekilde azalmaktadır. Fosil yakıt rezervlerindeki azalmanın yanında bir diğer önemli mesele, Türkiye ile beraber pek çok ülkenin yakıt kullanımında dışa bağımlı olmasıdır. Ülkemizde 2013 yılında ithalatın % 22’sini enerji ürünlerinin ithalatı oluşturmuştur [14].

Ayrıca fosil yakıt kullanımı; küresel ısınma, iklim dengelerinde bozulma, hava kirliliği ve sel, fırtına gibi doğal afetlerin artmasında etkili olmaktadır [15] .

Binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, aydınlatma, pişirme amaçlı temel ihtiyaçlar enerji kullanımına neden olmaktadır. Şekil 2.1’de konutlarda nihai enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı gösterilmektedir [27]. 2016 yılı verilerine göre konutlarda enerji tüketimi %48,8 ile doğalgaz kaynaklıdır. Yakıt kullanımının binalardaki enerji payında en büyük etkiye sahip olmasından dolayı, kış aylarında iç mekânlarda 1°C lik sıcaklık artışı yaklaşık %5 enerji kaybına neden olabilmektedir [28]. Doğalgazdan sonra en yüksek enerji tüketim oranı % 22,4 olan elektrik kullanımından kaynaklanmaktadır. Dünya üzerinde ise klimalar ve elektrikli fanlar toplam elektrik kullanımının %20’sini oluşturmaktadır [4].



Şekil 2.1. Konutlarda nihai enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı [27].

Konutlarda kullanım alanlarına göre enerji kullanım oranlarının dağılımı; %60 alan ısıtması, %16 sıcak su, %8 pişirme iken %16’sı ise elektrikli ev aletleri ve aydınlatma şeklinde dağılım göstermektedir [27].

Ülkemizde yaşam konforundan ödün verilmeden binalarda %30 enerji tasarrufu sağlanması mümkündür [34]. Enerji tüketiminin yaklaşık %50’sini oluşturan binaların enerjiiyi etkin kullanımını sağlamak, enerji tüketiminin azalmasında fayda sağlayacaktır [15]. Enerji etkin kullanımı, binanın enerji kazancının artırılmasıyla veya binanın enerji ihtiyacının azaltılmasıyla gerçekleşir. Kullanılan aktif ve pasif sistemler binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, aydınlatma için enerji kullanımlarını azaltır. Pasif

sistemler iletim, konveksiyon ve radyasyonla; aktif sistemler fanlar ve diğer ekipmanlar kullanılarak sağlanmaktadır [15].

Yapı bilgi modelleme uygulamaları ile aktif ve pasif sistemlerin bina enerji performansına etkileri analiz edilerek bina enerji performansı hakkında öngörü oluşturması sağlanır, böylece binalarda enerjinin etkin kullanımına katkı sağlanmış olur.

2.1. Bina Enerji Performansını Etkileyen Parametreler

Bina enerji performansı, birim başına enerji kullanımını azaltırken, yaşam standardı ve hizmet kalitesini düşürülmemesi şeklinde açıklanır [20]. Bina enerji performansını etkileyen parametreler dış ortam koşulları ve binaya ilişkin faktörler olarak ikiye ayrılır. Dış ortam koşullarından topografya, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nem miktarı, rüzgâr binanın enerji performansını etkilemektedir. Enerji performansını etkileyen binaya ilişkin parametreler; binanın konumu, binanın çevre binalarla dizilim şekli, bina yönelimi, bina formu ve bina kabuğundan oluşmaktadır [1,17].

Çalışma için bu parametrelerden bina yönelimleri ve bina kabuğunu etkilemekte olan cephe saydamlık oranı, ısı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları için analizler yapılmıştır.

2.1.1. Bina Yönelimleri

Güneşten kazanılan ısı miktarından yararlanmayı sağlayacak olan bina yönelimi, enerji etkin kullanımını etkileyen parametreler arasındadır. Yönelme, binanın ısıtma-soğutma yükü, rüzgârdan fayda sağlama, doğal ışık alımı ve yapay aydınlatma kullanım miktarları üzerinde etkilidir [1,6].

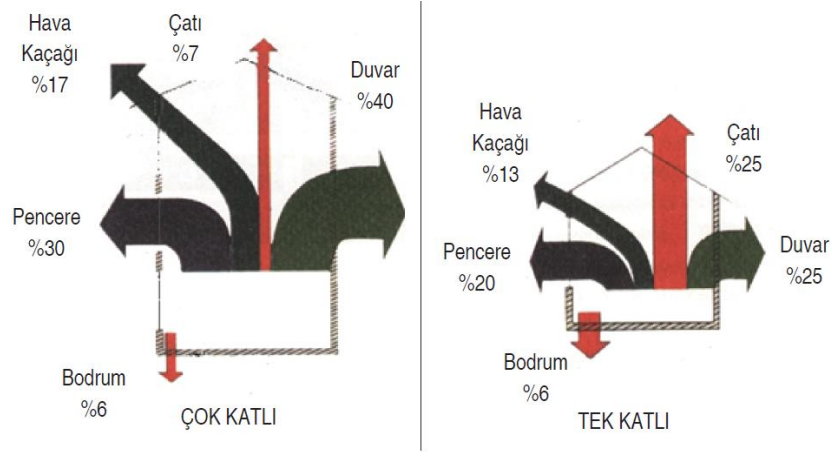
En uygun bina yönelimini seçmede amaç, soğuk havalarda binanın ısıtma yükünü en aza indirmek, sıcak havalarda iç ortam sıcaklığını düşürmek ve aynı zamanda gün ışığından optimum düzeyde faydalanabilmektir.

Binanın iç mekânı ısıtması için gereken enerji, güneş ışınlarını alma açısına bağlıdır. Bina yönelimi, bina formuna bağlı olarak bina dış yüzeyine güneş ışınlarının düşme açısı ve iç mekânların güneş ışınımından yararlanma miktarı üzerinde etkilidir. Bina yönelimi değiştikçe, güneş radyasyonu binayı farklı oranlarda etkileyecektir. Kuzey yarımküre için güneşe yönelme ısı kayıplarını önlemek adına tercih edilmektedir. Bina yönlendirmelerinde

güneye bakan cephe her bir yönlendirmede değişmiş olacağından güneşten kazanılan ısı farklı mekânlar üzerinde etkili olacaktır.

2.1.2. Bina Kabuğu

Bina kabuğu dış ortam ile binanın iç ortamı arasındaki ısı, hava, nem geçişlerini sağlamaktadır. Bina kabuğu malzemesinin termofiziksel özellikleri dikkate alınmalıdır [1]. Şekil 2.2’de bina dış kabuğundan çok ve tek katlı yapıların ısı kayıpları gösterilmektedir. Isı kayıp oranlarına göre en fazla ısı kaybı, dış duvarlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.2. Çok ve tek katlı yapıların genel olarak ısı kayıp oranları [16].

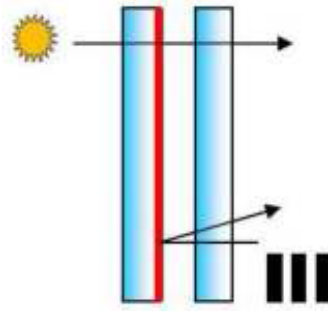
2.1.2.1. Cephe Saydamlık Oranı

Saydamlık oranı, toplam dış yüzey alanı ile toplam saydam cephe alanı arasındaki orandır.

Cephe enerji performansını etkileyen parametreler:

- Pencere tipi
- Cephe saydamlık oranı
- Yönlenmeden kaynaklanan ısı kazançları
- Binanın bulunduğu bölgenin iklim tipi (karasal, ılıman...vb) olarak sıralanabilir.

İç ortam ısını korumada binada kullanılan cam tipi etkilidir. Günümüzde inşaa edilen binaların birçoğunda çift cam kullanılmaktadır. Çift camdan daha iyi ısı iletkenlik değerine sahip olan Low-e cam tipi, üçlü cam, argon-çift cam tiplerinin tercih edilmesi ısıtma yükünün azalmasında etkili olmaktadır [17]. Şekil 2.3.'de Low-e cam tipinin ısı aktarımı gösterilmektedir [18]. Low-e tipi camlarda güneşten gelen ışınlarla iç mekânın ısıtılması sağlanırken, iç mekândan dışarıya ışınların çıkması engellenerek, iç mekan ısının korunması sağlanır.



Şekil 2.3. Low-e film kaplamalı çift camlar [18].

Pencere boyutları arttırıldığında ise ısı kontrolünü sağlamak için doğu ve batı yönündeki pencereler küçük tutularak havalandırma ile oluşan ısı kayıpları ve ısı geçişi azaltılmalıdır. Buna ilaveten soğuk havalarda yaşama alanlarına ait pencereler, güneş ışınlarından daha fazla faydalanmak adına güney yönüne konumlandırılmalıdır. Pencerelerin doğru şekilde konumlandırılmasıyla enerji gereksinimi %40 - %30 azaltılabilir [33].

Cephe saydamlık oranı iç ortam konfor şartlarını etkilemektedir. Cephe saydamlığı ile kullanıcı konforunu sağlamak için iç ortamı yeterince aydınlatılması ve iç mekan ile dış mekan arasındaki bağlantının koparılmaması, aynı zamanda saydamlık oranının arttırılmasıyla artacak ısıtma yükünün ayarlanmasıyla iç mekanda ısı dengenin korunması gerekmektedir.

Sıcak havalarda iç ortam ısı artışını engellemek, soğuk havalarda ise iç ortamın ısı kaybını azaltmak konusunda saydamlık oranı etkili olmaktadır [17]. Binanın günışığından yararlanmadığı saatlerde cephe saydamlığının artmasıyla ısıtma yükü artacaktır. Güneşten en fazla fayda sağlanan güney cephesi, iç mekân ısının artmasına neden olarak ısıtma yükünün azalmasında etkili olacaktır. Binanın kuzey cephesinde saydamlık oranı arttırıldığında güneş ısından yararlanılamayacağı için iç mekânın ısının azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle kuzey cephesinde saydam dış cephe miktarı aydınlatmayı sağlayacak

kadar olmalıdır. Batı, doğu ve güney cephelerinde saydamlık oranı iç ortam konfor koşullarını sağlamak için saatlik güneş ısı değerlerine göre belirli hesaplamalar ile belirlenmelidir.

2.1.2.2. Isı Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri

Yalıtım malzemesi patenti ilk olarak 19.yy'ın başlarında alınmıştır. 1900'lerin sonlarına doğru dünya genelinde ısı yalıtım standartları getirilmeye başlanmıştır. Doğru bir ısı yalıtım malzemesinin tercih edilmesi, enerjinin etkin kullanımına katkı sağlayacaktır. Isı yalıtım malzemeleri ısı kaybını azaltarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Yakıt kullanımının azalmasıyla kullanıcının yakıt maliyeti düşecek, yakıt kullanımından kaynaklanan çevre kirliliği azalacak ve mekânın ısı konforu sağlanmış olacaktır.

Isı yalıtım malzemelerinin en fazla dikkat edilmesi gereken özellikleri :

- Neme karşı duyarlılığı
- Üretim, uygulama, kullanım aşamalarında sağlığa olumsuz etki etmemesi
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı
- Çeşitli kuvvetlere dayanıklılığı
- Korozyon, çürüme, küflenme, haşarat barındırma gibi etkenlere karşı direnci
- Şekil değiştirmemesi
- Sıcaklığa dayanma ve yanma durumu
- Taşınmaya, uygulamaya müsait olması, işçiliğinin kolay olması
- Hacimce su emme – gözenek yapısı
- Yoğunluğu
- Ekonomik olması
- Isı iletim katsayısının küçük bir değer olması.

şeklinde sıralanabilmektedir [28].

Binalarda yalıtım malzemeleri çatı, duvar ve döşemelerde kullanılır. Yalıtım malzemeleri; mineral lifli malzemeler, sert plastik köpükler, yumuşak köpükler, cam köpüğü-kalsiyum silikat türü malzemeler olarak dört grupta incelenmektedir. Mineral lifli malzemeler; camyünü, taşyünü, seramik yünüdür. Sert plastik köpükler; EPS, XPS, fenol

köpüğü, poliüretandır. Elastomerik kauçuk köpüğü, polietilen köpük ise yumuşak köpükleri oluşturmaktadır [28] .

Çalışma için yalıtım malzemelerinden XPS, EPS, taşıyünü ve camyünün seçilmiştir. Camyünü ve taşıyünün üretim esasları benzer olmasına rağmen farklı yöntemlerle üretilmektedirler. EPS polistreni şişirme metoduyla, XPS ise polistren sert köpüğün banttandır çekilmesiyle üretilmektedir.

3. BİNA BİLGİ MODELLEME

Building Information Modelling (BIM); dilimizde Bina Bilgi Modelleme, Yapı Bilgi Modelleme veya Yapı Bilgi Sistemi adıyla üç şekilde de kullanılabilir [29].

BIM - Yapı Bilgi Modelleme, tasarım sürecinde bilgileri oluşturmak, değiştirmek, paylaşmak ve koordine etmek için akıllı üç boyutlu bilgisayar modellerini kullanan bir tasarım yaklaşımıdır. Bu tasarım yaklaşımı; mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe bina ve altyapıyı daha verimli planlama, tasarlama, inşa etme ve yönetme konusunda bilgi ve araçlar sağlayan akıllı bir üç boyutlu model tabanlı bir sürecini oluşturmaktadır. BIM, bir binanın yaşam döngüsü boyunca tasarımını ve proje verilerini dijital formatta yönetmek için oluşturulmuş politikalar, süreçler ve teknolojilerin bütünü olarak da tanımlanabilmektedir [22,32].

Yapı Bilgi Modeli, proje hazırlanması sürecinde prosedürü basitleştirmek, iş yükünü azaltmak ve verimliliği artırmak için kullanılan bir projenin ayrıntılı bilgilerini sağlayan ve bu bilgileri görüntüleyen bir modeldir. BIM ile bir proje koordineli, tutarlı, hesaplanabilir şekilde tasarlanarak kullanılabilir. Bu durumu sağlayabilmek için bir yapıya ait bilgilerle parametrik kararlar ve tasarım kararları alınmakta, kaliteli inşaat dokümanları üretilmekte, bina enerji performansının öngörülebilme, maliyet tahmini ve inşaat planlama bilgileri oluşturulmaktadır [6,33].

Yapı bilgi modelleme ilk olarak havacılık ve otomotiv sektörü için bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) sistemleri ile gelişmiştir. 1970'li yıllarda 'CAD' için inşaat sektörüne yönelik düşük seviyeli veri değişimi uygulamaları yayınlanmış ve CAD programları, öncelikle iki boyutlu koordinata dayalı geometrik grafikler oluşturmakta kullanılıp, daha sonra üç boyutlu modelleme programlarına dönüşmüştür. İlerleyen yıllarda üç boyutlu programlarla yapılabilen modelleme, model parametreleri ve kısıtlamaların daha kolay bir şekilde düzenlenmesine yönelik çalışmalar devam etmiştir. 1990'lı yılların ortalarında üç boyutlu modelleme vektörel verilerin ötesinde, fiziksel özellikler, birim maliyet analizleri vb. verileri içerecek şekilde genişletilmiş ve 'BIM' olarak adlandırılan kavram ortaya çıkmıştır. Bu kavramın 2002 yılında Autodesk şirketi tarafından tanıtılmasıyla kullanımı yaygınlaşmıştır [23].

2007 yılında ABD’de General Services Administration (GSA), 2013 yılında ise İngiltere BIM kullanımını zorunlu hale getirilmiştir. Türkiye’de BIM kullanımı son birkaç yılda yaygınlaşmıştır. BIM alanında Türkçe döküman sayısının az olması uygulamanın kullanım oranının az olmasında bir etken olarak görülmektedir [19].

Stanford Üniversitesi Entegre Tesisler Mühendisliği Merkezi (CIFE) tarafından yürütülen 32 bina projesi ile yapılan bir araştırma sonucunda, BIM kullanımı ile zamandan ve paradan tasarruf edilebileceği tespit edilmiştir. BIM ile hazırlanan projelerde çakışmaların erken tespiti ile hedeflenmiş maliyetler %40 azalmıştır ve sözleşme değerlerinin %10’u kurtarılmıştır. Maliyet tahmin süreleri %80’e, toplam proje süreleri %7’ye kadar düşürülmüştür [22]. BIM kullanımına yönelik başka bir çalışmada, yatırımcıların BIM’i projelerde kullanmasının ekonomik getirisinin ortalama olarak % 634 ile %1633 arasında değişmekte olduğunu göstermektedir [26].

BIM, aynı yapıya ait birbirinden bağımsız farklı disiplinler ile yapının yaşam döngüsü boyunca alınacak kararlara bir temel oluşturmaktadır. Bu şekilde bir temel oluşturması ile farklı disiplinlerde projenin tekrar işlenmesinden dolayı oluşacak farklılıklar engellenmiş olacaktır [29]. İnşaat sektöründe, birden fazla disiplinin bir projede işbirliği ve koordinasyon gerektirmesi nedeniyle BIM kullanımı kolaylık sağlayacaktır.

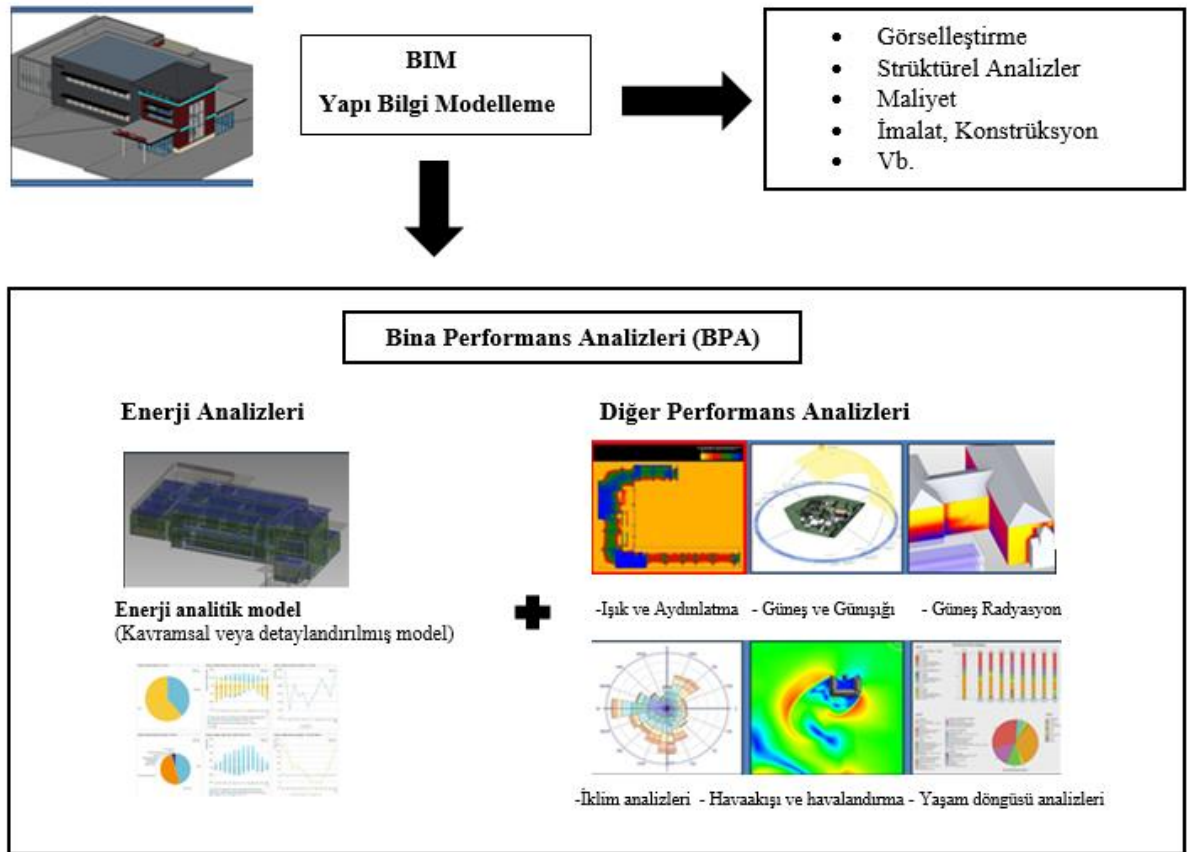
BIM erken tasarım aşamasındaki bazı önemli kararların alınmasını sağlamakta oldukça etkilidir. Projeye daha planlı başlanmasında ve inşaat sürecinde daha az hata yapılmasında önemli payı vardır. Tasarımın üç boyutlu oluşu görselleştirme için avantaj sağlamaktadır. Model içindeki değişikliğin bütün planlarda güncellenmesi zamandan tasarruf sağlamaktadır. Farklı disiplinler arasında işbirliği yapılabilmesi iletişimden kaynaklanabilecek aksaklıkları engellemektedir. Maliyet ve enerji analizleri ile bina performansının iyileştirilmesi ise binanın kalitesini artıracaktır [25]. Binanın modellenmesi ve bina inşa edilmeden önce gerekli olan analizler için kullanılabilmesi BIM kullanımının en önemli yönlerinden biridir. Bu çalışma için gerekli olan analizler BIM araçları kullanılarak oluşturulmuştur.

3.1. Bina Performans Analizi

Bina performans analizi, binanın enerji analizi veya bina performans çalışmalarına yardımcı kaynak durumundadır. Bina performans analizi ile bina tipi, bina geometrisi, iklim,

kabuk özellikleri, HVAC, aydınlatma verilerini kullanarak yakıt ve elektrik tüketimine bağlı enerji analiz değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar; iklim analizi, güneş-gölge çalışması, gün ışığı, rüzgar, kavramsal CFD analizi gibi performansa dayalı tasarım çalışmalarını içermektedir [24,31,32].

Bir binanın enerji analizleri, oluşturulan yapı bilgi modelinin enerji analitik modeli ile bina performans analizi oluşturularak yapılmaktadır. Şekil 3.1 bina performans analiz yöntemini açıklamaktadır. Yapı bilgi modelleme ile oluşturulan bina modeli görselleştirme, strüktürel analizler, maliyet hesaplama gibi birçok alanda kullanılabilir. Bina performans analiz yöntemi ise, yapı bilgi modelleme ile oluşturulan bina modelinin daha detaylı analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bina performans analizleri; enerji analizleri, iklim analizi, güneş-gölge çalışması, gün ışığı, rüzgar, kavramsal CFD analizi gibi performansa dayalı tasarım çalışmalarını içermektedir.



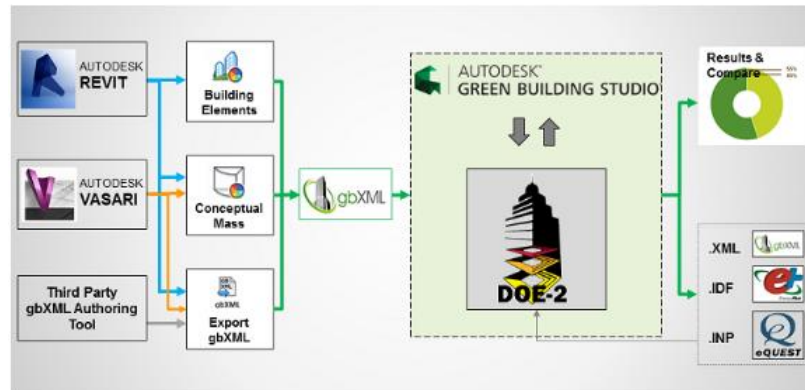
Şekil 3.1. .BPA'nin ana yapısı [31].

3.2. Green Building Studio (GBS)

Green Building Studio, web tabanlı bir simülasyon motorudur. Bu platform; DOE-2.2. 48r programını kullanır, hesaplamalarında ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning*) standartlarını temel alır. ASHRAE, 1894 yılında kurulan bina sistemleri, enerji verimliliği, iç hava kalitesi, soğutma ve sürdürülebilirlik alanlarında araştırma yapan, standart yazma, yayınlama ve eğitim verme konularında çalışmalar yapan bir topluluktur [73].

Green Building Studio, “gbXML” uzantılı dosyalar ile çalışır. “gbXML” (*Green Building Xtensible Markup Language*), yapı bilgi modelleme verilerinin bina enerji simülasyon programlarına aktarılmasını sağlamaktadır. GBS, bina performansını artırmaya yönelik enerji kullanımı, CO₂ emisyonu, su kullanımı, enerji maliyet analizi, fotovoltaiik analiz, güneş ışığı analizlerini kapsayan hesaplamalarda yardımcı olmaktadır. Ayrıca bina performansını iyileştirmeye yönelik bina yönlendirmeleri, cephe saydamlık oranı, pencere tipi, gölge derinliği, dış duvar konstrüksiyonu, çatı konstrüksiyonu, infiltrasyon, aydınlatma verimi, kullanıcı işletim programları, HVAC tipleri, bina formu üzerinden 250’ye yakın tasarım alternatifi sunmaktadır. Farklı tasarım alternatifleri belirli seçenekler üzerinden program kullanıcısı tarafından oluşturulabilmektedir.

Autodesk’in GBS ile entegre çalışma şeması Şekil 3.2. ‘de gösterilmektedir [31,32]. Autodesk Revit, Autodesk Vasari programları veya gbXML uzantılı dosyalar bina bileşenleri, kavramsal kütleler, gbXML uzantılı dosyalar Green Building studio’ya aktarılabilmektedir. Green Building Studio DOE-2 motoru ile birlikte enerji analiz sonuçlarını oluşturur. Sonuçların dışarı aktarımı Revit programında ‘Results & Compare’ sekmesi üzerinden veya GBS’da ‘.XML,.IDF,.INP’ uzantılı dosyalar halinde yapılabilir.



Şekil 3.2. GBS çalışma şeması [31].

Bu çalışmada, enerji analizleri REVIT kullanılarak bina bileşenlerinin kullanılmasıyla oluşturulan enerji analitik modelin *Green Building Studio*'ya aktarımıyla oluşturulmuştur.

3.3. AUTODESK REVIT 2017

Autodesk Revit 2017 programında; kütle etüdü, mimari tasarım, taşıyıcı sistem çizimi, detay çizimi, peyzaj tasarımı, metraj, temel proje yönetimi, 2 boyut ve 3 boyutlar proje sunumları, enerji analizi ve simülasyonlar hazırlanabilmektedir [29].

Aşağıda çalışmada kullanılan Autodesk Revit 2017 yazılımının avantajları maddeler halinde sıralanmıştır:

- Mimari, statik, mekanik ve elektrik disiplinlerini bir arada toplamaktadır (Bu diğer BIM yazılımlarında bulunmayan bir özelliktir).
- Takım çalışması yapılabilmesi, farklı uzmanlık alanlarının birlikte çalışmasına olanak sağlamaktadır.
- Revit için birçok dilde eğitim kaynağı bulunmaktadır. Eğitim programları, video ve ders notlarıyla öğrenilebilecek bir programdır.
- Eklenti ve plug-in kaynakları kullanımını kolaylaştırmaktadır ve kullanım alanını genişletmektedir (örn dynamo eklentisi).
- Enerji modeli oluşturularak tasarım alternatifleri arasından kıyaslamalar yapılabilmesi, günümüzde en önemli çevre problemlerinden biri olan enerjinin etkin kullanılmasına yönelik fayda sağlamaktadır.
- BIM -Yapı Bilgi Modelleme yazılımıdır.
- Autodesk ürünüdür.
- 3 boyutlu modelleme ile görselleştirme yapılabilir.
- Yapılan herhangi bir değişikliğin bütün planlarda ve oluşturulan listelerde anında değiştirilmesi uyum içinde çalışmayı sağlar, hata yapma olasılığını azaltır.
- İnternet üzerinde geniş kaynağa sahip bir kütüphanesi(*family* arşivi) bulunmaktadır.
- Farklı dosya formatlarında(dxfl, dwg, flc, gbxml, pdf, xls...vb) kayıt yapılabilir.

- İnşaat sürecinde iş programı yapılabilmesi işlerin yürütülmesinde kolaylık sağlamaktadır. İnşaat sıralaması, tüm yapı elemanları için malzeme siparişi, imalat ve teslimat çizelgeleri oluşturmak için kullanılabilir.
- Örnek tasarım alternatifleri üretilebilmektedir. Tasarım alternatifleri belirli seçenekler arasında karşılaştırma yapabilmeyi sağlamaktadır.
- İmalat ve mağaza çizimleri (örn HVAC kanalları gibi imalat gerektiren bileşenlerin çizimi) yapılabilir.
- Maliyet tahmini yapılabilir. Binanın unsurlarıyla ilgili nicel bilgiler, maliyet tahminleri üretebilen bir maliyet veritabanına bağlanabilmektedir.
- Binada herhangi bir değişiklik yapılması durumunda tahminler otomatik olarak güncellenmektedir.
- Çatışma ve çarpışma tespiti yapabilmektedir. Mimari, yapısal ve HVAC alt modelleri, yapı elemanlarının yanlış örtüşmesini kontrol etmek için kompozit bir modele birleştirilebilir.
- Montaj talimatı ve montaj bilgileri girilebilmektedir
- Bina geometrisini enerji modeline çevirebilmektedir.
- Bina bilgi modelleme çalışmalarında program seçerken, programın yıllık-aylık-saatlik verilerden hangilerini dikkate aldığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Revit analizlerinde saatlik veriler üzerinden hesaplama yapmaktadır [7, 37].

2007 yılında endüstri uzmanları tarafından BIM çözümleri için kullanım veya değerlendirmelerine yönelik bir anket çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre, BIM uygulamaları Graphisoft ArchiCAD, Bentley Architecture ve Autodesk Revit arasından %67.1 ile en popüler BIM uygulaması Revit olurken, ArchiCAD % 31.7 ile ikinci, Bentley ise % 14.8 ile üçüncü sırada yer almıştır [22].

Enerji simülasyonu, bina modelinde odaların ve hacimlerin içindeki ve dışındaki enerjinin hareketini analiz etmeyi sağlamaktadır. Elde edilen analiz sonuçları tasarımcıların bilinçli kararlar almalarını sağlayarak uygun maliyetli, çevresel etkileri azaltılmış, bina tasarımlarına yardımcı olmaktadır [31]. Revit ile enerji analiz çalışmalarında, aydınlatma kontrolü, sıcak su kullanımı, yakın çevre yenilenebilir enerji kaynakları, güneş yönelimi ile ilgili verilerden yararlanılmaktadır.

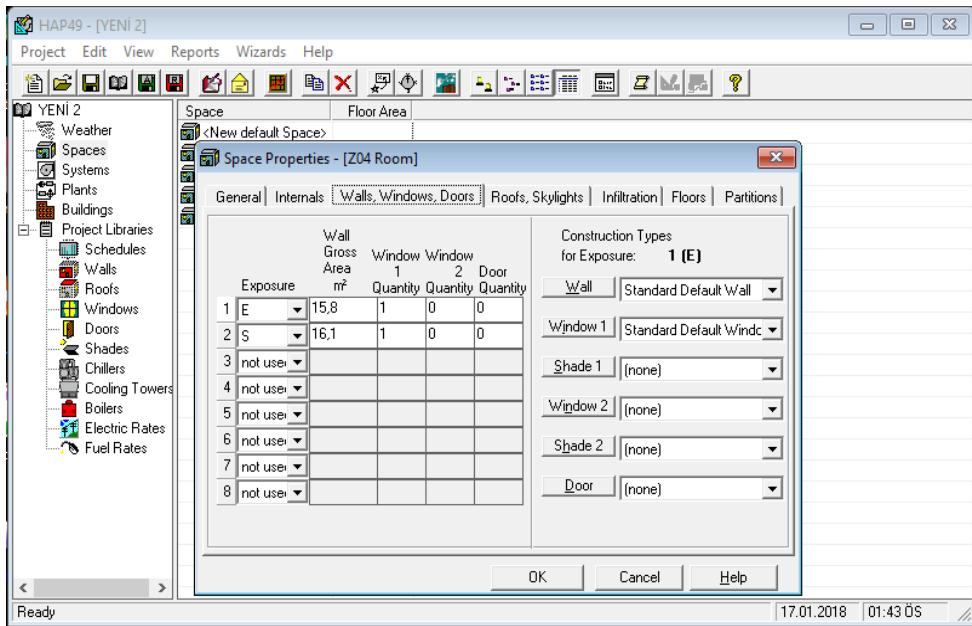
Yapı bilgi modelleme ile enerji analiz çalışmalarına başlarken dikkat edilmesi gereken konular; çalışmada kullanılacak program, kullanım amacına uygun olarak seçilmesi, çalışma

oluşturulurken ayarların hassas bir şekilde titizlikle yapılması(simülasyonun doğruluğu), elde edilen sonuçların doğru yorumlanması, gerçekçi sonuçlar elde etmek, yapılan analizlerin kabulleri ve tarafsızlığı konusunda dikkatli olunması şeklinde özetlenebilir [5].

4. BIM ile BİNALARDA ENERJİ ANALİZİ UYGULAMASI

4.1. Geçerlilik Çalışması

Autodesk Revit 2017 programından elde edilen sonuçların doğruluğunu sağlamak amacıyla, ısıtma ve soğutma yükü hesaplamalarında kullanılan HAP (Hourly Analysis Program) 4.90 üzerinden ısıtma ve soğutma yükü hesaplanmıştır. Geçerlilik çalışması, çalışma için kullanılacak konut örneği üzerinden yapılmıştır. Bu hesaplama ile Revit için aynı iç ve dış ortam koşullarında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4.1’de bu programa ait arayüz görüntüsü verilmiştir.



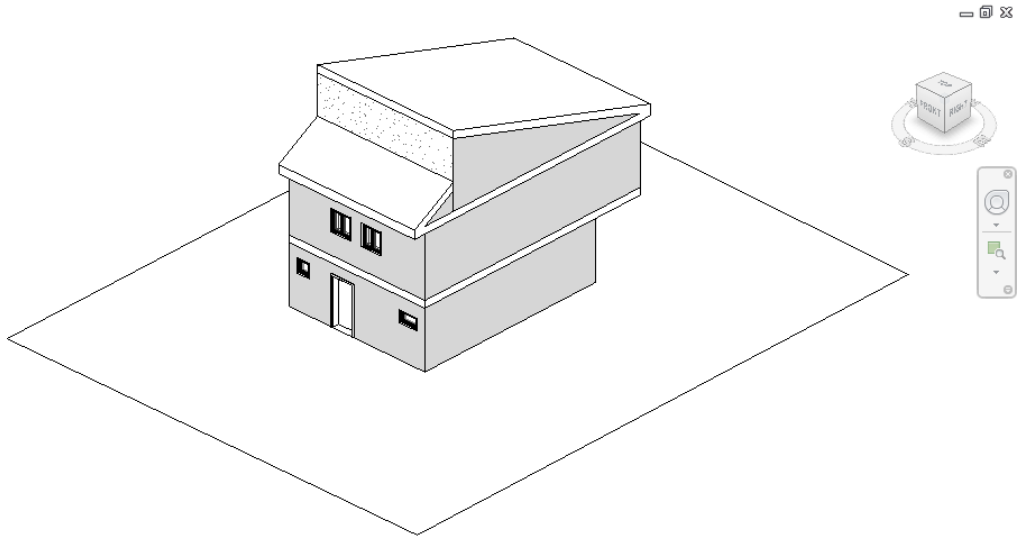
Şekil 4.1. HAP programına ait arayüz görüntüsü

Saatlik analiz programı (Hourly Analysis Program (HAP)), Carrier’e ait saatlik analiz programıdır. HVAC tasarım programı olan E20-II’nin bir parçasıdır. Bu program ile enerji analizi ve maliyet analizi yapılabildiği gibi ısıtma, soğutma klima ve havalandırma sistemlerinin tasarlanması da mümkündür. Bina için zon yükleri üzerinden aylara göre saatlik veriler hesaplayabilmektedir [14]. Programın hesaplamalarını saatlik verilere göre yapması, sonuçlarının gerçek değerlerine çok yakın değerler vermesini sağlamaktadır.

HAP ile hesaplamalar, proje çizimleri olmadan bina değerleri manuel olarak girilerek oluşturulmaktadır. Hesaplamalar için, zonlara ait bilgiler, bina konumu, yapı

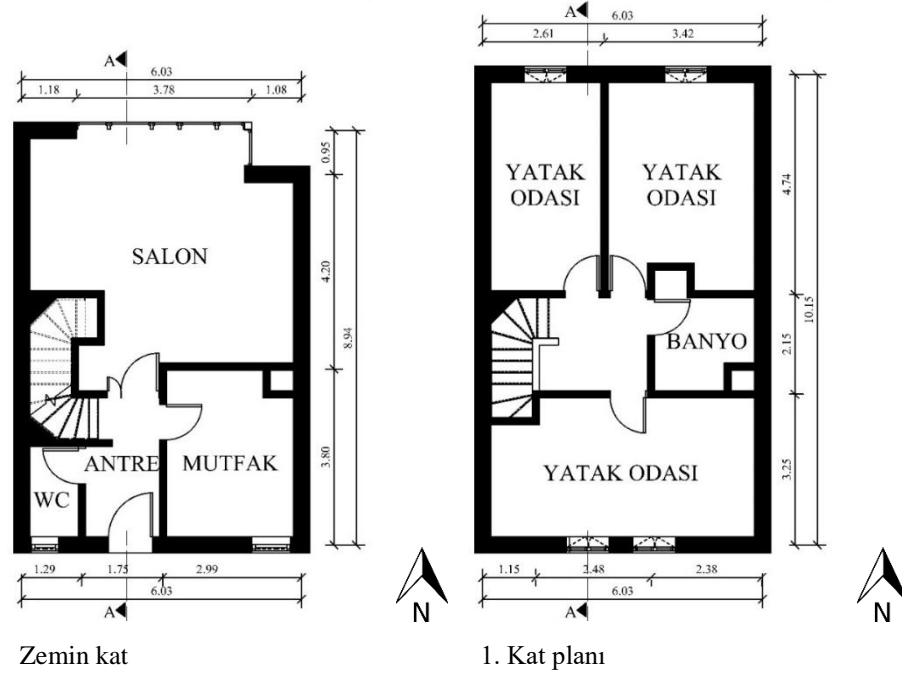
bileşenleri(pencere, duvar, çatı..vb), kullanıcı işletme programları ve kullanılacak ısıtma-soğutma sistemleri veri olarak programa girilmektedir.

HAP ile hesaplama yapmak için ilk olarak her bir zon için kullanılmak üzere; *Schedules* (kullanım periyotları) ve duvar, çatı, pencerelere ait termal değerler oluşturulmaktadır. Hesaplamalarda kullanılacak olan mimari çizime ait bilgiler *Spaces, New default* seçenekleri üzerinden mahaller oluşturularak her bir zon için ayrı ayrı girilmektedir. Mahallerin kuzey, güney, doğu, batı cephelerine göre duvar/pencere/kapı/çatı değerleri bu menü içerisine aktarılmalıdır. Binanın bulunduğu konum ve sistem yükü bilgileri de programa girildikten sonra ısıtma ve soğutma yükü hesapları yapılabilmektedir. Bu program üzerine farklı çalışmalardan bilgi aktarmak için; “xml” uzantılı ‘gbxml’ dosyaları kullanılabilir. Şekil 4.2’de binaya ait Revit ile oluşturulan perspektif verilmiştir.



Şekil 4.2. Örnek konut modeli

Örnek konut, iki katlı olmakla birlikte toplam kullanım alanı 103 m²dir. Örnek konut modelinin kat planları Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Kat planları

Tablo 4.1’de örnek konutun geçerlilik çalışmasında kullanılacak dış ortam verileri gösterilmektedir. Her iki programda da aynı dış ortam verilerinin girilmesini sağlamak amacıyla konum Ankara olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Konutun bulunduğu konumun iklim verileri

Konum	Ankara
Enlem	40.1
Boylam	33
Yaz Kuru Termometre Sıcaklığı	37°C
Yaz Yaş Termometre Sıcaklığı	17 °C
Kış Kuru Termometre Sıcaklığı	-11 °C
Günlük Sıcaklık Farkı	18 °C

Örnek konutun tasarım verileri ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu değerler ısıtma ve soğutma yükü hesaplarını oluşturmaktadır. Her iki program da ısıtma ve soğutma için fan coil sistem tercih edilmiş ve yüklerini ASHRAE el kitabının teknik özelliklerine göre ayarlamaktadır.

Tablo 4.2. Bina Tasarım Verileri

Bina Tipi	Konut
Alan	103
Hacim	248,75
Kullanıcı Sayısı	4
Pik Yük	Ağustos 17.00
Isıtma Sistemi	Fan Coil System
Isıtma için İç Mekan Konfor Sıcaklığı	21,11 °C
Soğutma Sistemi	Fan Coil System
Soğutma için İç Mekan Konfor Sıcaklığı	23,33°C
Isıtma için İşletim Periyodu	00.00-05.00 arası %90 06.00 %70 07.00-08.00 arası %40 09.00-14.00 arası %20 15.00 %30 16.00-18.00 arası %50 19.00-20.00 arası %70 21.00 %80 22.00-23.00 arası %90
Aydınlatma için İşletim Periyodu	00.00-04.00 arası %10 05.00 %30 06.00-09.00 arası %45 10.00-17.00 arası %30 18.00 %60 19.00-21.00 arası %80 22.00 %60 23.00 %30
Hesap Yöntemi	ASHRAE Isıl Denge Yöntemi

Geçerlilik çalışmasında kullanılacak olan örnek konutun yapı bileşenlerine ait ısı geçirgenlik katsayıları Tablo 4.3’de gösterilmektedir. HAP ile aynı koşulların oluşturulmasını sağlamak amacıyla, geçerlilik çalışmasında kullanılan bazı değerler uygulama çalışmasından farklı alınmıştır. Çatı, 5cm yalıtım malzemesinden oluşmakta, toplam kalınlığı 35 cm, ısı geçirgenlik değeri $0.6958 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ’dir. $1.4244 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ısı geçirgenlik değerine sahip dış duvar 20 cm betonarme 10 cm tuğladan oluşmaktadır. Ahşap dış kapı $2.044 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, pencere $2.9214 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ısı geçirgenlik değerinden oluşmaktadır. Revit’de pencere için SHGC (*solar heat gain coefficient*) değeri 0.13 alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4.3. Yapı bileşenlerinin özellikleri ve ısı geçirgenlik katsayıları

Bina Bileşeni	Isı Geçirgenlik Katsayıları (W/(m².K))
Çatı	0.6958
Dış Duvar	1.4244
Dış Kapı	2.0440
Pencere	2.9210

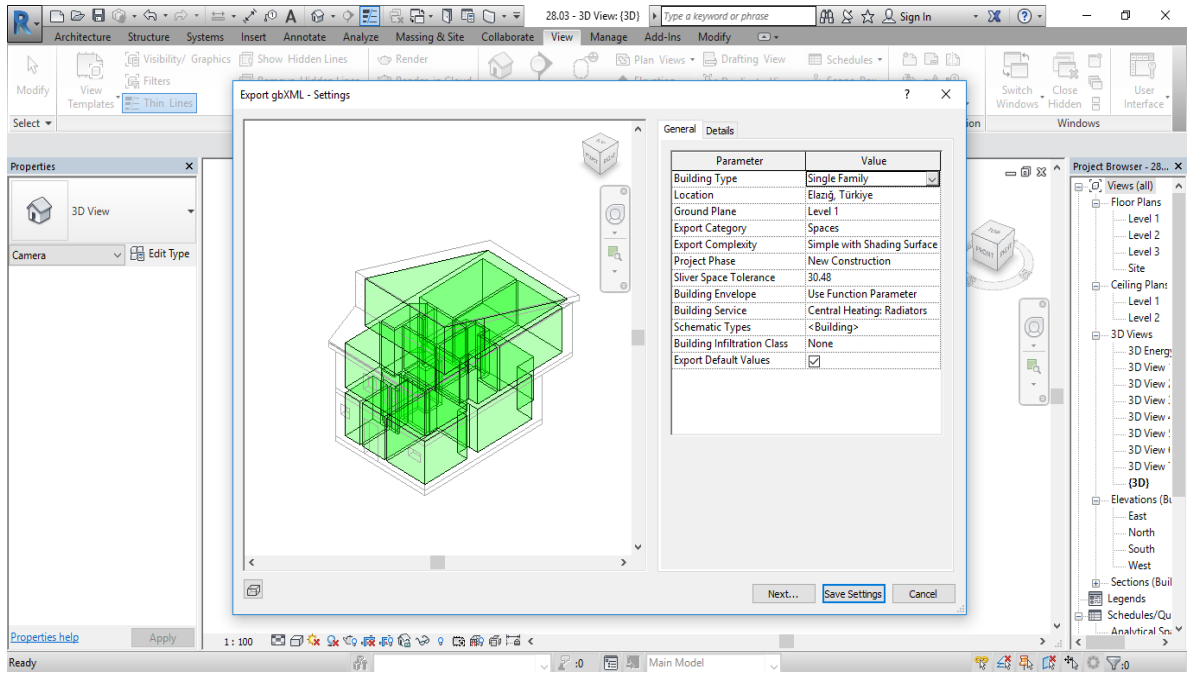
Isıtma ve soğutma yük analizleri ile bina ısıtma ve soğutma yüküne en fazla etki eden dört bileşen olan çatı, dış duvar, dış kapı ve pencere toplam yükleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Isıtma ve soğutma yükleri binanın bütün mahalleri için ayrı ayrı hesaplanan yüklerin toplamıdır. Soğutma yükü HAP için 2969 W REVIT için 2894 W olarak hesaplanmıştır. Isıtma yükleri HAP için 9131 W, REVIT için 9736 W olarak hesaplanmıştır. Soğutma yükleri arasındaki fark %3, ısıtma yükleri arasındaki fark %7 olarak hesaplanması sonuçların yakın değerlerde olduğunu ve Revit ile yapılan analizlerin geçerli sayılabileceğini göstermektedir.

Tablo 4.4 Revit ile HAP sonuçlarının karşılaştırılması

	REVIT (W)	HAP (W)
Isıtma Yüğü	9736 W	9131 W
Fark	%7	
Soğutma Yüğü	2894 W	2969 W
Fark	%3	

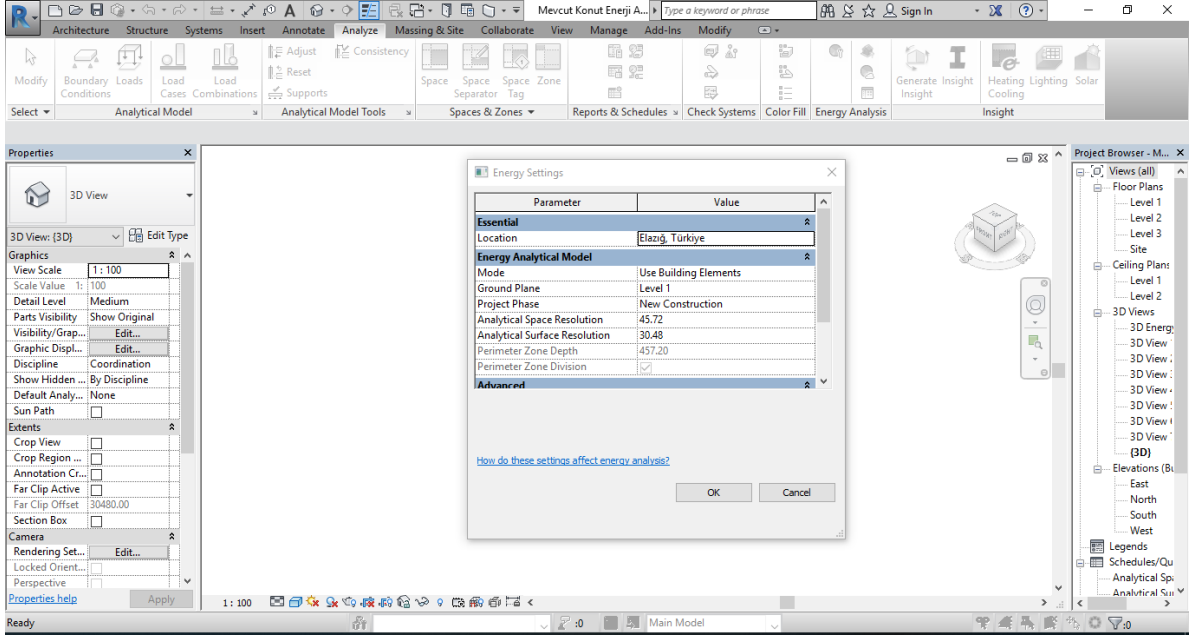
4.2. Autodesk Revit 2017 ile Enerji Analizi

Enerji analizleri ısıtma ve soğutma yükü hesaplarına ilave olarak aylık ve yıllık olarak yakıt, elektrik kullanımlarının dahil olduğu ayrıntılı sonuçlar sunmaktadır. Şekil 4.4'de REVIT ile oluşturulan mahaller gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Revit programı örnek arayüz görüntüsü

Şekil 4.5.'te Revit çizim ekranı üzerinden, enerji ayarları menüsü gösterilmektedir. REVIT, enerji analizi yapmak için enerji analitik modeli oluşturmaktadır. Kütle veya bina elementleri seçenekleri arasından bir ya da iki seçenek birlikte seçilerek enerji modeli oluşturulabilmektedir. Çalışmada bina elementleri üzerinden enerji modeli oluşturulmuştur. Enerji analitik modelin mahalleri (space), bina bileşenleri (çatı, duvar, pencere vb. bileşenler), konumu, bina bileşenlerinin termal değerleri ve binaya ait veriler (bina tipi, bina işletme programı, HVAC sistem verileri) enerji ayarlarında girilmesi gereken değerleri oluşturmaktadır. İç yükler (elektrik kullanımı, aydınlatma, kullanıcı sayısı), mahal bilgilerine eklenerek çalışma girdilerine dahil edilmiştir.



Şekil 4.5. Revit enerji ayarları ekranı

REVIT enerji analizleri ile :

- Yaşam döngüsü analizleri belirleyebilme ,
- CO₂ emisyonu miktarı,
- Binanın tahmini fotovoltaiik panel ihtiyacı,
- Binanın su kullanım miktarı ve maliyeti,
- Isıtma ve soğutma yükü,
- Bina bileşenlerinin(çatı, duvar, pencere vb. bileşenler) ısıtma ve soğutma yük miktarları,
- Yakıt/elektrik/enerji kullanım miktarları,
- Kullanım miktarına göre aylık ve yıllık yakıt/elektrik/enerji maliyeti tahmini, sonuçlarına ulaşılabilir.

4.2.1.LCA (Life cycle Assesment) – Yaşam döngüsü Analizi

LCCA (Lifecycle Cost Assesment) – yaşam döngüsü maliyet analizleri, toplam maliyeti değerlendirmek için bir yöntemdir. LCA (Lifecycle Assesment) – yaşam döngüsü analizleri binanın çevresel etkilerine yönelik analizlerden oluşmaktadır. Binaya ilişkin maliyetleri;

- Satın alma ve inşaat maliyetlerinin dahil olduğu ilk maliyet,
- Yakıt maliyeti,
- İşletme- Bakım - Onarım maliyeti,
- Satış veya elden çıkarma kaynaklı artık maliyetler,
- Kredi – faiz ödemeleri gibi finansman ücretleri,
- Parasal olmayan yararlar ve maliyetler oluşturmaktadır.

Yaşam döngüsü analizleri ile; ekonomik etkileri belirleme, ölçme, para birimi ile ifade etme amaçlanmaktadır. Analizlerin diğer amacı ise tasarım alternatiflerinin toplam maliyetini tahmin etmek, yapı için kaliteli, işlevli ve tutarlı en düşük maliyetli tasarımı belirlemektir.

Yaşam döngüsü analizleri ile, yapının finansal etkilerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için bir öngörü oluşturulmaktadır. Bu analizler, yapı maliyetinin ne şekilde telafi edileceğine dair fikir geliştirmede avantaj sağlamaktadır. Analizlerin bir başka katkısı ise nüfus artışıyla artan kaynak ihtiyacı ile azalan doğal kaynaklar arasında sürdürülebilir kalkınma stratejileri oluşturulabilmesini sağlayacak olmasıdır.

Bina performans analizlerinde, yaşam döngüsü maliyet analizleri hangi tasarım fikirlerinin ekonomik getirisinin daha fazla olduğunu belirlemeye yönelik çalışmaların önemli bir unsurudur. Bu çalışmada yalnızca elektrik ve yakıt kullanımından kaynaklanan enerji kullanımının yaşam döngüsü kullanım ve maliyet analizleri yapılmıştır [75,76,77].

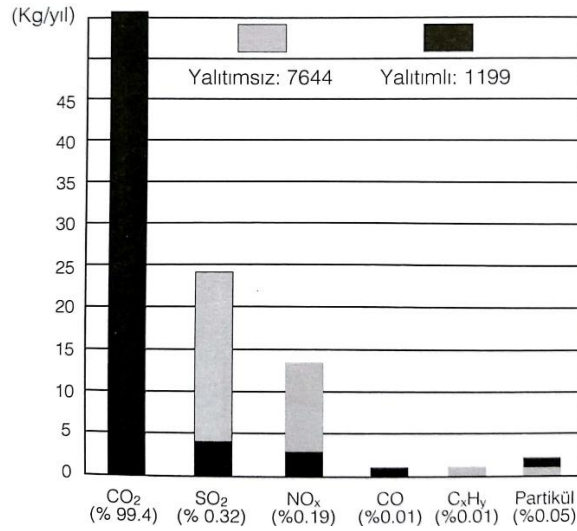
4.2.2. CO₂ Emisyonu

Sera etkisine neden olan güneş ışınlarının yeryüzünden geri yansımaya engel olarak küresel ısınmaya neden olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) ve F-gazları ile dolaylı sera gazları olan azotoksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), karbonmonoksit (CO) ve kükürtdioksit (SO₂) gazları sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır.

TÜİK 2016 seragazı emisyon istatistiklerine göre seragazı emisyonu 1990 yılına göre %135.4 artmıştır. Seragazı emisyonlarında en büyük payı enerji kaynaklı emisyonlar oluşturmaktadır. Enerji kullanımından kaynaklanan seragazı emisyonları toplam seragazı

emisyollarının %72.8 'ini oluşturmaktadır. CO₂ emisyonlarının %33.5'i ise elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanmaktadır [72].

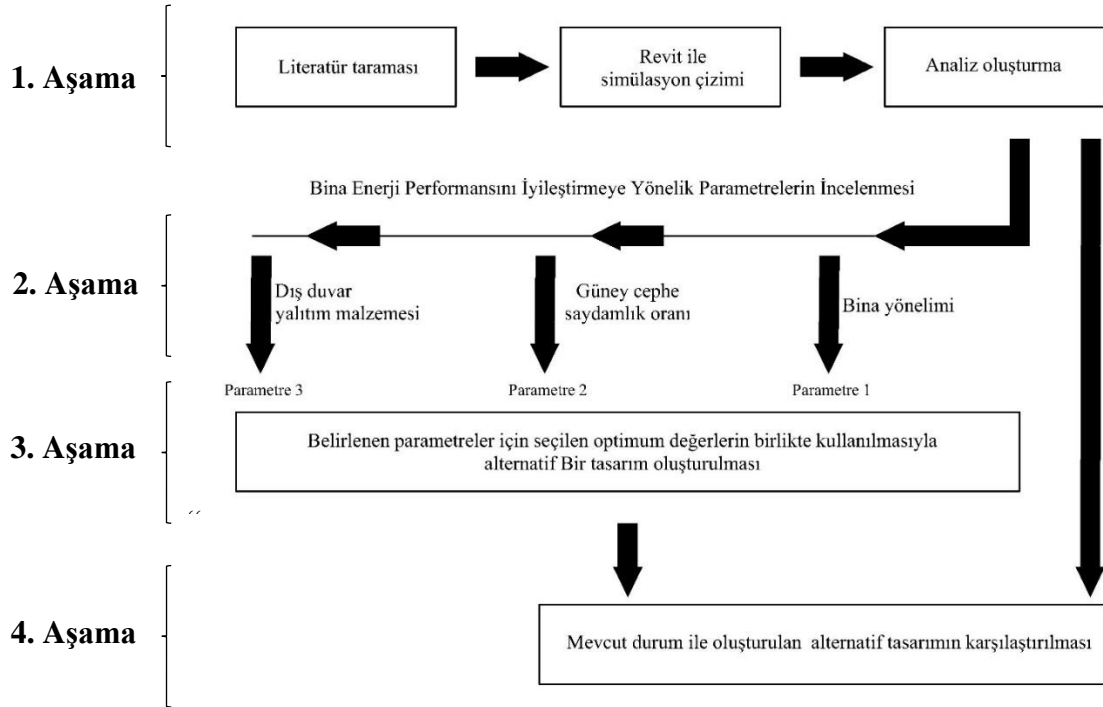
şekil 4.6 bir binanın yalıtım yapılmadan önce ve yalıtım yapıldıktan sonra CO₂, SO₂, NO_x, CO, C_xH_x ve partiküllerin çevreye yaydığı emisyon miktarlarını yüzdeler ile göstermektedir. Grafiğe göre emisyonların oldukça büyük bir kısmını, %99.4'ünü CO₂ emisyonları oluşturmaktadır.



şekil 4.6. Aynı binanın yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki emisyon miktarları [28].

5. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu çalışmada BIM uygulamalarının tasarım aşamasında veya uygulanmış bir binanın enerji etkinliğini iyileştirmek üzerindeki etkisi bir uygulama çalışması ile ortaya koyulmuştur. Daha önce yapılan ve BIM kullanılan çalışmalardan farklı olarak, değerlendirmeler yaşam döngüsü maliyeti ve ısınma için gerekli olan yakıtın CO₂ emisyonu üzerinden hesaplanmıştır. Bu şekilde BIM uygulamalarının, sağladığı enerji ve maliyet tasarrufunun yanı sıra çevresel etkiye katkısı da vurgulanmak istenmiştir.



Şekil 5.1. Çalışmanın akış şeması

Şekil 5.1’de çalışmanın akış şeması gösterilmiştir. Mevcut konutun enerji performansını iyileştirmeye yönelik çalışma için üç parametre (bina yönelimi, güney cephe saydamlık oranı, dış duvar ısı yalıtım malzemesi) belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen parametreler için bina enerji performansını iyileştirmeye yönelik uygun değerlerin birlikte kullanıldığı bir alternatif tasarım oluşturulmuştur. Son olarak, 1. aşamada oluşturulan mevcut konutun enerji analiz sonuçları ile oluşturulan alternatif tasarım için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mevcut binanın ön cephesinin kuzeye yönlendirilmiş olması, dış duvarlarında yalıtım olmaması ve güney cephe açıklığının oldukça az olması mevcut duruma alternatif bir tasarım oluşturmak için bu değişkenlerin belirleyici olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Buna göre, çalışmada mevcut binaya alternatif bir tasarım oluşturulurken, bina yönelimi için, mevcut durum 0° olarak kabul edilmiş ve saat yönünde 15°'lik artan açılarla yönelim değiştirilmiştir. Dış duvarlarda XPS, EPS, camyünü ve taşıyünü yalıtım malzemelerinin 3, 5 ve 8 cm kalınlıklarında uygulandığı durumlar ve mevcut durumda % 6.5 olan güney cephe saydamlık oranının, %15, 30, 40, 50, 65, 80 olarak alındığı durumlar için de analizler yapılmıştır.

Tablo 5.1'de çalışmada kullanılan hesaplamalar için ölçü birimleri verilmiştir. Yakıt türü olarak doğalgaz tercih edilmiştir. Yakıt miktarı MJ, CO₂ emisyon miktarı Mg, maliyet hesapları ise \$ cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Kullanılan ölçü birimleri

	Ölçü Birimi
Yakıt Kullanımı (Doğalgaz)	MJ
CO₂ emisyon miktarı	Mg
Maliyet	\$
EUI (Enerji Kullanım Yoğunluğu)	MJ/m ² /yıl

Yaşam döngüsü maliyeti, binanın 30 yıllık ömrü için % 6.1 indirim için öngörülen elektrik ve yakıt maliyeti toplamıdır. Yakıt birim fiyatı MJ cinsinden 0.02 \$, elektrik birim fiyatı kWh cinsinden ve 0.17 \$ olarak hesaplanmıştır.

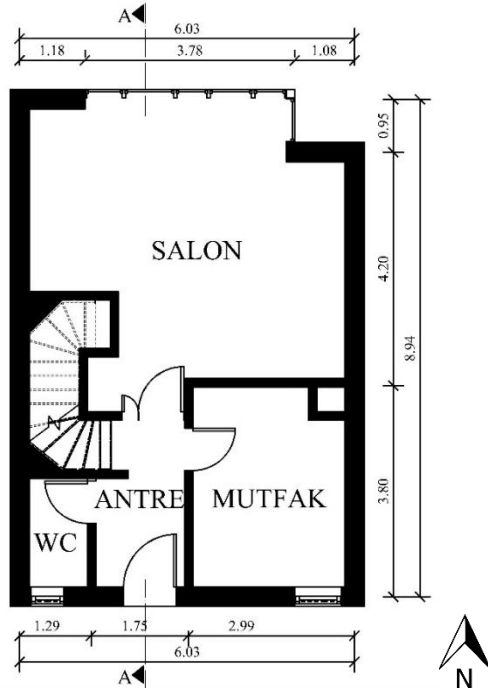
5.1. Mevcut Konut Bilgileri

Örnek konut, dört kişilik bir aile tarafından kullanılmaktadır. Zemin katta mutfak salon ve tuvalet; birinci katta yatak odaları bulunmaktadır. Zemin katın döşemesi toprakla temas etmektedir. Çatı katı depo olarak kullanılmaktadır. Çatı katı için ısıtma sistemi mevcut değildir. Yalnızca kuzey-güney cepheleri ile doğu cephesinin bir kısmı dış ortama bağlantılıdır. Şekil 5.2'de mevcut konuta ait bir görsel verilmiştir.

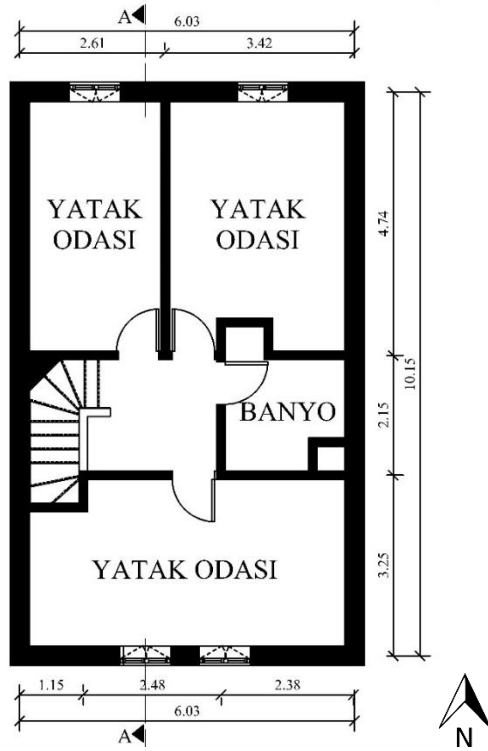


Şekil 5.2. Mevcut konuta ait görsel

Şekil 5.3’de konuta ait kat planları gösterilmektedir. Enerji analiz modelinin oluşturulmasında kullanılan kat planlarının çizimi, binaya ait iç ve dış ortam verileri Revit 2017 programında oluşturulmuştur. Autodesk Revit 2017 çiziminin üzerinden bina A-A kesiti ve binanın üç boyutlu görseli Şekil 5.4’te gösterilmiştir.

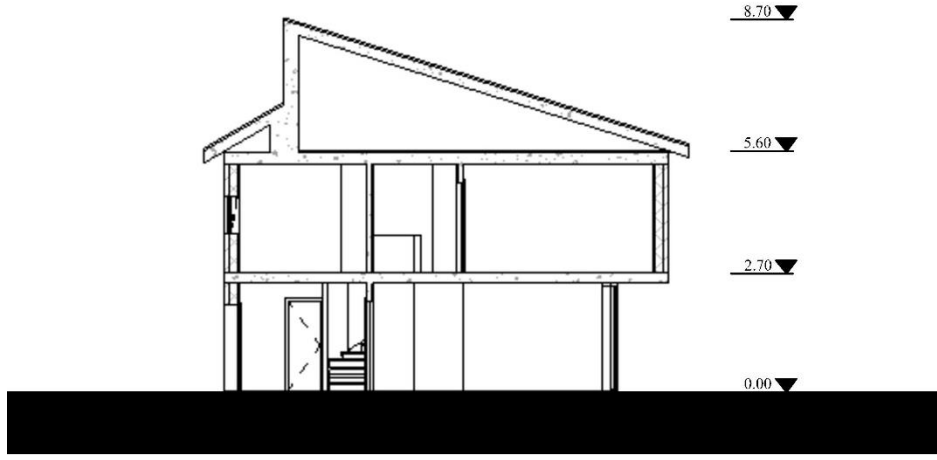


Zemin kat planı



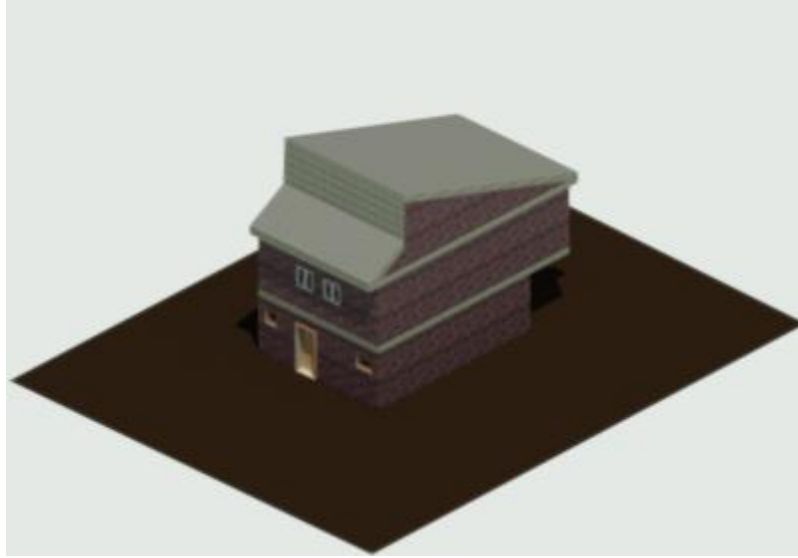
1. Kat planı

Şekil 5.3. Kat planları (Boyutlar m'dir.)



A-A Kesiti

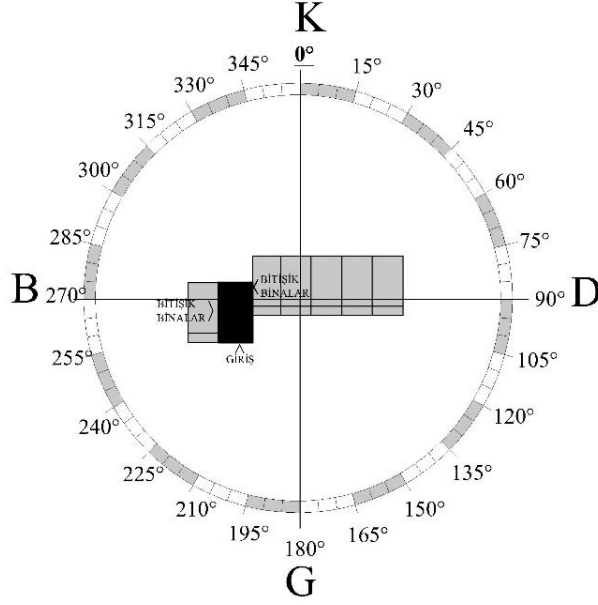
(a)



(b)

Şekil 5.4. Mevcut binaya ait (a) kesit ve (b) perspektif

Şekil 5.5’de örnek konutun çevresindeki binalarla bitişik nizamdaki konumu gösterilmiştir. Konut, çevre binalarla birlikte araziye doğu-batı doğrultusunda yönelenmektedir.



Şekil 5.5. Bina ve çevresindeki binaların mevcut konumu

Uygulama çalışması için seçilen binanın konumu, karasal iklime sahip olan, 37.67 Kuzey enlemi ile 39.24 Doğu boylamındaki Elazığ ili olarak belirlenmiştir. Tablo 5.2’de simülasyon için kullanılan dış ortam verileri bulunmaktadır.

Tablo 5.2. Konutun bulunduğu konumun iklim verileri

Konum	Elazığ
Enlem	37.67 K
Boylam	39.24 D
Yaz Kuru Termometre Sıcaklığı	41 °C
Yaz Yaş Termometre Sıcaklığı	17 °C
Kış Kuru Termometre Sıcaklığı	-8 °C
Günlük Sıcaklık Farkı	22 °C
En yüksek sıcaklık	43 °C
En düşük sıcaklık	-13 °C

Isıtma ve aydınlatma için kullanıcıların bina kullanım saatleri, bina kullanım tipi ve programda tercih edilen diğer tasarım verileri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Bina tasarım verileri

Bina Kullanım Tipi	Konut
Toplam Kullanım Alanı	103 m ²
Kullanıcı Sayısı	4 kişi

Bina bileşenlerinin U değerleri Tablo 5.4'de gösterilmiştir. Binanın çatısı, 30 cm betonarme çatıdır. Dış duvar 9 cm tuğla, 23 cm betonarme perde duvar, 3 cm sıvadan oluşur. Zemin 27 cm döşeme üzerine 3 cm laminant ile oluşmaktadır. Pencere çift camlıdır; U değeri 3.13 SHGC değeri 0.76 dır.

Tablo 5.4. Yapı bileşenlerinin özellikleri ve ısı geçirgenlik katsayıları

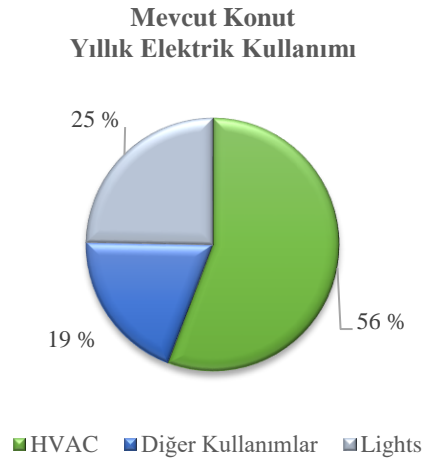
Bina Bileşenleri	Isı Geçirgenlik Katsayıları (W/(m².K))
Çatı	2.95
Duvar	2.57
Kapı	2.19
Pencere	3.13
Döşeme	2.49

5.1.1. Örnek Konut Analiz Sonuçları

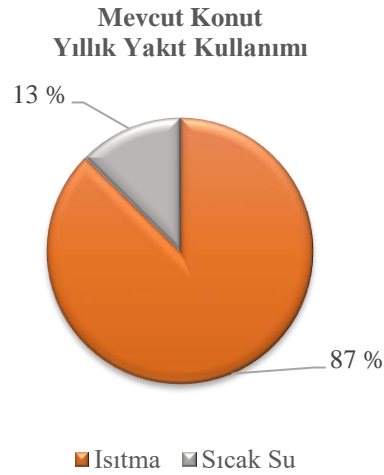
Revit ve GBS üzerinden elde edilen sonuçlar maliyet, enerji, CO₂ emisyonu, rüzgar hızı başlıkları altında gruplandırılarak incelenmiştir. Enerji tüketim hesaplamaları elektrik ve yakıt kullanımı üzerinden hesaplanmaktadır. Yakıt kullanımı sıcak su ve ısıtma ihtiyacına göre hesaplanır. Elektrik kullanımı; HVAC verileri, aydınlatma ve diğer kullanımlardan oluşmaktadır.

Şekil 5.6'de mevcut konutun yıllık elektrik kullanım dağılımları verilmiştir. Yıllık elektrik kullanımının %56'sı HVAC verileri, %19'u diğer kullanımlar, %25'i aydınlatma olarak dağılmaktadır. Yıllık yakıt kullanımı Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi %87'si ısıtma için

%13'ü sıcak su için kullanılmaktadır. Yıllık elektrik ve yakıt kullanımına göre enerji kullanımının yüzdelik dağılım oranları Şekil 5.8'de verilmektedir. Konut için kullanılan enerjinin % 73'ünü yakıt kullanımının oluşturması, enerji tüketiminde yakıt kullanımının daha fazla etkili olduğunu göstermektedir. Toplam enerjinin % 27'sini ise elektrik kullanımları oluşturmaktadır.

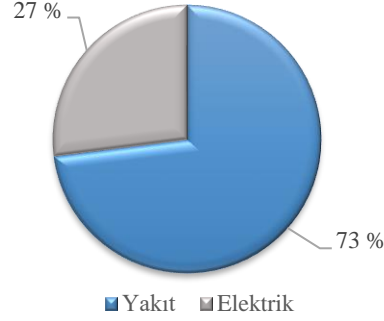


Şekil 5.6. Elektrik kullanımı



Şekil 5.7. Yakıt kullanımı

**Mevcut Konut
Yıllık Enerji Kullanımı**



Şekil 5.8. Yıllık enerji kullanımı

Tablo 5.5’de örnek konut için binanın yaşam döngüsü enerji maliyeti, yıllık enerji maliyeti, yaşam döngüsü yakıt kullanımı, yıllık yakıt tüketim miktarı, enerji kullanım yoğunluğu verilmektedir. Yaşam döngüsü enerji maliyeti, binanın 30 yıl boyunca %6,1 indirim üzerinden hesaplanan elektrik ve yakıt tüketiminin tahmini maliyetini göstermektedir. Yaşam döngüsü maliyeti, sürdürülebilir kalkınma stratejileri oluşturmada kullanılmaktadır.

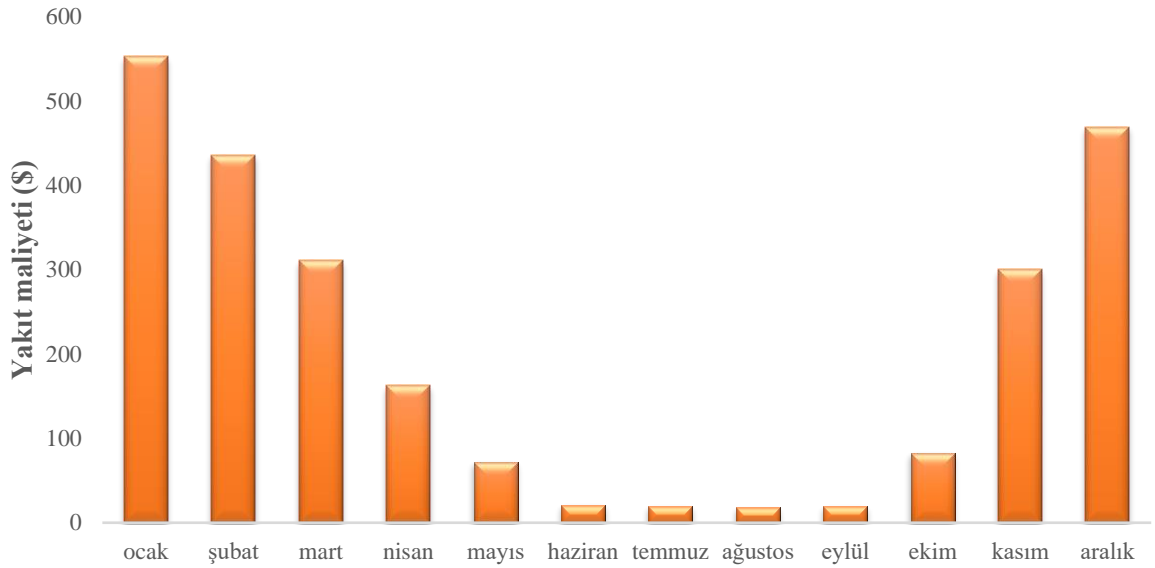
Tablo 5.5. Örnek konut için enerji analiz verileri

LCC –Yaşam döngüsü enerji maliyeti (\$)	62818
Yıllık enerji maliyeti (\$)	4611
Yaşam döngüsü yakıt kullanımı (MJ)	3751404
Yıllık yakıt tüketimi (MJ)	125047
Enerji kullanım yoğunluğu (MJ / m² / yıl)	1671
Yıllık yakıt CO₂ emisyonu (Mg)	6.2
SUVs/yıl	0.6

Enerji kullanım yoğunluğu, her bir metrekare için elektrik ve yakıt kullanım miktarıdır. Enerji kullanım yoğunluğu yakıt ve elektrik kullanımlarının toplamıdır ve $1671 \text{ MJ/m}^2/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Elektrik kullanım miktarının dahil edilmediği yalnızca yıllık yakıt tüketim miktarı ise 125047 MJ 'dür. Enerji kullanım yoğunluğu hesabı, $1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$ denkliği ile elektrik kullanımı MJ birimine çevrilerek yapılır.

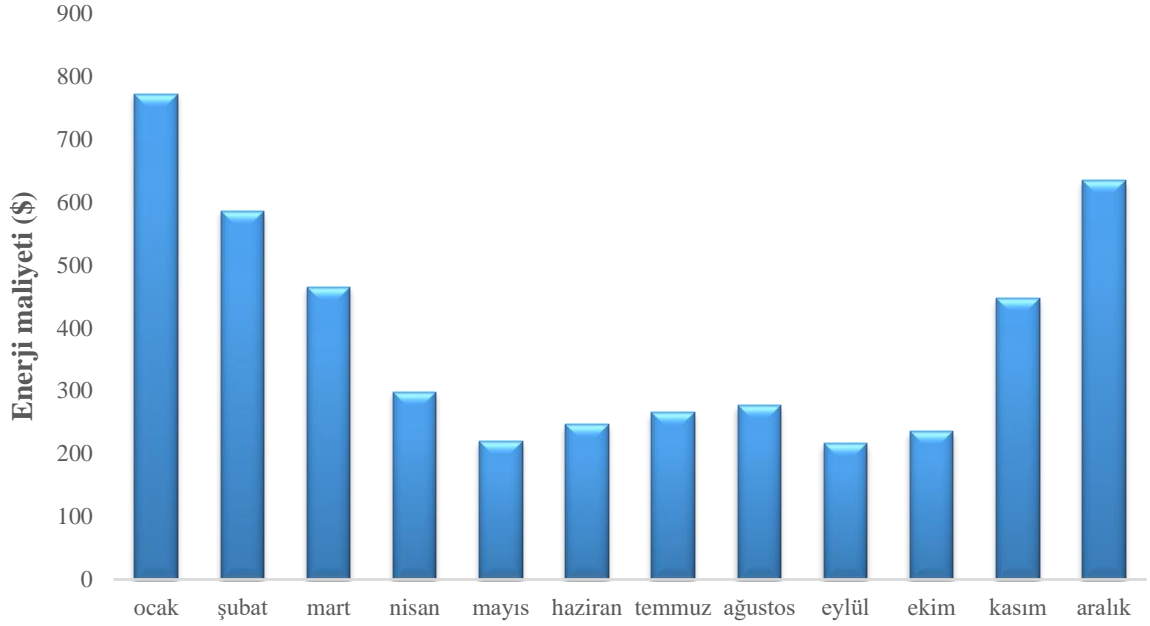
Bir binanın emisyon 'SUV (sports utility vehicle)' eşdeğeri, 24140 km yol alan araç ile binanın yıllık CO_2 emisyonu arasındaki eşdeğeri. 5.1 Mg CO_2 tüketen bina, bir aracın $24.140 \times 0.5 \text{ km}$ deki CO_2 salınımı kadar CO_2 emisyonuna neden olmaktadır. CO_2 emisyon miktarı binanın bulunduğu konumun yakıt kullanımına ve elektrik için yakıt kaynaklarına dayanmaktadır.

Çalışmada yakıt türü olarak doğalgaz tercih edilmiştir. Şekil 5.9 \$ cinsinden ısıtma ve sıcak su için toplam yakıt kullanımının aylara göre dağılımı gösterilmektedir. En fazla yakıt maliyeti ocak ayında $553 \text{ \$}$ 'dır. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yakıt maliyeti yalnızca sıcak su kullanımından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.9. Aylık yakıt maliyeti

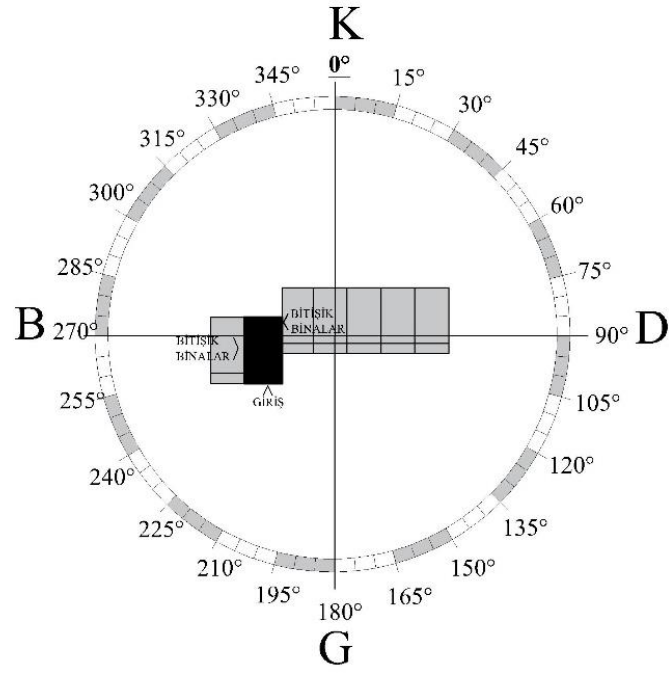
Örnek konut için elektrik ve yakıt maliyetlerinin toplamından oluşan toplam enerji maliyetinin aylara göre dağılım grafiği Şekil 5.10'da verilmektedir. Bu grafiğe göre Haziran ayında, sıcaklık artışının etkisiyle konutun soğutma ihtiyacının ve buna bağlı olarak enerji maliyetinin arttığı görülmektedir. Bahar ve kış aylarındaki yüksek enerji maliyeti, ısıtma ihtiyacındaki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.10. Aylık enerji maliyeti

5.2. Bina Yönelimindeki Değişim ile Elde Edilen Bulgular

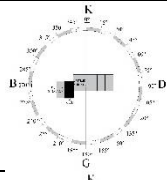
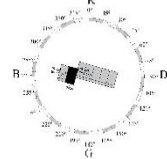
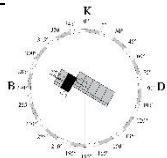
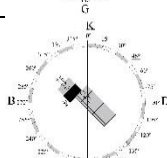
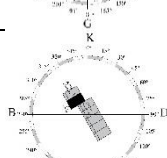
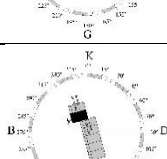
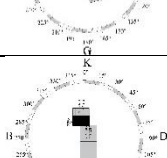
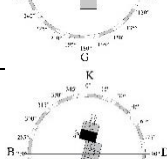
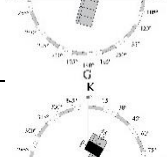
Bina yönelimi, binanın güneş ışınımından en fazla kazancı sağlaması için oldukça önemlidir. Bina tasarımında alınması gereken karar, yönelim açısının belirlenmesidir. Binanın mevcut konumu “0° yönlenme” olarak kabul edilip bu konumu üzerinden saat yönünde 15°lik açılarla bina yönelimlerinin, enerji kullanımları incelenerek bina için en uygun yönlendirme açısı belirlenmiştir. Şekil 5.11’de örnek konut için mevcut durumundaki yönelimi verilmektedir. Binanın mevcut durumunda ön cephesi kuzey yönüne konumlandırılmıştır.



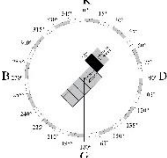
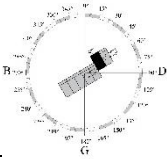
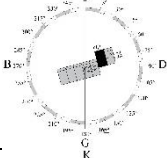
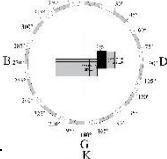
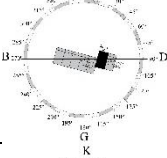
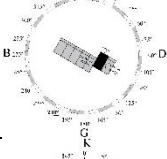
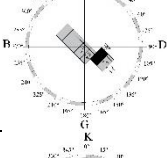
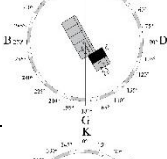
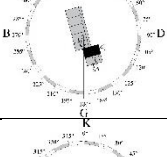
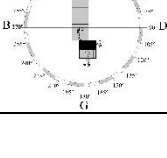
Şekil 5.11. Bina yönelimi

Tablo 5.6’da bina yönelimlerine göre yıllık enerji kullanım maliyetleri, enerji kullanım yoğunlukları ve yıllık yakıt kullanım miktarları verilmiştir. Binanın enerji maliyetini en az seviyeye düşüren iki yönelim 4593 \$ ile +30 ° yönlenme ve 4594 \$ ile +195° yönelmesidir. Ancak yakıt miktarının en düşük olduğu yönelim +225° yönelimidir. +30 ° yönlenme için yakıt kullanımı 124278 MJ iken +195° yönlenme için 121124 MJ olması, yakıt ve enerji kullanımı birlikte düşünüldüğünde +195 ° yönlenmenin daha avantajlı bir durum olacağını göstermektedir. Enerji kullanım yoğunluğunun en düşük olduğu iki değer +195° ve +210° yönlenmeleridir. +210° yönlenme enerji kullanım yoğunluğu 1645.3 MJ/m²/yıl ve +195° yönlenme enerji kullanım yoğunluğu 1645.4 MJ/m²/yıl olmakla birlikte birbirine çok yakın değerlerdedir.

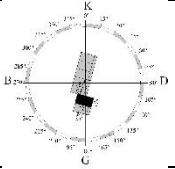
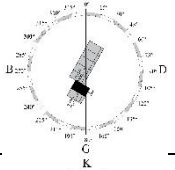
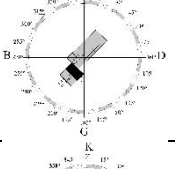
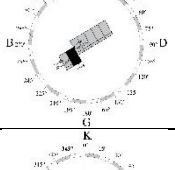
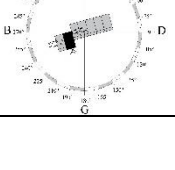
Tablo 5.6. Bina yönelimlerine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları

BİNA YÖNELİMİ	BİNA YÖNELİM AÇISI	YILLIK ENERJİ MALİYETİ (\$)	ENERJİ KULLANIM YOĞUNLUĞU (MJ /m ² /yıl)	YILLIK YAKIT (MJ)
	0° yönlenme	4611	1670.9	125047
	+15° yönlenme	4593	1663.8	124458
	+30° yönlenme	4593	1662.7	124278
	+45° yönlenme	4602	1665.8	124504
	+60° yönlenme	4619	1671.1	124779
	+75° yönlenme	4694	1689.2	125165
	+90° yönlenme	4738	1699.0	125290
	+105° yönlenme	4747	1698.9	124909
	+120° yönlenme	4739	1698.4	124370

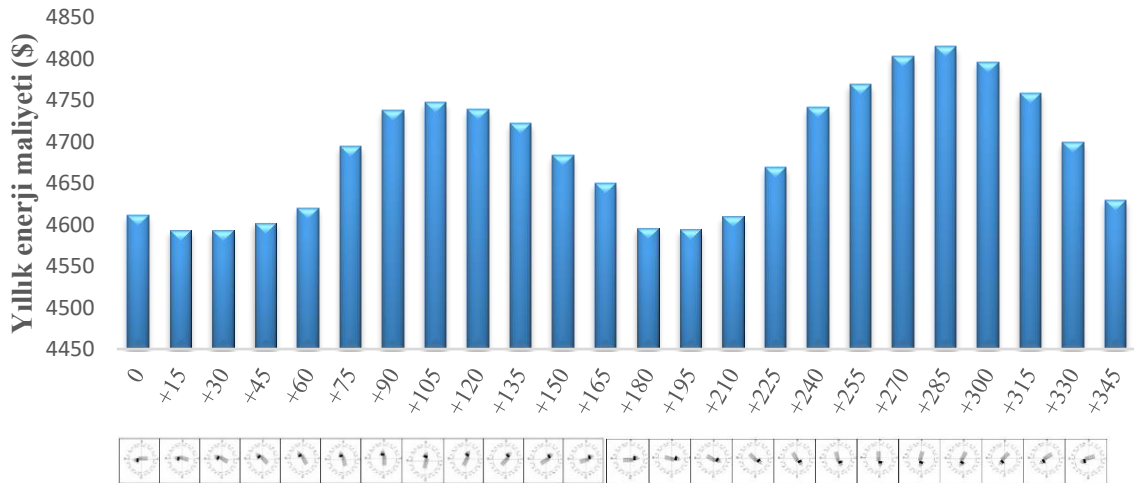
Tablo 5.6.'nın devamı Bina yönelimlerine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları

	+135° yönlenme	4722	1686.8	123674
	+150° yönlenme	4683	1675.9	123199
	+165° yönlenme	4650	1665.4	122546
	+180° yönlenme	4596	1650.7	121968
	+195° yönlenme	4594	1645.4	121124
	+210° yönlenme	4610	1645.3	120486
	+225° yönlenme	4669	1657.7	120465
	+240° yönlenme	4741	1676.6	121104
	+255° yönlenme	4769	1688.6	122214
	+270° yönlenme	4803	1703.6	123607

Tablo 5.6.'nın devamı Bina yönelimlerine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları

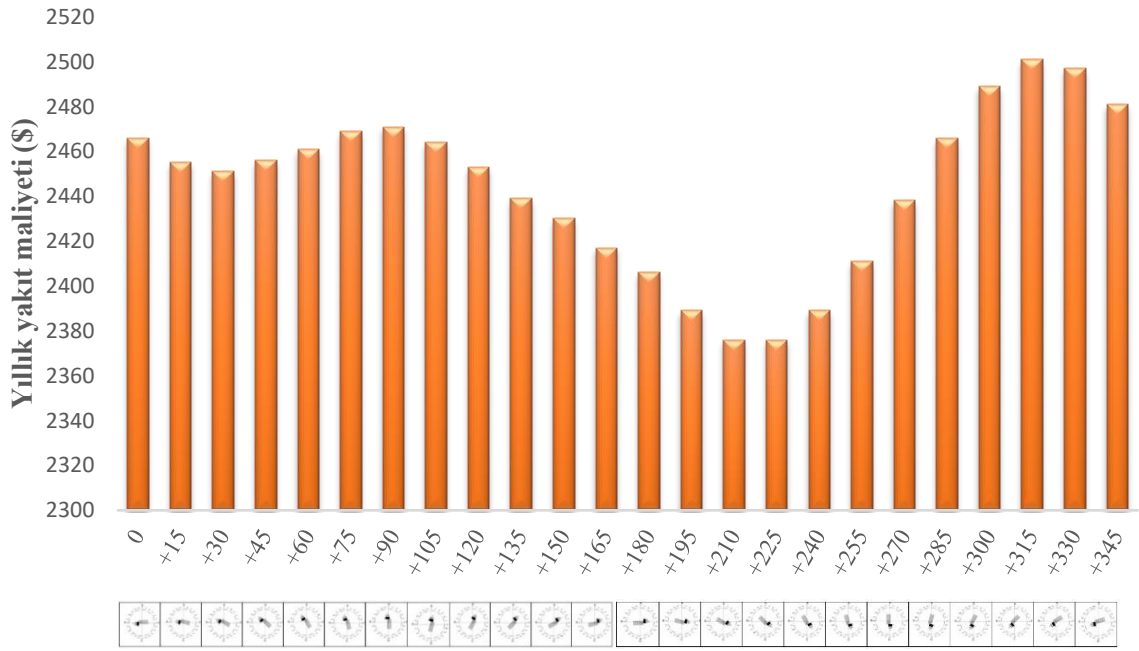
	+285° yönlenme	4815	1714.0	125013
	+300° yönlenme	4796	1716.5	126214
	+315° yönlenme	4759	1712.2	12682
	+330° yönlenme	4699	1698.2	126619
	+345° yönlenme	4629	1678.9	125809

Şekil 5.12'de bina yönelimlerine göre yıllık enerji maliyet miktarları gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek enerji kullanım miktarı +285° yönlenme ile oluşmaktadır. En düşük enerji maliyetleri +15° - +45° aralığındaki yönlenmelerle +180° - +210° aralığındaki yönlenmelerde oluşmaktadır.



Şekil 5.12. Bina yönelimleri ile yıllık enerji maliyet grafiği

Bina yönelimlerinin yıllık yakıt maliyetine bağlı değişim grafiği Şekil 5.13’de gösterilmektedir. +225° yönelim ve +210° yönelim yakıt kullanımının en düşük olduğu yani ısıtma ihtiyacının en düşük olduğu yönelimlerdir. Ancak toplam enerji kullanım miktarına bakıldığında +225° yönelim için enerji kullanım miktarı fazladır. Bu artış, elektrik kullanımında artıştan kaynaklanmaktadır. Elektrik kullanım miktarının artış sebebi ise binanın soğutma ve havalandırma ihtiyacındaki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.13. Bina yönelimleri ile yıllık yakıt maliyet grafiği

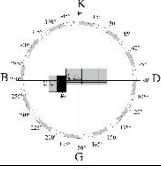
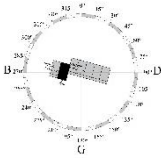
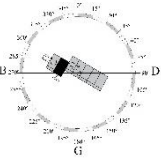
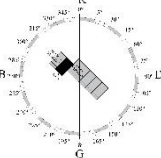
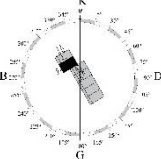
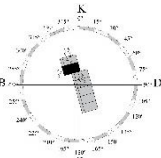
Aylık yakıt maliyetleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Dış ortam sıcaklığının en düşük olduğu kış aylarında yakıt maliyetleri incelendiğinde en az maliyetin olduğu yönlenmeler +195° ve +210° yönlenmeleridir. Bahar aylarında +210° ve +225° yönlenmede yakıt maliyeti diğer yönlenmelere göre daha düşük olmaktadır. Yıllık yakıt maliyeti ise en düşük +210° ve +225° yönlenmelerinde ve eşit maliyette olup 2376 \$’dır. Güneş ısısında en fazla yararlanan yönlenme yakıt kullanımının neredeyse bütün aylarda en düşük olduğu +210° yönlenmesidir. Ancak yaz aylarında güneş ışınımı soğutma ihtiyacının artıracığı için enerji maliyetinin de artmasına neden olacaktır.

Tablo 5.7. Bina yönelimlerinin aylık yakıt kullanımı maliyetleri (\$)

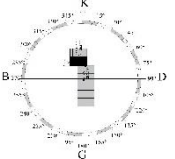
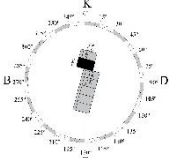
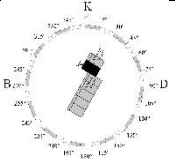
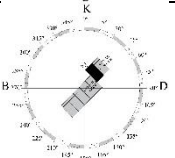
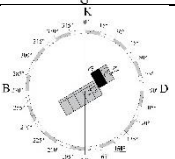
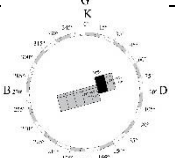
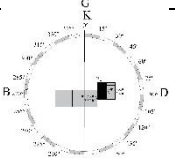
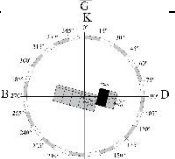
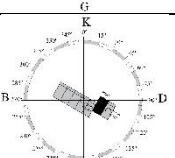
BİNA YÖNELİM AÇISI	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
0° yönlenme	553	436	311	163	72	21	20	18	20	83	300	469	2466
+15° yönlenme	551	435	308	162	73	21	20	18	20	82	298	467	2455
+30° yönlenme	551	434	308	161	71	21	20	18	20	82	297	467	2451
+45° yönlenme	552	436	310	159	69	21	20	18	20	82	298	469	2456
+60° yönlenme	555	438	311	157	65	21	20	18	20	83	301	472	2461
+75° yönlenme	560	442	312	153	58	21	20	18	20	82	305	478	2469
+90° yönlenme	564	445	309	146	52	21	20	18	20	81	310	484	2471
+105° yönlenme	567	445	304	140	49	21	20	18	20	80	312	487	2464
+120° yönlenme	567	443	301	139	49	21	20	18	20	79	310	486	2453
+135° yönlenme	563	440	300	141	52	21	20	18	20	78	305	481	2439
+150° yönlenme	559	437	300	146	57	21	20	18	20	78	300	474	2430
+165° yönlenme	552	433	301	151	63	21	20	18	20	79	295	465	2417
+180° yönlenme	545	428	303	158	69	21	20	18	20	78	289	456	2406
+195° yönlenme	540	424	302	160	72	21	20	18	20	78	283	450	2389
+210° yönlenme	540	423	299	156	69	21	20	18	20	77	282	450	2376
+225° yönlenme	545	425	294	149	63	21	20	18	20	77	286	458	2376
+240° yönlenme	552	430	292	141	57	21	20	18	20	77	293	468	2389
+255° yönlenme	558	434	294	138	52	21	20	18	20	78	300	477	2411
+270° yönlenme	564	439	299	139	50	21	20	18	20	79	306	484	2438
+285° yönlenme	567	444	304	141	50	21	20	18	20	81	311	488	2466
+300° yönlenme	568	447	311	145	51	21	20	18	20	84	314	489	2489
+315° yönlenme	566	448	316	152	55	21	20	18	20	86	314	485	2501
+330° yönlenme	561	444	318	159	62	21	20	18	20	86	309	478	2497
+345° yönlenme	555	439	315	164	67	21	20	18	20	85	304	473	2481

Tablo 5.8’de binanın yalnızca ısıtma kullanımlarına göre elde edilen veriler bulunmaktadır. Toplam enerji maliyeti içinde yakıt maliyet yüzdesi, yönlenmelere göre %51-%48 oranları arasında değişmektedir. Toplam enerji kullanımı içinde ısıtma için harcanan enerji yönlenmelere göre % 66 - % 64 arasında değişmektedir. Isıtma için elde edilen maliyet ve enerji kullanım yüzdeleri, ısıtma ihtiyacının enerji kullanımını maliyetten daha fazla etkilediğini göstermektedir.

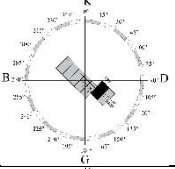
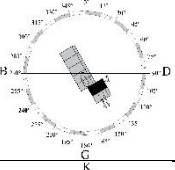
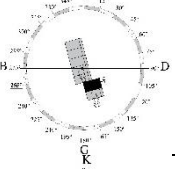
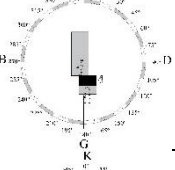
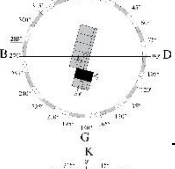
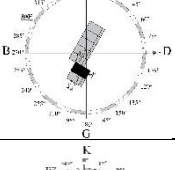
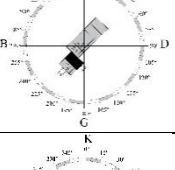
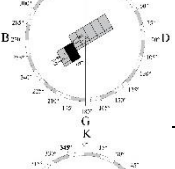
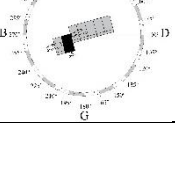
Tablo 5.8. Bina yönelimlerinin ısıtma miktarına etkileri

BİNA YÖNELİMİ	BİNA YÖNELİM AÇISI	ISITMA İÇİN YAKIT KULLANIM YÜZDESİ	YILLIK ISITMA MALİYETİ (\$ PER m ²)	ISITMA İÇİN ENERJİ KULLANIM YÜZDESİ
	0° yönlenme	% 51	22.87	% 66
	+15° yönlenme	% 51	22.75	% 66
	+30° yönlenme	% 51	22.71	% 66
	+45° yönlenme	% 51	22.76	% 66
	+60° yönlenme	% 51	22.81	% 66
	+75° yönlenme	% 50	22.91	% 66

Tablo 5.8.'in devamı Bina yönelimlerinin ısıtma miktarına etkileri

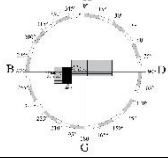
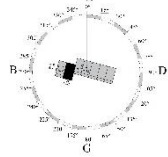
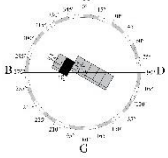
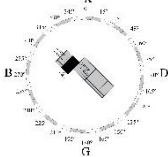
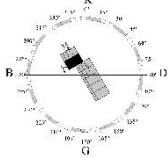
	+90° yönlenme	% 50	22.94	% 65
	+105° yönlenme	% 50	22.87	% 65
	+120° yönlenme	% 49	22.76	% 65
	+135° yönlenme	% 49	22.62	% 65
	+150° yönlenme	% 49	22.52	% 65
	+165° yönlenme	% 50	22.39	% 65
	+180° yönlenme	% 50	22.26	% 65
	+195° yönlenme	% 49	22.09	% 65
	+210° yönlenme	% 49	21.96	% 64

Tablo 5.8. 'in devamı Bina yönelimlerinin ısıtma miktarına etkileri

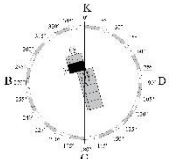
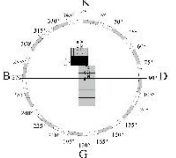
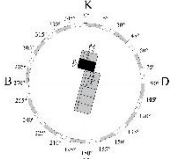
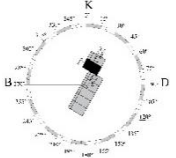
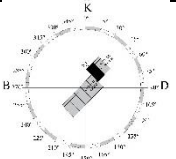
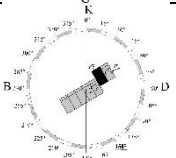
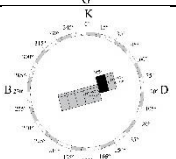
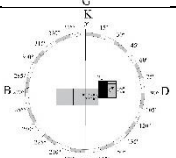
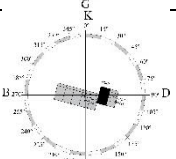
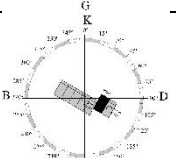
	+225° yönlenme	% 48	21.96	% 64
	+240° yönlenme	% 48	22.1	% 64
	+255° yönlenme	% 48	22.33	% 64
	+270° yönlenme	% 48	22.62	% 64
	+285° yönlenme	% 49	22.91	% 65
	+300° yönlenme	% 50	23.15	% 65
	+315° yönlenme	% 50	23.27	% 66
	+330° yönlenme	% 51	23.21	% 66
	+345° yönlenme	% 51	23.03	% 66

Tablo 5.9’da bina yönlendirmelerine göre enerji kullanımına göre yaşam döngüsü maliyeti, yaşam döngüsü boyunca yakıt kullanım miktarı ve yakıt kullanımına göre CO₂ emisyon miktarları verilmiştir. Yönlendirmenin enerji kullanımı üzerinde yıl içindeki etkisinden çok, yaşam döngüsü üzerindeki etkisi daha fazladır. En yüksek yaşam döngüsü maliyeti +285° yönlenme ile 65590 \$, en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise +30° yönlenme ile 62560 \$’dır. CO₂ emisyon miktarı, yönlendirme sonuçlarına göre 6.2 Mg ile 6.0 Mg arasında değişmektedir. Bina mevcut durumuna göre 30 yıllık kullanımı boyunca yaşam döngüsü maliyeti 62810 \$’dır.

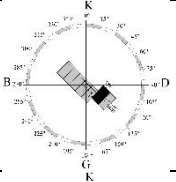
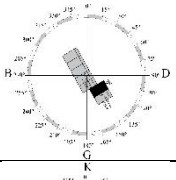
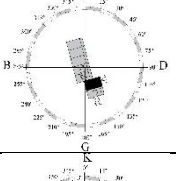
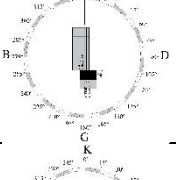
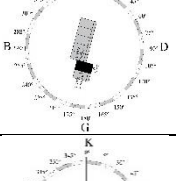
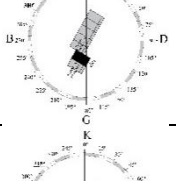
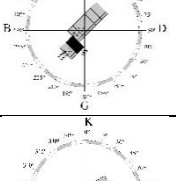
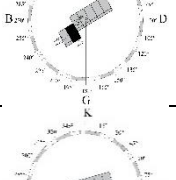
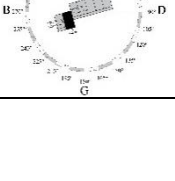
Tablo 5.9. Bina yönlendirmeleri için yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarı

BİNA YÖNELİMİ	BİNA YÖNELİM AÇISI	LCC (Yaşam döngüsü Maliyeti) (\$)	Yaşam döngüsü Yakıt Kullanımı (MJ)	Yakıt Kullanımı için Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)
	0° yönlenme	62810	3751407	6.2
	+15° yönlenme	62568	3733746	6.2
	+30° yönlenme	62560	3728328	6.2
	+45° yönlenme	62680	3735108	6.2
	+60° yönlenme	62921	3743382	6.2

Tablo 5.9.'un devamı Bina yönlenmeleri için yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarı

	+75° yönlenme	63946	3754944	6.2
	+90° yönlenme	64533	3758691	6.2
	+105° yönlenme	64656	3747276	6.2
	+120° yönlenme	64558	3731106	6.2
	+135° yönlenme	64321	3710220	6.2
	+150° yönlenme	63788	3695967	6.1
	+165° yönlenme	63345	3676389	6.1
	+180° yönlenme	62607	3659046	6.1
	+195° yönlenme	62571	3633732	6.0
	+210° yönlenme	62791	3614571	6.0

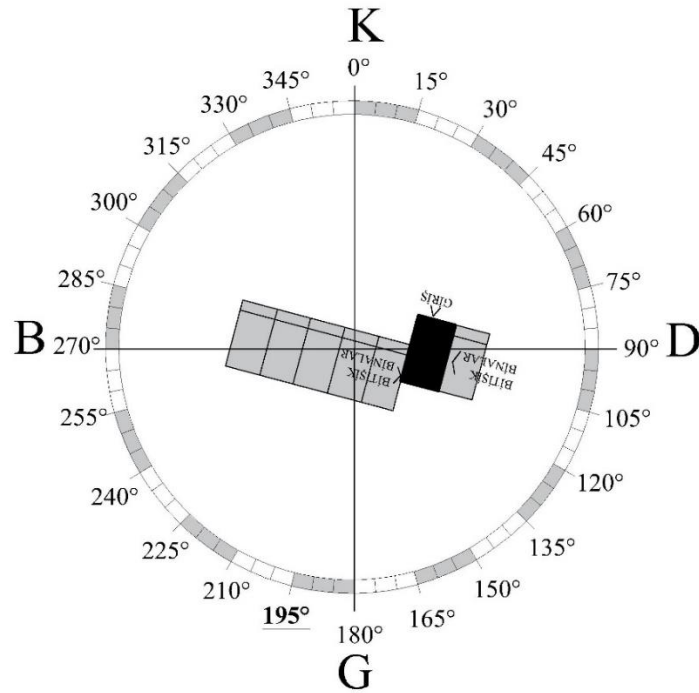
Tablo 5.9. un devamı Bina yönlenmeleri için yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarı

	+225° yönlenme	63595	3613953	6.0
	+240° yönlenme	64580	3633108	6.0
	+255° yönlenme	64956	3666423	6.1
	+270° yönlenme	65423	3708213	6.2
	+285° yönlenme	65590	3750399	6.2
	+300° yönlenme	65322	3786414	6.3
	+315° yönlenme	64830	3804591	6.3
	+330° yönlenme	64005	3798576	6.3
	+345° yönlenme	63056	3774273	6.3

Bina yönlenmelerine göre enerji ve yakıt kullanım miktarları incelendiğinde, enerji kullanımının en düşük olan yönlenme 4594 \$ ile +30 ° yönlenme olmasıyla birlikte enerji bakımından en düşük ikinci yönlenme 4594 \$ ile +195° yönlenmedir. Yaşam döngüsü enerji kullanım maliyeti en düşük +30° yönlenmede 62560 \$ olmakla birlikte, yaşam döngüsü maliyeti birbirine çok yakın olan +195° yönlenme ile +30 ° yönlenme arasındaki fark 11\$'dır. Yakıt kullanımının en düşük olduğu yönlenmenin ise 2376 \$ ile +195° yönlenme olduğu görülmektedir. Enerji kullanım yoğunluğu bakımından en düşük değer 1,645 MJ/m²/yıl olan +195° ve +210° yönlenmeleridir. Yakıt kullanımına göre hesaplanan CO₂ değerlerinin en düşük olduğu +195 ° ve +240 ° arasındaki yönlenmeler 6.0 Mg ile binanın çevreye verdiği zararlı gaz salınımı diğer yönlenmelere göre azaltmaktadır.

Gün ışığından daha fazla yararlanma adına kullanıcıların gün içinde daha fazla vakit geçirdiği yaşam alanlarının güney cephesine yönelmesi konutu daha işlevsel hale getirecektir. Mevcut durumda güney cephesinde olan mutfağın ise kuzeye yönlendirilmesi binanın verimliliğini arttırmış olacaktır.

Binanın yönlenmesi ile ilgili sonuçlar dikkate alındığında, bina enerji performansı üzerindeki etkilerine göre hem çevre hem maliyet hem de enerji kullanımları için bütün değerler arasında en ideal yönlenme +195° olarak seçilmiştir. Şekil 5.14'te mevcut yönlenmeye alternatif olarak belirlenen +195° yönelim gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Bina yönelimi için önerilen +195° yönelimi

5.3. Güney Cephe Saydıamlık Oranındaki Değişim İle Elde Edilen Bulgular

Bir yapıda ısı kaybının en önemli sebeplerinden biri saydam cephelerdir. Bu durumun nedeni saydam cephenin dış ortamla bina kabuğu arasındaki ısı alışverişinin en yoğun olduğu bölge olmasıdır. Mevcut konut için güney cephe saydıamlık oranı % 6.5 kuzey cephe saydıamlık oranı ise % 31'dir. Örnek konut çevresindeki diğer konutlarla bitişik nizamda olduğu için doğu ve batı cepheleri bina saydıamlık oranlarını etkilememektedir.

Kuzey cephesinde cephe saydıamlık oranının artırılması yakıt kullanımını arttıracığından enerji kullanım oranı artacaktır. Kuzey cephede saydıamlık oranının değişimi enerji verimliliğini arttırmayacağı için kuzey cephe saydıamlık oranında mevcut durum değiştirilmemiştir.

Binanın enerji etkinliğini en çok etkileyen güney cephesi saydıamlık oranıdır. Bunun için güney cephenin %15, 30, 40, 50, 65, 80 saydıamlık oranlarındaki enerji tüketimleri incelenmiştir.

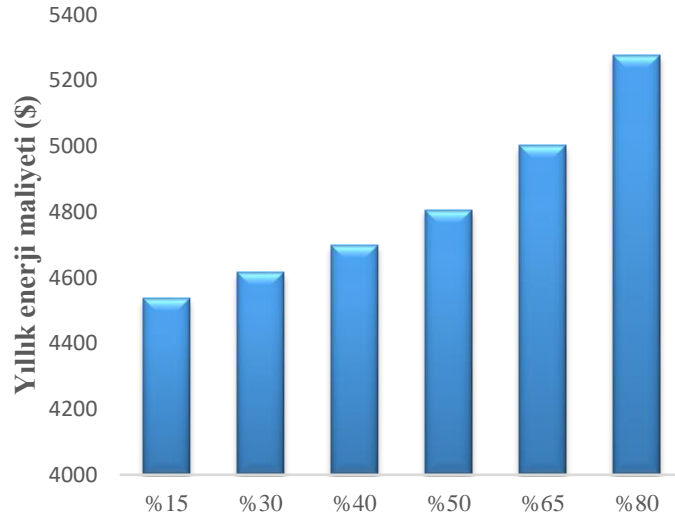
Güney cephe saydıamlık oranındaki değişime ait yıllık enerji maliyeti, enerji kullanım yoğunluğu ve yıllık yakıt kullanım miktarı Tablo 5.10'da verilmiştir. Güney cephe saydıamlık oranındaki artış ile enerji maliyeti artarken, yakıt kullanım miktarı azalmaktadır. Cephe saydıamlık oranı % 15 den % 30'a ve % 30'dan % 40'a geçerken yıllık enerji maliyet artışı 80 \$ olmakta ve diğer geçişlerde bu fark 100 \$ - 280 \$ arasında değişmektedir.

Tablo 5.10. Güney cephe saydıamlık oranına göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları

SAYDAMLIK ORANI	YILLIK ENERJİ MALİYETİ (\$)	ENERJİ KULLANIM YOĞUNLUğU (MJ /m ² /yıl)	YILLIK YAKIT (MJ)
%15	4536	1629.9	120541
%30	4616	1614.8	114755
%40	4699	1614.4	111488
%50	4806	1621.7	108708
%65	5003	1645.2	105415
%80	5277	1692.5	103464

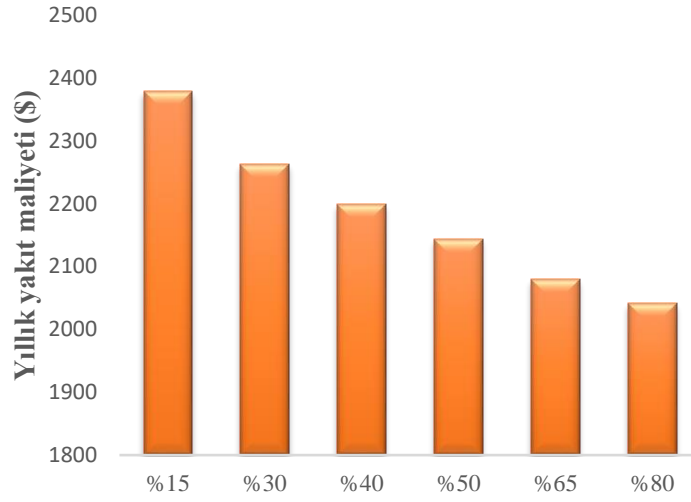
Enerji kullanım yoğunluğu % 15’le % 30 arasında yaklaşık 15 MJ/m²/yıl azalmış, saydamlık oranı % 40’dan % 50’oranına arttırıldığında ise tekrar artmaya başlamıştır. Yıllık yakıt kullanımı, güney saydamlık oranının artmasıyla devamlı olarak azalmıştır. Enerji kullanım yoğunluğu dikkate alındığında güney cephe saydamlık oranını % 40 olarak belirlemek enerji etkin bina tasarımında avantaj sağlayacaktır.

Güney cephe saydamlık oranları ile yıllık enerji maliyet değerleri Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Bu grafik cephe saydamlık oranının artmasıyla enerji maliyetlerinin doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir.



Şekil 5.15. Güney cephe saydamlık oranı yıllık enerji maliyet grafiği

Şekil 5.16’da güney cephe saydamlık oranlarındaki değişimin yıllık yakıt maliyetine etkisini göstermektedir. Buna göre güney cephesinde saydamlık oranının artmasıyla yakıt maliyeti azalmaktadır. Güneş ışınımından faydalanılan güney cephede iç mekanların sıcaklığının artması ısıtma yükünü azaltmakta ve bu durum yakıt maliyetini bir miktar düşürmektedir.



Şekil 5.16. Güney cephe saydamlık oranı yıllık yakıt maliyet grafiği

Tablo 5.11. üzerinden güney cephe saydamlık oranındaki değişimiyle yakıt kullanımının aylara göre dağılımı gösterilmektedir. Isıtma yükünün en yüksek olduğu kış aylarında % 80 saydamlık oranı en düşük yakıt kullanımını sağlamaktadır. Bahar aylarında ise yakıt maliyeti % 40 saydamlık oranından sonraki saydamlık oranı artışlarında fazla değişiklik göstermemektedir. Yıllık yakıt maliyeti en yüksek 2378 \$ iken en az 2041 \$ olmaktadır.

Tablo 5.11. Güney cephe saydamlık oranı için aylık yakıt maliyetleri (\$)

SAYDAMLIK ORANI	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
%15	542	424	295	154	69	21	20	18	20	76	284	454	2378
%30	528	407	273	144	65	21	20	18	20	71	264	433	2263
%40	519	396	260	139	63	21	20	18	20	69	253	420	2199
%50	510	386	250	137	63	21	20	18	20	68	244	408	2144
%65	497	373	239	135	62	21	20	18	20	67	235	392	2079
%80	488	365	233	135	62	21	20	18	20	67	230	382	2041

Güney cephe saydamlık oranındaki değişimin ısıtma yüküne etkileri Tablo 5.12’de gösterilmektedir. Mevcut konutta ısıtma için metrekarede yıllık 22.87 \$ harcanırken cephe saydamlık oranındaki artışla bu oran 18.48 \$’a düşmektedir. Toplam enerji maliyetinde ısıtma için yıllık maliyetinin yüzdeler dağılımına bakıldığında, ısıtma maliyeti % 50’den %36’ya kadar düşebilmektedir. Mevcut konut enerji tüketiminin % 66’sı ısıtmadan kaynaklanırken, %40 güney cephe saydamlık oranında ısıtma enerjinin % 60’ını oluşturmaktadır.

Tablo 5.12. Güney cephe saydamlık oranının ısıtma miktarına etkileri

SAYDAMLIK ORANI	ISITMA İÇİN YAKIT KULLANIM MALİYET YÜZDESİ	YILLIK ISITMA MALİYETİ (\$ PER m ²)	ISITMA İÇİN ENERJİ KULLANIM YÜZDESİ
%15	% 50	21.95	% 65
%30	% 46	20.78	% 62
%40	% 44	20.12	% 60
%50	% 42	19.56	% 58
%65	% 39	18.88	% 55
%80	% 36	18.48	% 53

Tablo 5.13’e bakıldığında güney cephe saydamlık oranındaki artış, enerji kullanımından kaynaklanan yaşam döngüsü maliyetinin artmasına neden olmuştur. Güney cephe saydamlık oranının artması, binanın yakıt kullanımından kaynaklanan yaşam döngüsü yakıt kullanım miktarı ve yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonunun ise azalmasına neden olmuştur. Bu durum elektrik birim fiyatının 0.17 \$ üzerinden yakıt maliyetlerinin birim fiyatının ise 0.02 \$ üzerinden hesaplanmasıdır. Elektrik kullanım birim maliyeti, yakıt kullanım birim maliyetinden daha yüksektir.

Tablo 5.13. Güney cephe saydamlık oranı için yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarları

SAYDAMLIK ORANI	LCC (Yaşam döngüsü Maliyeti) (\$)	Yaşam döngüsü Yakıt Kullanımı (MJ)	Yakıt Kullanımı için Yıllık CO₂ Emisyonu (Mg)
%15	61783	3616224	6.0
%30	62871	3442641	5.7
%40	64006	3344643	5.6
%50	65463	3261240	5.4
%65	68143	3162462	5.3
%80	71873	3103911	5.2

Güney cephe saydamlık oranına ait bilgiler doğrultusunda gün ışığından fayda sağlayacak ve binanın enerji yükünü en az etkileyecek seçenek % 40 güney cephe saydamlık oranı olmaktadır. Bu doğrultuda oluşturulacak alternatif tasarımda güney cephe saydamlık oranı % 40 olarak belirlenmiştir.

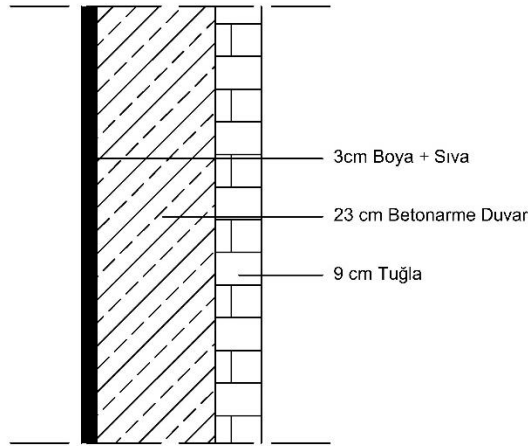
5.4. Isı Yalıtım Malzemesindeki Değişim ile Elde Edilen Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde bina dış duvarına uygulanan ısı yalıtım malzemesinin bina enerji performansına etkilerini incelemek üzere, farklı yalıtım malzemeleri incelenmiştir. Isı yalıtım malzemesi olarak taşyünü, camyünü, EPS ve XPS seçilmiştir. Bu dört yalıtım malzemesinin her birinin 3, 5 ve 8'er cm kalınlıkları için enerji analizleri yapılmıştır. Yalıtım malzemeleri için termofiziksel özellikler Tablo 5.14.'te sunulmuştur.

Tablo 5.14. Farklı yalıtım malzemelerinin termofiziksel özellikleri

Yalıtım malzemesi	Isıl iletkenlik (W/ m.K)	Özgül ısı (J/g.K)	Yoğunluk (kg/m ³)
XPS	0.027	1.0300	40
EPS	0.035	0.800	20
CAMYÜNÜ	0.040	1.000	65
TAŞYÜNÜ	0.044	0.9200	110

Binanın mevcut durumunda ısı yalıtım malzemesi uygulanmamıştır. Mevcut bina için dış duvar kesiti Şekil 5.17’de gösterilmektedir. Yalıtımsız dış duvar katmanları dıştan içe doğru; 9 cm tuğla, 23 cm betonarme perde duvar ve iç sıvadan oluşmaktadır. Yalıtımsız dış duvara termal değerlerine göre yalıtım malzemelerinin ayrı ayrı eklendiği kabul edilmiştir.



Şekil 5.17. Mevcut bina dış duvar kesiti

Tablo 5.15’te dört farklı yalıtım malzemesi için ısı yalıtım malzemelerinin farklı kalınlıklarına göre dış duvara ait ısı geçirgenlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.15. Yalıtım malzemelerinin kalınlıklarına göre bina dış duvarına ait U değerleri

Yalıtım malzemesinin kalınlığı	CAMYÜNÜ	TAŞYÜNÜ	XPS	EPS
3cm	0.8774	0.9332	0.6663	0.8020
5cm	0.6099	0.6553	0.4461	0.5500
8cm	0.4185	0.4529	0.2983	0.3738

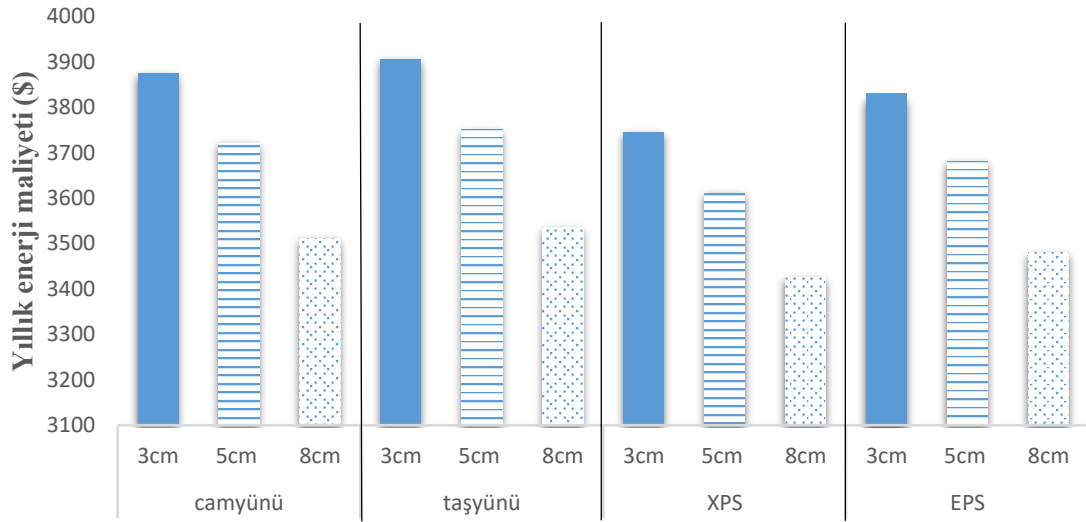
Binanın farklı yalıtım malzemeleri için yaşam döngüsü maliyeti, yıllık enerji maliyeti, enerji kullanım ve yıllık yakıt kullanım miktarı Tablo 5.16’da verilmiştir. Yalıtım malzemeleri için enerji maliyeti, enerji kullanım yoğunluğu ve yakıt kullanım değerleri paralellik göstermektedir. Enerji ve yakıt kullanımını en yüksekten en düşüğe doğru taşıyünü, camyünü, EPS ve XPS şeklide sıralanmaktadır.

Tablo 5.16. Yalıtım malzemesine göre yıllık enerji ve yakıt kullanımları

YALITIM MALZEMESİ	YALITIM MALZEMESİNİN KALINLIĞI	YILLIK ENERJİ MALİYETİ (\$)	ENERJİ KULLANIM YOĞUNLUĞU (MJ /m2/yıl)	YILLIK YAKIT KULLANIMI (MJ)
CAMYÜNÜ	3cm	3874	1335.3	9384
	5cm	3721	1257.9	86555
	8cm	3512	1214.3	79268
TAŞYÜNÜ	3cm	3906	1350.0	95291
	5cm	3750	1271.4	87879
	8cm	3535	1225.6	80376
XPS	3cm	3746	1276.4	88037
	5cm	3611	1207.2	81506
	8cm	3425	1172.5	75246
EPS	3cm	3830	1315.0	91847
	5cm	3681	1239.7	84744
	8cm	3480	1199.0	77804

Yalıtım malzemelerinin 3 cm ile 5 cm kalınlıkları arasındaki enerji ve yakıt kullanım farkının daha yüksek olduğu görülmektedir. Kalınlık 8cm'e çıkarıldığında ise yakıt ve enerji kullanımlarının daha az bir oranda azalma meydana gelmektedir.

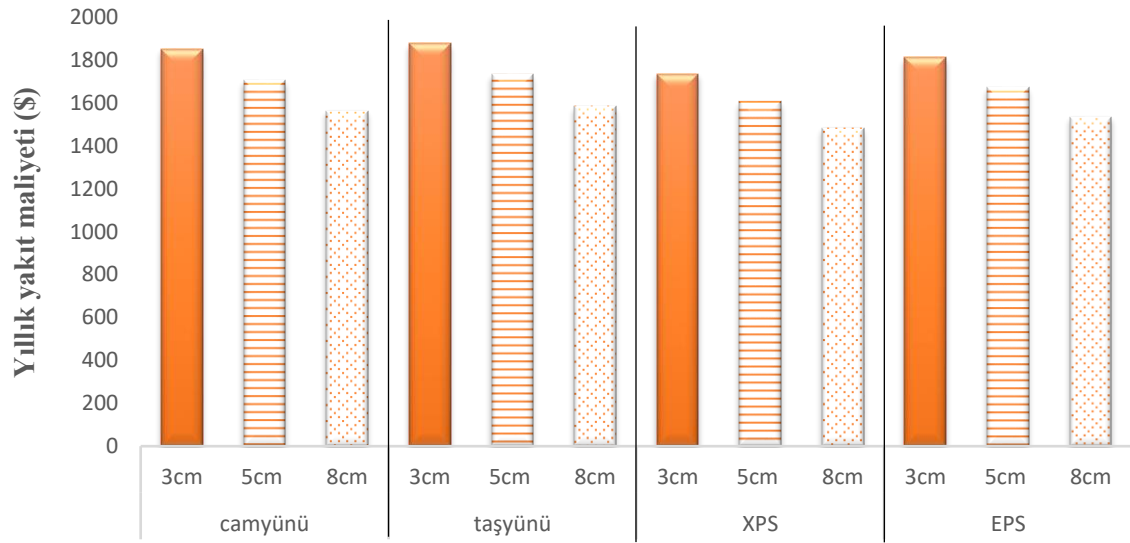
Yıllık enerji ve yakıt kullanımları en düşük değerlere sahip yalıtım malzemesi olan XPS için 3 cm ile 5 cm kalınlıkları arasındaki yıllık enerji maliyet farkı 135 \$, enerji kullanım yoğunlukları arasındaki fark 68.8 MJ olmaktadır. 8cm ile 5cm kalınlıkları arasındaki enerji maliyet farkı 186 \$, enerji kullanım yoğunlukları arasındaki fark 24.7 MJ olmaktadır. Bu farklar XPS kalınlığını 8 cm'ye çıkarmanın m² başına enerji miktarını daha az bir oranda düşürdüğünü göstermektedir.



Şekil 5.18. Yalıtım malzemesi için yıllık enerji maliyet grafiği

Şekil 5.18 yalıtım malzemesinin yıllık enerji maliyetine etkisini göstermektedir. Taşıyünü ve camyünü yıllık enerji maliyetleri birbirine daha yakın ancak EPS ve XPS'e oranla yüksektir.

Yalıtım malzemesi için yıllık yakıt kullanım maliyet grafiği Şekil 5.19'da verilmiştir. Yıllık yakıt maliyeti en düşük olan yalıtım malzemesi 8cm için XPS olmakla birlikte buna en yakın değer 8 cm için EPS olmaktadır. Taşıyünü ve camyünü'nün 5 ve 8 cm kalınlıklarda maliyetleri birbirine oldukça yakındır.



Şekil 5.19. Yalıtım malzemesi için yıllık yakıt maliyet grafiği

Tablo 5.17. Yalıtım malzemeleri için aylık yakıt maliyetleri (\$)

Yalıtım Malzemesi	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM	
CAMYÜNÜ	3cm	411	327	235	126	56	21	20	18	20	58	214	344	1851
	5cm	378	301	217	118	53	21	20	18	20	53	194	314	1707
	8cm	345	274	198	106	48	21	20	18	20	49	177	287	1563
TAŞYÜNÜ	3cm	418	332	239	128	57	21	20	18	20	60	218	350	1879
	5cm	384	306	220	120	53	21	20	18	20	54	197	320	1733
	8cm	350	278	200	108	48	21	20	18	20	50	180	292	1585
XPS	3cm	385	306	221	120	53	21	20	18	20	54	198	321	1736
	5cm	354	283	205	113	50	21	20	18	20	50	180	294	1608
	8cm	326	260	188	102	46	21	20	18	20	46	166	271	1484
EPS	3cm	402	320	230	124	55	21	20	18	20	57	208	336	1812
	5cm	370	294	213	116	52	21	20	18	20	51	189	307	1671
	8cm	338	269	194	105	47	21	20	18	20	48	173	281	1535

Tablo 5.17’de yalıtım malzemelerinin aylık yakıt kullanım maliyetlerine göre 8 cm EPS ile 8 cm XPS yalıtım malzemelerinin birbirine çok yakın değerlerden oluştuğu görülmektedir. Yıllık yakıt maliyetleri arasında yalnızca 50 \$ fark ile 8 cm XPS 8cm EPS’ye göre daha az bir maliyete sahiptir.

Tablo 5.18. yalıtım malzemelerinin ısıtma miktarına etkilerini göstermektedir. Yalıtım malzemeleri üzerinden elde edilen ısıtma kullanım sonuçları incelendiğinde; yalıtım malzemesi kullanımında enerji kullanımı büyük oranda azalmıştır.

Tablo 5.18. Yalıtım malzemelerinin ısıtma miktarına etkileri

YALITIM MALZEMESİ	YALITIM MALZEMESİNİN KALINLIĞI	ISITMA İÇİN YAKIT KULLANIM MALİYET YÜZDESİ	YILLIK ISITMA MALİYETİ (\$ PER m ²)	ISITMA İÇİN ENERJİ KULLANIM YÜZDESİ
CAMYÜNÜ	3cm	% 44	16.33	% 59
	5cm	% 41	14.76	% 57
	8cm	% 39	13.72	% 54
TAŞYÜNÜ	3cm	% 44	16.63	% 59
	5cm	% 42	15.04	% 57
	8cm	% 40	13.95	% 55
XPS	3cm	% 42	15.13	% 57
	5cm	% 39	13.72	% 55
	8cm	% 38	12.86	% 53
EPS	3cm	% 43	15.91	% 58
	5cm	% 41	14.39	% 56
	8cm	% 39	13.14	% 54

Tablo 5.19’da farklı yalıtım malzemelerinin enerji ve kullanımına göre yaşam döngüsü maliyeti, yaşam döngüsü boyunca kullanılan yakıt miktarı, yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı verilmektedir. Enerji kullanımı açısından en avantajlı yalıtım malzemesi XPS olmakla birlikte EPS için elde edilen sonuçların XPS’e yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 5.19. Yalıtım malzemesi için yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarı

YALITIM MALZEMESİ	YALITIM MALZEMESİNİN KALINLIĞI	LCC (Yaşam döngüsü Maliyeti) (\$)	Yaşam döngüsü Yakıt Kullanımı (MJ)	Yakıt Kullanımı için Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)
CAMYÜNÜ	3cm	52767	2815209	4.7
	5cm	50682	2596660	4.3
	8cm	47836	2378032	4.0
TAŞYÜNÜ	3cm	53203	2858741	4.8
	5cm	51084	2636740	4.4
	8cm	48149	2411293	4.0
XPS	3cm	51031	2641121	4.4
	5cm	49191	2445183	4.1
	8cm	46648	2257388	3.8
EPS	3cm	52169	2755396	4.6
	5cm	50143	2542322	4.2
	8cm	47401	2334112	3.9

Yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluk değerlerine göre enerji kullanım miktarları incelendiğinde, örnek konut için en uygun yalıtım malzemesinin 8cm kalınlık için XPS olduğu görülmektedir.

5.5. Bina Performansını İyileştiren Alternatif Öneri ile Mevcut Durumun Karşılaştırılması

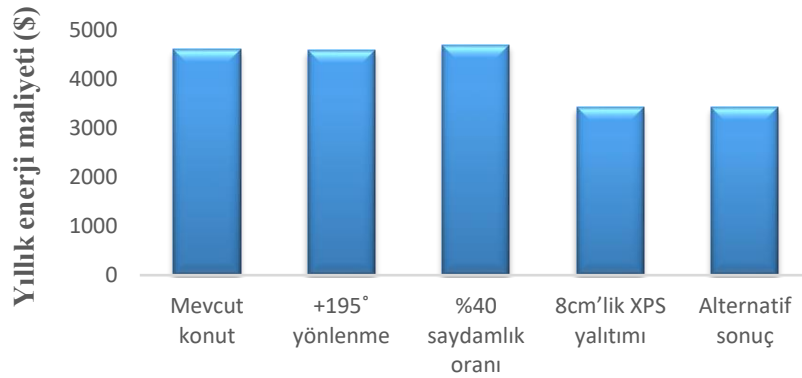
Yapılan analiz sonuçlarına göre, çalışmanın bu kısmında, bir önceki aşamada konut için seçilen uygun parametre değerlerinin birarada kullanıldığı alternatif bir tasarım oluşturulmuştur. Bu alternatif ile bina enerji performansının iyileştirilebileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 5.20’de oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konut ve seçilen parametrelerin yıllık enerji ve yakıt kullanımları verilmiştir. Buna göre cephe saydamlık oranındaki

değişim, enerji kullanım yoğunluğunu ve yakıt kullanımını azaltmaktadır ancak enerji maliyetinin bir miktar artmasına neden olmaktadır. Cephe saydamlık oranı için enerji kullanımını dışında bütün parametrelerde ve oluşturulan alternatifte, mevcut konutun kullanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yıllık yakıt kullanım miktarına en az etki eden parametre +195° yönelim ile olmaktadır. 8 cm XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında yılda metrekare başına enerji miktarı 1670.9 MJ den 1119 MJ 'e kadar düşebilmektedir.

Tablo 5.20. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık enerji ve yakıt Kullanımları

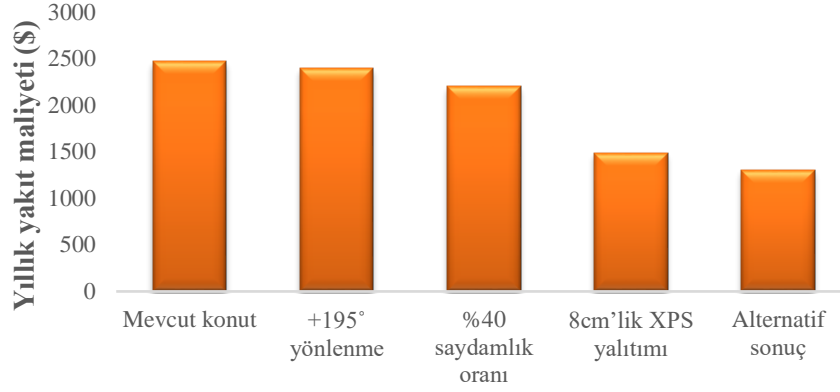
Etki eden parametre	YILLIK ENERJİ MALİYETİ (\$)	ENERJİ KULLANIM YOĞUNLUĞU (MJ /m ² /yıl)	YILLIK YAKIT (MJ)
Mevcut konut	4611	1670.9	125047
+195° yönlenme	4594	1645.4	121124
%40 saydamlık oranı	4699	1614.4	111488
8cm'lik XPS yalıtımı	3425	1172.5	75246
Alternatif sonuç	3420	1119.0	66012



Şekil 5.20. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık enerji maliyetleri

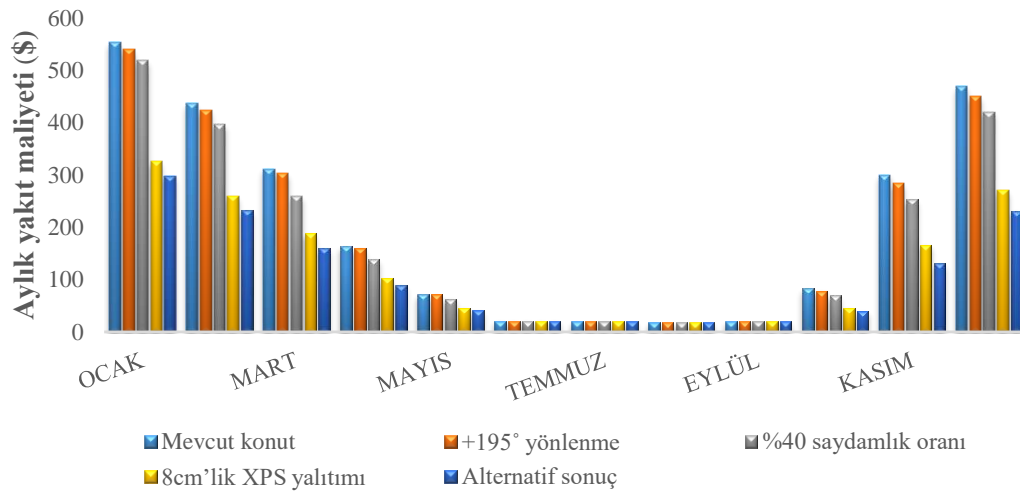
Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konut ve seçilen parametrelerin yıllık enerji maliyet grafiği Şekil 5.20'de verilmektedir. Mevcut konut ve oluşturulan alternatif için yıllık enerji maliyetleri arasındaki farkın 1191 \$ olması maliyet açısından sağlanabilecek avantajı göstermektedir.

Yıllık yakıt maliyetlerine göre seçilen alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin karşılaştırıldığı grafik, Şekil 5.21’de verilmiştir. Alternatif tasarımın yakıt maliyetinin azalmasında en fazla etkili olan parametre, 8 cm kalınlıkta XPS yalıtım uygulaması olmuştur.



Şekil 5.21. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yıllık yakıt maliyetleri

Şekil 5.22 ve Tablo 5.21 aylık verilere göre oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin aylık yakıt maliyetlerini göstermektedir. Parametrelerin yakıt maliyetine etkisi, ısıtma ihtiyacının fazla olduğu Aralık, Ocak ve Şubat aylarında daha fazla olmaktadır.



Şekil 5.22. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konut ve seçilen parametrelerin aylık yakıt maliyetleri

Tablo 5.21. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konut ve seçilen parametrelerin aylık yakıt maliyetleri (\$)

Etki eden parametre	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
Mevcut konut	553	436	311	163	72	21	20	18	20	83	300	469	2466
+195° yönlenme	540	424	302	160	72	21	20	18	20	78	283	450	2389
%40 saydamlık oranı	\$519	396	260	139	63	21	20	18	20	69	253	420	2199
8cm'lik XPS yalıtımı	326	260	188	102	46	21	20	18	20	46	166	271	1484
Alternatif sonuç	298	232	159	90	41	21	20	18	20	40	131	231	1302

Tablo 5.22. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin ısıtma miktarına etkileri

Etki eden parametre	ISITMA İÇİN YAKIT KULLANIM MALİYET YÜZDESİ	YILLIK ISITMA MALİYETİ (\$ PER m ²)	ISITMA İÇİN ENERJİ KULLANIM YÜZDESİ
Mevcut konut	% 51	22.87	% 66
+195° yönlenme	% 49	22.09	% 65
%40 saydamlık oranı	% 44	20.12	% 60
8cm'lik XPS yalıtımı	% 38	12.86	% 53
Alternatif sonuç	% 32	9.92	% 47

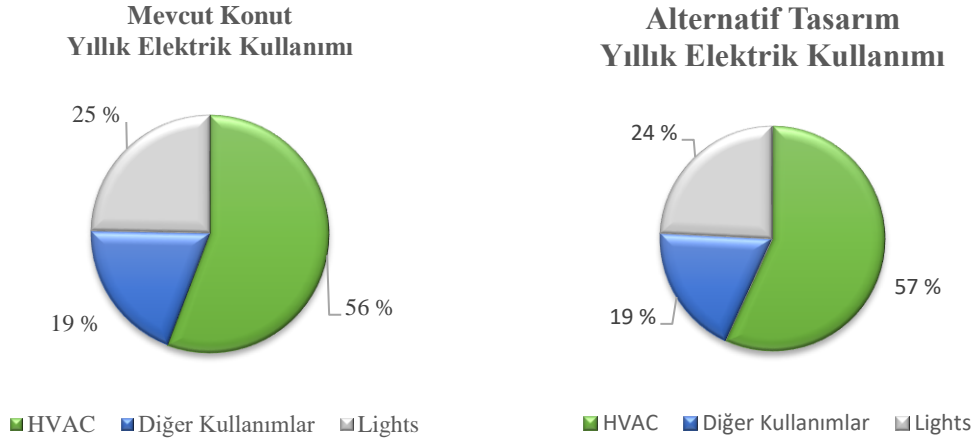
Tablo 5.22. alternatif tasarım, mevcut konut ve seçilen parametrelerin enerji kullanım yüzdesi, yakıt kullanım maliyet yüzdesi ile metrekare başına düşen yıllık ısıtma maliyetini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan alternatifte en fazla etkilenen değerler, bina ısıtmasından kaynaklı kullanımlardır.

Tablo 5.23. Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarları

Etki eden parametre	LCC (Yaşam döngüsü Maliyeti) (\$)	Yaşam döngüsü Yakıt Kullanımı (MJ)	Yakıt Kullanımı için Yıllık CO₂ Emisyonu (Mg)
Mevcut konut	62.810	3751407	6.2 Mg
+195° yönlenme	62.571	3633732	6.0 Mg
%40 saydamlık oranı	64.006	3344643	5.6 Mg
8cm'lik XPS yalıtımı	46.648	2257388	3.8 Mg
Alternatif sonuç	46.574	1980352	3.3 Mg

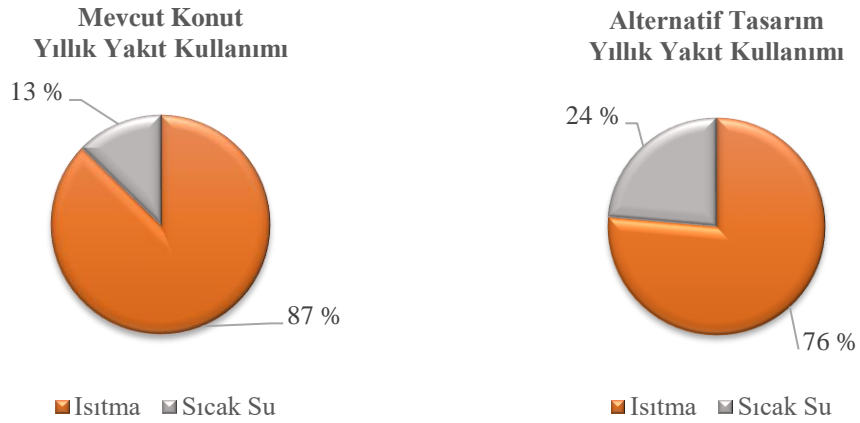
Oluşturulan alternatif tasarım, mevcut konum ve seçilen parametrelerin yaşam döngüsü analizi ve CO₂ emisyon miktarları Tablo 5.23'de verilmiştir. Mevcut konutun yaşam döngüsü maliyeti 62810 \$ olmakla birlikte oluşturulan alternatifte bu maliyet 46648 \$'a düşmektedir. Yakıt kullanımından kaynaklanan yıllık CO₂ emisyon miktarı seçilen parametrelerde ve oluşturulan alternatifte azalış göstermektedir.

Şekil 5.23 mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık elektrik kullanım yüzdesini göstermektedir. Diğer ekipmanlar prizler ve ofis ekipmanlarından oluşmaktadır. Elektrik kullanımı içinde en büyük orana sahip olan HVAC sistemi alternatif tasarımda %1 artış göstermektedir. Bu durum güney cephe saydamlık oranının etkisiyle sıcak havalarda soğutma ihtiyacının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.23. Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık elektrik kullanımları

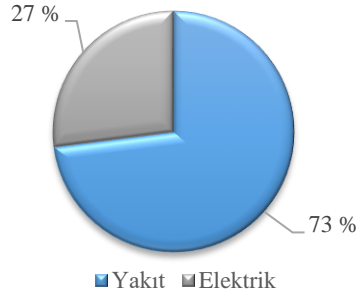
Şekil 5.24 mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık yakıt kullanım yüzdelerini göstermektedir. Mevcut konutta ısıtma için yakıt kullanım oranı %87 iken oluşturulan tasarımda bu oran %76'ya düşmektedir. Sıcak su kullanım miktarının sabit olması nedeniyle grafiklerdeki değişim yakıt kullanımının azalmasından kaynaklanmaktadır.



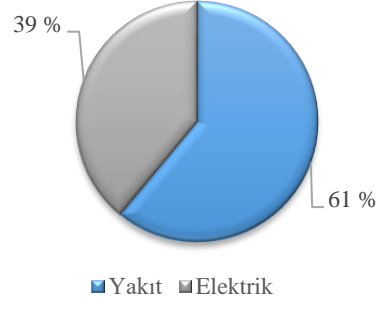
Şekil 5.24. Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık yakıt kullanımları

Şekil 5.25 mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık enerji kullanım yüzdelerini göstermektedir. Oluşturulan alternatifte, yapılan seçimler yakıt kullanım oranını elektrik kullanım oranındaki azalmadan daha çok etki etmiştir. Bunun için enerji kullanımı içinde yakıt kullanım yüzdesi %61'e düşerken, elektrik kullanım yüzdesi %39'a yükselmektedir.

**Mevcut Konut
Yıllık Enerji Kullanımı**



**Alternatif Tasarım
Yıllık Enerji Kullanımı**



Şekil 5.25. Mevcut konut ile oluşturulan alternatif için yıllık enerji kullanımları

6. SONUÇLAR

Enerji ve çevre son yıllarda dünya genelinde en çok dikkat çeken konular arasındadır. Önlem alınmadığı sürece enerji kaynaklarının kontrolsüz olarak tüketilmesi ve çevrenin kirletilmesi, geri dönüşü olmayan doğal felaketlere neden olmaktadır. Enerji kullanım miktarının yaklaşık % 50'sini oluşturan konutların inşaa edilmeden önce çevreye etkisi, ekonomik boyutu ve kullanıcı konforu mutlaka dikkate alınmalıdır.

Teknolojinin ilerlemesiyle BIM yazılımları hızlı bir şekilde gelişmekte, daha doğru sonuçlar vermekte ve bu programları kullanan birey sayısı artmaktadır. BIM uygulamalarının yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar binalar tarafından tüketilen enerji kullanımının azaltılmasında önemli bir etkidir. Bilgisayar programlarının kullanımı enerji etkin bina tasarımında avantaj sağlarken, hatalı sonuçlara ulaşmamak için programların kullanımı konusunda bilgi ve tecrübe çok önemlidir.

Bu çalışma, Autodesk Revit 2017 yazılımı ile GBS'nun entegre edilmesiyle hazırlanmıştır. Çalışmada BIM ile bina enerji performansını etkileyen parametrelerden bina yönelimi, saydamlık oranı ve dış duvar ısı yalıtım malzemesine ait değişkenlerin halihazırda kullanılan bir örneğine etkileri incelenmiş ve elde edilen analiz sonuçları dikkate alınarak alternatif bir tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatif tasarım ve mevcut binanın, enerji ve maliyet tasarrufları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Değiştirilen parametrelerde en fazla etki, dış duvarın ısı yalıtım malzemesindeki değişimle elde edilmiştir. Konutun mevcut durumunda enerji kullanım maliyeti 4611\$ iken 8 cm XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 3425 \$ dır.
- Bina yönelimi, güney cephe saydamlık oranı ve dış duvar ısı yalıtım malzemesi parametrelerinin optimum enerji kullanımına sahip değerleri kullanılarak oluşturulan alternatif tasarımda enerji kullanımı, maliyet, yaşam döngüsü boyunca kullanım miktarı ve yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyon miktarında azalma görülmüştür.
- Oluşturulan alternatif tasarımda yaşam döngüsü maliyeti 16236 \$, CO₂ emisyon miktarı 2.9 Mg azalmaktadır.
- Yıllık enerji maliyeti konutun mevcut durumunda 4611 \$ iken oluşturulan alternatifte bu maliyet 3420 \$'a düşmüştür.

- Mevcut konutun yıllık yakıt maliyeti 2466 \$ iken oluşturulan alternatifte 1302 \$'a düşmüştür.
- Metrekare başına yıllık ısıtma maliyeti ise 22.87 \$'dan 9.92 \$'a kadar düşürülebilmektedir.
- Yaşam döngüsü maliyeti 62810 \$'dan 46574\$'a düşmüştür. Yaşam döngüsü maliyetlerinin azalması ile elde edilecek kârın, başka kullanımlara yönlendirilmesi avantaj sağlayacaktır.
- Yerinde yakıt kullanımını için yıllık CO₂ emisyonu 6.2 Mg'dan 3.3 Mg'a düşmüştür.
- Mevcut durumda ısıtma için yakıt kullanım maliyeti toplam enerji maliyetinin %51'ini oluştururken, alternatif tasarımda toplam enerjinin % 32'i yakıt maliyetidir.
- Isıtma için kullanılan enerji tüketim miktarı ise ilk durumda % 66, oluşturulan alternatif ile % 47'dir.

Enerji performansını iyileştirmeye yönelik çalışma sonuçları yakıt kullanımını elektrik kullanımından daha fazla etkilemiştir. Buna karşın yakıt maliyetlerinin 0.02\$ elektrik maliyetlerinin 0.17 \$ üzerinden hesaplanması nedeniyle, elektrik kullanımının azaltılması enerji tüketim maliyetini daha fazla düşürecektir.

Bu çalışma ile tasarım aşamasında veya uygulanmış bir yapı için bina bilgi modelleme uygulamaları ile enerji analizlerinin yapılmasının mümkün olduğu ve bu analizlerin geçerliliğinin sağlanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca binaların yaşam döngüsü analizleri ve CO₂ emisyonlarına da değinilerek bu konular hakkında öngörü oluşturulması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Işın, A.**, 2016. Konut ve yerleşmelerin ön tasarımında enerji etkinliğine ilişkin bir model önerisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Keskin, T.**, 2010. Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planı geliştirilmesi binalar sektörü mevcut durum değerlendirme raporu
- [3] <http://www.iea.org/pub.htm> , 29 Temmuz 2018.
- [4] **IEA (International Energy Agency)**, 2018. The Future of Cooling, Opportunities for energy-efficient air conditioning, Paris, France.
- [5] **Harputlugil, G.**, 2007. Mimari tasarım süreci içinde bina enerji simülasyon programı uygulamalarının yeri, *Teknoloji*, **10**, 249-265.
- [6] **Abanda, F.H. ve Byers, L.**, 2016. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM(Building Information Modelling), *Energy*, **97**, 517-527.
- [7] **Savaşkan, M.O.**, 2015. Performanslı konut yapıları için BIM tabanlı bir açık kaynak bilgi sistemi modeli, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **He, J. Hoyano, A. Asawa, T.**, 2009. A numerical simulation tool for predicting the impact of outdoor thermal environment on building energy performance, *Applied Energy*, **86**, 1596-1605.
- [9] **Leinartas, H.A. ve Stephens. B.**, 2015. Optimizing whole house deep energy retrofit packages: a case study of existing chicago-area homes, *Buildings*, **5**, 323-353.

- [10] **Spiegelhalter, T.**, 2014. Energy-Efficiency Retrofitting and Transformation of the FIU-College of Architecture + The Arts into a net zero energy building by 2018, *Procedia*, **57**, 1922-1930.
- [11] **Kota, S. Haberl, J.S. Clayton, M.J. Yan, W.**, 2014. Building information modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis, *Energy and Buildings*, **81**, 391-403.
- [12] **Kuo, H. Hsieh, S. Guo, R. Chan, C.**, 2014. A verification study for energy analysis of bipv buildings with BIM, *Energy and Buildings*, **130**, 676-691.
- [13] **Atmaca, M.**, 2010. Binalarda enerji performansı hesaplama yöntemi (Bep-tr) ile otel binalarının enerji performansının değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Kürekçi, N.A. ve Kaplan, S.**, 2015. Örnek bir bina için farklı enerji performans programlarının ısıtma-soğutma yük hesaplarının karşılaştırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **148**, 49-66.
- [15] **Kadirlioğlu, E.**, 2011. Türkiye’de enerji etkin yapı üretimi için tasarım kriterleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [16] **Koyun, T vd.** 2017. Bir Binanın Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, **58**, 1-14.
- [17] **Ünsal, B.** 2012. Bir TOKİ Konut Örneğinde Isıtma ve Soğutma Enerji Yüklerinin Farklı İklim Bölgelerine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Sancaktar, O.** 2015. Binalarda Isıtma Performansının Örnek Bir Uygulama Uzerinden İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- [19] **Öktem, S. ve Ergen, .E.** 2017. BIM'e Geçiş Sürecinin Operasyonel Çerçevesi, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, 06-07 Ekim, 627-635.
- [20] **Akcatir, M.A., Nacar M.A. ve Yeşilata, B.,** 2011. Binalarda enerji verimliliği amaçlı yazılımlar üzerine kısa bir değerlendirme, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu, İzmir, 13-16 Nisan, s. 853-862.
- [21] **Li, D.,** 2015. Building information modeling supporting leed sustainability certification – streamlining the required documentation with bım tools, Master of Science Thesis, HafenCity University, Hamburg, Germany.
- [22] **Douglass, C.D.,** 2010. Instructional modules demonstrating building energy analysis using a building information model, Master of Science Thesis, University of Illinois at Urbana, Champaign.
- [23] **Martin, P.,** 2013. Building Information Modelling (BIM) based energy analysis and response to low carbon construction innovations, MSc. in Energy Management, Institute of Technology Sligo, Ireland.
- [24] **Le, M.K.,** 2014. AUTODESK Green Building Studio for an energy-efficient sustainable building, Bachelor's Thesis, HAWK University of Applied Sciences, Germany.
- [25] **Gençer, M.,** 2015. Yalıtımlı ve yalıtımsız binaların enerji analizinin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [26] **Flores M.S.M.,** 2016. Building performance evaluation using Autodesk Revit for optimising the energy consumption of an educational building on subtropical

highland climate: A case of study in Quito, Ecuador, Master in Renewable Energy and Architecture, The University of Nottingham, UK.

- [27] **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü**, 2018. 2000-2016 Türkiye enerji verimliliği gelişim raporu.
- [28] **Karakoç, T.H. Turan, O. Binyıldız, E. ve Yıldırım, E.**, 2011. Isı Yalıtımı, İstanbul.
- [29] **Baykal, G. ve Aydın, U.** 2017. Revit Architecture 2017.
- [30] <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/ENU/> , 19 Kasım 2017.
- [31] http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/?guid=GUID-43DAB177-3A4F-496C-BECB-2591FD04FC10, 09 Aralık 2018.
- [32] <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products>, 17 Ekim 2018.
- [33] <http://www.doe2.com/>, 9 Aralık 2018
- [34] **Atmaca, M., Kalaycıoğlu, E. ve Yılmaz, A.Z.**, 2011. Binalarda enerji performansı hesaplama yöntemi (BEP-TR) ile otel binalarının enerji performansının değerlendirilmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu, İzmir, 13-16 Nisan, s. 811-825.
- [35] **Kim, S. And Woo, J.**, 2011. Analysis of the differences in energy simulation results between Building Information Modeling (BIM)-based simulation method and the detailed simulation method, Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, 3550-3561
- [36] **Aziz, Z., Arayıcı Y. and Shivachev D.**, 2012. Building energy performance analysis of an academic building using IFC BIM-based methodology, Proceedings

of the Twelfth International Conference for Enhanced Building Operations, Manchester, UK, October 23-26.

- [37] **Kürekçi, N.A. ve Kaplan, S.**, 2015. Örnek Bir Bina İçin Farklı Enerji Performans Programlarının Isıtma-Soğutma Yük Hesaplarının Karşılaştırılması, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi , Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu. İzmir. 8-11 Nisan,s. 1323-1340.
- [38] **Erikçi, S.N. ve Zorer Gedik, G.**, 2015. Bina enerji performansı hesaplama yöntemi (BEP-TR) kapsamında, farklı iklim bölgelerinde yapı biçimi dönüşümünün ve zon sayısı hesabının değerlendirilmesi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Kongre Teknolojik Araştırma Bildirisi, 8-11 Nisan, İzmir.
- [39] **Tokuç, A.**, 2005. İzmir’de enerji etkin konut yapıları için tasarım kriterleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [40] **Ertem, S.**, 2005. Konut dışı yapılarda iklimlendirme santrallerinin tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] **Karagözlü, A.B.**, 2006. Konutlarda enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Sert, S.**, 2010. Bina yaşam döngüsünde enerji analizi ve yeşil binalar, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [43] **Liotsios, K.D.**, 2012. 3D-Modeling and energy simulation of a single family house in southern greece, Master of Science Thesis, KTH School of Architecture and the Built Environment, STOCKHOLM, Sweden.
- [44] **Otuh, N.F.**, 2016. BIM based energy analysis/ sustainability for educational buildings –A case study, Bachelor’s Thesis, HAWK University of Applied Sciences, Germany.

- [45] **Mousiadis, T. and Mengana, S.**, 2016. Parametric BIM: Energy performance analysis using dynamo for revit, Master Thesis, Royal Institute of Tecnology, Stockholm, Sverige.
- [46] **Arslankaya, Ş.M.**, 2016. Yerleşme birimlerinde kentsel dönüşümün enerji korunumu açısından değerlendirilmesi: Zeytinburnu sahilpark projesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] **Yarkın, S.A.**, 2017. Mevcut binalarda yenileme çalışmalarının enerji verimliliği yaklaşımları çerçevesinde etkinliği ve uygulanabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [48] **Aboud, N.**, 2017. Libya, Trablus'taki konut yapılarında enerji verimliliği sağlamak için pasif tasarım stratejilerinin analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çankaya Üniversitesi, Ankara.
- [49] **Aydın, E.E.**, 2017. A framework for improving energy efficiency in municipality buildings, *Yüksek Lisans Tezi*, Yaşar Üniversitesi, İzmir.
- [50] **Özhan, M.Ö.**, 2017. Yapı endüstrisinde sürdürülebilirlik ve enerji etkin konut tasarımı, , *Yüksek Lisans Tezi*, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] **Depe, D.**, 2017. Yenilikçi ısı depolama sistemi faz değiştiren malzemelerin bina enerji verimliliği üzerindeki etkisinin analizine yönelik yaklaşım : Diyarbakır ve Erzurum örnekleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul.
- [52] **Jahed, N.**, 2018. Performanslı temel cepheler: mevcut ofis binalarında enerji verimliliğini ve konforunu geliştirme stratejileri, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ, Ankara.

- [53] **Erkmen, F.İ. ve Zorer Gedik, G.**, 2007. Örnek bir konutun farklı yöntemlerle hesaplanan soğutma yüklerinin karşılaştırılması: Antalya ve Diyarbakır örneği, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **11**, s. 143-163.
- [54] **ÖZEL, M. ve PIHTILI, K.** 2007. Duvar yönünün yalıtım kalınlığına etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **22**, 95-101.
- [55] **Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N.**, 2008. Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings, J. of Thermal Science and Technology, **28**, 25-34
- [56] **Oktay, Z., Coskun, C. and Dincer, I.**, 2011. A new approach for predicting cooling degree-hours and energy requirements in buildings, **36**, 4855-4863.
- [57] **Yıldız, Y., Korkmaz, K., Göksal Özbalta, T. and Durmuş Arsan, Z.** 2012. An approach for developing sensitive design parameter guidelines to reduce the energy requirements of low-rise apartment buildings, Applied Energy, **93**, 337-347.
- [58] **Wibergb, A.H., Georgesc, L., Dokkaa, T.H., Timea, M. H, B., Liena, A.G., Mellegårda, S. and Maltha, M.**, 2014. A net zero emission concept analysis of a single-family house, Energy Buildings, **74**, 101-110.
- [59] **Kürekçi, N.A. ve Kaplan, S.**, 2014. Isıtma – Soğutma Yüklerinin HAP ve REVIT programlarıyla hesaplanması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **141**, 5-15.
- [60] **Maçka Kalfa, S. ve Yaşar, Y.**, 2015. Soğutma yüklerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ve karşılaştırılması: İlköğretim okulu örneği, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, **20**, 29-41.
- [61] **Reeves, T., Olbina, S. and Issa, R.R.A.**, 2015. Guidelines for using building information modeling for energy analysis of buildings, Buildings, **5**, 1361-1388.

- [62] **KÜLEKÇİ, Ö.C.**, Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 83-91.
- [63] **Salvalai, G., Elisabetta Malighetti, L., Luchini, L. and Girola, S.**, 2017. Analysis of different energy conservation strategies on existing schoolbuildings in a Pre-Alpine Region, *Energy & Buildings*, **145**, 92-106.
- [64] **Brady, L. and Abdellatif, M.**, 2017. Assessment of energy consumption in existing buildings, *Energy & Buildings*, **149**, 142-150.
- [65] **Mytafides, C.K., Dimoudi, A. and Zoras, S.**, 2017. Transformation of a university building into a zero energy building inMediterranean climate, *Energy & Buildings*, **155**, 98-114.
- [66] **Nizam, R.S., Zhang C. and Tian, L.**, 2018. A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings, *Energy & Buildings*, **170**, 1-14.
- [67] **Lee, J., Kim, S., Kim, J., Song, D. and Jeong, H.**, 2018. Thermal performance evaluation of low-income buildings based on indoor temperature performance, *Applied Energy*, **221**, 425-236.
- [68] **Whitbread, S.**, 2016. Mastering Autodesk Revit MEP 2016,Chapter 8, Canada.
- [69] **ASHRAE.**, Fundamentals, Chapter 29-Fenestration, 2010. Atlanta.
- [70] **IEA (International Energy Agency)**, 2018. The Future of Cooling, Opportunities for energy-efficient air conditioning, Paris, France.
- [71] **Baydemir, T.** 2018. Sürdürülebilir mimari ve yeşil binalar, *Bilim ve Teknik Dergisi*, **608**, 14-24.
- [72] <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>, 26 Eylül 2017.

- [73] <http://www.ashrae.org.tr/hakkimizda> , 10 Ocak2018.
- [74] http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU,
5 Eylül 2018.
- [75] **Röck, M., Hollberg, A., Habert, G. and Passer, A.,** 2018. LCA and BIM: Visualization of enviromental potentials in building construction at early design stages, *Building and Enrironment*, **140**, 153-161.
- [76] **Bueno, C. and Fabricio, M.,** Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in, *Automation in Construction*, **90**, 188-200.
- [77] **Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. and Garcia- Martinez, A.,** 2016. Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments, *Building and Enrironment*, **103**, 215-227.

ÖZGEÇMİŞ

Sare Gökçen ARMUTLU, 1993 yılında Erzurum'da doğdu. 2006 yılında Fırat İlköğretim Okulu'ndan, 2010 yılında Malatya Atatürk Kız Lisesinden mezun oldu. 2015 yılında Avrasya Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans eğitimi tamamladı. 2017 – 2018 yıllarında Yaren İnşaat'ta saha mimarı olarak görev aldı.