

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNA BİLGİ MODELLEMESİ YOLUYLA DIŞ DUVAR ENERJİ
PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ: ERZİNCAN'DA BİR
KONUT ÖRNEĞİ

Meryem Şeyma AYDIN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arzu GÜNCÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2020
Her Hakkı Saklıdır.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Bina Bilgi Modellemesi Yoluyla Dış Duvar Enerji Performans Değerlendirmesi: Erzincan’da Bir Konut Örneği” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 30/11/2020



**Meryem Şeyma
AYDIN**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNA BİLGİ MODELLEMESİ YOLUYLA DIŞ DUVAR ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ: ERZİNCAN'DA BİR KONUT ÖRNEĞİ

Meryem Şeyma AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arzu GÜNCÜ

Sanayi devrimi ile başlayan ve 20 yy' da gelişerek büyümeye devam eden teknolojik ilerlemeler nedeniyle enerjiye duyulan ihtiyaç günden güne artmaya devam etmektedir. Enerji ihtiyacını karşılamak adına tüketilen birincil-tükenebilir enerji kaynaklarının rezervi de hızla tükenmektedir. Türkiye'de enerji kaybının büyük bir çoğunluğu, binaların yapımı, işletim süreci, iç konfor şartlarının optimum seviyeye getirilmesi için tüketilen ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi sistemlerde kullanılmaktadır. Enerji probleminin çözümü için bina sektörü önemli bir rol üstlenmektedir. Bina Bilgi Modellemesi-BIM araçları, enerji etkinliği bakımından birçok tasarım alternatifinin değerlendirilmesini, maliyet ve zamanın geleneksel metotlara göre etkin kullanılmasını sağlamaktadır. BIM programları, tasarımın sonunda değil tasarımın en erken safhasından itibaren projenin her aşamasına dâhil edilmelidir. Bu tez çalışmasında, bina kabuğunda yer alan ve yapılan literatür araştırmaları sonucunda yapı kabuğunda en fazla enerji tüketimine sebebiyet verdiği anlaşılan tasarım parametresi olan duvar parametresi alternatifleri oluşturulmuştur. Soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzincan ilindeki bir konut projesinde duvar senaryoları Autodesk Revit 2021 kullanılarak oluşturulmuş, oluşturulurken ana strüktür malzemesi, katmanlaşma ve yalıtım malzemesi değişkenleri kullanılmıştır. Enerji performans analizleri ise Revit' in eklentisi olan Green Building Studio' da yapılmıştır. Oluşturulan alternatif duvar senaryoları yıllık ısıtma yükü, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma yükü maliyeti ve yıllık karbon emisyonu göstergelerine göre değerlendirilmiştir. Duvar parametresindeki değişkenler dikkate alınarak en iyi ve en kötü enerji performansına sahip duvar senaryoları belirlenmiş ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

2020, 102 Sayfa

Anahtar Kelimeler: BIM, Duvar, Enerji etkinliği, Enerji performans analizi, Revit

ABSTRACT

Master Thesis

EXTERIOR WALL ENERGY PERFORMANCE EVALUATION THROUGH BUILDING INFORMATION MODELING: A HOUSING EXAMPLE IN ERZINCAN

Meryem Şeyma AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Arzu GÜNCÜ

The need for energy continues to increase day by day due to the technological advances that started with the industrial revolution and continued to grow and develop in the 20th century. The reserves of primary-exhaustible energy resources consumed to meet energy needs are also rapidly depleted. In Turkey, a vast majority of energy loss; It is used in systems such as the construction of buildings, operating processes, cooling, heating, ventilation and lighting, which are consumed to optimize interior comfort conditions. Energy recovery in the building sector plays an important role in solving the energy problem. Building Information Modeling-BIM tools enable the evaluation of many design alternatives in terms of energy efficiency, and the effective use of cost and time according to traditional methods. BIM programs should be included at every stage of the project from the earliest stage of the design, not at the end of the design. In this thesis study, wall parameter alternatives, which are the design parameters found in the building envelope and understood to cause the highest energy consumption in the building envelope as a result of the literature research, were created. Wall scenarios were created using Autodesk Revit 2021 in a residential project in Erzincan province, located in a cold climate zone, and the variables of main structure material, stratification and insulation material were used while creating. Energy performance analyzes were made in Green Building Studio, which is an extension of Revit. The alternative wall scenarios created have been evaluated according to annual heating load, annual energy consumption, annual heating load cost and annual carbon emission indicators. The wall scenarios with the best and the worst energy performance were determined by considering the variables in the wall parameter, and the analysis results were evaluated.

2020, 102 Pages

Keywords: BIM, Energy efficiency, Energy performance analysis, Revit, Wall

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her aşamada karşılaştığım tüm zorluklarda yorulmadan bana destek veren, ilgilenen ve değerli bilgilerini benimle paylaşan çok kıymetli hocam, danışmanım Doktor Öğretim Üyesi Sayın Arzu GÜNCÜ'ye, değerli fikir ve bilgilerini benimle paylaşan sevgili hocam ve jüri üyem Doktor Öğretim Üyesi Sayın Aslıhan KURNUÇ SEYHAN'a, il dışından katılarak tez savunmama katkı veren değerli hocam Sayın Doçent Doktor Yeşim Zeynep İLERİSOY'a ve lisans eğitim hayatımdan itibaren desteğini hep yanımda hissettiğim saygıdeğer hocam Doktor Öğretim Üyesi Sayın Aliye Ceren ONUR'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca en kıymetlilerim olarak her zaman maddi ve manevi tüm imkânları ile beni destekleyen annem Reyhan AYDIN'a, babam Adnan AYDIN'a, kardeşlerim Ebrar ve Emir Aydın'a, teyzem Beyhan KOÇ'a ve tüm sevgili dostlarıma en içten muhabbetim ve sevgilerimle...

Meryem Şeyma AYDIN

Kasım, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. KURAMSAL TEMELLER.....	13
3.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri.....	13
3.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametreler	13
3.1.2. Doğal çevreye ilişkin parametreler	13
3.1.3. Binaya ilişkin parametreler	18
3.2. Binalarda Enerji Performans Değerlendirmesi	27
3.3. Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve Enerji Performansı Analizi.....	29
3.3.1. Revit Architecture	31
3.3.2. Green Building Studio (GBS)	34
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
4.1. Uygulama Alanı ve Örnek Bina.....	36
4.1.1. Erzincan ilinin iklim özellikleri.....	36
4.1.2. Örnek binanın genel özellikleri.....	37
4.2. Binanın Modellenmesi ve Enerji Analizi.....	41
4.2.1. Revit ile binanın 3 boyutlu modellenmesi.....	42
4.2.2. Enerji ayarlarının yapılması	43
4.2.2.1. İklim ve dış ortama ilişkin veri girişleri.....	44
4.2.2.2. Kullanıcıya ilişkin veri girişi.....	46
4.2.2.3. Binaya ilişkin veri girişleri.....	46
4.2.2.4. Bina alt sistemine (HVAC) ilişkin veri girişi.....	51

4.2.2.5. Duvar senaryolarının geliştirilmesi ve kodlanması.....	52
4.2.2.6. Green Building Studio (GBS) ile enerji analizinin yapılması.....	54
4.2.2.7. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	56
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	57
5.1. Duvar Senaryolarının Enerji Performans ve Karbon Emisyon Analizleri.....	57
5.1.1. Yalıtım katmansız duvar senaryolarının analizi.....	57
5.1.2. Yalıtım katmanlı duvar senaryolarının enerji analizi.....	61
5.1.3. En yüksek enerji performanslı duvar senaryosunun belirlenmesi.....	80
5.2. Enerji Göstergelerine Göre Duvar Senaryolarının Karşılaştırılması	85
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Kentsel alanda rüzgar hareketleri (Aydın, 2019).....	16
Şekil 3.2. İklim'e göre bina konumlandırılması (Kutlu, 2012).....	19
Şekil 3.3. Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları (Aydın, 2019).....	22
Şekil 3.4. BIM programı özellikleri ve avantajları (Autodesk, 2020).....	30
Şekil 3.5. Revit ara yüzü (Autodesk, 2020).....	32
Şekil 3.6. Green Building Studio analizleri için kullanılan veriler (GBS,2020).....	35
Şekil 4.1. Erzincan fiziki haritası (Google Earth, 2020).....	36
Şekil 4.2. Erzincan iline ait sıcaklık ortalamaları (MGM, 2020).....	37
Şekil 4.3. Örnek bina vaziyet planı.....	39
Şekil 4.4. Zemin kat planı (Meryem Şeyma Aydın, 2020).....	39
Şekil 4.5. Normal kat planı (Meryem Şeyma Aydın, 2020).....	39
Şekil 4.6. Görünüş çizimleri (Meryem Şeyma Aydın, 2020).....	40
Şekil 4.7. Kesit çizimleri (Meryem Şeyma Aydın, 2020).....	41
Şekil 4.8. Örnek binanın Revit ortamında hazırlanan 3D Modeli.....	43
Şekil 4.9. Revit üst çubuk menüsü.....	43
Şekil 4.10. Revit “Analyze” sekmesi.....	43
Şekil 4.11. Hava istasyonu ve bilgileri.....	44
Şekil 4.12. Revit'te tanımlanan dış hava bilgileri.....	45
Şekil 4.13. Revit'te kullanıcıya ilişkin veri girişi.....	46
Şekil 4.14. Arsanın Erzincan şehir merkezine göre konumu ve arsa alanı (Google Earth, 2020).....	47
Şekil 4.15. Detaylı yapı elemanı seçim paneli.....	49
Şekil 4.16. Malzemelerin termal özelliklerinin giriş paneli.....	49
Şekil 4.17. HVAC tip paneli.....	51
Şekil 4.18. Revit'te oluşturulmuş bina enerji modeli.....	52
Şekil 4.19. Duvar senaryoları oluşumunun ve adlandırılmasının şematik gösterimi.....	53
Şekil 4.20. Green Building Studio'da alternatif tasarımlar listesi.....	54
Şekil 4.21. Green Building Studio'da alternatif tasarım oluşturma sekmesi.....	55
Şekil 4.22. Analiz sonuçlarının grafiksel ve sayısal olarak GBS'da görünümü.....	55
Şekil 5.1. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma yükü değerleri.....	59

Şekil 5.2. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji tüketim değerleri	59
Şekil 5.3. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji maliyet değerleri	60
Şekil 5.4. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık CO ₂ emisyon değerleri	61
Şekil 5.5. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri.....	64
Şekil 5.6. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan tiplerin yıllık enerji tüketim değerleri.....	65
Şekil 5.7. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık enerji maliyet değerleri	66
Şekil 5.8. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyon değerleri	67
Şekil 5.9. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri.....	70
Şekil 5.10. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan tiplerin yıllık enerji tüketim değerleri	71
Şekil 5.11. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri	72
Şekil 5.12. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyon değerleri.....	73
Şekil 5.13. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri.....	76
Şekil 5.14. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık enerji tüketim değerleri	77
Şekil 5.15. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri.....	78
Şekil 5.16. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyon değerleri	79
Şekil 5.17. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü değerleri	81
Şekil 5.18. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi değerleri.....	82
Şekil 5.19. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri	83
Şekil 5.20. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık karbon emisyon miktarları	84
Şekil 5.21. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü değerleri.....	86
Şekil 5.22. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi değerleri.....	88
Şekil 5.23. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri	90
Şekil 5.24. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık karbon emisyon değerleri.....	91

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. İklim özelliklerine göre uygun bina aralıkları (Sojoudıhassanlouei, 2019)...	20
Tablo 4.1. Örnek konutu oluşturan mekan isimleri ve metrekare bilgileri	38
Tablo 4.2. Örnek binaya ilişkin genel bilgiler.....	38
Tablo 4.3. Bölgelere ve kabuk elemanlarına göre tavsiye edilen U değerleri (TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2013; Aktaran Tanrıverdi, 2015)	48
Tablo 4.4. Yapı elemanlarına ilişkin belirlenen katmanlar ve termofiziksel özellikleri.	50
Tablo 5.1. Yalıtım katmansız duvar senaryoları	58
Tablo 5.2. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi	59
Tablo 5.3. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi	60
Tablo 5.4. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi	60
Tablo 5.5. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık CO ₂ emisyonu azalım yüzdesi	61
Tablo 5.6. Ana malzemesi yatay delikli tuğla olan duvar senaryoları	63
Tablo 5.7. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi	64
Tablo 5.8. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi	65
Tablo 5.9. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi	66
Tablo 5.10. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyonu azalım yüzdesi	67
Tablo 5.11. Ana strüktür malzemesi gaz beton olan duvar senaryoları	69
Tablo 5.12. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi.....	70
Tablo 5.13. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi.....	71
Tablo 5.14. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi.....	72
Tablo 5.15. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyonu azalım yüzdesi	73
Tablo 5.16. Yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanılarak oluşturulan duvar senaryoları	74
Tablo 5.16. Devam yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanılarak oluşturulan duvar senaryoları.....	75
Tablo 5.17. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi.....	76

Tablo 5.18. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi.....	77
Tablo 5.19. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi	78
Tablo 5.20. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO ₂ emisyonu azalım yüzdesi	79
Tablo 5.21. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi.....	81
Tablo 5.22. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi	82
Tablo 5.23. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi	83
Tablo 5.24. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık karbon emisyonu azalım yüzdesi.....	84
Tablo 5.25. GB-CY-D kodlu duvar senaryosu.....	85
Tablo 5.26. Gruplandırılan duvar senaryoları yıllık ısıtma yükü azalım yüzdeleri	87
Tablo 5.27. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık ısıtma yükü sayısal analiz sonuçları ve azalım yüzdeleri.....	87
Tablo 5.28. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık m ² başına düşen enerji tüketimi azalım yüzdeleri	88
Tablo 5.29. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık m ² başına enerji tüketimi azalım yüzdeleri	89
Tablo 5.30. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdeleri.....	90
Tablo 5.31. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdeleri.....	91
Tablo 5.32. Gruplandırılan duvar senaryoları yıllık karbon emisyonu azalım yüzdeleri.....	92
Tablo 5.33. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık karbon emisyonu azalım yüzdeleri.....	92

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

C	Vücuttan taşınım ile ısı kaybı miktarı
Cd	Vücuttan iletim ile ısı kaybı miktarı
<i>Clo</i>	Isı yalıtım direnci
<i>E</i>	Vücuttan buharlaşma yoluyla ısı kaybı
<i>H</i>	Vücudun ürettiği enerji miktarı
<i>L/s</i>	Kişi başı düşen temiz hava miktarı
<i>R</i>	Isıl direnç
<i>U</i>	Isı İletim Katsayısı

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASHREA	Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendislik Derneği
BIM	Bina Bilgi Modellemesi
CO2	Karbondioksit
COP 5.96	Su soğutmalı santrifüj chiller
HVAC	Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
IFC	Industrial Foundation Classes
IZODER	Isı, su ses ve yangın yalıtımcıları derneği
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
MET	Metabolizma düzeyi
LCA	Yaşam Döngüsü Değerlendirme Süreci
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Derneği
PV	Fotovoltaik Panel
TS 825	Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
XPS	Ekstrude Polistren Sert Köpük

1. GİRİŞ

Enerji, geçmişten günümüze insanlığın önem verdiği olgulardan biridir. Özellikle Endüstri devrimi ile başlayan ve her geçen gün artan nüfus, sanayileşme, kentleşme ve gelişen teknolojiler gibi birçok neden, enerjiye duyulan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur (Bayraç, 2009). Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını da arttırmıştır. En çok tüketilen enerji kaynağı ise fosil kaynaklı petrol ve kömürdür. Bu kaynakların rezervleri ise her geçen gün azalmaktadır. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların atmosferde oluşturduğu emisyon gazları ise küresel ısınma ile birlikte yerel ve küresel ölçekte çevresel sorunları yaratmıştır (Karaca ve Varol, 2012). Sürekli yükselişte olan enerji talebi ve tüketimi dikkate alındığında, atmosferde bulunan karbondioksit miktarının 2050 yılında iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2020).

Bu çerçevede çevre sorunlarını tetikleyen en önemli sektörlerden biri yoğun enerji tüketimleri ile binalardır. Dünyadaki toplam enerji tüketiminin %40-60'ı binaların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması için harcanmaktadır. Diğer yandan binalar kullandıkları enerji ile küresel ölçekte karbondioksit (CO₂) salınımlarının yaklaşık %40'ından sorumludur (Schlueter ve Thesseling, 2009). Bu nedenle binalarda enerji tüketimi ve maliyetinin optimum seviyeye getirilmesi, bina tasarım ve işletim sürecinin önemli bir parametresi haline gelmektedir. Özellikle binaların enerji etkin tasarımı, kaynakların kullanımı ile çevreye olan etkisi açısından büyük önem taşımaktadır. Tasarım sürecinde alınan kararlar, enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin temel belirleyicilerini oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar da binaların enerji performansını artırmak ve toplam enerji talebini azaltmak için binanın yeri, yönlenmesi, yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri gibi tasarım parametrelerinin önemine dikkati çekmekte; enerji stratejilerinin, tasarım aşamalarında uygulandığında daha etkili olduğu vurgulanmaktadır (Manioğlu, 2012; Miño vd., 2013; Flores, 2016). Enerji etkin yaklaşımla tasarlanan bir binanın ilk yatırım maliyetinde ortaya çıkan %2'lik bir artışa rağmen toplam yaşam döngüsünde %20'lik bir tasarruf sağlanabilmektedir (Azhar, 2011).

Diğer yandan ise mimarlar bugünün mimari tasarım süreci içinde öncelikli olarak yer alması gereken enerji ve çevresel faktörleri, geleneksel yöntemler yardımı ile yeterli düzeyde tanımlayamamaktadır. Çoğunlukla bina tasarımında bu faktörler, yönetmeliklerin belirlediği gerekliliklerin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü ile sınırlı kalmaktadır. Böylesine bir analiz yöntemi ise tasarım için bir kısıtlayıcı olmakla birlikte yetersiz kalmaktadır. Bu aşamada; tasarımcılar binaların enerji verimliliğini artırmak ve olası problemleri tahmin etmek amacıyla analiz yöntemlerine sahip bazı tasarım araçlarına ihtiyaç duymaktadır (Tunalı, 2012).

Bu tasarım araçlarından biri “*Bina Bilgi Modellemesi*” (BIM) olarak adlandırılan programlar topluluğudur. BIM programları, mimarlara tasarım ya da iyileştirme aşamasında farklı tasarım alternatiflerini değerlendirme olanağı sağlayan önemli araçlardan biridir. BIM yoluyla yapının biçim, boyut, yönlenmenin yanı sıra yapı sistemlerine (duvar, çatı, pencere, HVAC vb.) ilişkin malzemeler ve bileşenler seçilebilmekte, inşa öncesinde seçilen malzemeler üzerinden yapının yıllık ve/veya yaşam döngüsü içinde enerji etkinliği ve çevresel etkileri belirlenebilmektedir. BIM yazılımları, kendi içinde veya eklenti yazılımlar aracılığıyla yapının enerji performansını ölçen simülasyon ortamları sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak tasarım sürecinin başından itibaren, simülasyon desteği ile yapılan bir bina tasarımının sonuç performansının çok daha yüksek olması kaçınılmazdır. Ancak günümüzde BIM programlarının önemi bilinmesine rağmen, bu programların kullanımı çok sınırlıdır ve çoğunlukla akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, bina performans simülasyon programlarının tasarım sürecine nasıl entegre edilebileceğine yönelik çalışmalar da gereklilik haline gelmiştir.

Bu çerçevede çalışmanın temel amacı, Bina Bilgi Modellemesi (BIM) yoluyla tasarım aşamasında enerji performansının artırılmasına yönelik kullanılan bina parametrelerinin irdelenmesi ve enerji tüketimi, maliyeti ve çevre etkileri bağlamında bu tasarım parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesidir. BIM yazılımlarının tasarım aşamasında mimari projeye entegre edilmesinin enerji etkin tasarımdaki etkisini ortaya koymak; bu sayede tasarımcıların geleneksel tasarım yaklaşımlarından farklı olarak BIM araçları desteği ile iklimsel verilere göre daha enerji etkin yapılar tasarlayabileceği yönünde farkındalık oluşturmak, çalışmanın diğer alt amaçlarıdır.

Enerji etkin bina tasarımı; iklim, dış ortam verileri ve yönlenme, bina formu, yapı kabuğu bileşenleri gibi birçok parametreye bağlıdır. Parametrelerin birbiriyle olan ilişkisinin doğru kurgulanması ve her tasarım parametresinin optimum seviyeye getirilmesi, binanın enerji etkinliğini artırırken yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerji ile çevresel etkilerin ve tüketime bağlı maliyetin en aza indirgenmesine yardımcı olur (Çağlı, 2018).

Bu nedenle, aşağıda belirtildiği gibi, çalışmanın kapsamını ve sınırlılıklarını belirlemek, sonuçların değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır:

- Ülkemizde enerjinin büyük bir çoğunluğu binalarda kullanılmakta ve bu enerji tüketiminin %85'i ise ısıtma amacıyla harcanmaktadır (Yaman vd., 2015). Bu nedenle çalışma, soğuk iklim bölgelerindeki binalarla sınırlandırılmıştır. TS 825'e göre 4. Bölge iklim kuşağında bulunan ve soğuk iklim özelliklerini yansıtan Erzincan ilinin iklim şartları dikkate alınmıştır. Erzincan'da binaların birincil enerji talebi ısıtma enerjisidir. Bu nedenle çalışma kapsamında en az enerji tüketimi sağlamaya yönelik alternatif senaryolar, ısıtma enerjisi açısından değerlendirilmiş; soğutma, aydınlatma ve mekanik havalandırma amaçlı enerji tüketimleri dikkate alınmamıştır.
- Türkiye'de sektörler bazında enerji kullanımını incelendiğinde enerji tasarruf potansiyelinin bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olduğu; üretilen elektrik enerjisinin de yaklaşık %25'inin konutlarda tüketildiği görülmektedir (Yumurtacı ve Dönmez, 2013). Çalışma alanını oluşturan 4. iklim bölgesindeki (soğuk iklimli bölge) konutların tükettiği enerji de toplamın %31'ini oluşturmaktadır (IZODER, 2018). Konutlarda tüketilen enerjinin ise %68'i ısıtmada, %14'ü sıcak su ihtiyacını karşılamada, %14'ü aydınlatma ve elektrikli alet kullanımında ve %4'lük bir kısmı da yemek pişirme de harcadığı bilinmektedir (IZODER, 2018). Dolayısıyla Türkiye'de enerji kaynaklarının büyük bir bölümü konutlar tarafından ve ısıtma amaçlı tüketilmektedir. Diğer taraftan 2017 yılı verilerine göre 9,1 milyon adet binanın %87'sini konutlar oluşturmaktadır. Hızla artan nüfus artışı ve kentleşmeye paralel olarak her geçen gün yeni konutların inşası da artarak devam etmektedir. Bina stoğuna her yıl

100,000'den fazla yeni bina eklenmektedir¹ (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017). Dolayısıyla Türkiye'de konutların enerji etkin tasarımı konusu önem taşımakta; enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametrelerine ilişkin optimum değerlerin tasarımcılara sunulması gerekmektedir. Buradan hareketle çalışmada örneklem olarak konut binası seçilmiştir.

- Çalışma ayrıca bina tasarım parametrelerinden yapı kabuğu odaklı duvar parametresi ile sınırlandırılmıştır. Bu parametrenin bina ısıtma enerjisi tüketimi, ısıtma enerjisi maliyeti ve çevresel etkisi üzerinde durulmuştur. Yönlendirme, bina formu, mekân organizasyonu gibi diğer tasarım parametreleri ise kapsam dışında tutulmuştur. Yapı kabuğu elemanlarından olan dış duvarların termofiziksel özellikleri, iç mekan konforunun ve enerji korunumunun oluşturulması açısından önemlidir. Enerji etkin bina tasarım kriterlerinin en önemlilerinden biri bina kabuğunda duvar parametresinin tasarımıyla ilgilidir (Aste vd., 2009).
- Örnek binanın enerji modeli ve analizleri ise “Autodesk Revit 2021” ve Autodesk eklentisi olan “Green Building Studio” yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Örnek binanın 3 boyutlu modeli ve enerji ayarları Revit ile yapılırken, “Green Building Studio” eklentisinden yararlanılarak geliştirilen duvar alternatiflerinin enerji performansı analizleri değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ancak analizler yapılırken Aydın (2019)'ında ifade ettiği gibi, BIM tabanlı Revit ve Green Building Studio yazılımları oluşturuldukları ülkenin yapı sistemlerine uygun verilere sahiptir ve HVAC sistem gibi bazı seçenekleri sınırlıdır. Revit yazılımında Amerika'daki mekanik ve HVAC sistemlerinin tanımlı olması sebebiyle çalışmada Erzincan ili için HVAC sistemi bu sınırlı seçenekler arasından seçilmiştir. Seçilen bu sistemin ülkemizde karşılığı bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra yazılım, analiz sonuç göstergelerinden biri olan yıllık m² başına düşen enerji tüketim değerlerinde, sadece kış ayarlarındaki ısıtma yüklerini değil aynı zamanda yaz aylarındaki HVAC sistemle ilişkili soğutma yüklerini de dikkate almaktadır. Oysaki Erzincan ili için analizi yapılan binanın, yaz aylarında herhangi bir mekanik sistemle değil doğal havalandırma sistemleriyle serinletilmesi beklenmektedir. Bu durum söz konusu analiz değerlerinin, Erzincan'da gerçekte tüketilecek değerleri yansıtmayacağı kanaati oluşturmuştur. Revit'in bu sınırlılığı Türkiye'deki kullanımına ilişkin bir

¹ 2000 yılı TÜİK yıllık yapı kullanım izni istatistikleri ve bina sayımı istatistiklerinden yararlanılmıştır.

dezavantaj oluştururken olanak sağladığı karşılaştırmalı analizler ile bina ön tasarım aşamasında alınacak kararları yönlendiren etkili bir araç olduğu ifade edilebilir.

Bu kapsamda çalışmada özellikle ısıtma yükleri yüksek, soğuk iklim bölgesi için tasarlanmış örnek bir konut binası, BIM tasarım araçlarıyla modellenerek enerji performans analizleri yapılmış; farklı tasarım parametreleriyle oluşturulan duvar senaryolarının karşılaştırılmasıyla optimum tasarımlar belirlenmiştir. Farklı malzemelerden oluşturulan duvar katmanlarının termofiziksel özelliklerinin bina ısıtma yükleri ve çevre üzerine etkisi araştırılmıştır.

Çalışmanın çatkısı ise aşağıdaki gibidir:

- Giriş bölümü, çalışmanın konusu, amacı, önemi, kapsamı ve sınırlılıklarını içermektedir.
- İkinci bölüm, çalışmaya ilişkin ulusal ve uluslararası alanda yapılmış bilimsel araştırmaların incelendiği bölümdür.
- Üçüncü bölüm, enerji performansını etkileyen tasarım parametreleri, bina enerji performans göstergeleri ve Bina Bilgi Modellemesi (BIM) programlarından biri olan REVIT ve Green Building Studio yazılımları içermektedir. Bu bölümde özellikle binanın bulunduğu yerin iklim koşullarından, yapı kabuğu parametrelerine kadar bina tasarım parametreleri, geniş bir kapsamda ele alınmış, örneklem üzerinde yapılacak analiz ve değerlendirmelere kavramsal bir temel oluşturulmaya çalışılmıştır.
- Dördüncü bölümde araştırmada kullanılan yöntem detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.
- Beşinci bölüm, örneklem üzerinden yapılan analizlerin irdelendiği bölümdür.
- Sonuç ve öneriler bölümünde ise elde edilen bulgular değerlendirilmekte ve ileride yapılacak çalışmalar için tavsiyelerde bulunmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatür araştırmasında ulusal ve uluslararası alanda yayınlanmış dergi, makale ve tezlerden yararlanılmıştır. Çalışmalar kronolojik sıra ile aşağıda bulunmaktadır.

Harputlugil (2007), “*Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Enerji Simülasyon Programı Uygulamalarının Yeri*” isimli makalesinde bina enerji simülasyon programlarının mimari tasarımın iyileştirilmesi ve bina performansının artırılmasına yönelik kullanılabilir potansiyelini incelemiştir. Çalışmada bina enerji simülasyon programlarının tasarım sürecine entegrasyonu ile elde edilen enerji performansının geleneksel tasarımla elde edilmiş binaya göre daha yüksek olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu programların yaygın olarak kullanılması için tasarımcılara yol gösterecek kılavuzların oluşturulması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

“*İklimsel Tasarım Parametreleri Açısından Geleneksel ve Yeni Konutların Değerlendirilmesi Diyarbakır Örneği*” isimli yüksek lisans tezinde de Dizdar (2009), iklimsel tasarım parametreleri açısından Diyarbakır ilinde geleneksel ve yeni konut binalarını ısı, görsel ve çevresel performanslarını, kullanıcı memnuniyeti anketi verilerine dayalı olarak karşılaştırmıştır. Alan çalışmasında elde edilen analiz sonuçlarına göre, geleneksel Diyarbakır evlerinin yöresel iklimsel koşullara uygun, kullanıcı konforunun doğal enerji kaynaklarının verimli kullanımı ile sağlanabilecek şekilde tasarlandığı; buradan hareketle de geleneksel evlerin; yönlendirme, çevreyle kurdukları ilişkiler, mekân boyutları ve malzeme seçimi açısından yeni yapıların tasarım ve yapımına temel teşkil edebilecek niteliklere sahip olduğu görülmüştür.

Öztürk (2010), “*Bina Performans Analizi Programları İle Enerji Etkin Binalarda Tasarım Süreci – Bir Örnek İncelemesi*” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, örnek bir anaokulu projesi üzerinden bina enerji performans simülasyon programlarının tasarım sürecine sağladığı avantajlar incelenmiştir. Bu simülasyon programlarının tasarımın ilk aşamalarından itibaren kullanılmasının, iklim ve arsa verilerinin doğru değerlendirilmesi, yapı formu, boşlukların boyutlandırılması, kabuk tasarımı gibi bileşenlerin bir araya geldiğinde ortaya çıkan performansın değerlendirmesi gibi birçok konuda yönlendirici olduğu görülmüştür.

Manioğlu (2012) ise “*Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme çalışmalarının rneklerle Değerlendirilmesi*” isimli çalışmasında, Türkiye’de binaların ısıtma ve soğutma enerjisi gereksinimini azaltacak tasarım ve yenileme çalışmaların giderek önem kazanmasına dikkati çekerek, enerji ekin yapı tasarım parametrelerinin önemini, farklı örnekler üzerinden irdelenmiştir. ISINEM adlı bir bilgisayar programı ile örnek yapıların, biçim, yönlenme ve bina kabuğu parametreleri dikkate alınarak oluşturulan senaryolarla, enerji performans analizleri yapılmıştır. Bu parametrelerin ısıtma ve soğutma yükleri ile maliyete etkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre enerji tüketimi ve harcamalarında tasarruf sağlanabilmesi için inşa öncesi binalarda çok farklı tasarım alternatiflerinin geliştirilerek, sonuçların enerji etkinliği ve ekonomiklik bakımından analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Mirnoori (2013), “*Integration between Building Information Modeling (BIM) and Energy Performance Modeling to Analyze the Effects of Building Shape and Orientation on Energy Consumption*” isimli yüksek lisans tezinde BIM programı ile yapı projelerinde enerji performans modellemelerinin faydalı etkilerini tartışmıştır. İki önemli tasarım parametresi olan yönelim ve biçim faktörünün termal yük etkileri, BIM ve enerji analiz araçlarının entegrasyonu ile açıklanmıştır. Çalışmanın sonucunda, verimliliği arttırmak için eşzamanlı bir yaklaşım gerektiği, biçim ve yönlenmenin binalarda termal yüke %5 ile %7 oranında etki edebileceği grlmştir.

Mangan ve Koçlar Oral (2014), “*Türkiye’nin Farklı İklım Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi*” isimli çalışmasında TOKİ tarafından inşa edilmiş bir konut projesinin, Türkiye’nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgeleri için enerji simülasyonlarını yaparak, her bir iklim bölgesinde mevcut enerji tüketimi ve CO₂ salınımının azaltılması yönünde senaryolar geliştirmiştir. Çalışmada her bir senaryo için enerji simülasyonları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak en uygun seçeneğin belirlenmesi amaçlanmıştır. Enerji simülasyonları için Design Builder ve PV*SOL Expert programlarından yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, Antalya ilinde PV sistemlerden en yüksek elektrik üretiminin sağlandığı ve yıllık soğutma enerjisi tüketimini yaklaşık %50 oranında karşıladığı gözlenmiştir.

Akkoyunlu (2015), “*Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı nerisi*” isimli tez çalışmasında Türkiye’deki kentsel dönüşüm projelerinde kullanılmak üzere,

tüm paydaşların dönüşüm sürecini takip edebileceği, ayrıca bu dönüşümün çevresel etkilerinin ölçülebileceği bir BIM uygulama modeli geliştirmeyi hedeflemiştir. Bunun için örnek bir kentsel dönüşüm çalışması üzerinden analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda BIM ile hazırlanan projenin geleneksel metotlarla hazırlanan projelere göre yaklaşık 5 kat daha verimli olduğu görülmüştür. Kentsel dönüşüm sürecinde önemli başlıklardan olan atıkların değerlendirilebilmesi için oluşturulan çözümlerin de BIM ile gerçekleştirilmesinin geleneksel yöntemle oranla %70 daha verimli olduğu sonucuna da ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada uluslararası standartlarda enerji etkin yapıların tasarlanıp uygulanabilmesi ve 25 milyar dolarlık bir enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için geleneksel proje oluşturma ve yönetim aşamaları yerine BIM programlarına geçilmesi gerektiği konusu önerilmiştir.

Shoubi vd. (2015)'de "*Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches*" isimli çalışmada BIM programlarını, tasarım aşamasında enerji performans analizi için etkili bir araç olarak tanımlamıştır. Bu kapsamda Revit ve Ecotect Analysis yazılımları kullanılarak binalarda enerji tüketimini azaltacak çözümler ortaya konulmuştur.

Flores (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*" isimli yüksek lisans tezinde, enerji tüketimini tahmin etmek ve yapının inşaatına başlamadan önce optimum tasarım alternatiflerini belirlemek için, Autodesk Revit programını kullanarak subtropikal bir iklim bölgesinde seçilen örnek bir bina üzerinden Bina Performans Analizi geliştirmeye çalışmıştır. Farklı yapı parametreleri üzerinden yapılan tasarım senaryolarının analizleri sonucunda, optimum bir duvar tasarımı ile enerji yüklerinin %6,64 oranında azaldığı, benzer şekilde pencere ve çatı tipinin ise bu yüke yaklaşık %3,09 oranında etki ettiği görülmüştür. En iyi performans senaryosuna göre elde edilen enerji tasarrufu ise %47,36 oranında olmuştur.

Abanda ve Byers (2016), "*An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling)*" isimli çalışmada küçük ölçekli yapılarda yönlenmenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi ile bu yöndeki tasarım sürecinde BIM programlarının nasıl kullanılabileceğini araştırmıştır. Çalışmada Revit programı ile eklenti yazılımlarından

Green Building Studio kullanılarak farklı bina yönelimlerine dayalı oluşturulan tasarımlar analiz edilmiştir. Doğru yönlendirilmiş bir binanın yaşam döngüsü boyunca önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabileceği ortaya çıkmıştır.

Shi vd. (2016) tarafından yapılan “*A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects*” isimli çalışmada enerji verimliliği yeşil ve sürdürülebilir binaların ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda 116 literatür taranmış ve enerji etkin tasarıma yönelik temel ilkeler belirlenmiştir. Mevcut çalışmalar üzerinden yapılan analizler sonucunda mimari tasarımda enerji simülasyon araçlarının kullanımının önemine dikkat çekilmiştir.

Güçü (2016), “*Evaluation Of Passive Building Design Parameters For İzmir City*” isimli çalışmasında, konut tasarımındaki değişkenlerin İzmir ilindeki konutların enerji tüketimine olan etkisini incelemiştir. Çalışmada BIM yazılımları aracılığıyla bir bina modeli oluşturulmuş ve yapıdaki tasarım parametreleri değiştirilerek binanın enerji tüketim raporları elde edilmiştir. Analizlerin sonuçları değerlendirilerek İzmir ilindeki konutlar için maksimum enerji verimliliğini sağlayan pasif tasarım çözümleri belirlenmiştir. Bu çerçevede tasarlanan bina modeli üzerinden en uygun yönelimin güney-kuzey doğrultusunda olduğu ortaya çıkmıştır. Bu yönelim sayesinde enerji tüketiminde %7’lik bir azalma görülmüştür. Ayrıca, çalışmada; 3, 6 ve 12 katlı bina tasarımları için optimum sokak genişliklerini bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda uygun sokak genişlikleri sağlandığında apartmanlarda %6’lık bir enerji tasarrufu olduğu gözlemlenmiştir.

Yılmaz ve Koçlar Oral (2019) ise “*Bir ortaokul binasının maliyet ve enerji etkin yenilenmesi için bir yaklaşım*” isimli çalışmasında, ilkokul ve ortaokul binalarının enerji etkin dönüşümünü amaçlayan bir yöntem önerisi sunmuştur. Çalışmada, belirlenen bir pilot alanda yer alan ilkokul ve ortaokul binalarının analizleri doğrultusunda, belirlenmiş bir örnek ortaokul binasının enerji ve fiziksel veri envanteri toplanmış, bu envantere göre enerji modellemesi yapılmıştır. ASHRAE Guideline 14’e göre enerji modeli kalibre edilmiştir. Bu model üzerinden enerji yenileme senaryoları ve kontrol stratejileri geliştirilerek geliştirilen senaryolar yaşam döngüsü maliyetine göre optimize edilmiştir. Böylelikle önerilen yaklaşımda, mevcut binaların enerji ve maliyet etkin yenilenmeleri için bütüncül bir model sunulmuştur. Önerilen model ile yapılan analiz sonuçlarına göre

enerji etkin bir tasarımla yaşam döngüsü maliyetinden %14,51 ile %23,93, birincil enerji tüketiminden ise %43,47 ile %58,80 arası tasarruf edilebileceği görülmüştür. Özellikle bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri bağlamında enerji etkin tasarımının yapıların enerji ve yaşam döngüsü maliyeti performanslarına önemli katkılar sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Fitriaty ve Shen (2018), “*Predicting energy generation from residential building attached Photovoltaic Cells in a tropical area using 3D modeling analysis*” isimli çalışmada, tropikal bölgelerdeki bina cephelerine yerleştirilecek fotovoltaik (PV) panellerle enerji üretimini incelemiştir. Bu çerçevede geliştirilen model için BIM araçlarından Revit kullanılmıştır.

Benzer şekilde Altınöz (2019), “*Binaların çevresel etkilerinin enerji verimliliği ve karbon ayak izi açısından incelenmesi: Kırklareli Örneği*” isimli yüksek lisans tezinde, Kırklareli ilinden seçilen 6 farklı özellikteki konutun yıllık enerji tüketimi, karbon ayak izi ve çevresel etkilerini; Graphisoft Archicad Programlarından Eco Designer Star modülü ile analiz etmiştir. Analizler sonucunda binaların yalıtımsız ve yalıtımlı durumları arasında enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin oldukça değiştiği; yalıtımlı olması durumunda binaların ısı geçirgenliklerinde %38-73, yıllık net ısıtma enerjilerinde %36-70, enerji tüketimlerinde ise %28-64 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür.

“*Enerji Harcamalarının Azaltılmasını Hedefleyen Yerleşme Dokusu Tasarım Parametrelerinin BIM Aracılığı ile Optimizasyonu*” isimli yüksek lisans tezinde Aydın (2019), Bim programlarından biri olan Revit ile İstanbul ilinde yerleşme dokusunda enerji tüketimlerinin azaltılmasına etki eden tasarım parametrelerinin uygun değerlerini belirleyerek, yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilmiştir.

Benzer şekilde Singh ve Sadhu (2019) tarafından yapılan “*Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling*” isimli çalışmada da BIM araçlarından yararlanılarak enerji etkin konut tasarımına ilişkin yeni stratejiler geliştirilmiştir.

“*Changing significance of embodied energy: A comparative study of material specifications and building energy sources*” isimli çalışmada Ajayi vd. (2019) binaların

yaşam döngüsü süresince ortaya çıkardıkları karbon emisyonlarını araştırmışlardır. Revit programı ile modellenen örnek bir bina üzerinden oluşturulan sekiz farklı taşıyıcı sistem tipolojisi, yaşam döngüsü bağlamında karşılaştırılmıştır. Buna göre yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında yaşam döngüsünde %60'a kadar tasarruf sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Rezaei vd. (2019), "*Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages*" isimli bu makale çalışmasında, erken ve ayrıntılı bina tasarım aşamalarında yaşam döngüsü değerlendirme süreci (LCA) ve bina bilgi modellemesi (BIM) yapılmış bir konut yapısının ısıtma ve soğutma sistemi, diğer ekipmanlar, aydınlatma faaliyetleri yükleri yaşam döngüsü boyunca en yüksek enerji talebi oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Gao vd. (2019), "*Building information modelling based building energy modelling: A review*" adlı çalışmada, bina tasarım süreci, bina bilgi modellemesi ve bina enerji modellemesinin tasarım sürecinde uygulamaları hakkında bir inceleme sunmaktadır. Bina Enerji Modellemesinin, enerji verimli tasarım için en uygun BIM yazılımları olduğu kanısına varmıştır. Sonuç olarak enerji performansını ve diğer etkenleri ölçme ve değerlendirme açısından geleneksel yazılımlara göre BIM yazılımlarının çoğu XML uzantılı programlar sayesinde büyük avantajlar sağladığı ortaya çıkmaktadır.

Salameh vd. (2019), "*Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system*" adlı çalışmada, enerji tüketiminin detayları ve maliyeti, sıcak, kuru ve nemli bir iklim bölgesinde olan Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki ticari bir ofis binası için soğutma yükü incelenmiş ve analiz edilmiştir. Şeffaf yüzeylerde PV panel kullanımına göre iki farklı senaryo üretilmiştir. Analizler sonucunda PV panel kullanımının yıllık soğutma yükü enerji maliyetinde %27,69 oranında (2084 ABD Doları) tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Al-Saggaf vd. (2020), "*Quantitative Approach for Evaluating the Building Design Features Impact on Cooling Energy Consumption in Hot Climates*" isimli makalede sıcak iklim bölgelerinde mimari tasarım öncelikli faktörlerinin bina yönelimi, bina kabuğu, iç mekan zonlaması, kat ve yükseklikler, pencereler ve camlar, zemin açıklıkları ve sirkülasyon alanları olduğunu belirlemişlerdir. Mimari Tabanlı Enerji Etki Puanlama

Sistemi (AEISS) geliştirilmiş ve kırk adet tasarım senaryosu oluşturulmuş ve en iyi sonucu veren projenin %27 maliyet azalması sağlayarak enerji etkinliğinde mimari tasarımın önemini göstermiştir.

Çetin (2020), “*Soğuk İklim Bölgesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma*” isimli yüksek lisans tezinde, soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum’da, bir eğitim yapısında bina formu, yönlenme, bina kabuğu saydamlık oranı ve cam türü gibi tasarım parametrelerinin bina enerji performansına etkisini incelemiştir. Tüm tasarım parametreleri optimum olarak seçildiğinde yıllık ısıtma yükünde aynı derslik bloğunda 180,06 kWh/yıl tasarruf yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Salimzadeh vd. (2020), “*Parametric modeling and surface specific sensitivity analysis of PV module layout on building skin using BIM*” adlı makalede Montreal, Kanada’ da bir bina zarfında Dynamo programı kullanılarak PV modülü prototipi geliştirilmiş ve PV modüllerinin duruş açılarında ürettikleri enerji miktarları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, tüm PV modüllerinin cepheye paralel olarak tasarlandığında, enerji üretiminin en düşük seviyede olduğunu ve daha büyük modül boyutlarını alınan radyasyon miktarını azalttığını göstermektedir.

Utkucu ve Sözer (2020), “*An evaluation process for natural ventilation using a scenario-based multi-criteria and multi-interaction analysis*” isimli makalede oluşturulan senaryolara dayalı, çoklu kriter ve çoklu etkileşim analizleri kullanarak doğal havalandırmayı insan termal konfor koşullarına göre incelemektedir. Metodoloji, değerlendirme sürecini optimize etmek için geliştirilmiş ve yapılandırılmış olan tasarım geliştirme aşamasında bir BIM platformu içinde ayrıntılı bir üç boyutlu (3D) bina ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellemesi entegre edilmiştir. Binanın pencere ve panjurlarla ilgili fiili özellikleri doğal havalandırma üzerinde önemli etkilere sahip olduğu, bunun da termal konforu ve soğutma yükünü neredeyse %3 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde enerji etkin bina tasarım parametreleri, enerji performans değerlendirmeleri ile Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve eklentileri açıklanmıştır.

3.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri

Enerji etkin bina tasarımı, mimari tasarım sürecinde iklim, topoğrafya, bina yönü, formu, bina kabuğu gibi değişken fiziksel çevre verilerinden yararlanarak, enerjiyi en etkin ve verimli kullanmaya yönelik tasarım yöntemi olarak tanımlanabilir (Özmehmet, 2007; Utkutuğ, 1999).

Bu çerçevede bina tasarım parametreleri;

- Kullanıcı,
- Doğal çevre,
- Binaya ilişkin parametreler

olmak üzere üç ana grupta ele alınabilir.

3.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametreler

Enerji etkinliği açısından, binanın kullanım şekli son derece önemlidir. Kullanıcı yoğunluğu ve nitelikleri (yaş, cinsiyet, giysi türü, vb.) ile binanın gün içerisinde en çok kullanıcı ile kullanıldığı zaman dilimleri, mekan yüklerinin belirlenmesinde doğrudan etkilidir. İnsan vücudu ile çevre arasında sürekli bir ısıl etkileşim ve ısı alış-verişi söz konusudur. Tüm bunlara bağlı olarak kullanıcı yoğunluğu mekanın iç ısı dengesine etkisi büyüktür (Tunalı, 2012).

3.1.2. Doğal çevreye ilişkin parametreler

Binaların doğal çevre ile kurduğu ilişki, doğal çevre verilerini tasarım sürecinde belirleyici bir parametre haline getirmekte ve yaşamsal bir önem atfetmektedir (Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu, Mayıs 2016).

- İklimsel veriler
- Topoğrafya,
- Bitki örtüsü ve peyzaj,

doğal çevre verileri olarak bina tasarım sürecini şekillendirmektedir.

İklimsel veriler

Mimari tasarımda yapıların ve bunların bir araya gelmesiyle oluşan yerleşmelerin tasarımında en etkin doğal verilerin başında iklim gelmektedir. İklim, birbiri ile ilgili atmosferde oluşan olaylar dizisidir. Güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr, ısıtım ve hava nemliliği en önemli iklim elemanlarıdır (Engin, 2012). Bir bölgenin iklimini tanımlayabilmek, tüm iklim elemanlarının tanımlanmasını gerektirirken, bu verilere ulaşabilmek için o bölgede uzun yıllar atmosfer olaylarının aritmetik ortalamalarının alınması ve gözlenmesi gerekmektedir (Yüceer, 2015).

Yapı ve yerleşmelerin biçimlenişini etkileyen iklim verileri, sıcaklık, nem, yağış, rüzgâr ve güneştir. Binalarda hem iç ortam konforu hem de enerji tasarrufu binanın bulunduğu bölgenin yerel iklim verilerini dikkate alan tasarımlarla sağlanabilir (Yüceer, 2015).

Türkiye, ılıman kuşak ile subtropikal iklim kuşakları arasında bulunmaktadır. Kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle ılıman iklim özellikleri görülmektedir. Bu bölgelerde dağların uzanışı ve yüksekliği ise deniz etkilerinin iç kesimlere ulaşmasına engel olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı da iç kesimlerde karasal iklim özellikleri hakimdir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020). Türkiye’deki iklimsel veriler incelenerek oluşturulan iklim bölgeleri ve örnek şehirleri aşağıda görüldüğü gibidir (Dizdar, 2009):

- Soğuk iklim bölgesi: Erzurum, Erzincan
- Ilımlı-nemli iklim bölgesi: İstanbul, Bursa
- Ilımlı-kuru iklim bölgesi: Ankara, Eskişehir
- Sıcak-nemli iklim bölgesi: Antalya, Muğla
- Sıcak-kuru iklim bölgesi: Diyarbakır, Mardin

Doğu Anadolu bölgesinin tamamı ve batı Karadeniz’in iç bölgelerinde etkili olan soğuk iklim bölgesinin en temel özellikleri; sıcaklıkların yılın yaklaşık yarısında 0 C°’nin altında olması, yazların serin ve kısa, kışların ise sert ve uzun geçmesidir (Dizdar, 2009).

Bu nedenle soğuk iklim bölgelerinde gerçekleştirilecek tasarımlarda kış mevsimi uzun ve çok rüzgarlı geçtiği için ısı korumun ön plana çıkmaktadır. Güneşten maksimum kazanç sağlanırken rüzgardan korunmak da gereklidir (Utkutuğ, 2007). Kare planlı kompakt formlar kullanmak, ana yaşam alanlarını güneşe yönlendirmek, bina kabuğunda ısı tutuculuğu yüksek malzemeler kullanmak, pencere alanlarını azaltmak vb. tasarım yaklaşımlarıyla ısı kaybını minimize etmek önem kazanmaktadır (Yılmaz, 2006).

Diğer taraftan enerji etkin tasarım için binanın bulunduğu yerin iklim değişkenlerine ilişkin özel analizlerin yapılması da gerekmektedir. Bunlar;

- Güneş Işınımı,
- Rüzgâr ve hava hareketleri
- Hava sıcaklığı, nem ve yağıştır (Waal, 1993; aktaran Soysal 2008)

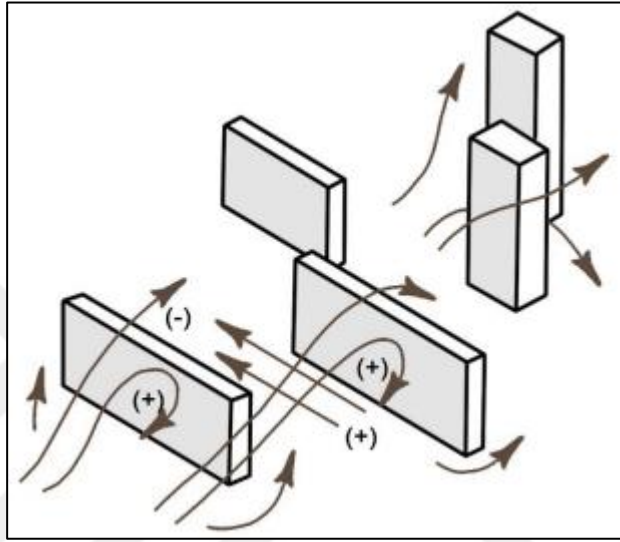
Güneş ışınımı

Güneş, dünya için önemli sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Güneşten dünyaya gelen ışınların ısı etkileri, hava hareketleri ve hava sıcaklığı gibi iklim elemanlarının ana kaynağını oluşturur. Pasif sistemlerin oluşturulmasında en etkin faktör güneş ışınımının ısı etkileridir. Güneş ışınımından ısıtma ihtiyacı olduğu dönemde optimum olarak yararlanırken, ısıtma istenmeyen dönemlerde ise sakınmak enerji etkin tasarımda temel noktalar biridir. Güneş ışınımı yeryüzüne ulaşana kadar niteliği ve niceliği değişime uğramaktadır. Doğrudan ışınım ise doğrudan doğruya değişmeden yeryüzüne ulaşabilen güneş ışınlarıdır (Yılmaz, 2006). Güneş ışınımı, yeryüzündeki her noktada aynı değeri vermez. Noktanın fiziki konumuna göre değişim göstermektedir. Ölçülen noktanın günün belli saatlerinde farklı oranlarda engel oluşturma durumu ve topoğrafik durumuna göre etki eder. Yüzey eğimi, eğim açısı, eğimin baktığı yön gibi noktanın bulunduğu topoğrafyaya ait özellikler de güneş ışınımının miktarındaki değişimlere neden olmaktadır (Aydın, 2019).

Rüzgar ve hava hareketleri

Rüzgar, çoğunlukla yatay düzlemdeki atmosferik basınç farkları nedeniyle oluşan hava hareketleridir. Hava akımı yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hareket etmektedir. Rüzgarın şiddeti, doğrudan doğruya ve yönü gün içerisinde sürekli

değişmektedir (MGM, 2020). Rüzgar kullanıcı konforu açısından önemli bir etkidir ve enerji etkin tasarım yapılırken diğer iklim tasarım parametreleriyle birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Nemi dağıtma özelliğinden dolayı yaz mevsiminde rüzgardan doğru faydalanmak kullanıcı konfor koşullarını pasif yollarla oluşturmaya imkan verir. Isıtma ihtiyacının fazla olduğu dönemlerde ise ısı kayıplarını arttırması sebebiyle rüzgardan kaçınmak doğru olmaktadır.



Şekil 3.1. Kentsel alanda rüzgar hareketleri (Aydın, 2019)

Kentlerde yüksek yapıların olması sebebiyle rüzgar, girdaplı, türbülanslı hareket etmektedir. Kentlerde yapılara çarparak hareket eden rüzgar, kullanıcılar için konforsuz alanlar oluşturabilmektedir (Şekil 3.1). Bu sebeplerden dolayı yerleşim alanları ve yapılar tasarlanırken yapıların rüzgarı yönlendirme, kesme durumlarına dikkat edilerek, konforsuz alanların oluşumuna sebebiyet verilmemelidir.

Hava sıcaklığı ve nem

Dış hava sıcaklığı; atmosfer koşullarına ve güneşin geliş açısına bağlı olarak değişkenlik gösteren, kuru termometrenin tespit ettiği değer olarak tanımlanmaktadır. Güneş ışınlarını aynı açıyla alan noktaların yıllık sıcaklık ortalamaları farklılık gösterir. Aynı enlemde bulunan noktaların yıllık sıcaklık ortalamalarının farklı olmasının sebebi, güneş ışınımının şiddeti, bulunulan yerin yüksekliği, zeminin niteliği, deniz akıntıları ve hava hareketlerinin şiddeti ve yönü gibi değişkenlerden kaynaklanmaktadır. Mimarlık

çalışmaları için 10 yılın ölçülmüş dış hava sıcaklığının ortalama değerleri kabul edilir (Özdemir, 2005; Balcıoğlu, 2013).

Dış hava nemliliği; yeryüzündeki çeşitli kaynaklardan buharlaşarak havaya karışan su miktarının oran veya buhar basıncı olarak tanımlanmasıdır. Havadaki su buharı miktarı, rüzgar, sıcaklık ve hava basıncı gibi etkenler ile değişim göstermektedir. Dış hava nemliliği, buharlaşma ve yağış miktarına etki etmektedir. Binanın yapılacağı iklim koşulları dikkate alınarak yerleşme ölçeğinde, yerleşmelerin ve binaların nemden korunacak veya faydalanacak şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Mimarlık çalışmaları için 10 yılın ölçülmüş bağıl nem değerlerinin ortalaması kabul edilir (Balcıoğlu, 2013).

Topoğrafya

Bina tasarımında arazinin topoğrafik verilerini oluşturan engebe, eğim, bakı ve yükseklik gibi jeomorfolojik özellikler ile fay hattı varlığı, tektonik durum, yer altındaki maden ve su kaynakları, zemin taşıma kapasitesi gibi jeolojik özellikler, tasarımı etkileyen en temel verilerdir. Binanın rüzgârdan faydalanma veya ısı kazanımı değerleri, binanın arazi üzerindeki konumuna ve topoğrafik yapıya büyük ölçüde bağlıdır. Binalar güney yamaca konumlandırıldıklarında güneş ışını alma durumlarına göre daha az ısı enerjisi kaybına uğrarlar fakat vadi tabanına konumlandırılmış binalar daha çok ısı enerjisi kaybederler, bu kaybın sebebi soğuk hava birikmesidir (Ovalı, 2009). Vadi tabanı ile en yüksek nokta arasında bulunan orta yamaçlar ise “termal kuşak” özelliklerine sahiptir. Termal kuşakta, ısıtma ekonomisi bakımından cephelerin günde en az dört saat güneş alma potansiyeli vardır (Özler, 2003).

Topoğrafya şartları bir yandan iklim elemanlarının etkilerini değiştirirken bir yandan da iklim koşullarının binalar üzerinde farklı etkiler göstermesine sebep olmaktadır. Örneğin; yükseklikle beraber rüzgârın ve güneşin etkisi artar ve hava sıcaklığı düşer. Topoğrafik yapının iklim üzerindeki etkileri, binanın ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının düzeyini ve buna bağlı olarak tüketilecek enerji miktarını belirler. Binaların topoğrafya ile uyumlu tasarlanması, enerjinin korunumuna ve tüketilen enerji miktarının azaltılmasına olanak sağlar (Esen, 2019).

Bitki örtüsü ve peyzaj

Bitki dokusu doğrudan veya dolaylı olarak bina tasarımını ve çevresel şartları aşağıda belirtildiği gibi etkiler:

- Güneş kontrolü sağlayarak, sıcak dönemlerde yapı kabuğunun aşırı ısınması sebebiyle ortaya çıkan soğutma yüklerinin azalmasını sağlar.
- Binanın kuzey cephesinde yaprak dökmeyen ve her mevsim yeşil kalan bitkiler kullanılarak rüzgâr kırıcı olarak değerlendirilebilirler. Sıcaklıkların düşük olduğu soğuk mevsimlerde yapraklarını döken bitkiler sayesinde binanın güneş ışığından faydalanabilmesi sağlar,
- Binanın çatı örtüsünde bitkisel elemanlara yer verilmesi durumunda, ısı yalıtımı sağlanır (Johnston ve Newton, 2004).

3.1.3. Binaya ilişkin parametreler

Enerji performansını etkileyen bina parametrelerinin başlıcaları şunlardır:

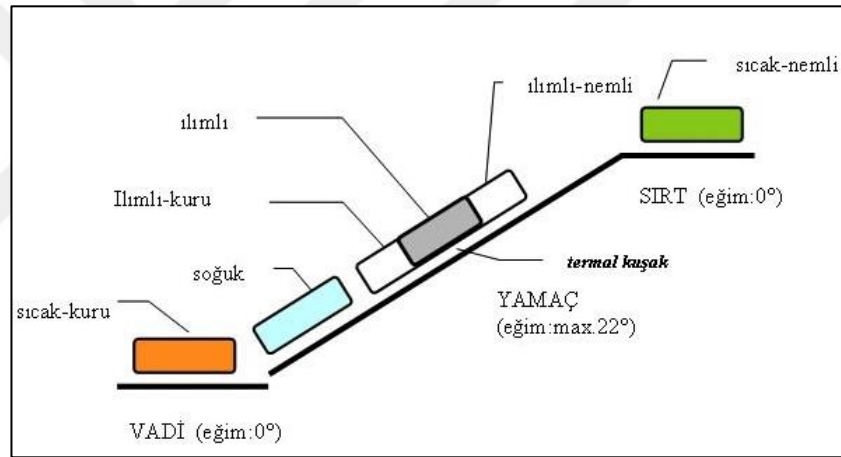
- Binanın yeri,
- Bina aralıkları ve yükseklikleri,
- Binanın yönelimi,
- Binanın formu,
- Mekan organizasyonu ve zonlama,
- Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri,
- Güneş kontrolü ve havalandırma sistemleri
- Gölgeleme elemanları olarak sıralanabilir.

Binanın yeri

Binanın bulunduğu yer; iklim kontrolünde etkili bir tasarım parametresidir. Bu parametre aynı zamanda doğal çevre parametreleri olarak da kabul edilen arazi parçasının baktığı yönü, eğimi, konumu ve bitki örtüsü gibi bir grup alt parametreleri içerir. Bu parametrelere ilişkin uygun değerler, binanın bulunduğu yerin iklimsel koşullarına göre belirlenirler ve binalar için en uygun olan alanları tanımlarlar. Binalar için iklimsel etkilerin optimizasyonu hedeflenerek yapılan doğru bir yer seçimi; ısıtma ve

iklimlendirme ihtiyacının ve buna bağı olarak enerji tüketimlerinin azalmasına katkı sağlar (Türktaş, 2014).

Bu nedenle binalar için uygun yerleşme bölgeleri/alanları seçilirken; mikro ölçekteki iklim özelliklerine ve farklı eğimlere sahip yüzeylere farklı yönlendirilmelerin yapılmasına ve bu şekilde kazanılan günlük ortalama güneş ışınımı miktarının belirlenmesine özen gösterilmelidir (Koca, 2006). Diğer taraftan yerleşme tercihlerinde, arazinin topografyası ile iklim girdilerinin birlikte değerlendirilmesi de enerji etkinlik bağlamında önem taşımaktadır (Şekil 3.2). Örneğin, soğuk iklimli bölgelerde yamaç üzerine yapılan yerleşimle güneş ışınımının pasif ısıtma etkisinden yararlanılırken sıcak iklimli bölgelerde güneş ışınımından daha az yararlanmak için tersine düzlüklerde yerleşim tercih edilmelidir.



Şekil 3.2. İklimle ilgili bina konumlandırılması (Kutlu, 2012)

Bina aralıkları ve yükseklikleri

Binalar, aralarındaki mesafeler, yükseklikler ve birbirlerine göre konumlanışına göre rüzgâr ve güneş ışınımı engelleri olarak işlev görebilirler. Özellikle bina aralıkları ile güneş ışınımının ısıtıcı etkisinden yararlanma veya korunma sağlanabilir. Binalar arasındaki aralıklar, Tablo 3.1’de gösterildiği gibi yapının bulunduğu yerin iklimsel özelliklerine göre değişirken, binalar birbirlerinin yararlı rüzgâr etkilerini ve güneş ışınımı kazançlarını engellemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır.

Tablo 3.1. İklim özelliklerine göre uygun bina aralıkları (Sojoudihassanlouei, 2019)

İklim	Aralıklar
Ilıman-nemli	Dağınık
Sıcak-kuru	Sıkışık, iç içe
Sıcak-nemli	Dağınık
Soğuk	Sıkışık

Yerleşme ölçeğinde güneş ışınımının kontrol edilebilmesi için çevre binaların oluşturacağı gölgeli alanların hesaplanması gerekmektedir. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde olduğu gibi ısıtma ihtiyacının dikkate alınması durumunda, bina aralıklarının çevre binaların oluşturduğu en uzun gölgeli alan derinliğine eşit ya da bu derinlikten fazla olması gerekmektedir. Bu yolla cephelerin güneş ışınımından maksimum fayda elde etmesi sağlanırken çevre binaların gölgesi altında kalan cephelerin doğrudan güneş ışınımı alması engellenebilir (Sojoudihassanlouei, 2019).

Bina yönelimi

Binanın yönlendirilmesi, cephelerin güneş ışınımından yararlanma oranını belirler. Bu nedenle binanın toplam güneş enerjisinden kazanımını etkileyen en önemli tasarım parametresi, binanın yönüdür. Binalarda yönlendirme rüzgâr alma durumunu, doğal havalandırma olanağını, binanın ısı kaybını/kazancını etkiler. Bu sebeplerden dolayı binalar bulunduğu iklim bölgesine göre güneş ve rüzgârdan gerektiğinde faydalanabilecek, gerektiğinde ise korunacak şekilde yönlendirilmeli ve özellikle iç mekân organizasyonunda yönlendirme parametresi esas alınmalıdır (Yılmaz, 2006).

Kuzey yarı kürede yaz güneşinin geliş açısının dik, kış güneşinin ise daha yatık olması güneşe bakan yüzeylerin kışın daha fazla güneş ışınımı almasını sağlamaktadır. Bu nedenle enerji etkin bina tasarımında güney yönünde bulunan cepheler önem kazanmaktadır. Diğer taraftan binaların farklı yönlere bakan yüzeylerine düşen güneş ışınım şiddeti de farklıdır. Bu nedenle mekânların güneş ışınımından kazandığı ısı miktarı, o mekânın dış duvarının baktığı yönün bir fonksiyonudur (Kılıç Demircan ve Gültekin, 2017).

Güneş ışınımının yanı sıra bina yönlendirme kararlarını etkileyen bir diğer parametre rüzgârdır. Özellikle rüzgar parametresinin öncelikli olduğu iklimlerde, hakim rüzgar yönü yönlendirme açısından en uygun olanıdır. Bu tür iklim bölgelerinde binanın uzun cephesinin hakim rüzgar yönüne bakacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir (Koca, 2006).

Binanın yönlendirilmesini belirleyen temel unsur, doğru yönlendirilme sayesinde güneş enerjisinden kışın yüksek kazanım, yazın ise yüksek korunum elde etmektir. Dolayısıyla iklimsel veriler yönlendirme kararlarında önemli tasarım verileridir.

Bu çerçevede bina yönlenmesindeki temel veriler;

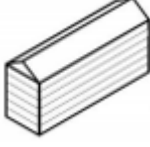
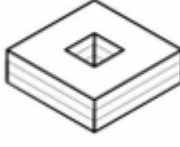
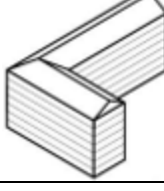
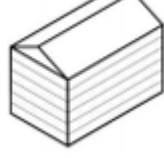
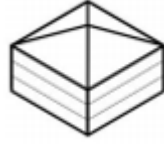
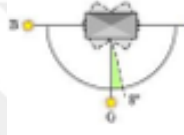
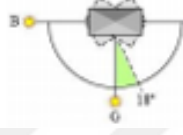
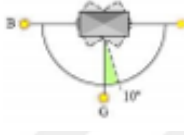


- Isıtma ve soğutma amacıyla güneş ışınımı,
- Aydınlatma amacıyla gün ışığı potansiyeli,
- Serinletme ve havalandırma amacıyla rüzgar yönüdür.

Güneş ışınımının bina yönelimine etkilerinin belirlenmesinde, güneş diyagramları ve gölgeleme maskesi kullanılmalıdır. Bu diyagramlar ile saat, gün ve aylara bağlı olarak, güneş ışınımı ve gölgeleme durumu belirlenmelidir (Soysal, 2008 ve Goulding, 1992; aktaran Sojoudihassanlouei, 2019).

Bina formu

Bina formu, bina yüksekliği, biçim faktörü (bina uzunluğunun bina derinliğine oranı), çatı eğimi gibi tasarım değişkenleriyle tanımlanır (Türktaş, 2014). Binanın formu diğer tasarım parametreleri gibi binanın çevresel faktörlerden yararlanma veya korunma düzeyini, dolayısıyla enerji performansını etkileyen önemli bir parametredir.

Bu çerçevede soğuk iklim bölgelerinde enerji kaybına neden olan yüzeylerin alanını minimuma indirmek için kompakt formların kullanılması en uygun çözüm olarak değerlendirilebilir. Farklı iklim bölgeleri için uygun bina formları tablodaki gibidir (Şekil 3.3). Diğer taraftan binanın uzun cephesinin doğu-batı yönüne paralel, kuzey-güney yönüne ise dik olması ısıtma döneminde güneş ışınlarından maksimum yararlanma, soğutma döneminde ise kontrol etme olanağını sağlanması açısından etkilidir (Aydın, 2019).

İklim Bölgesi	Sıcak Nemli Pilot Şehir: Antalya	Sıcak Kuru Pilot Şehir: Diyarbakır	İlman Nemli Pilot Şehir: İstanbul	İlman Kuru Pilot Şehir: Ankara	Soğuk Pilot Şehir: Erzurum
Optimum Bina Formu					
İklim Bölgesi	Rüzgara açık cepheler, uzun formlar	Avluya bakan cepheler, dışa kapalı kompakt formlar	Sıcak dönemde rüzgara açık cepheler, serbest formlar	Soğuk dönemde rüzgara kapalı cepheler, kareye yakın formlar	Minimum yüzey alanlı cepheler, kompakt formlar
Optimum Bina Formu					

Şekil 3.3. Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları (Aydın, 2019)

İç mekân organizasyonu

Mimari tasarım sürecinde, iç mekânlar ihtiyaçlar doğrultusunda oluşturulurlar. Binanın işlevi, taşıyıcı sistemi, mekânlar arası ilişki, kullanıcı gereksinimleri, kullanıcı sayısı, tasarlanan binanın yapılacağı bölgenin iklim koşulları, iç mekân kurgusunda önemli faktörlerdir. Mekân organizasyonunda mekâna ait boyutsal özellikler (zon ve yükseklik), mekânın plandaki yeri ve mekânın yönlenmesi, binaların soğutma, ısıtma ve aydınlatma yüklerine doğrudan etki etmektedir. Dolayısıyla enerji etkin bina tasarımında iç mekânsal düzenlemeler ve boyutsal optimizasyon son derece önem taşımaktadır (Ovalı, 2009).

Güneşli ve doğal aydınlatma

Güneşli, bina tasarımında kullanıcıların doğal çevre ile bütünleşmesini sağlayan ve iç mekân konforunu artıran önemli bir tasarım parametresidir. Son zamanlarda enerji verimliliğinin artırılması ve iç mekan konfor koşullarının optimum seviyeye getirilmesi yönünde artan talepler sonucunda gün ışığı önemli tasarım kriterlerinden birisi olarak değerlendirilmeye başlanmıştır (Arpacıoğlu, 2012). Yapılan araştırmalarda bina

kullanıcılarının, yapay aydınlatma elemanları yerine gün ışığını tercih ettiğini göstermektedir.

Erdem ve Enarun'a (2007) göre binalarda günışığının etkin kullanımı ile aydınlatma maliyetleri ve enerji giderleri önemli oranda azalırken kullanıcılara daha sağlıklı, üretken ve konforlu mekânlar sunulabilmektedir.

Doğal havalandırma

Doğal havalandırma, enerji etkin bina tasarımında en çok kullanılan sistemlerden biridir. Doğal havalandırma için en yaygın ve geleneksel yöntem ise açılabilir pencerelerdir (Özaydoğdu, 2015).

Havalandırma iç mekânda iki şekilde gerçekleşir:

1. Binanın havalanması için iç mekândaki kirli havayı dış ortamdaki temiz ve taze havayla değiştirmek.
2. İç mekândaki aşırı nemi ve sıcaklığı taşıyıp, iç ortamın serinlemesine yardımcı olmak.

Doğal havalandırma ve serinletmede temel yaklaşım iç mekândaki ısının doğal yollardan dışarı çıkmasını sağlamak ve ısıyı azaltmaktır. Bunun için hakim rüzgarın iç mekana giriş ve çıkışının sağlanması gerekmektedir. Pencere konumları bu noktada çok önemlidir. Pencerelerin konumlandırıldığı yerler, dışarıdan gelecek temiz havanın bütün iç mekânı dolaşmasına imkân verecek şekilde tasarlanmalıdır (Ok, 2008).

Diğer doğal havalandırma yöntemleri ise dış ortamda rüzgâr tutucularının kullanılması ve bitki örtüsünün havalandırmaya uygun olarak seçilmesidir (Ok, 2008).

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğu; duvar, zemin, tavan, kapı, pencere, vs. gibi iç konforlu bölgeyle dış iklimsel bölge arasında ışınım, ısı ve hava ilişkisini belirleyen ve binayı dış ortamdan ayıran etkin ve en önemli yapı bileşenlerinin bütünüdür (Efe, 2009). Dış ortamdaki iklim elemanları ve olaylarının etkilerini kontrol altına alarak iç mekânda kullanıcı konforu ve iklimlenmenin sağlanmasında önemli bir role sahiptir. Bu nedenle yapı kabuğu optik ve

termofiziksel özellikleriyle, bina ısıtma ve soğutma yüklerini en çok etkileyen tasarım parametresidir.

Kabuk konstrüksiyon kurgusunda yer alan opak ve saydam bileşenlerinin,

- Isı geçirgenlik katsayısı (U değeri),
- Saydamlık oranı (pencere / toplam duvar),
- Güneş ışınımına karşı geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları,
- Opak bileşenin genlik küçültme faktörü (j) ve zaman geciktirmesi (f, h),
- ısı kütlesi kapasitesi kabuğun dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle kazanılan ve kaybedilen ısı miktarının temel belirleyicileridir (Harputlugil 2009, aktaran Tunalı 2012). Bu miktara bağlı olarak binalarda iç ortam iklimi, yapay ısıtma ve soğutma yükleri değişim gösterir (Dörter 1994; aktaran Soysal 2008)
- *Kabuğun ısı geçirgenlik katsayısı (U)*, Kabuk bileşenlerinin (gerek saydam gerek opak) termofiziksel özelliklerinden biri olan ısı geçirgenlik katsayısı; iç ve dış mekandaki hava sıcaklığı farkı 1K iken bileşenin birim alanından birim zamanda geçen ısı miktarı olarak tanımlanır (Karakoç, 2001).

Isıl geçirgenlik katsayısı (U);

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_d} \text{ W/ (m}^2 \text{ K)} \quad (1.1)$$

Isıl direnç katsayısı (R) ise;

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \text{ (m}^2 \text{ K)/W} \quad (1.2)$$

Eşitlik 1.1 ve eşitlik 1.2 ile hesaplanır.

Burada;

- α_i : iç ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$),
- α_d : dış ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$),
- d : malzeme kalınlığı (m) ve
- λ : malzemenin ısı iletim katsayısıdır (W/mK) (Aksoy, 2008).

Opak ve şeffaf yüzeylerin oluşturduğu kabuğun ortalama ısı geçirme katsayısının düşmesi, ya da ısı geçirme direncinin artması kabuktan ısı transferini azaltır. Böylece içerideki hava sıcaklığı korunarak ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmış olur (Soysal, 2008). Bu nedenle bina kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri binanın enerji performansını belirleyen önemli parametrelerden biridir. (Umaroğulları vd., 2011).

- *Kabuğun genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirmesi*, Kabuğun genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirmesi opak bileşeni oluşturan malzemelerin ısı depolama kapasitesine bağlı olup bileşenin yalıtım kapasitesini belirleyen iki özelliktir. Bu özellikler kabuk bileşenini oluşturan katmanların, ısı iletkenlik katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ), özgül ısıları (c) ve ısı depolama kapasitelerinin ($\rho.c$) bir işlevidir (Koca, 2006).

Bina kabuğunu oluşturan elemanların ısı depolama kapasiteleri, bina enerji performansının belirlenmesindeki en önemli parametrelerden biridir. Bina kabuğunu oluşturan malzemenin sıcaklığını bir derece ($1^\circ C$) değiştirebilmek için gereken ısı miktarını ısıl kapasite ve özgül ısı olarak isimlendirilir. Bina kabuğu elemanlarını oluşturan yapı malzemelerin kütlesi ve özgül ısı arttıkça bina kabuğunun ısıl kütle kapasitesi de artmaktadır. Bina kabuğunu yoğunluğu ve özgül ısı yüksek malzemeler oluşturulduğunda bina kabuğunun ısı depolaması önemli ölçüde artmaktadır (Çetin, 2020).

Opak yüzeylerin ısıl direnci ve ısı depolama kapasitesi, kavram olarak birbirinden ayrıdır. Farklı yapı malzemeleri kullanılarak eşit değerlerde ısıl dirence sahip iki bina kabuğunun ısı depolama kapasitesi birbirinden farklı olabilir, enerji performansı açısından da aynı performansı göstermeyebilir. Hatta ısı depolama kapasitesi yüksek olan kabuğun ısı enerji

performansı diğer kabuktan daha iyi olacaktır. Bu performans farkı ise opak bileşenin oluşturduğu ısıl kütlenin sağladığı “genlik küçültme” ve “zaman geciktirme” etkisinden doğmaktadır (Tunalı, 2012). Gün içerisinde ısının depolanmasını ve böylece mekanda aşırı ısınmanın engellenmesini sağlayan, akşam saatlerinde ise bu ısıyı mekana vererek mekanın sıcaklığının birden düşmesini engelleyen “zaman geciktirme etkisi” ile mekanın ısı yükleri azalmaktadır. “Genlik küçültme etkisi” ise gün içerisinde bileşenin iç yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğinin, dış yüzeyindeki sıcaklık değişim genliğine oranıdır. Bu etki, dış ortamdaki çok yüksek sıcaklık farklılıklarını düşürerek, iç ortamdaki sıcaklık farkı değişiminin daha az olmasını sağlamaktadır (Tunalı, 2012).

Bina kabuğunun ısıl direnci ve ısıl kütle performansında, yapı malzemelerinin seçiminin yanı sıra bu malzemelerin kabuk katmanındaki yeri de önem kazanmaktadır. Bina kabuğunu oluşturan malzemeler farklı termofiziksel özelliklere sahiptir. Bir yapı malzemesinin ısı geçirgenlik direnci yüksek iken bir diğer yapı malzemesinin ısı depolama kapasitesi yüksek olabilir. Bu nedenle bina kabuğu oluşturulurken malzemelerin kabuktaki yerinin termofiziksel özelliklerine göre belirlenmesi önem taşımaktadır (Harputlugil, 2009).

- *Kabuğun saydamlık oranı*, saydam alanların toplam kabuk alanına oranıdır. Bu oranın optimum kullanımı ile aydınlatma ve ısıtma için güneş kazançları sağlanabilir. Ancak kabuğun opak bileşenlerine oranla ısı geçirgenlik direnci az olması nedeniyle yüksek oranda ısı kayıplarına da neden olabilmektedir. Bu nedenle sıcak ve soğuk dönemlerde ısı kayıp/kazanç dengesinin, dolayısıyla saydamlık oranlarının dikkatle belirlenmesi gerekir (Soysal, 2008).

- *Kabuğun geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları*, kabuğun opak ve saydam yüzeylerinin güneş ışınımı ile ilişkilidir. Güneş ışınımının geliş açısına bağlı olarak saydam yüzeylerin güneş ışınımına karşı optik özellikleri değişir. Opak birleşenlerde ise bir geçirgenlik söz konusu olmayıp, yutuculuk ve yansıtıcılık özelliği yüzeyin rengine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Tunalı, 2012).

Pencereler ve gölgelendirme elemanları

Enerji etkin bina tasarımında pencereler, güneşten ısı kazanımı açısından temel ısı

kazancını sağlayan bileşen konumundadır. Yapı kabuğundaki şeffaf yüzeylerin tasarlanmasında doğal aydınlatma ve soğuk dönemlerde ısıtma amaçlı yararlanmak kadar, sıcak dönemlerde güneşin istenmeyen etkilerinden korunmak önemlidir. Bu amaçla uygun yönlenme, camlı yüzeylerin alanı, kullanılan cam tipi ve özelliklerinin yanı sıra gölgeleme ve güneş kontrol elemanların kullanılması da binanın enerji denetimini sağlamak için önemlidir (Soysal, 2008).

3.2. Binalarda Enerji Performans Değerlendirmesi

Enerji etkin binalarda performans değerlendirme dört ana kriter üzerinden yapılmaktadır. Bu performans kriterleri şunlardır:

- Enerji Performansı (Enerji Faktörü)
- Konfor Performansı (İnsan Faktörü)
- Maliyet Performansı (Ekonomi Faktörü)
- Çevresel Performans (Çevre Faktörü)

Performans verilerinin ölçülmesi için performans kriterlerine göre performans göstergelerine bağlı değerlendirmeye gereksinim duyulmaktadır. Performans göstergeleri (PG) binanın performans gereksinimlerini daha açık ve nicel olarak belirlenmesi için kullanılır. Performans göstergelerinin değerlendirilmesi, binanın planlama aşamasından başlayarak tasarım ve yapım aşamaları sonrası kullanım ve işleimine kadar binanın tüm yaşam döngüsü boyunca değer sağlar (Tunalı, 2012).

Bu çerçevede göstergelerin niceliğini ölçecek simülasyon araçlarına gereksinim duyulmaktadır. Enerji performansı değerlendirmesinde analitik yöntemlerden daha çok bina enerji simülasyonu etkilidir. Bu çözümlerin performans gereksinimlerini karşıladığından emin olmak gerekmektedir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için ölçme, hesaplama ve simülasyon yöntemleri yardımıyla elde edilen açık ve nicel değerler olan “performans göstergeleri” temeline dayandırılmalıdır. Bu açıdan bakıldığında bina enerji performansı değerlendirmesinde enerji simülasyon araçlarının kullanılması tasarımcıların doğru kararlar vermesinde etkili bir yöntemdir (Solmaz, 2015).

Her bir performans kriterinin performans göstergeleri ise şunlardır:

- Enerji Performansı:
 - Isıtma enerjisi ihtiyacı
 - Soğutma enerjisi ihtiyacı
 - Elektrik enerjisi tüketimi
 - Gaz tüketimi
 - Birincil tüketim
- Maliyet Performansı (maliyet analizi)
 - İlk yatırım maliyeti
 - Enerji maliyeti
 - Yaşam boyu maliyeti
- Çevresel Performansı (yaşam döngüsü analizi)
 - Embodied enerji
 - CO₂ Emisyonları

Ana performans belirleyicisi enerji olan bir yapının enerji performansını değerlendirebilmek için, bina enerji performans göstergelerinin açık şekilde belirtilmesi ve hesaplanabilir olması gerekmektedir. Bina enerji performans göstergeleri, enerji performans hedefleri doğrultusunda yapıdan yapıya, önceliklerine göre farklılık göstermektedir. Bina enerji performans göstergeleri performans hedefine göre daralıp genişleyebilmektedir. Bina enerji performansının değerlendirilmesinde etkili olan performans göstergeleri şunlardır (Solmaz, 2015):

- Yıllık enerji tüketimi,
- Yıllık elektrik maliyeti,
- Yıllık ısıtma yükü,
- Yıllık CO₂ emisyonudur.

3.3. Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ve Enerji Performansı Analizi

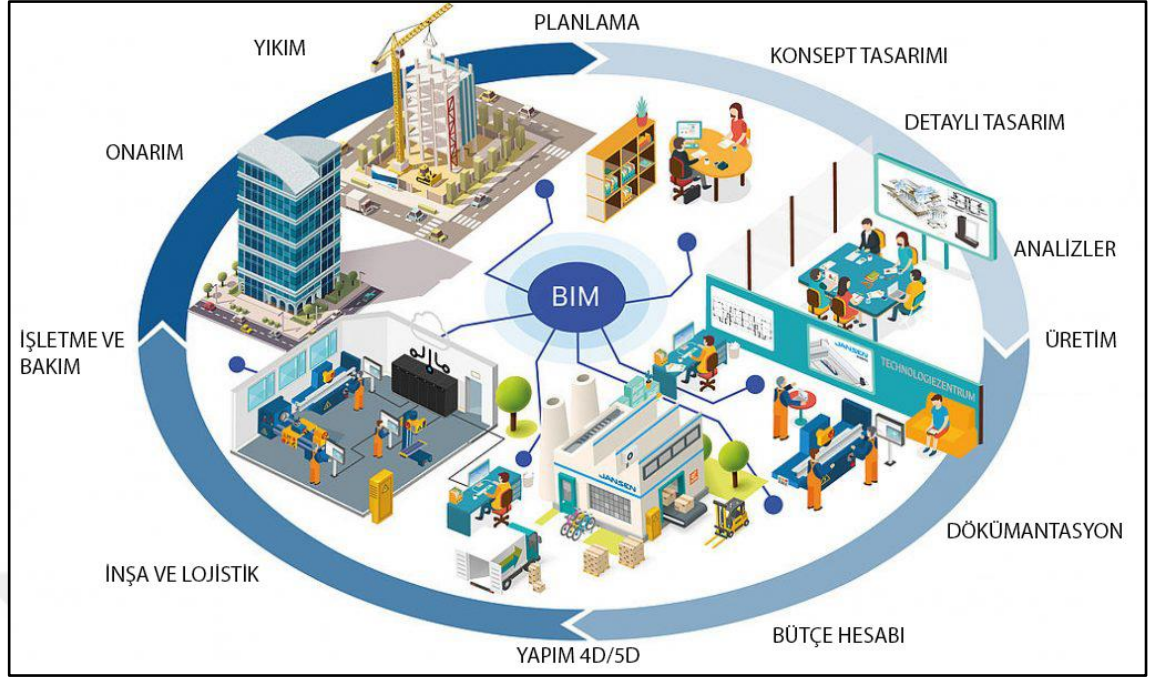
Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilen Bina Bilgi Modellemesi (BIM), farklı araçları ve süreçleri tasarıma dahil ederek proje verilerinin sayısal ortamda yönetilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir (Ofloğlu, 2014). BIM, binanın grafik (biçim/geometri vb.) ve alfa sayısal (malzeme, fiziksel çevre kontrolü, maliyet vb) verilerinden oluşan üç boyutlu bir sanal modelinin oluşturulması ve bu modelin paydaşlar tarafından ortak kullanımını sağlayan bir çalışma yaklaşımıdır (Ofloğlu, 2014):

- Tasarımın ve inşaatın her aşamasının koordine edilebilmesine,
- Malzeme veya ekipler için her bir sürecin adım adım izlenebilmesine,
- Bulut sistemi üzerinden her işleme tüm üyelerin ulaşabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bina Bilgi Modellemesi, binayı oluşturan elemanları temel almakta ve elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini modellemektedir. BIM yazılımları yardımıyla yapı elemanlarına ait nesnelere bir araya getirilerek binanın sanal bir modeli oluşturulmaktadır. Model, tüm yapı elemanlarını ve onların farklı niteliklerini içermektedir. Ayrıca BIM yazılımları kendi içinde veya üçüncü parti yazılımlar vasıtasıyla, yapı modeli performansını ölçen simülasyon ortamları sunmaktadır. Böylece BIM;

- Enerji, aydınlatma vb. fiziksel çevre kontrolü hesaplamalarında,
- Yapısal analizlerde,
- Yapım sürecinde çakışma tespiti uygulamalarında,
- Çok boyutlu simülasyonlarda,
- Yönetmelik uygunluk kontrollerinde kullanılabilir (Ofloğlu, 2014).

Şekil 3.4'te BIM programı özellikleri ve avantajları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. BIM programı özellikleri ve avantajları (Autodesk, 2020)

BIM'in mimarlık ve yapı sektöründe yaygın bir şekilde kullanımı, IFC² standardının geliştirilmesi ve tasarlanan veri modelinin yazılım firmalarının desteklemeleriyle mümkün olmuştur. IFC, nesne tabanlıdır ve Revit, Allplan, ArchiCAD gibi önde gelen BIM yazılımları tarafından kullanılmaktadır. IFC'nin yeni bir projelendirme anlayışı getirmesinin nedeni; bir yapı elemanının sadece grafik özellikleri değil alfa sayısal verilerine de sahip olarak paydaşların ortak çalışmasını mümkün kılması ve istenildiğinde gerekli analizlerin yapılabilmesine olanak sağlamasıdır (Savaşkan, 2015). BIM yazılımlarını Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yazılımlarından ayıran en temel özellikte budur.

BDT yazılımları, yapıları ve onu oluşturan elemanları biçimsel olarak üretmek için gerekli grafik donanımlarına sahip olsa da yapının uygulanabilirliği ve işletim aşamaları için önemli olan parametrelere sahip alfa sayısal özelliklerini (maliyet, malzeme, fiziksel çevre kontrolü girdileri vb.) ifade edebilen bir veri mimarisine sahip değildir. Alfa sayısal veri tipi sürdürülebilir mimari için çok önemlidir. Bu verilere sahip olan BIM, BREEAM ve LEED vb. yazılımlar, yapıların sürdürülebilirlik kriterlerini hesaplayabilirken yapıya

² IFC, yapı modellerinin disiplinler arası daha kolay bir şekilde senkronize edilmesini sağlayan bir sistemdir.

ilişkin fiziksel çevre etmenlerini modelleyerek test edebilmektedirler. Geleneksel yöntemlerle bunu tek model üzerinden yapmak mümkün değildir (Savaşkan, 2015).

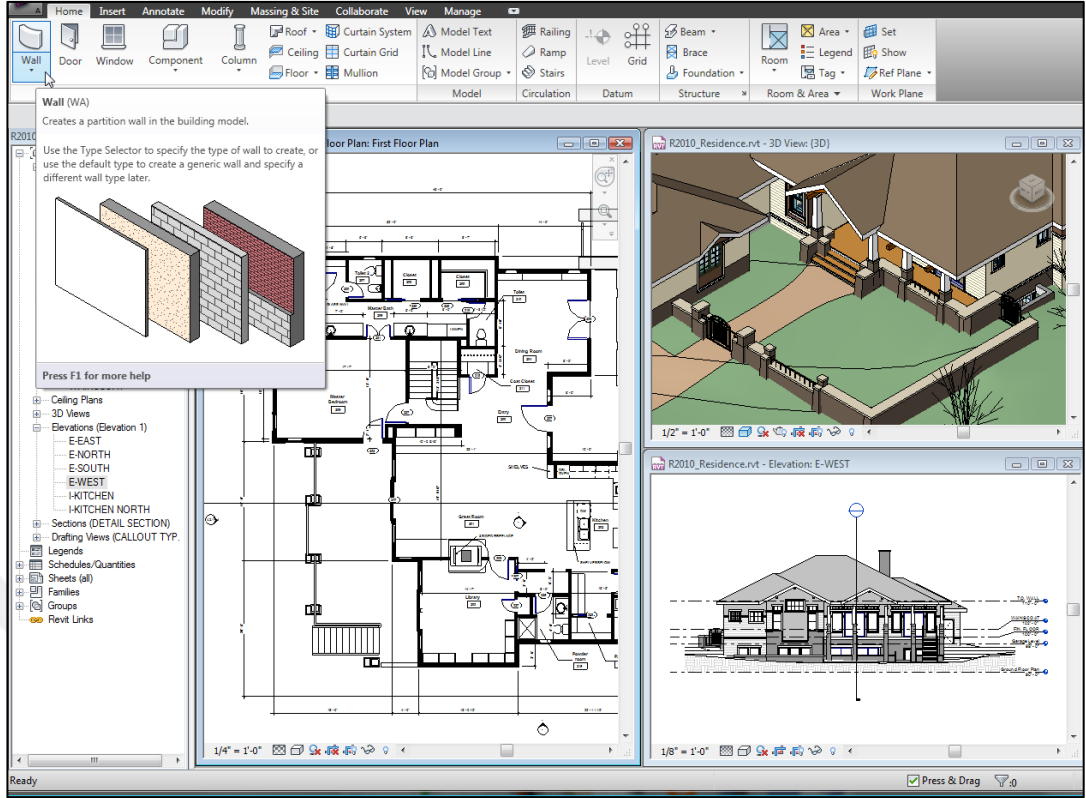
Diğer taraftan BDT ile projelendirme sürecinde plan, kesit, görünüş vb. çizim aşamaları birbirinden bağımsız olduğu için revizyon işlemlerinin zorluğu, birçok paydaşla bağlantılı çalışma durumunda ise revizyonlardaki hata oranının artması, BIM yazılımlarını kullanıcılar için daha önemli hale getirmiştir. BIM ile çalışılan projelerde paydaşlar projenin her aşamasını eş zamanlı olarak görebilmektedir. Projenin farklı aşamalarında dosya paylaşımıyla bilgi alışverişi yapabilmektedir. Bu paylaşım paydaşların projede daha etkin olabilmesini ve projenin ortak bir sistem ve mantıkla üretilmesini kolaylaştırmaktadır. BDT kullanılarak oluşturulan projelerde ise farklı sektörlerdeki paydaşlar arasında proje ve yapım aşamasında oluşturulan koordinasyon, iş gücü, maliyet ve zaman kayıplarına sebebiyet vermektedir (Oflluoğlu, 2014).

Bu kapsamda; 2000’li yıllardan günümüze BIM teknolojisinin önemi gitgide artmış,

- Autodesk®,
- Graphisoft®,
- Bentley® vb. bilgisayar destekli tasarım uygulama sağlayıcıları tarafından çeşitli BIM yazılımları geliştirilmeye başlanmıştır.

3.3.1. Revit Architecture

Revit Architecture, Autodesk tarafından geliştirilen ve yapı endüstrisindeki kullanıcılar için geliştirilmiş bir BIM yazılımıdır. Revit, oluşturulan sanal model üzerinden binanın yeri, yönlenmesi, formu, gün ışığı, aydınlatma gibi birçok tasarım parametrelerine ilişkin analizlerin yapılabilmesine olanak sağlayan bir tasarım ortamı sunmaktadır (Savaşkan, 2015). Şekil 3.5’te Revit yazılımının ara yüzü görülmektedir.



Şekil 3.5. Revit ara yüzü (Autodesk, 2020)

Parametrik işlevleri sayesinde Revit ile proje çizim aşamasında ve sonuç ürününde kontrol yapılabilmekte, birbiriyle uyumlu olmayan farklı disiplinlerdeki projelerdeki hatalar bir arada görülerek hata oranı minimuma indirilebilmektedir. Ayrıca bir BIM yazılımı olması nedeniyle de tasarım sürecinde her veri projeye sadece bir kez eklenmekte ve tüm süreç boyunca kullanılabilir. Revit'in farklı yazılımlarda (AutoCAD, Sketchup, ArchiCAD, McNeel Rhinocero vb.) oluşturulan nesnelerin kendisine aktarılmasına olanak sağlaması, özellikle günümüzde yaygın olarak kullanılan AutoCAD ile uyumlu olarak çalışabilmesi diğer özellikleridir.

Autodesk Revit Architecture'ın bazı avantajları şunlardır (Aydın, 2019)

- Ekiplerin birlikte çalışabilmesine olanak sağlayacak araçlar bulundurulur. Kullanıcılar projenin kendi uzmanlık alanları olan bölümlerinde rahatça çalışabilir ve yeni eklenen veriler Revit ana dosyasına entegre edilir. Bu sayede proje dosyası sürekli olarak güncelliğini korur.

- Revit'te oluşturulan bir yapı geleneksel çizim yöntemlerine göre çok daha hızlı ve detaylı yapılabilir. Revit ile zamandan tasarruf edilir ve oluşabilecek insan hatalarını minimuma indirerek maliyetleri düşürür.
- Revit'in enerji analizleri açısından avantajları ise binaya ait verilerin devamlı güncel tutulabilmesi, malzeme kütüphanesinin organize edilebilmesi-saklanması ve sürekli geliştirilebilir olması, enerji modelinin otomasyonu ve çıktıların Revit modeli üzerinden daha etkili bir şekilde sunulabilmesidir (Kamel ve Memari, 2019).
- Günışığı ve yapay ışıklandırma analizleri, enerji performansı, ısıtma-soğutma yükü hesaplanması, yıllık CO₂ tüketiminin hesaplanması gibi çeşitli enerji performans analiz işlemlerini gerçekleştirebilir.
- Revit'in enerji simülasyonlarını grafiksel olarak vermesi enerji çıktılarının sunumunun ve anlaşılmasının daha kolay sağlamasıdır.
- Çeşitli ek yazılımlar kullanılarak, Revit aracılığıyla ulaşılan analiz sonuçları ve Revit modelinden alınan geometrik veriler kullanılarak, yapıdaki farklı zonların gerçek zamanla eş enerji performansını vermektedir.
- Revit'te yapıya ait verilerin sürekli olarak saklanabilmesi, organize edilebilmesi ve güncel tutulabilmesi önemli avantajlardan biridir.
- Tanımlanan termal zonlarda seçilen ekipmanlara ve yapı bileşenlerine göre bina enerji tüketimi, enerji kullanım değeri, enerji talebi, sıcaklık değerleri gibi enerji ile ilgili verilere ulaşılabilmektedir.
- Bina da yapılan herhangi bir tasarım parametresi değişikliğinin enerji açısından oluşturduğu etkiler anında kolaylıkla takip edilebilir.
- Tasarımda kullanılacak malzemelerin ısı özelliklerine otomatik olarak ya da kullanıcının tanımladığı değerlerle elde edilebilir ve enerji simülasyonlarında kullanılır.
- Revit programında hazırlanan projeler DWG, DXF, DGN ve ACIS (SAT) formatlarında dışarıya çıkarılabilir.

- Revit programında bulunan veriler, detaylandırılmak için (planlama, maliyet, vb.) ODBC (Open Database Connectivity) uyumlu yazılımlara aktarılabilir (Revit, 2021).

Revit yazılımının dezavantajları ise şunlardır:

Revit'i, tüm tasarım ve binaya ait bilginin içerdiği veri sistemi olarak düşündüğümüzde, bu sistemdeki verilerin enerji analizi için problemsiz aktarımı noktası, temel sorunu oluşturmaktadır.

İdeal bir aktarımın olabilmesi için Revit'te model oluşturulurken enerji simülasyonu için gerekli tüm bilgilerin tanımlanması gerekmektedir.

Yapılan bir araştırmaya göre Revit'te enerji analizleri sırasında ortaya çıkan problemler şöyle sıralanabilir (Kamel ve Memari, 2019):

- gbXML gibi Revit dosya formatları, enerji simülasyonu için gerekli olan tüm bilgileri aktarabilsede, diğer alt yazılımlar arasındaki bilgi alışverişi esnasında veri kayıpları oluşabilir.
- Revit enerji simülasyonu amacıyla gbXML dosyasını dış ortama aktarırken daha küçük alanlar ve alt yüzeyler oluşturur; bu aktarım sırasında öğelerin sayısı ve boşluk, ilk tasarım modelinden farklı olduğu için aktarım sırasında hataya ve karışıklığa sebep olabilir.
- Enerji simülasyonu için gerekli verilerin bir kısmı kullanıcı tarafından tanımlanamamaktadır. Bu tanımlamama sebebi çoğu zaman Revit programının oluşturulduğu ülkedeki standartlara göre sistemleri tanımlamasıdır. Bu durumlarda Revit, farklı standartlara göre varsayım ve değerleri kullanmaktadır.

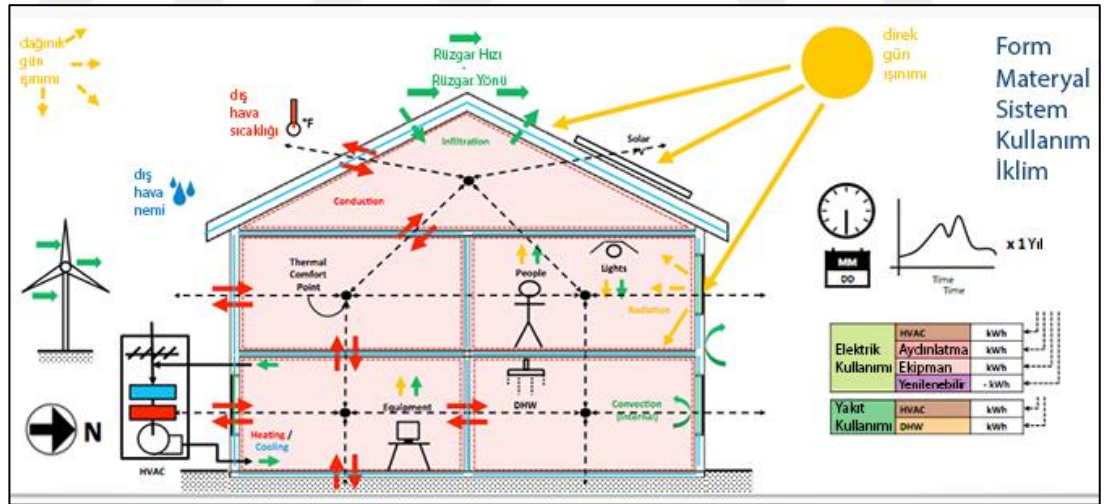
3.3.2. Green Building Studio (GBS)

Autodesk Green Building Studio, Autodesk Revit'ten alınan bina geometrisi ve yapı elemanlarının termofiziksel bilgilerine, diğer mekanik proje bilgilerine, kullanıcı tarafından tanımlanan yapının lokasyonuna, yapının türüne ve hava istasyonu verileri gibi bilgilere göre simülasyonlar gerçekleştiren, bina karbon ve enerji analizi yapan web tabanlı bir enerji analiz simülasyonudur. Elektrik enerjisi tüketimi, yakıt tüketimi ve yakıt

kaynağına dayalı olarak yıllık/yaşam döngüsü enerji maliyeti/tüketimi, en yüksek elektrik talebi ve CO2 emisyonları enerji analiz sonuçlarını verir. Ayrıca, güneş ve iç mekan gün ışığı analizi, oluşturulan zonlardaki ısıtma ve soğutma yükleri analizleri yapılabilmektedir (Mostafavi vd., 2015).

Green Building Studio, DOE-2.2 simülasyon motorunu kullanır. DOE-2.2 uzun bir süredir geliştirilmektedir ve Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı ve Los Alamos Ulusal Laboratuvarı tarafından onaylanmıştır. ANSI / ASHRAE 140 (Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programlarının Değerlendirilmesi için Standart Test Yöntemi). Green Building Studio web hizmeti simülasyon sonuçları ANSI / ASHRAE Standart 140, Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programlarının Değerlendirilmesi için Standart Test Yöntemi altında değerlendirilmiş ve kriterleri karşılamıştır ve ABD Enerji Bakanlığı tarafından onaylanmıştır (Autodesk Green Building Studio, 2020).

Green Building Studio, bina enerji kullanımını ve işletme maliyetlerini tahmin etmek için; yapı formu, malzemeler, sistemler, kullanım bilgilerine göre enerji analizi yapabilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Green Building Studio analizleri için kullanılan veriler (GBS,2020)

4. MATERYAL ve YÖNTEM

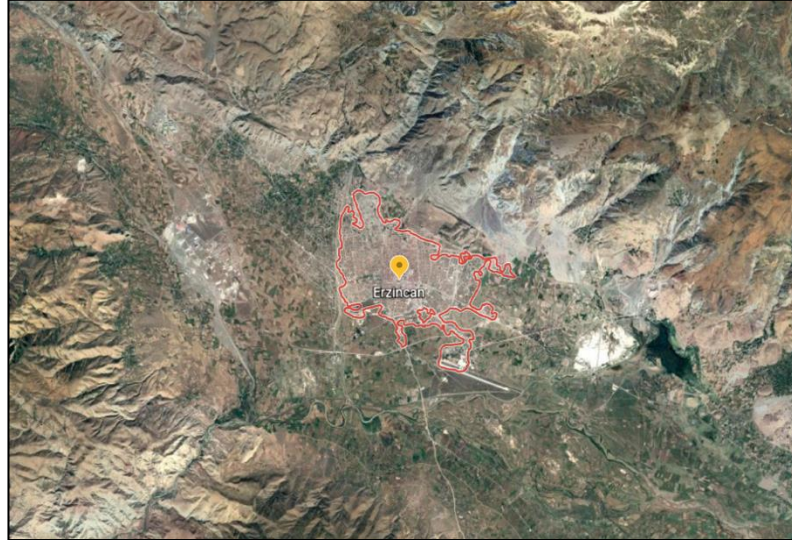
Soğuk iklim bölgelerinde yer alan yerleşim yerlerinde enerji harcamalarının azaltılması, enerji etkin bina tasarım parametreleriyle ilişkilidir. Bu çalışmada soğuk iklimsel verilere sahip yerleşimler için farklı duvar alternatifleri geliştirilerek, enerji harcamaları, tüketimi ve çevresel etkiler açısından en uygun değerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bina ölçeğinde gerçekleştirilen analizler, tasarım sürecinde sıkça tercih edilen BIM tabanlı yazılımlardan Revit aracılığıyla yapılmıştır. Geliştirilen duvar alternatifleri ise Autodesk'in eklentisi olan Green Building Studio üzerinden değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

4.1. Uygulama Alanı ve Örnek Bina

Çalışma kapsamında seçilen örnek bina Erzincan ilinde yer almaktadır.

4.1.1. Erzincan ilinin iklim özellikleri

Erzincan, Doğu Anadolu bölgesinin Kuzey Batı bölümünde yukarı Fırat havzasında bulunmaktadır (Şekil 4.1). Platolar ve dağlarla çevrili Erzincan'ın denizden yüksekliği 1185 metredir.



Şekil 4.1. Erzincan fiziki haritası (Google Earth, 2020)

Karasal iklimin hakim olduğu Erzincan, Doğu Anadolu bölgesinde yer alan birçok ilden daha ılıman bir iklime sahiptir. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere yıllık sıcaklık ortalaması

16,6 °C'dir. En soğuk ay ocak ayı ortalaması -3,7 °C, en sıcak ay olan ağustos ayı ortalaması da 23,9 °C olarak ölçülmüştür. Erzincan, çevresinde bulunan illere göre daha sıcak ve uzun yaz mevsimi yaşamaktadır (MGM, 2020).

ERZINCAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2019)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.0	-1.2	3.9	10.6	15.5	19.8	23.7	23.8	19.1	12.4	5.6	-0.2	10.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	1.6	3.6	9.4	16.7	22.2	27.0	31.4	31.9	27.3	19.9	11.6	4.3	17.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.0	-5.3	-0.8	4.6	8.7	12.1	15.4	15.2	10.8	5.7	0.6	-4.0	4.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	4.0	5.0	5.9	7.5	9.7	10.8	10.2	8.7	6.4	4.4	2.8	78.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.6	9.1	11.6	12.9	14.1	8.9	3.3	2.4	4.3	8.3	8.5	9.5	102.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	27.9	30.7	41.6	53.3	53.2	30.7	12.5	6.8	15.7	40.0	35.5	28.7	376.6
Ölçüm Periyodu (1929 - 2019)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.0	17.2	25.2	30.0	33.8	37.0	40.6	40.5	36.6	31.4	24.9	19.0	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-31.2	-30.2	-22.4	-11.1	-4.2	2.0	5.0	5.9	0.3	-6.8	-15.6	-25.9	-31.2

Şekil 4.2. Erzincan iline ait sıcaklık ortalamaları (MGM, 2020)

Diğer taraftan Erzincan ili yıl içerisinde en fazla yağışı ilkbahar mevsiminde 633,1 mm olarak alır ki bu yıl içerisindeki yağışların %39'unu oluşturmaktadır. En az yağışı yaz mevsiminde 206,1 mm olarak almaktadır. Yağışların %26'sı sonbahar, %22'si kış ve %13'ü de yaz mevsiminde meydana gelmektedir. Yıllık yağış ortalaması 380,6'lık (kg/m²) dir. Yıllık nem ortalaması ise %62'dir (MGM, 2020).

Binalarda enerji tüketimi, iklimsel farklılıklara bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir (Çomaklı ve Yüksel, 2003). Bu bağlamda halen yürürlükte olan en son 2013 yılında güncellenen “TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Standardında güneşli gün sayısı ve aylık ortalama sıcaklık değerlerine göre Türkiye 5 iklim bölgesine ayrılmaktadır. Erzincan ili ise 4. Bölge'de yer almaktadır (Tanrıverdi, 2015).

4.1.2. Örnek binanın genel özellikleri

Örnek konut projesi zemin ve iki normal kattan oluşmaktadır. Her katta iki daire olmak üzere toplamda altı daire bulunmaktadır. Betonarme iskeletli olarak tasarlanan binada her dairenin iç mekân organizasyonu birbirinin tekrarıdır. Daireyi oluşturan mekanlar ve metrekareleri ise Tablo 4.1' de görüldüğü gibidir.

Tablo 4.1. Örnek konutu oluşturan mekan isimleri ve metrekare bilgileri

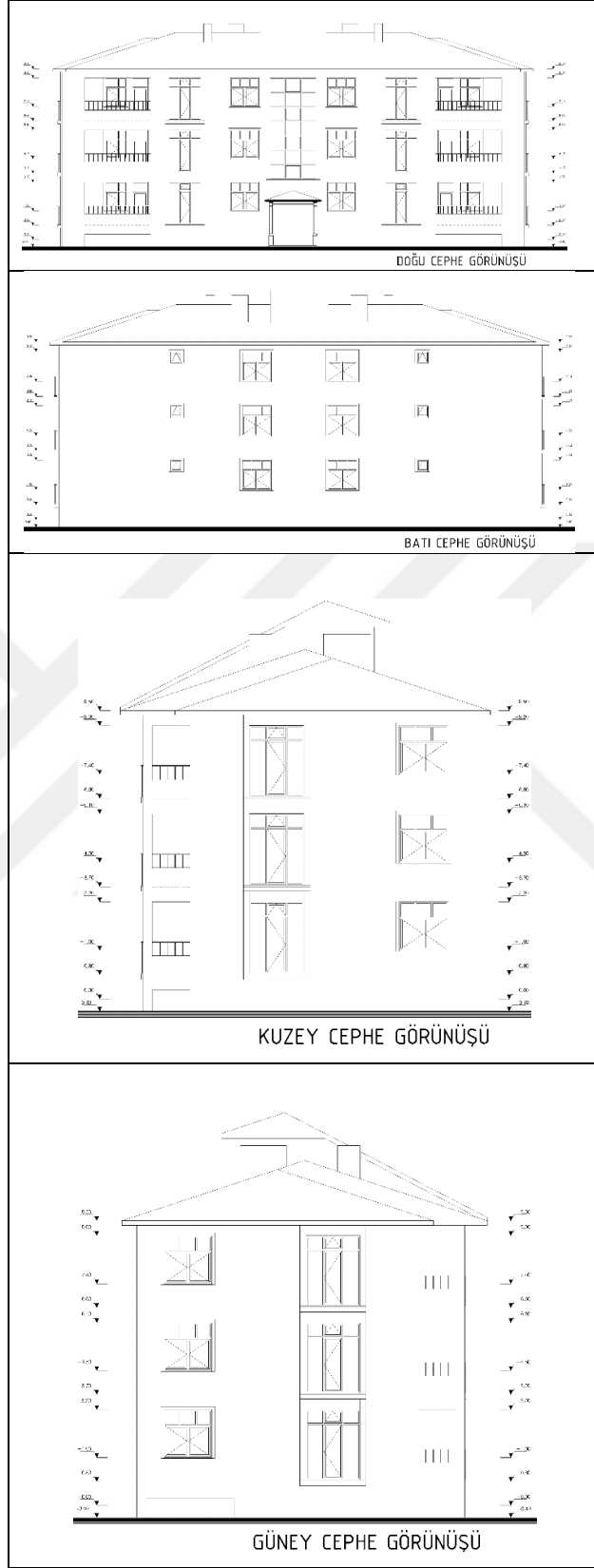
Mekan İsimleri							
	Mutfak	Salon	Oturma Odası	Ebeveyn Yatak Odası	Çocuk Yatak odası	Banyo wc	Koridor
Alan	11,70 m ²	21,81 m ²	11,58 m ²	16,20 m ²	14,21 m ²	9,1 m ²	15,00 m ²
Toplam							
Alan	99,60 m ²						

Bir dairenin balkon ile net kullanım alanı ise 104,97 m²'dir. Binanın taşıyıcı sistemi ise betonarme iskelet sistemidir. Tablo 4.2'de örnek binaya ilişkin genel bilgiler verilmiştir.

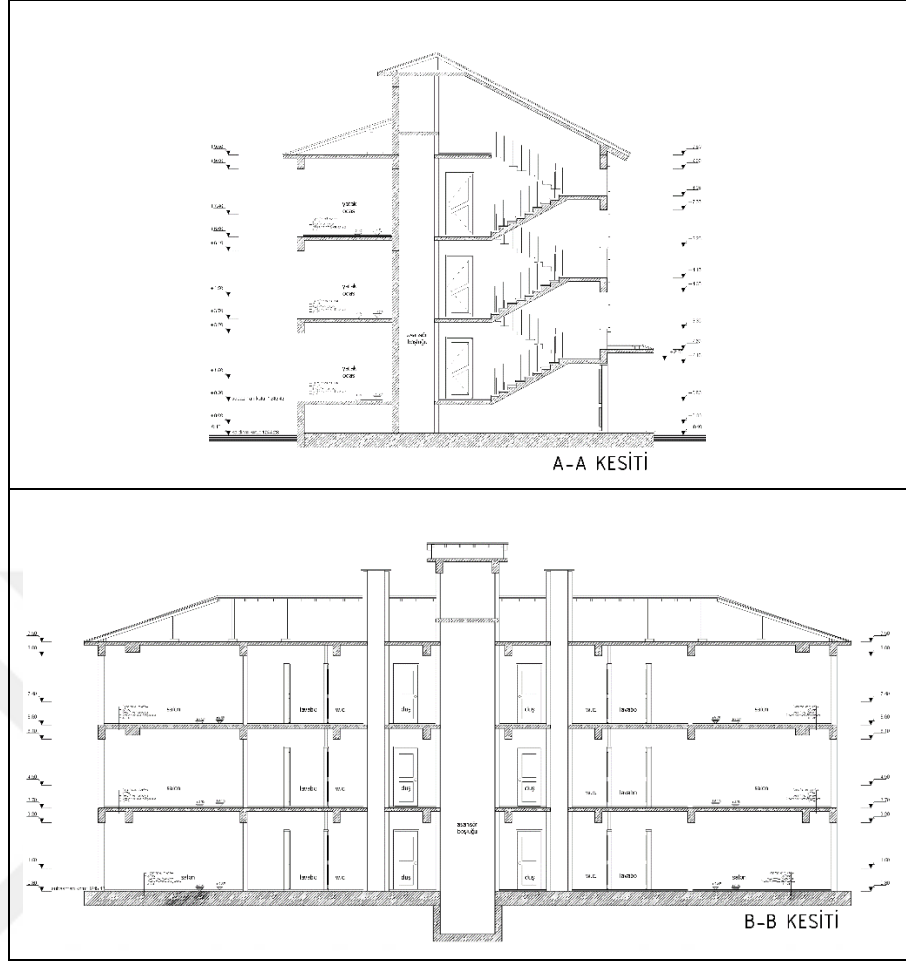
Tablo 4.2. Örnek binaya ilişkin genel bilgiler

BİNA BİLGİLERİ		
Taşıyıcı Sistem		Betonarme
Kat Adedi		Zemin+ 2 Kat
Alan	Parsel Alanı	570,63 m ²
	Bina taban alanı	245 m ²
	Bahçe kullanım alanı	325,63 m ²
	Toplam bina alanı	735 m ²
Yükseklik	Kat Yüksekliği	3,00 m
	Bina Yüksekliği	9,80 m
Yüzey Alanı	Dış Duvarlar	537,00 m ²
	Çatı	276,00 m ²
	Pencere	115,00 m ²

Örnek binaya ilişkin teknik çizimler Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Görünüş çizimleri (Meryem Şeyma Aydın, 2020)



Şekil 4.7. Kesit çizimleri (Meryem Şeyma Aydın, 2020)

4.2. Binanın Modellenmesi ve Enerji Analizi

Yapının modellenmesi ve enerji analizleri için Autodesk tarafından geliştirilen ve BIM yazılımlarından “Revit 2021” programı ve Autodesk eklentisi “Green Building Studio” kullanılmıştır. 3. Bölümde detaylı anlatıldığı üzere Revit programı, bir binanın sanal modeli üzerinden, yerleşim, yön, form, gölge, gün ışığı, aydınlatma, rüzgar ve akustik gibi birçok faktöre ilişkin analizlerin yapılabilmesi için gerekli veriyi sağlayan bir tasarım ortamı oluşturur. Green Building Studio ise tasarımların enerji simülasyonları ve analiz raporlarını oluştururken, tasarımcı tarafından oluşturulan senaryolar arasından enerjiyi en etkin kullanan senaryonun seçilmesine olanak sağlar.

Bu bağlamda; çalışmada örneklem olarak seçilen örnek konut binasının BIM kullanılarak enerji analizi aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir:

- Revit ile Binanın 3 Boyutlu Modellenmesi
 - Revit ile Enerji Ayarlarının,
 - İklim ve dış çevre parametre veri girişi
 - Kullanıcılara ilişkin veri girişi
 - Yer ve Binaya ilişkin veri girişi
 - Bina Alt sistemlerine ilişkin veri girişleri ile yapılması
 - Duvar Senaryolarının geliştirilmesi ve kodlanması
 - Green Building Studio ile duvar senaryolarının enerji analizlerinin yapılması
 - Green Building Studio ile Analiz Sonuçlarının;
 - Yıllık enerji tüketimi,
 - Yıllık ısıtma yükü,
 - Yıllık ısıtma yükü enerji maliyeti ve
 - Yıllık karbon emisyonu göstergeleri ile karşılaştırılması
 - En uygun duvar parametresinin belirlenmesi.

4.2.1. Revit ile binanın 3 boyutlu modellenmesi

Çalışmada örnek olarak seçilen binanın Autocad programında hazırlanan 2 boyutlu mimari çizimleri Revit 'e aktarılarak 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Model üzerinden tüm yapı elemanları malzemeleri ve boyutları ile tanımlanmıştır (Şekil 4.8).

4.2.2.1. İklim ve dış ortama ilişkin veri girişleri

Revit yazılımı, dünyadaki birçok iklim verilerine lokasyon tanımlaması ile ulaşma olanağı sağlamaktadır. Erzincan ili için gerçekleştirilen bu çalışmada GBS_06M12_18_156261 adlı hava istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır (Şekil 4.11). İklim verileri, ısıtma ve soğutma derece günleri, kuru termometre sıcaklık değerleri, yıllık güneş ışınımı değerleri, rüzgar ve nem gibi iklim elemanlarını içermektedir (Şekil 4.12)

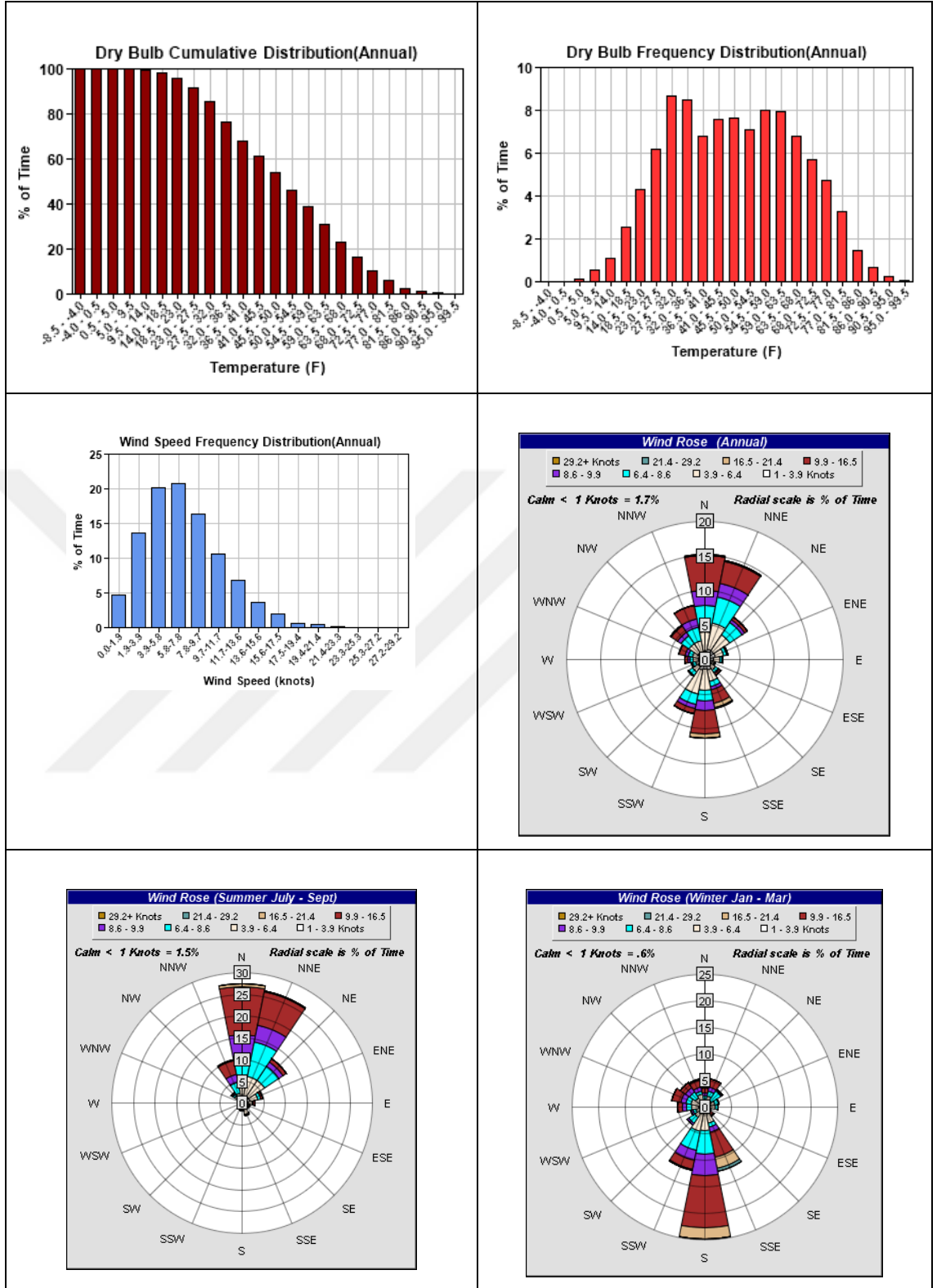
Weather Station: GBS_06M12_18_156261
Distance to your project 13.0 mi (20.9 km)
Latitude = 39.6333 , Longitude = 39.3000

Cooling Degree Day		Heating Degree Day	
Threshold	Value	Threshold	Value
65 °F	400	65 °F	6554
70 °F	126	60 °F	5209
75 °F	20	55 °F	4026
80 °F	0	50 °F	2998

IP SI

Threshold	Cooling		Heating	
	Dry Bulb(°F)	MCWB(°F)	Dry Bulb(°F)	MCWB(°F)
0.1 %	93.0	58.9	4.8	3.0
0.2 %	91.8	60.4	5.4	3.7
0.4 %	89.6	60.5	7.3	6.1
0.5 %	88.5	60.2	8.1	6.2
1 %	85.8	59.8	11.1	8.6
2 %	82.2	60.9	14.5	12.3
2.5 %	81.3	59.6	15.6	13.7
5 %	77.7	58.7	19.6	17.1

Şekil 4.11. Hava istasyonu ve bilgileri



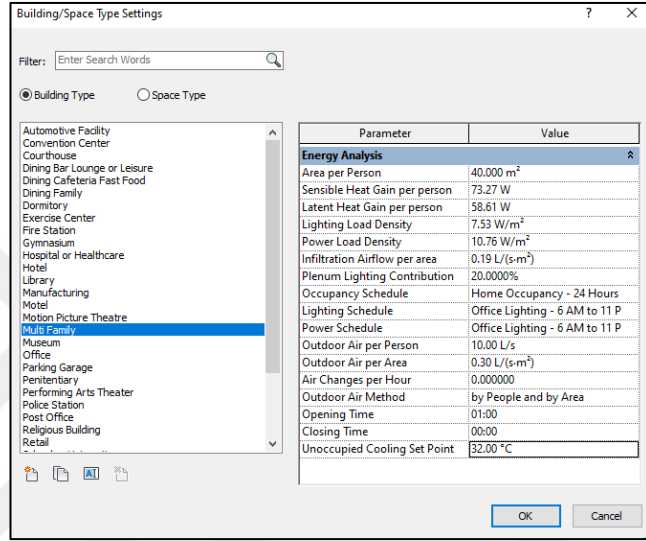
Şekil 4.12. Revit'te tanımlanan dış hava bilgileri

İç iklimsel konforun gerçekleştirilmesinde önemli olan kullanıcıya ilişkin parametreler yaşama mekanı ve iklimsel konfor koşullarına göre belirlenmiştir. Isıtma istenen

dönemde iç hava sıcaklığı 25 °C, soğutma istenen dönemde iç hava ayar sıcaklığı 32 C°, kişi başına düşen minimum taze hava miktarı ise 10 L/s olarak belirlenmiştir.

4.2.2.2. Kullanıcıya ilişkin veri girişi

Referans binada kişi başına düşen alan 40,00 m², kişi başına duyulur ısı kazanımı 73,27 W, gizli ısı kazanımı 58,61 W olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Revit'te kullanıcıya ilişkin veri girişi

4.2.2.3. Binaya ilişkin veri girişleri

Binanın Yeri

Çalışma kapsamında analiz edilen bina, Erzincan kent merkezinde 39°74'96.24"K enlem ve 39°48'73.62"D boylam koordinatlarındaki düz bir yerleşim dokusuna yönelik tasarlanmıştır. Binanın güneş ışınımı ve rüzgar etkilerinden yararlanma açısından komşu binalar tarafından engellenmediği varsayılan bir arazide bulunduğu varsayılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Arsanın Erzincan şehir merkezine göre konumu ve arsa alanı (Google Earth, 2020)

Binanın yönlenmesi

Binanın yönü, enerji tüketiminde önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmadaki örnek bina doğu-batı aksında konumlandırılmıştır. Yapıda yer alan ıslak hacimler dahil tüm hacimlerin kuzey, güney, doğu ve batı cepheleri bulunmaktadır.

Bina aralıkları

Örnek konut binasının komşu binalarla engellenmediği ön kabulüyle, bina tekil olarak değerlendirilmiştir.

Bina formu ve iç mekan organizasyonu

Enerji etkin bina tasarımında, bina formu ısı ve enerji maliyetlerini büyük bir oranda etkilemektedir (Olgay, 2015). Binaların bulunduğu iklim şartlarına göre maksimum formlar belirlediğinde soğuk iklim bölgeleri için; açıklıkları fazla olmayan, yapı yüzey alanının az olduğu katı kütlelerin enerji etkin tasarım açısından ideal olduğunu belirtmiştir. Mekanların oluşturulması işlevlerine bağlı olarak yapılmalıdır. Yapının ihtiyacı olan ısıtma yüküne göre hacimler işlevlerine göre konumlandırılırlar. Örnek konut binasında doğu cephesinde mutfak, oturma odası, balkon; batı cephesinde yatak odaları ve banyo, kuzey ve güney cephelerde ise salon iç mekan organizasyonu oluşturulmuştur.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Binalarda enerji tüketimini belirleyen önemli parametrelerden biri yapı kabuğunu oluşturan katmanların optik ve termofiziksel özellikleridir. Dış ve iç ortamı birbirinden

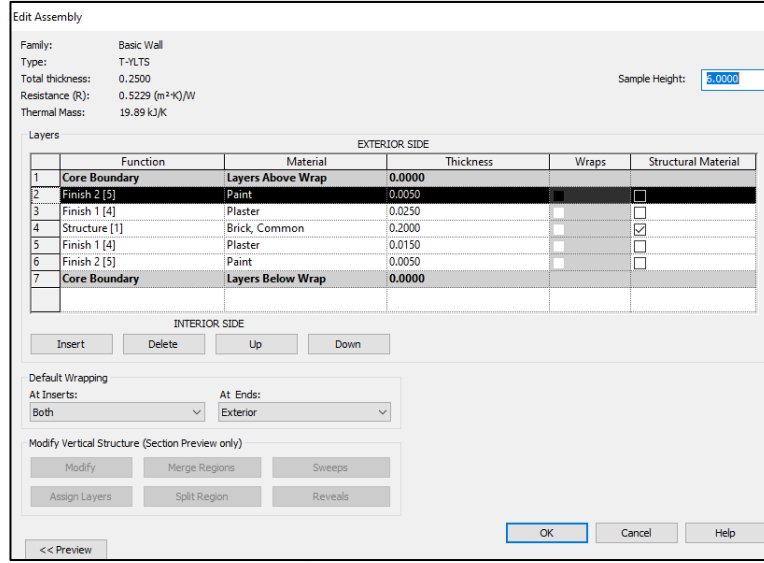
ayırarak kullanıcıların konfor şartlarını oluşturan bina kabuğu; duvar, pencere ve döşeme parametrelerinden meydana gelmektedir.

Türkiye’de “TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” isimli standartta iklim bölgelerine göre yapı kabuğunun 4 temel yapı unsuru olan duvar, döşeme, çatı ve pencerelerin ısı iletim katsayıları (U değeri) belirtilmiş (Tablo 4.3) ve iklim bölgelerine göre haritaları oluşturulmuştur (Tanrıverdi, 2015).

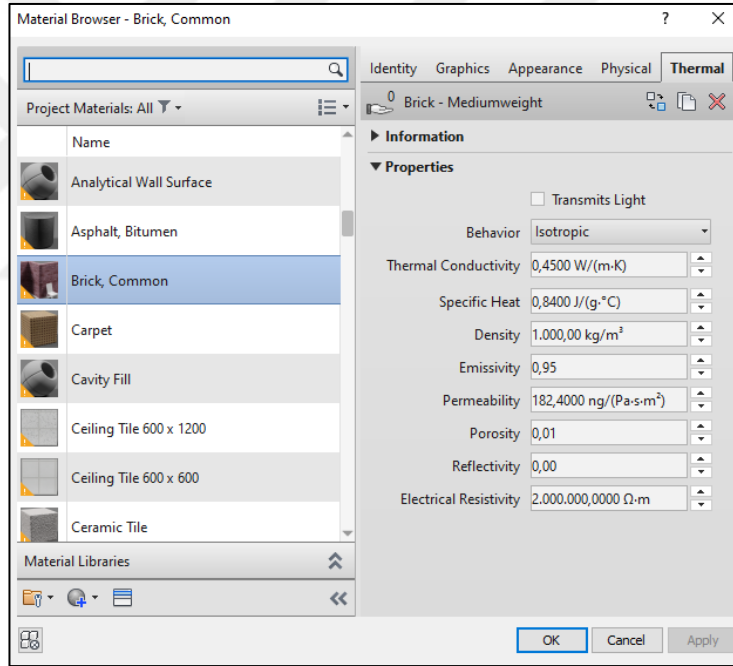
Tablo 4.3. Bölgelere ve kabuk elemanlarına göre tavsiye edilen U değerleri (TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2013; Aktaran Tanrıverdi, 2015)

TS 825 İklim Bölgesi	Duvar [W/(m ² K)]	Tavan-Çatı [W/(m ² K)]	Zemin [W/(m ² K)]	Pencere [W/(m ² K)]
1	0,66	0,43	0,66	1,80
2	0,57	0,38	0,57	1,80
3	0,38	0,28	0,43	1,80
4	0,38	0,23	0,38	1,80
5	0,36	0,21	0,36	1,80

Buna göre Erzincan ilinde inşa edilecek yeni yapılar için yapı kabuğunu oluşturan katmanların U değerleri; duvarlar için 0,38 W/(m²K); pencereler için 1,80 W/(m²K); çatılar için 0,23 W/(m²K) ve zemin döşemeleri için 0,38 W/(m²K)’dir (TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, 2013). Revit yazılımı da binanın model aşamasında duvar, döşeme ve çatı katmanlarının, malzeme özelliklerini kalınlık (m), ısı iletkenlik değeri W/(mK), yoğunluk (kg/m³), ısıl iletkenlik direnci (m²K)/W, ısı geçirgenlik katsayısı W/(m²K) değerlerinin ayrı ayrı tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 4.15, Şekil 4.16) .



Şekil 4.15. Detaylı yapı elemanı seçim paneli



Şekil 4.16. Malzemelerin termal özelliklerinin giriş paneli

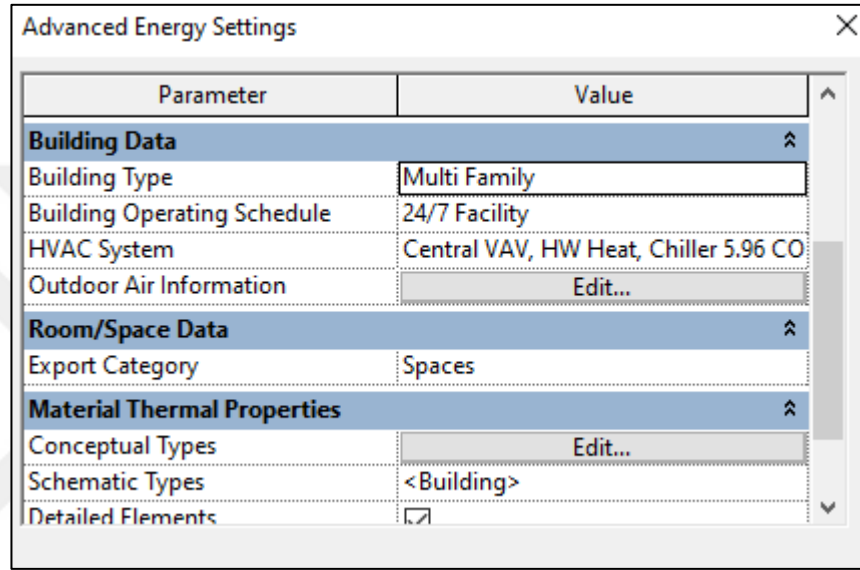
Bu çalışmada da örnek binanın iç duvar ve döşemesi ile dış kabuğuna ilişkin optik ve termofiziksel özellikleri Erzincan için tanımlanmış toplam ısı geçirme katsayısı sınır değerleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Tablo 4.4'te dış duvar parametresi dışında sabit tutulan yapı kabuk elemanlarına ilişkin belirlenen katmanlar ve U değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Yapı elemanlarına ilişkin belirlenen katmanlar ve termofiziksel özellikleri

Bileşen Adı	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	Erzincan Limit U Değerleri – TS 825 (w/m ² K)
İç Duvar	Alçı sıva	0,02	0,51	1200		
	Yatay delikli tuğla	0,13	0,45	1000		
	Alçı sıva	0,02	0,51	1200		
	Toplam	0,17			3,072	
İç Döşeme	Laminat parke	0,01	0,13	600		
	Katkılı şap	0,03	1,40	2000		
	Ses yalıtım ş.	0,01	0,04	40		
	Betonarme d.	0,12	2,50	2400		
	Alçı sıva	0,02	0,51	1200		
Toplam	0,19				2,295	
Toprağa Temas Eden Döşeme	Laminat parke	0,01	0,13	600		
	Katkılı şap	0,03	1,40	2000		
	Koruma betonu	0,03	1,65	2200		
	Isı yalıtım levhası (xps)	0,08	0,04	35		
	Tesviye harcı	0,02	1,40	2000		
	Betonarme d.	0,50	2,50	2400		
Toplam	0,67				0,382	0,38
Çatı	Çatı örtüsü (kiremit)	0,02	0,19	2330		
	Su yalıtım membranı	0,00	0,36	960		
	Çatı tahtası	0,05	---	---		
	Havalandırma Çatı Arası Boşluğu	0,20	---	---		
	Isı yalıtımı (xps)	0,12	0,04	35		
	Betonarme d.	0,12	2,50	2400		
	Alçı sıva	0,02	0,51	1200		
Toplam	0,53				0,302	0,38
Pencere	Low-E kap. düz cam	0,00	1,00	-		
	Hava boşluğu	0,01	-	-		
	Low-E kap. düz cam	0,00	1,00	-		
	Pvc					1,8
Toplam					1,042	1,80

4.2.2.4. Bina alt sistemine (HVAC) ilişkin veri girişi

Revit programı, kullanıcılara bina yaşam döngüsü boyunca kullanılacak ısıtma ve soğutma sistemleri seçiminde sınırlı alternatifler sunmakta; manuel olarak sistem girişine olanak vermemektedir. Bu sınırlılık içinde çalışmada konutlar için uygun olması nedeniyle “4 Borulu Fancoil, Chiller 5.96 COP, Boyler 84.5 eff” HVAC sistemi seçilmiştir (Şekil 4.17).



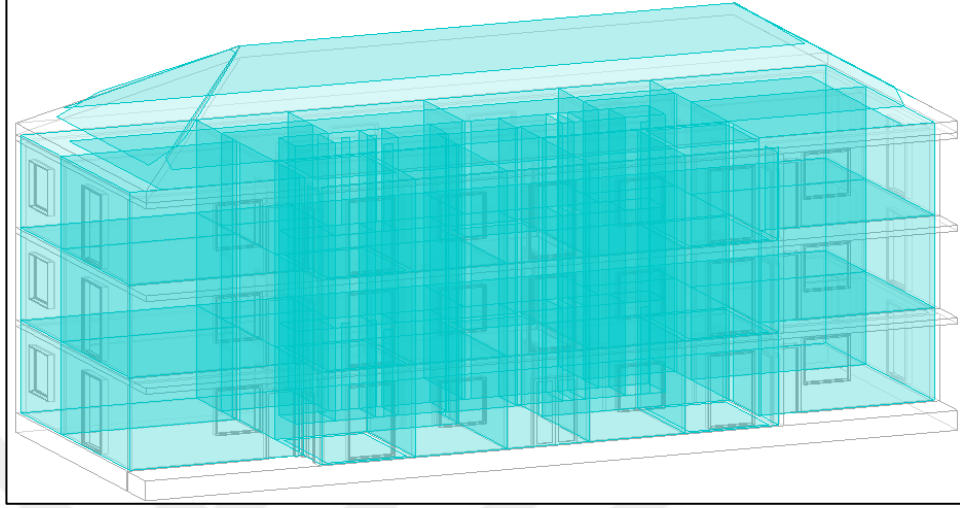
Şekil 4.17. HVAC tip paneli

Bu sistemin genel özellikleri şunlardır:

- Su soğutmalı santrifüj chiller (COP 5.96)
- Değişken hızlı fana sahip, atmosferik basınçlı, açık soğutma kulesi
- Birinci sınıf verimli motor ve Kavisli-İleri sabit hacimli fan
- Statik basınçlı, sabit hacimli 0,25 inç su saati (62,3 pascal) kanal sistemi
- Doğalgazlı, çekme fanlı sıcak su kazanı
- Değişken hacimli soğuk su ve sıcak su pompası
- Soğuk ve sıcak su bobini

- Eysel sıcak su ünitesi (0.575 Energy Factor) (Autodesk, 2020).

Tüm bu veri girişleri kapsamında binanın enerji modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Revit'te oluşturulmuş bina enerji modeli

4.2.2.5. Duvar senaryolarının geliştirilmesi ve kodlanması

Yapı kabuğunu oluşturan dış cephe duvarları, çatı ve pencereler binada ısı kayıplarının en fazla gerçekleştiği tasarım parametreleridir. Binalarda ısı kayıplarının %40'ı dış duvarlardan, %6'sı bodrum döşemesinden, %7'si çatılardan, %30'u pencerelerden ve %17'si hava kaçaklarından kaynaklanmaktadır. Buna göre, binalarda en fazla ısı kaybı duvarlarda meydana gelmektedir (Koyun ve Koç, 2017).

Yüksek (2008)' e göre;

“Dış duvarların ısısal özellikleri ve kütleli özellikleri, kendilerini oluşturan yapı malzemesi ve yapı elemanları katmanlarının özellikleri ve nasıl sıralandıklarıyla yakından ilişkilidir. Isı kayıp ve kazancını en az seviyede tutacak duvarlar, ısı depolama kapasitesi yüksek, ısı yalıtımlı masif duvarlardır” (aktaran Büte, 2014).

Buradan hareketle çalışmada malzeme ve katman sıralamasına göre farklı senaryolar geliştirilmiştir. Senaryolar oluşturulurken Türkiye’de ve özellikle Erzincan’da en yaygın kullanılan malzeme ve katman düzeni dikkate alınmıştır. Algın ve Alkan (2019)’a göre de günümüzde gaz beton, tuğla ve bimsblok yüksek katlı yapılarda, kerpiç ve taş ise

genellikle tek katlı geleneksel binalarda kullanılan temel yapı malzemeleridir (Algın ve Alkan, 2019).

Dolayısıyla duvar alternatiflerinde;

- Duvar ana malzemesi olarak yatay delikli tuğla (190x190x90 mm) ve gaz beton (190x600x250 mm),
- Yalıtım malzemesi olarak Ekstrude Polistren sert köpük (XPS) ve cam yünü,
- Duvar katmanlarında ise yalıtım malzemesinin katman düzenindeki yeri referans alınarak;
 - içten yalıtımlı,
 - dıştan yalıtımlı ve
 - sandviç duvar olmak üzere 3 farklı düzen kullanılmıştır.

Aynı ana malzemedan farklı katman düzenleri ile on üç farklı senaryo geliştirilmiş ve her senaryo kodlanmıştır. Senaryoların oluşumu ve adlandırılmasında izlenen yol Şekil 4.19’da şematik olarak gösterilmiştir.

Ana Malzeme	Yalıtım Malzemesi	Katman Düzeni	Senaryo Adı
Yatay Delikli Tuğla Gaz beton	→ Yok	→ Dıştan Yalıtımlı	→ T-YLTS
	→ XPS		→ T-XPS-D
Karma	→ Cam Yünü	→ İçten Yalıtımlı	→ T-XPS-İ
		→ Sandviç	→ T-XPS-S

Şekil 4.19. Duvar senaryoları oluşumunun ve adlandırılmasının şematik gösterimi

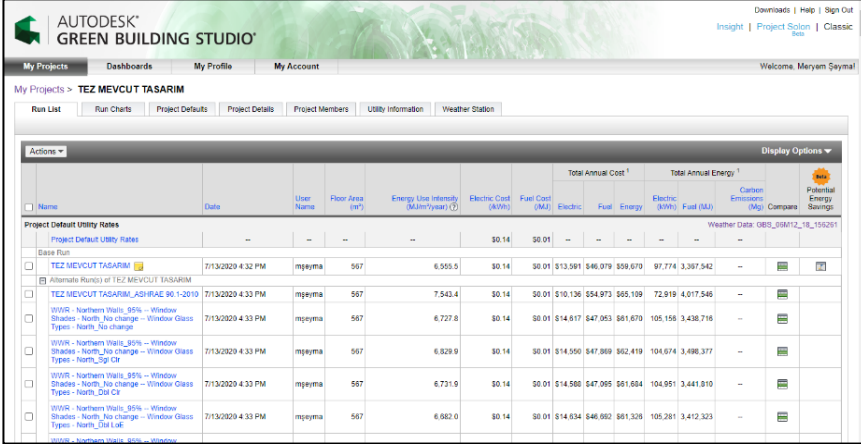
Bu şekilde oluşturulan tüm senaryolar, malzemelerine göre gruplanmıştır. Her gruptaki senaryonun ayrı ayrı enerji tüketimi ve karbon salınımı hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Senaryolara ilişkin detaylar bulgular bölümünde yer almaktadır.

4.2.2.6. Green Building Studio (GBS) ile enerji analizinin yapılması

Yukarıda anlatılan işlem adımlarıyla Revit ile enerji ayarları ve veri girişi yapılan her duvar senaryosu, enerji analizleri yapılmak üzere web tabanlı “Autodesk Green Building Studio” eklentisine aktarılmıştır. “Green Building Studio” ile farklı duvar alternatifleriyle modellenen binanın;

- Yıllık ısıtma yükü
- Yıllık enerji tüketimi,
- Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve
- Yıllık CO₂ emisyonunu içeren enerji performans göstergeleri ile analizi yapılmıştır.

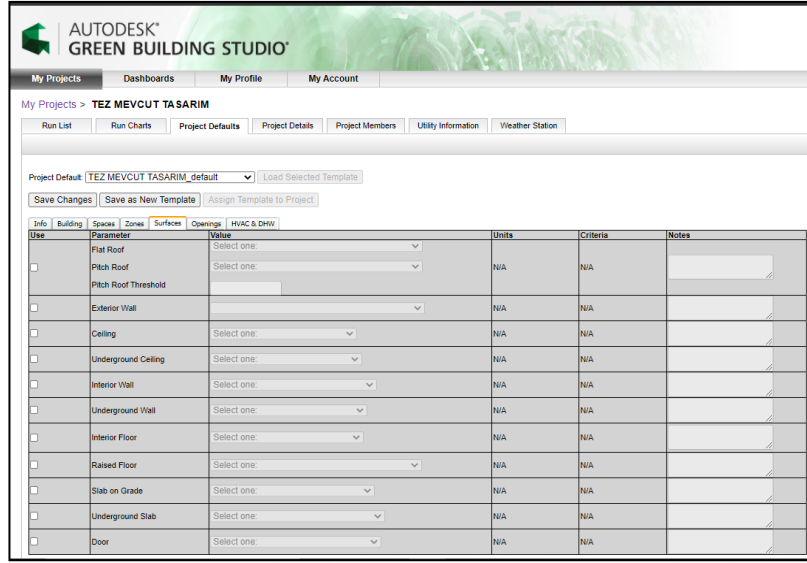
Green Building Studio, enerji analizinin yanı sıra tasarımcıya 250’ye yakın farklı tasarım senaryosu da oluşturabilmektedir (Şekil 4.20). Dolayısıyla bu yazılım yardımıyla tasarımcı farklı tasarım alternatifleri mukayese edilebilmektedir.



Name	Date	User Name	Floor Area (m ²)	Energy Use Intensity (kWh/m ² /year)	Electric Cost (\$/kWh)	Fuel Cost (\$/MJ)	Electric	Fuel	Total Annual Cost ¹	Total Annual Energy ¹	Carbon Emissions (tCO ₂ e)	Potential Energy Savings
Project Default Utility Rates												
Project Default Utility Rates	--	--	--	--	\$0.14	\$0.01	--	--	--	--	--	--
Base Run												
TEZ MEVCUT TASARIM	7/13/2020 4:32 PM	mşeyma	567	6.955.5	\$0.14	\$0.01	\$13.591	\$46.079	\$59.670	97.774	3.397.542	--
Alternate Runs of TEZ MEVCUT TASARIM												
TEZ MEVCUT TASARIM_ASHRAE 90.1-2010	7/13/2020 4:33 PM	mşeyma	567	7.543.4	\$0.14	\$0.01	\$10.136	\$54.973	\$65.109	72.919	4.617.548	--
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_No change	7/13/2020 4:33 PM	mşeyma	567	6.727.0	\$0.14	\$0.01	\$14.617	\$47.063	\$61.679	105.158	3.438.716	--
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_Sgl Ctr	7/13/2020 4:33 PM	mşeyma	567	6.929.9	\$0.14	\$0.01	\$14.550	\$47.869	\$62.419	104.674	3.498.377	--
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_Dbl Ctr	7/13/2020 4:33 PM	mşeyma	567	6.721.9	\$0.14	\$0.01	\$14.580	\$47.065	\$61.684	104.951	3.441.910	--
WWR - Northern Walls_95% - Window Shades - North_No change - Window Glass Types - North_Dbl Lnk	7/13/2020 4:33 PM	mşeyma	567	6.682.0	\$0.14	\$0.01	\$14.834	\$46.062	\$61.326	105.281	3.412.323	--
WWR - Northern Walls_95% - Window												

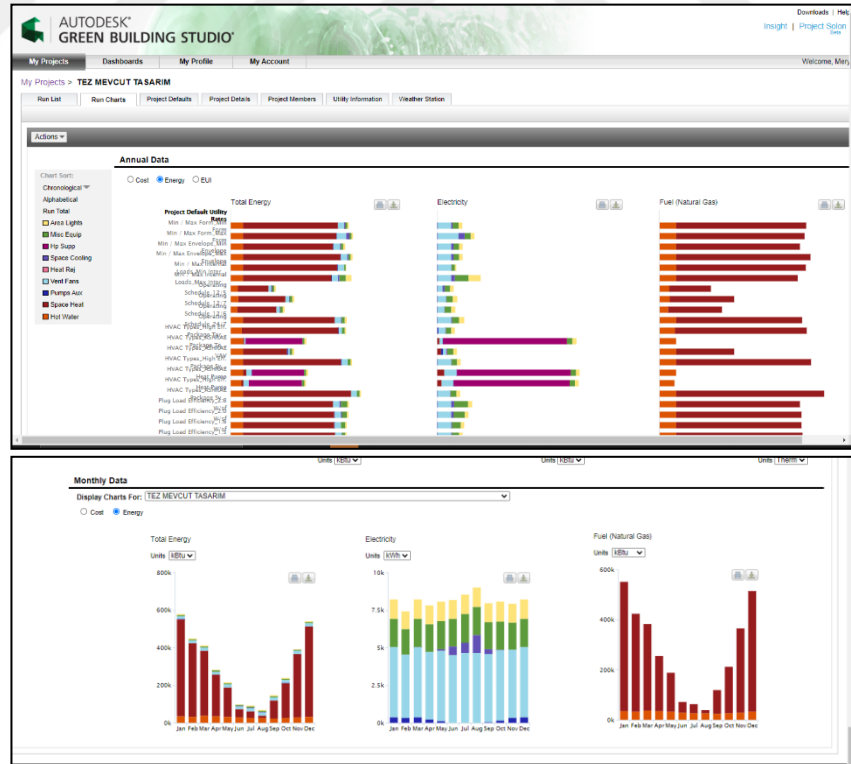
Şekil 4.20. Green Building Studio’da alternatif tasarımlar listesi

Ayrıca, “Project Defaults” sekmesinden belirlenecek parametrelerle, Revit kullanılmaksızın, aynı projeye alternatifler oluşturularak analizler yapılabilmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Green Building Studio'da alternatif tasarım oluşturma sekmesi

Green Building Studio, analiz sonuçlarını hem sayısal değer hem de grafik olarak vermektedir. Bu da kullanıcılara tasarımın yorumlanması bakımından kolaylık sağlamaktadır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Analiz sonuçlarının grafiksel ve sayısal olarak GBS'da görünümü

4.2.2.7. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışmada analizler, her senaryo için ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu süreçte aşağıdaki yol izlenmiştir:

Birinci Aşama: aynı malzemeye sahip alternatifler gruplandırılarak her grup kendi içinde değerlendirilmiş, en düşük toplam enerji tüketimini sağlayan alternatif, “*en iyi enerji performansı gösteren senaryo*”, en yüksek toplam enerji tüketimine neden olan alternatif, “*en kötü enerji performansı gösteren senaryo*” olarak tanımlanmıştır. Karbon emisyonları çerçevesinde yapılan değerlendirmelerde ise en düşük karbon salınımı yapan alternatif “*en iyi çevre performansı gösteren senaryo*”, en fazla salınım yapan alternatif ise “*en kötü çevre performansı gösteren senaryo*” şeklinde tanımlanmıştır.

İkinci Aşama: Her grubun hem enerji hem de karbon salınımı açısından en iyi performans gösteren senaryoları birbirleri ile karşılaştırılmış ve bunlar içerisinde en iyi senaryo belirlenmiştir. Bu yolla optimum duvar malzeme ve değerleri tespit edilirken, duvar tasarımında malzeme ve katmanlaşmanın etkisi irdelenmiştir.

Üçüncü Aşama: En iyi enerji ve çevre performansı gösteren senaryonun yalıtım malzemesinin türü değiştirilerek tekrar enerji ve karbon salınım analizleri yapılmıştır. Bu yeni senaryo ile en iyi performans gösteren diğer senaryo birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Böylece yalıtım malzemesi türünün enerji performansı üzerindeki etkisi de irdelenmiştir.

Her değerlendirme aşamasında yapılan analizler grafiklerle ifade edilmiştir. Ayrıca en kötü performans gösteren alternatif esas alınarak diğer senaryoların ona kıyasla yıllık ısıtma yükü, yıllık m² başına düşen enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbondioksit emisyonu göstergelerinde oluşan azalma, yüzde olarak belirlenmiş, azaltım yüzdeleri olarak çizelgelerle ifade edilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Binalarda enerji tüketiminin azaltılması öncelikle tasarım parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi ile mümkündür. Bu tez çalışmasında da enerji tüketiminde önemli tasarım parametrelerinden olan yapı kabuğunun düşey elemanı olan duvar parametresi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında soğuk iklim bölgesinde yer alan Erzincan kent merkezindeki konutlarda en çok tercih edilen duvar malzeme ve katmanlarından hareketle farklı duvar senaryoları geliştirilmiş, ısıtma yükleri için enerji tüketimi açısından parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çerçevede binanın 3 boyutlu modeli ve duvar senaryolarına ilişkin enerji ayarları, BIM tabanlı yazılım Revit ile yapılmıştır. Oluşturulan duvar alternatiflerinin enerji performans analizleri ise Autodesk eklentisi olan Green Building Studio kullanılarak yapılmış ve senaryolar karşılaştırılmıştır.

5.1. Duvar Senaryolarının Enerji Performans ve Karbon Emisyon Analizleri

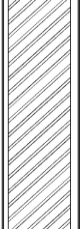

Çalışmada soğuk iklimli yerleşim yerlerinde ısıtma enerjisi tüketimini azaltacak enerji performansı en iyi duvar tipini belirlemek ve bu çerçevede malzeme ile katman tasarımının etkisini araştırmak amacıyla 13 farklı duvar senaryosu oluşturulmuştur. Senaryolar, malzemelerine göre gruplanarak;

- Yıllık ısıtma yükü,
- Yıllık enerji tüketimi,
- Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve
- Yıllık karbondioksit emisyonu göstergeleri ile değerlendirilmiştir.

5.1.1. Yalıtım katmansız duvar senaryolarının analizi

Bu grupta; yalıtım katmanı bulunmayan, ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz beton olan T-YLTS ve GB-YLTS kodlu 2 duvar alternatifi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu iki senaryoda duvarlar 0,25 m kalınlığında olup malzemeleri, katmanları ve termofiziksel özellikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

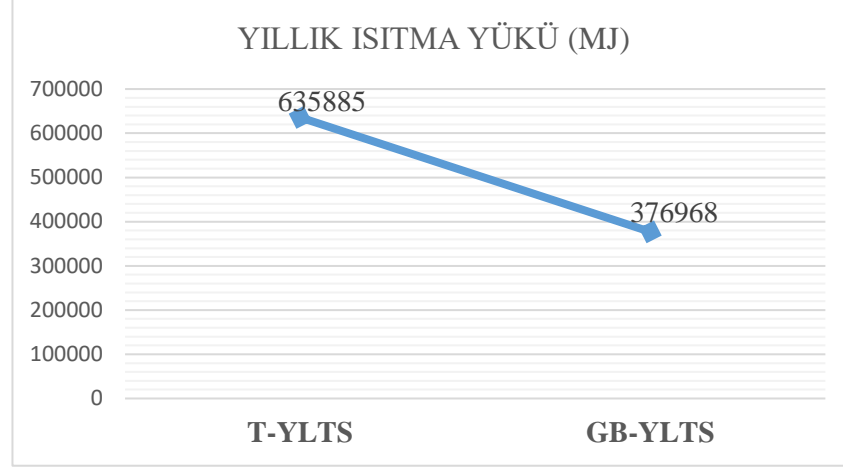
Tablo 5.1. Yalıtım katmansız duvar senaryoları

Duvar tipi	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	R değeri (m ² K) /W
T-YLTS 	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	1000		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam		0,25			1,912
GB-YLTS 	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Gaz beton	0,19	0,04	102		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam		0,25			0,216

U: Isıl geçirgenlik katsayısı W/ (m²K)

R: Isıl direnç katsayısı (m²K) /W

Bu iki farklı malzeme değişkeniyle oluşturulan yalıtımsız dış duvarlı binanın ısıtma yükleri, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yalıtımsız duvarda yatay delikli tuğla yerine gaz beton kullanıldığında ısıtma yüklerinde %40,71 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Şekil 5.1 ve Tablo 5.2).

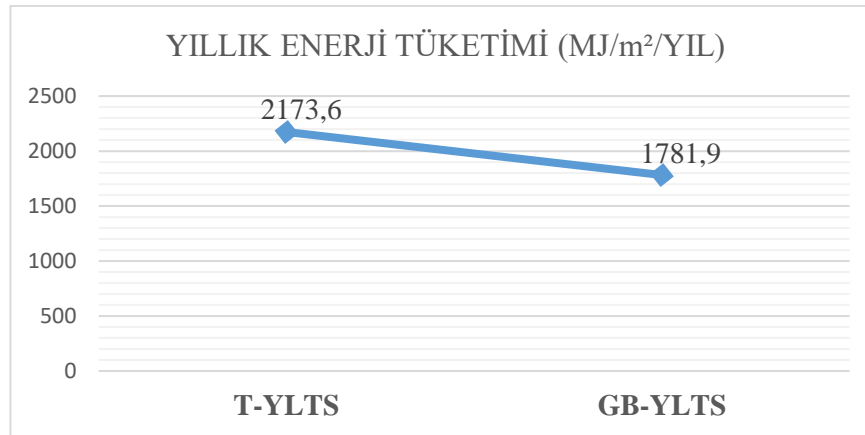


Şekil 5.1. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma yükü değerleri

Tablo 5.2. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	GB-YLTS
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	635885	376968
Yıllık Isıtma yükü azalım yüzdesi		%40,71

Yalıtımsız duvarda yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanım durumlarının metrekare başına düşen yıllık enerji tüketimi Şekil 5.2’de grafik olarak sunulmuş, Tablo 5.3’ te ise karşılaştırılmıştır. Buna göre yalıtımsız duvarda gaz beton kullanıldığında %18,02 oranında enerji tasarrufu elde etmek mümkündür.

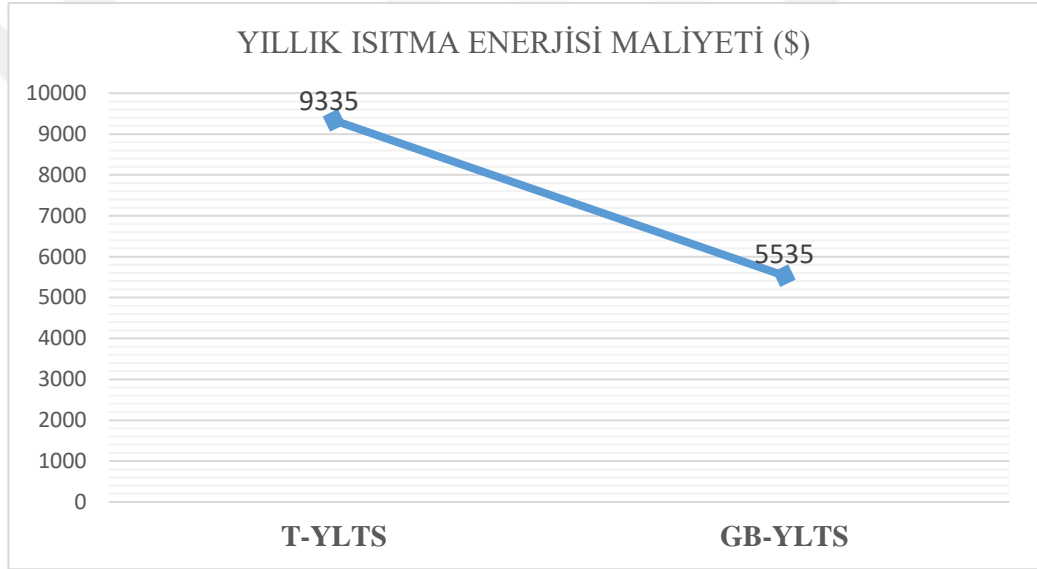


Şekil 5.2. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji tüketim değerleri

Tablo 5.3. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	GB-YLTS
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	2173,6	1781,9
Yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi		%18,02

Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti analiz sonuçları ise Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre yalıtımsız duvarda yatay delikli tuğla yerine gaz beton kullanıldığında Tablo 5.4'te görüldüğü üzere yakıt maliyetinde %40,70 oranında bir kazanım sağlanmaktadır.



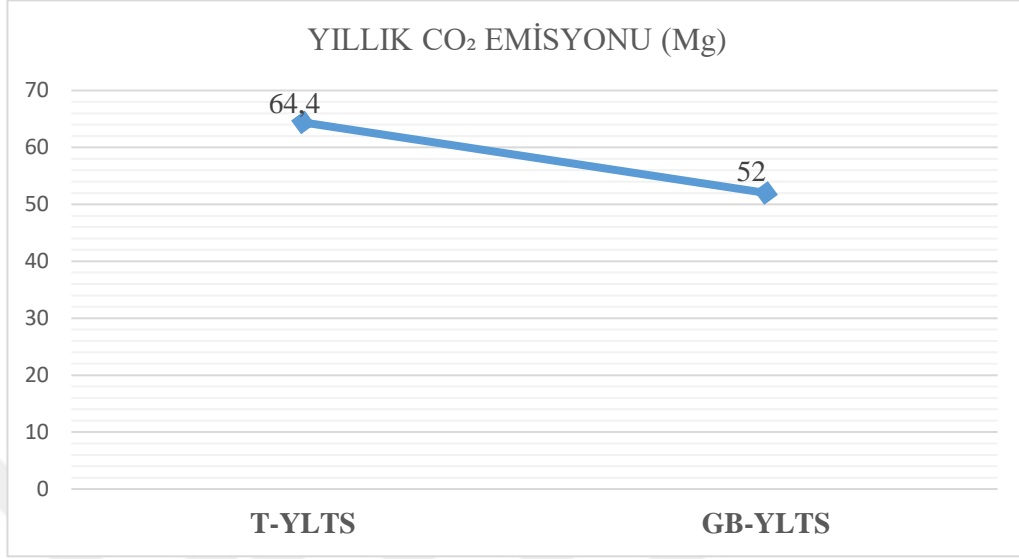
Şekil 5.3. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık enerji maliyet değerleri

Tablo 5.4. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	GB-YLTS
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	9335	5535
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi		%40,70

Oluşturulan yalıtımsız iki duvar senaryosunun yıllık karbon emisyonuna ilişkin analiz sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu iki alternatif karşılaştırıldığında G-YLTS kodlu yalıtımsız gaz beton duvar alternatifinin, T-YLTS kodlu yatay delikli tuğla duvar

alternatifine göre %18,6 oranında daha az karbon emisyonuna neden olduğu görülmüştür (Tablo 5.5).



Şekil 5.4. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık CO₂ emisyon değerleri

Tablo 5.5. Yalıtımsız duvar tipleri yıllık CO₂ emisyonu azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	G-YLTS
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)	64,4	52,0
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi		%18,6

Bu göstergelere göre yalıtım katmansız, G-YLTS kodlu gaz beton duvar alternatifi hem “en iyi enerji performansı” hem de “en iyi çevre performansı” gösteren senaryodur.

5.1.2. Yalıtım katmanlı duvar senaryolarının enerji analizi

Yalıtım katmanlı duvar senaryoları oluştururken yalıtım malzemesi olarak 0,08 m kalınlığında “Ekstrude Polistren sert köpük (XPS)” sabit değer olarak kabul edilmiş ve aşağıdaki gruplarda alternatif duvar senaryoları oluşturulmuştur:

- Ana malzemesi yatay delikli tuğla olan duvar senaryoları
- Ana malzemesi gaz beton olan duvar senaryoları

- Yatay delikli tuğla ve gaz betonun birlikte kullanıldığı (karma) duvar senaryoları

Ana malzemesi yatay delikli tuğla olan duvar senaryoları

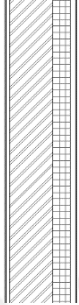
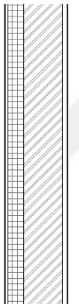
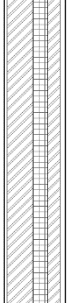
Bu grupta; yalıtım katmanlı, ana malzemesi yatay delikli tuğla olan T-XPS-D, T-XPS-İ ve T-XPS-S kodlu 3 duvar alternatifinin yıllık ısıtma yükleri, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Yalıtım katmansız T-YLTS kodlu ana malzemesi yatay delikli tuğla olan duvar referans alınarak duvar alternatifleri karşılaştırılmıştır.

Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryolar aşağıdaki gibidir:

- T-XPS-D: Yalıtım malzemesinin dıştan uygulandığı duvar senaryosu
- T-XPS-İ: Yalıtım malzemesi içten uygulanan duvar senaryosu
- T-XPS-S: Sandviç uygulamalı duvar senaryosu

Bu senaryolara göre T-XPS-D, T-XPS-İ ve T-XPS-S şeklinde kodlanan duvar alternatifleri 0,33 m kalınlığında olup Tablo 5.6'da malzemeleri, katmanları ve termofiziksel özellikleri gösterilmiştir.

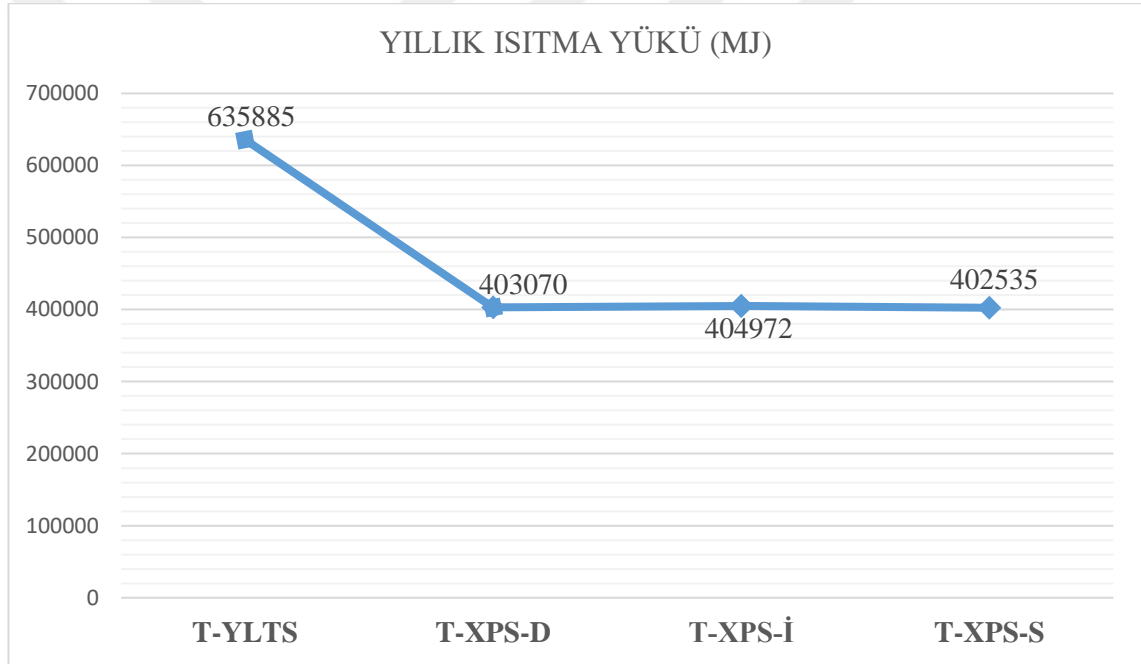
Tablo 5.6. Ana malzemesi yatay delikli tuğla olan duvar senaryoları

Duvar tipi	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	R değeri (m ² K)/W
T-XPS-D	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	1000		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam	0,33			0,396	2,522
T-XPS-İ	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	1000		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam	0,33			0,396	2,522
T-XPS-S	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yatay delikli tuğla	0,06	0,45	1000		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Yatay delikli tuğla	0,13	0,45	1000		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam	0,33			0,396	2,522

U: Isıl geçirgenlik katsayısı W/ (m²K)

R: Isıl direnç katsayısı (m²K) /W

XPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan 3 tuğla duvar senaryosunun ısıtma yükleri, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Yıllık ısıtma yüküne ilişkin analiz sonuçları Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre T-YLTS kodlu yalıtımsız tuğla duvar senaryosuna göre XPS yalıtım malzemeli sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar senaryosu ile ısıtma yüklerinde %36,70 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.7). Dıştan yalıtımlı T-XPS-D kodlu duvar senaryosu ile ısıtma yüklerindeki azalma oranı ise %36,61'dir.

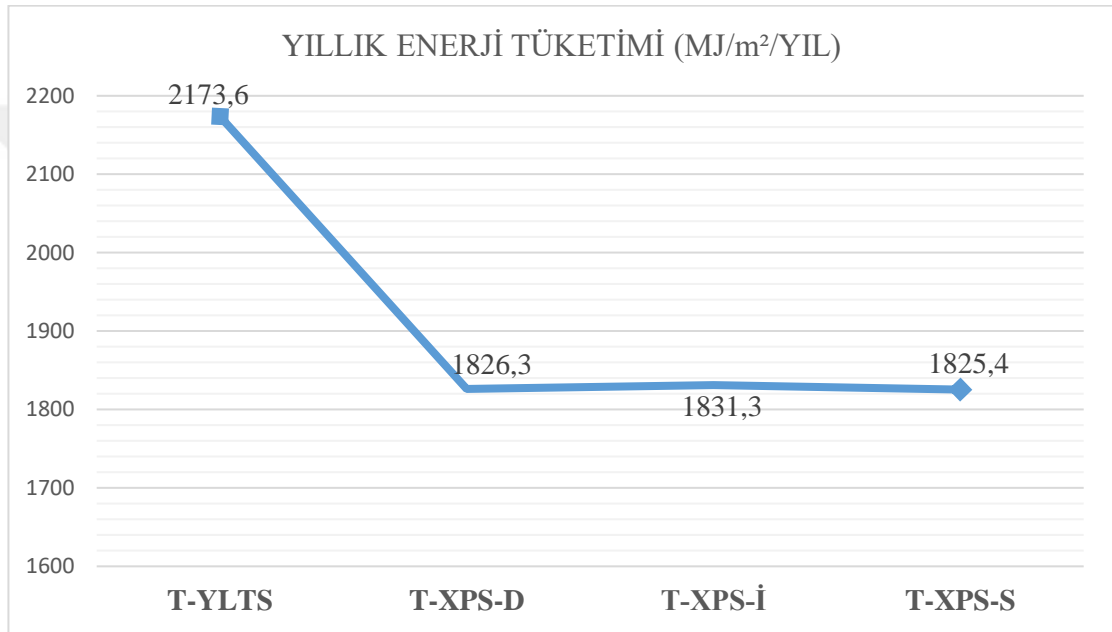


Şekil 5.5. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri

Tablo 5.7. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	T-XPS-D	T-XPS-İ	T-XPS-S
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	635885	403070	404972	402535
Yıllık Isıtma yükü azalım yüzdesi		%36,61	%36,31	%36,70

XPS yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan duvar senaryolarının metrekare başına düşen yıllık enerji tüketimi Şekil 5.6'da gösterilmiş, Tablo 5.8'de ise karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yalıtımsız tuğla duvar T-YLTS senaryosu yerine XPS yalıtım malzemeli ve sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık metrekare başına düşen enerji tüketiminde %16,02 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür. Dıştan yalıtımlı T-XPS-D kodlu duvar senaryosu ile yıllık metrekare başına düşen enerji tüketiminde azalma oranı ise %15,97'dir.



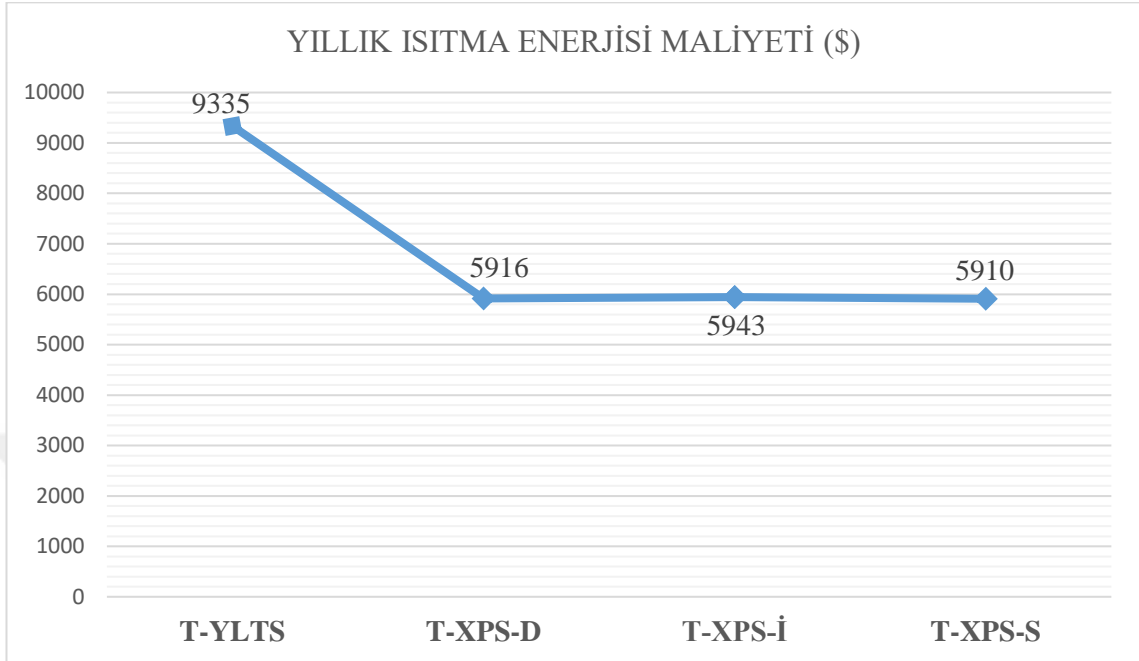
Şekil 5.6. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan tiplerin yıllık enerji tüketim değerleri

Tablo 5.8. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	T-XPS-D	T-XPS-İ	T-XPS-S
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m²/yıl)	2173,6	1826,3	1831,3	1825,4
Yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi		%15,97	%15,74	%16,02

Bu gruptaki duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti analiz sonuçları Şekil 5.7'de verilmiştir. Sonuçlara göre T-YLTS kodlu yalıtımsız tuğla duvar senaryosu yerine sandviç uygulamalı T-XPS-S senaryosu kullanıldığında Tablo 5.9'da görüldüğü gibi

yakıt maliyetinde %36,69 oranında bir kazanım sağlanmaktadır. T-XPS-D kodlu dıştan yalıtımlı senaryonun yakıt maliyetine olan etkisi ise %36,63'tür.

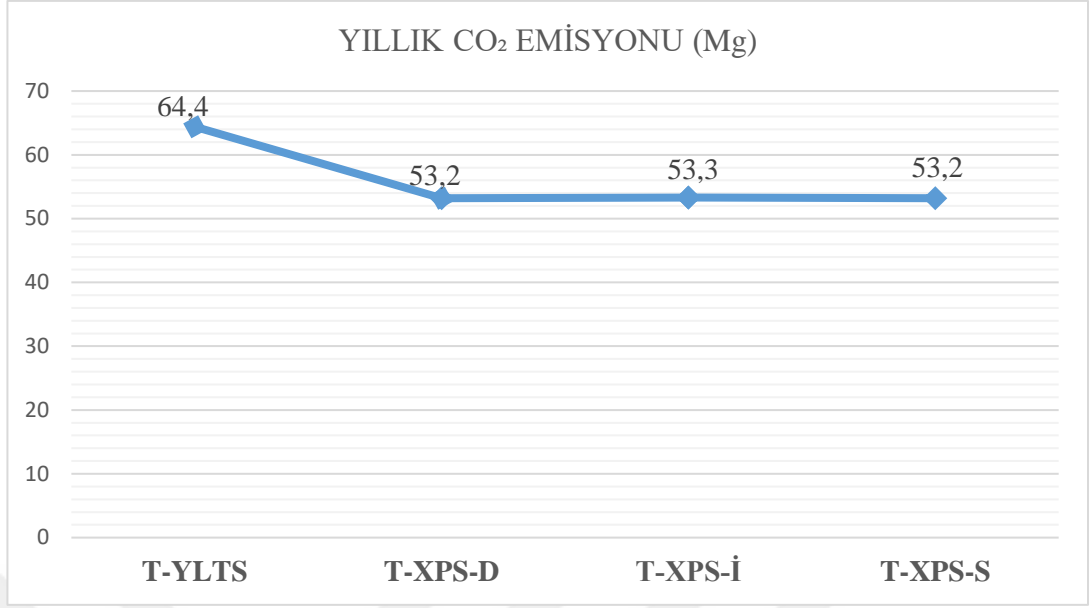


Şekil 5.7. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık enerji maliyet değerleri

Tablo 5.9. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	T-XPS-D	T-XPS-İ	T-XPS-S
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	9335	5916	5943	5910
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi		%36,63	%36,33	%36,69

XPS yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla kullanılarak oluşturulan senaryoların yıllık karbon emisyonu analiz sonuçları Şekil 5.8'de verilmiştir. Alternatif senaryolar karşılaştırıldığında Tablo 5.10'da görüldüğü gibi hem T-XPS-D kodlu dıştan yalıtımlı yatay delikli tuğla duvar senaryosu hem de T-XPS-S kodlu sandviç uygulamalı yatay delikli tuğla duvar senaryosu T-YLTS kodlu yalıtımsız yatay delikli tuğla duvar alternatifine göre %17,3 oranında daha az karbon emisyonuna neden olduğu görülmüştür.



Şekil 5.8. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyon değerleri

Tablo 5.10. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyonu azalım yüzdesi

Tip	T-YLTS	T-XPS-D	T-XPS-İ	T-XPS-S
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)	64,4	53,2	53,3	53,2
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi		%17,3	%17,2	%17,3

Bu göstergelere göre yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryolar içerisinde hem enerji verimliliği hem de karbon salınımı açısından XPS yalıtım malzemeli ve sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifi hem “*en iyi enerji performansı*” hem de “*en iyi çevre performansı*” gösteren senaryodur. Analiz sonuçlarına göre yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşturulan senaryolar içerisinde hem enerji verimliliği hem de karbon salınımı açısından XPS yalıtım malzemeli ve içten yalıtım uygulamalı T-XPS-İ kodlu duvar alternatifi hem “*en kötü enerji performansı*” hem de “*en kötü çevre performansı*” gösteren senaryodur. Oluşturulan aynı toplam kalınlıktaki malzeme ve termofiziksel özelliklere sahip duvar senaryoları göstermiştir ki; yalıtım malzemesinin yeri, enerji ve çevre performansını etkilemektedir.

Ana strüktür malzemesi gaz beton olan duvar senaryoları

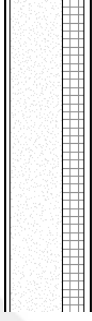
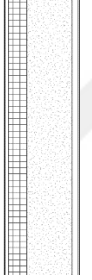
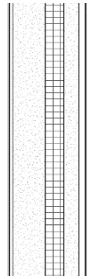
Bu grupta; yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz beton olan GB-XPS-D, GB-XPS-İ ve GB-XPS-S kodlu 3 duvar alternatifinin yıllık ısıtma yükleri, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır. Yalıtım katmansız GB-YLTS kodlu duvar referans alınarak duvar alternatifleri karşılaştırılmıştır.

Bu duvar grubunda oluşturulan 3 farklı senaryo aşağıdaki gibidir:

- GB-XPS-D: Yalıtım malzemesinin dışarıdan uygulandığı duvar senaryosu
- GB-XPS-İ: Yalıtım malzemesi içten uygulanan duvar senaryosu
- GB-XPS-S: Sandviç uygulamalı duvar senaryosu

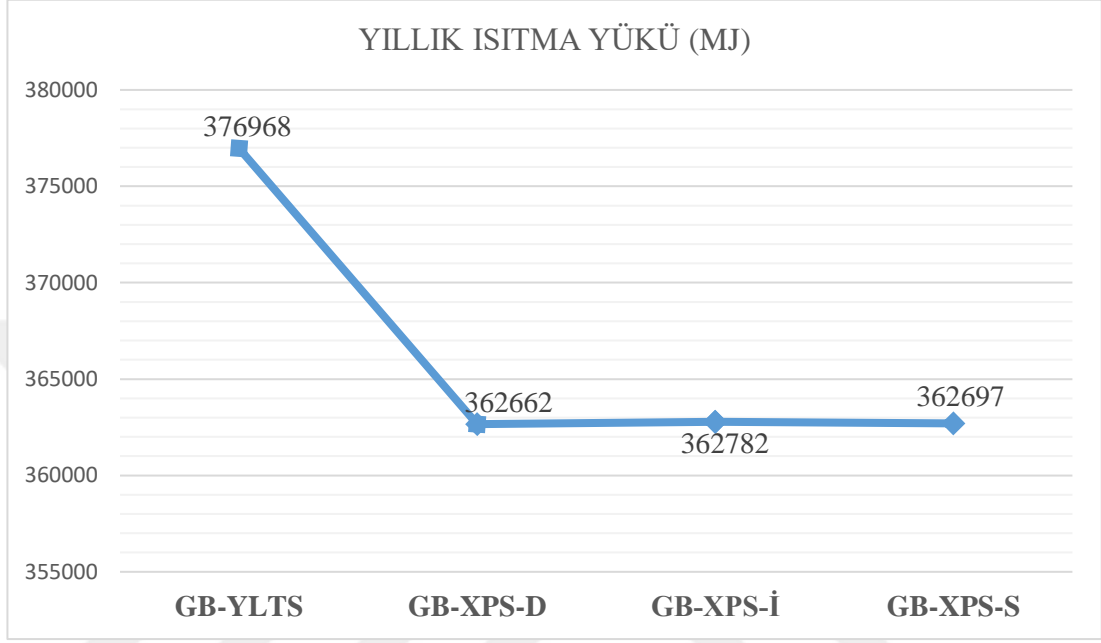
Tüm senaryolarda duvar 0,33 m kalınlığındadır. Tablo 5.11’de senaryolar malzemeleri, katmanları ve termofiziksel özellikleri ile gösterilmiştir.

Tablo 5.11. Ana strüktür malzemesi gaz beton olan duvar senaryoları

Duvar tipi	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	R değeri (m ² K)/W
GB-XPS-D 	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Gaz beton	0,19	0,04	102		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
Toplam		0,33			0,151	6,623
GB-XPS-İ 	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Gaz beton	0,19	0,04	102		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
Toplam		0,33			0,151	6,623
GB-XPS-S 	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Gaz beton	0,06	0,04	102		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Gaz beton	0,13	0,04	102		
Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200			
Toplam		0,33			0,151	6,623

U: Isıl geçirgenlik katsayısı W/ (m²K) R: Isıl direnç katsayısı (m²K) /W

XPS yalıtım malzemesi ve gaz betondan oluşturulan duvar senaryolarının ısıtma yükleri analiz sonuçları Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre GB-YLTS kodlu duvar senaryosuna kıyasla dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu senaryo ile ısıtma yüklerinde %3,80 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.12).

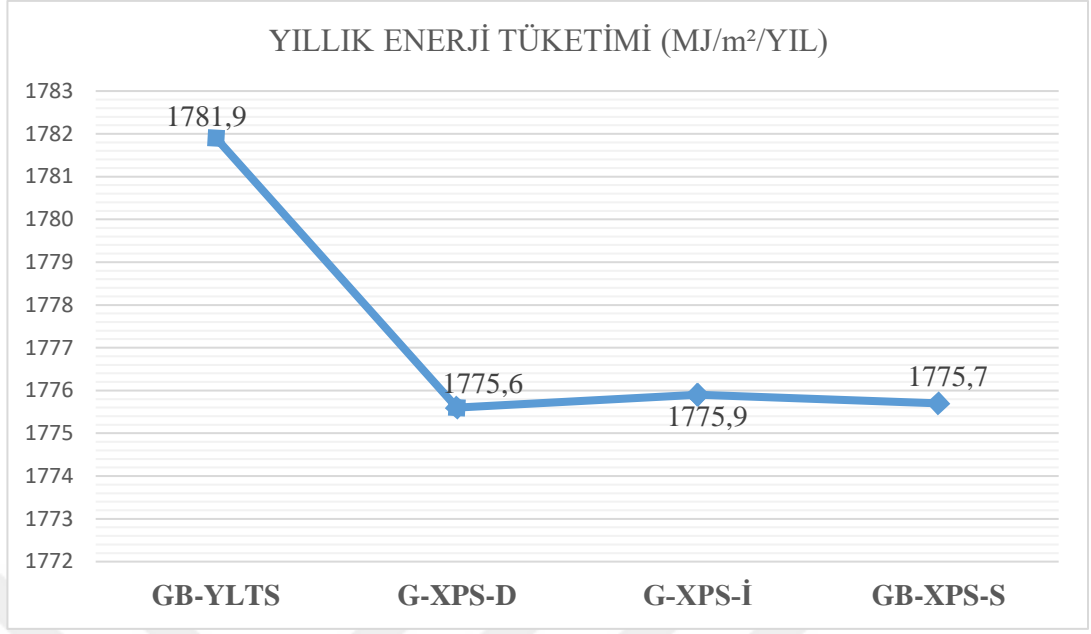


Şekil 5.9. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri

Tablo 5.12. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi

Tip	GB-YLTS	GB-XPS-D	GB-XPS-İ	GB-XPS-S
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	376968	362662	362782	362697
Yıllık Isıtma yükü azalım yüzdesi		%3,80	%3,76	%3,78

Benzer şekilde bu gruptaki duvar senaryolarının metrekare başına düşen yıllık enerji tüketimine ilişkin analiz sonuçları Şekil 5.10’da gösterilmiş, Tablo 5.13’te ise karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yalıtımsız gaz beton duvar alternatifi olan GB-YLTS kodlu senaryosuna karşılık dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu duvar senaryosu ile yıllık metrekare başına düşen enerji tüketiminde %0,35 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür.

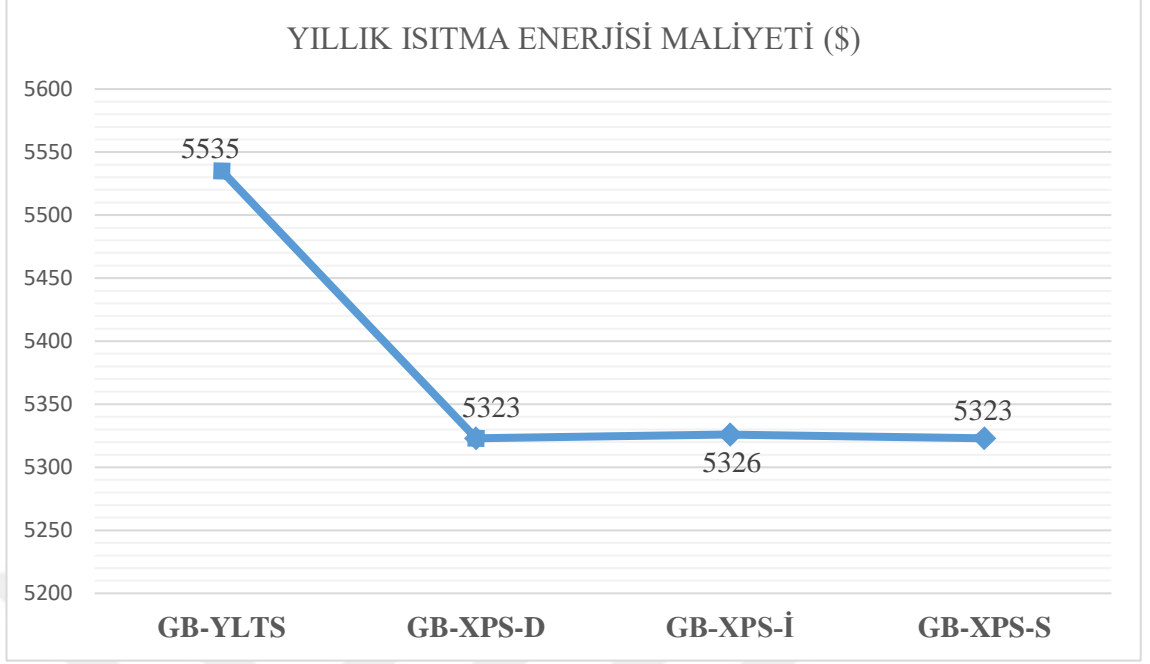


Şekil 5.10. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan tiplerin yıllık enerji tüketim değerleri

Tablo 5.13. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi

Tip	GB-YLTS	GB-XPS-D	GB-XPS-İ	GB-XPS-S
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	1781,9	1775,6	1775,9	1775,7
Yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi		%0,35	%0,33	%0,34

Duvar senaryolarının yıllık enerji maliyeti analiz sonuçları Şekil 5.11’de verilmiştir. Sonuçlara göre yalıtımsız GB-YLTS kodlu duvar senaryosu yerine dıştan yalıtımlı GB-XPS-D ve GB-XPS-S kodlu duvar senaryoları ile yakıt maliyetinde %3,83 oranında bir kazanım sağlanmaktadır (Tablo 5.14).

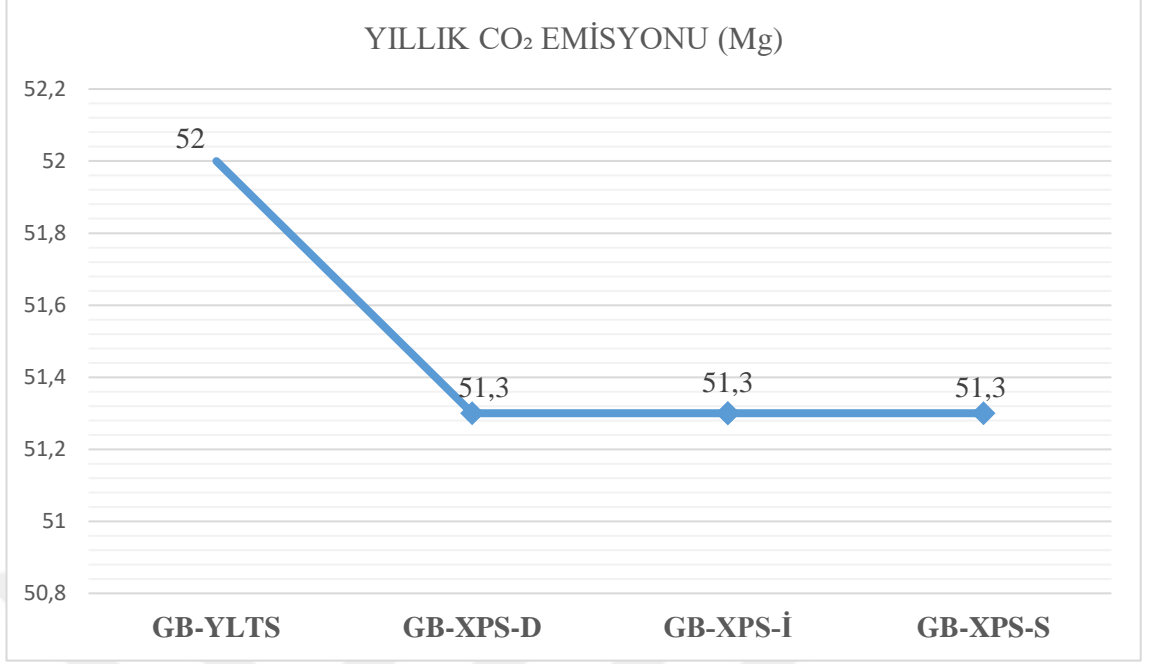


Şekil 5.11. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri

Tablo 5.14. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi

Tip	GB-YLTS	GB-XPS-D	GB-XPS-İ	GB-XPS-S
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	5535	5323	5326	5323
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi		%3,83	%3,77	%3,83

XPS yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık karbon emisyonu analiz sonuçları Şekil 5.12’de verilmiştir. Karbon emisyonları çerçevesinde alternatif senaryolar karşılaştırıldığında Tablo 5.15’te görüldüğü gibi GB-XPS-D, GB-XPS-İ ve GB-XPS-S senaryoları, GB-YLTS kodlu duvar alternatifine göre %1,35 oranında daha az karbon emisyonuna neden olduğu görülmüştür.



Şekil 5.12. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyon değerleri

Tablo 5.15. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyonu azalım yüzdesi

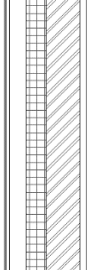
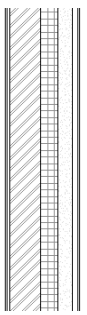
Tip	GB-YLTS	GB-XPS-D	GB-XPS-İ	GB-XPS-S
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)	52,0	51,3	51,3	51,3
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi		%1,35	%1,35	%1,35

Bu göstergelere göre yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan senaryoların içerisinde enerji verimliliği açısından XPS yalıtım malzemeli ve dıştan yalıtım uygulamalı GB-XPS-D duvar alternatifi “*en iyi enerji performansı*” gösteren senaryosudur. Karbon salınımı performansı açısından ise tüm senaryolar aynı değerleri vermiştir. Oluşturulan duvar alternatifi senaryolarının analiz sonuçlarına göre ana malzemesi gaz beton olan aynı toplam kalınlıkta ve aynı termofiziksel değerlere sahip duvar tiplerinde “*en kötü enerji performansı*” gösteren içten yalıtımlı GB-XPS-İ kodlu duvar tasarımıdır, sandviç uygulamalı GB-XPS-S duvar tasarımı ise her ne kadar en iyi enerji performansı gösteren dıştan yalıtım uygulamalı GB-XPS-D kodlu duvar tipine yakın sonuçlar verse de uygulamada oluşabilecek hatalar göz ardı edilmemelidir.

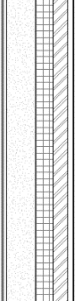
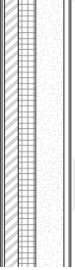
Yatay delikli tuğla ve gaz betonun birlikte kullanılmasıyla (karma) oluşturulan duvar senaryoları

Bu duvar grubunda ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz beton, yalıtım malzemesi XPS'ten oluşan 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. K-XPS-S1, K-XPS-S2, K-XPS-S3 ve K-XPS-S4 kodlu alternatiflerde duvar 0,33 m kalınlığındadır. Tablo 5.16'da bu senaryolar duvar malzemeleri, kalınlıkları, katman düzeni ve termofiziksel özellikleri ile gösterilmiştir.

Tablo 5.16. Yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanılarak oluşturulan duvar senaryoları

Duvar tipi	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	R değeri (m ² K)/W
K-XPS-S1	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	 Yatay delikli tuğla	0,13	0,45	1000		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Gaz beton	0,06	0,04	102		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
Toplam		0,33			0,259	3,855
K-XPS-S2	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	 Gaz beton	0,06	0,04	102		
	Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
	Yatay delikli tuğla	0,13	0,45	1000		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
Toplam		0,33			0,259	3,855

Tablo 5.17. Devam yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanılarak oluşturulan duvar senaryoları

	K-XPS-S3	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
		Yatay delikli tuğla	0,06	0,45	1000		
		Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
		Gaz beton	0,13	0,04	102		
		Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam		0,33			0,189	5,291
	K-XPS-S4	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
		Gaz beton	0,13	0,04	102		
		Yalıtım malzemesi (xps)	0,08	0,04	35		
		Yatay delikli tuğla	0,06	0,45	1000		
		Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam		0,33			0,189	5,291

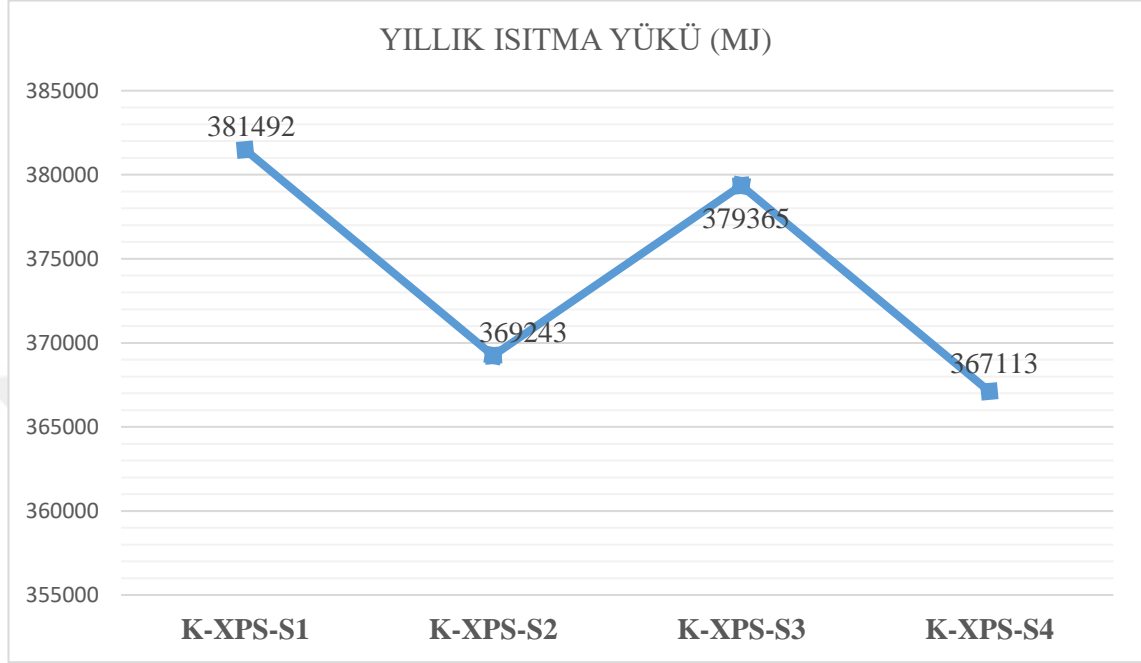
U: Isıl geçirgenlik katsayısı $W / (m^2K)$

R: Isıl direnç katsayısı $(m^2K) / W$

XPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan 4 farklı duvar senaryoları ile meydana getirilen dış duvarlı binanın ısıtma yükleri, yıllık enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyon miktarı hesaplanmıştır.

Yıllık ısıtma yükü analiz sonuçları Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en kötü enerji performansı sağlayan sandviç duvar uygulamalı XPS yalıtım malzemeli ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında yatay delikli tuğla, içte 0,06 m kalınlığında gaz betondan oluşan K-XPS-S1 kodlu duvar senaryosu yerine ana malzemeleri; dışta 0,13

m kalınlığında gaz beton, içte 0,06 m kalınlığında yatay delikli tuğla oluşan K-XPS-S4 kodlu duvar senaryosu kullanıldığında ısıtma yüklerinde %3,77 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.17).



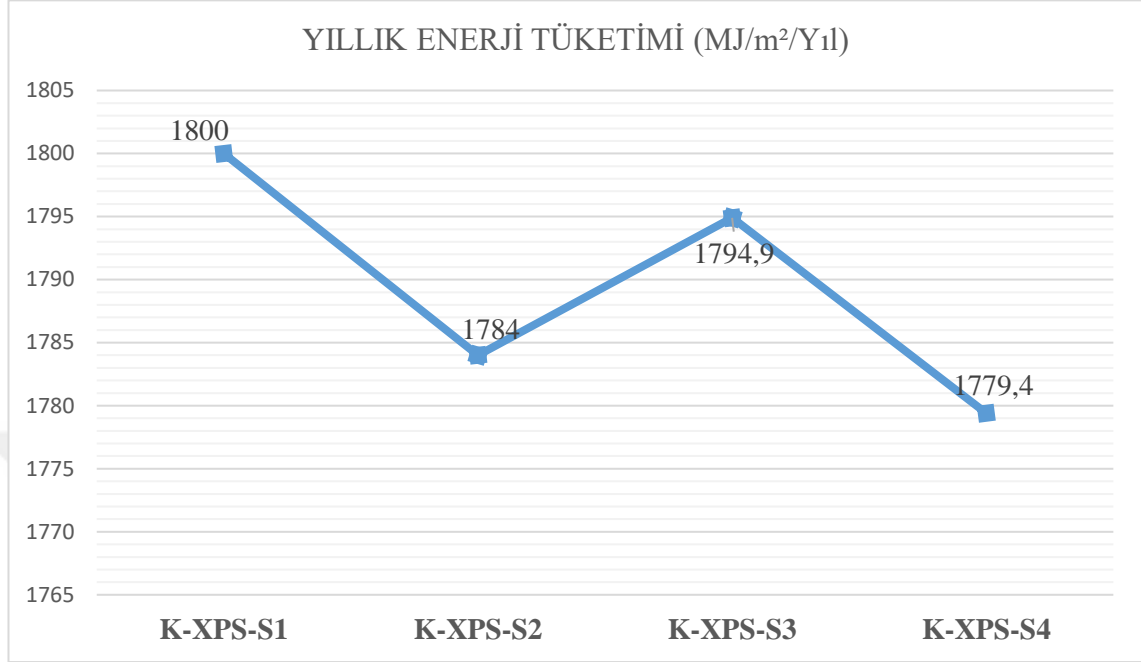
şekil 5.13. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü değerleri

Tablo 5.18. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi

Tip	K-XPS-S1	K-XPS-S2	K-XPS-S3	K-XPS-S4
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	381492	369243	379365	367113
Yıllık Isıtma yükü azalım yüzdesi		%3,21	%0,55	%3,77

Yıllık enerji tüketimi analiz sonuçları şekil 5.14'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en düşük enerji performansı sağlayan sandviç duvar uygulamalı XPS yalıtım malzemeli ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında yatay delikli tuğla, içte 0,06 m kalınlığında gaz betondan oluşan K-XPS-S1 kodlu duvar senaryosu yerine ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında gaz beton, içte 0,06 m kalınlığında yatay delikli tuğla oluşan K-XPS-S4

kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık metrekare başına düşen enerji tüketiminde %1,14 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.18).



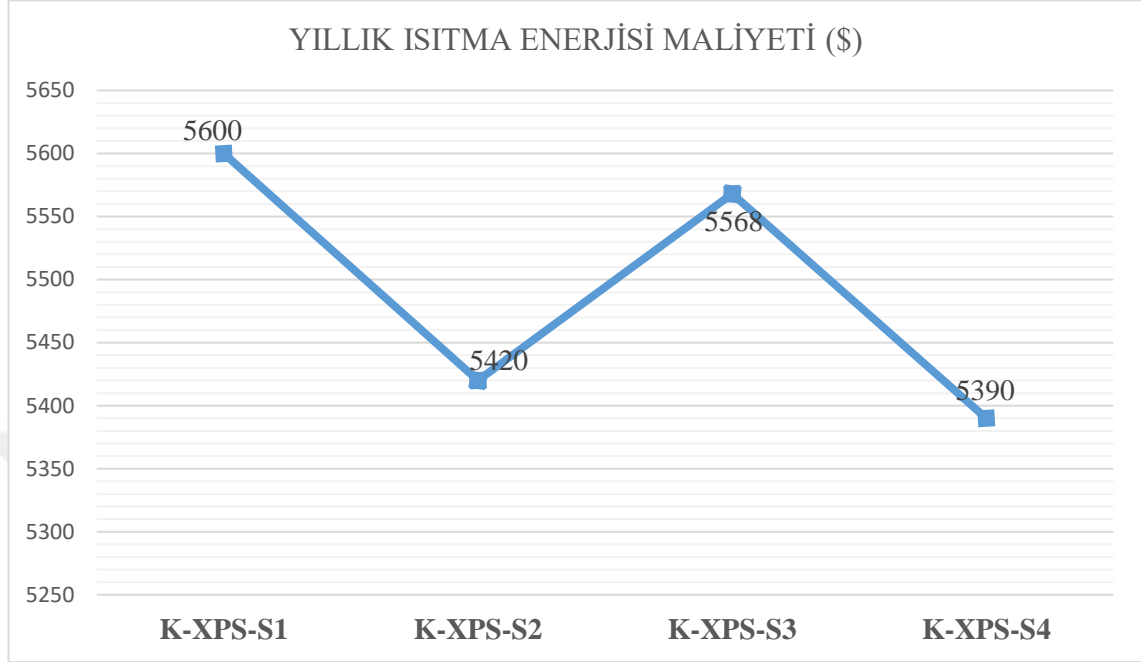
Şekil 5.14. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık enerji tüketim değerleri

Tablo 5.19. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi gaz betondan oluşturulan yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi

Tip	K-XPS-S1	K-XPS-S2	K-XPS-S3	K-XPS-S4
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	1800,0	1784,0	1794,4	1779,4
Yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi		%0,89	%0,31	%1,14

Oluşturulan duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti analiz sonuçları Şekil 5.15'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en düşük enerji performansı sağlayan sandviç duvar uygulamalı XPS yalıtım malzemeli ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında yatay delikli tuğla, içte 0,06 m kalınlığında gaz betondan oluşan K-XPS-S1 kodlu duvar senaryosu yerine ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında gaz beton, içte 0,06 m kalınlığında yatay delikli tuğla oluşan K-XPS-S4 kodlu duvar senaryosu kullanıldığında

Tablo 5.19’da görüldüğü üzere yakıt maliyetinde %3,75 oranında bir kazanım sağlanmaktadır.



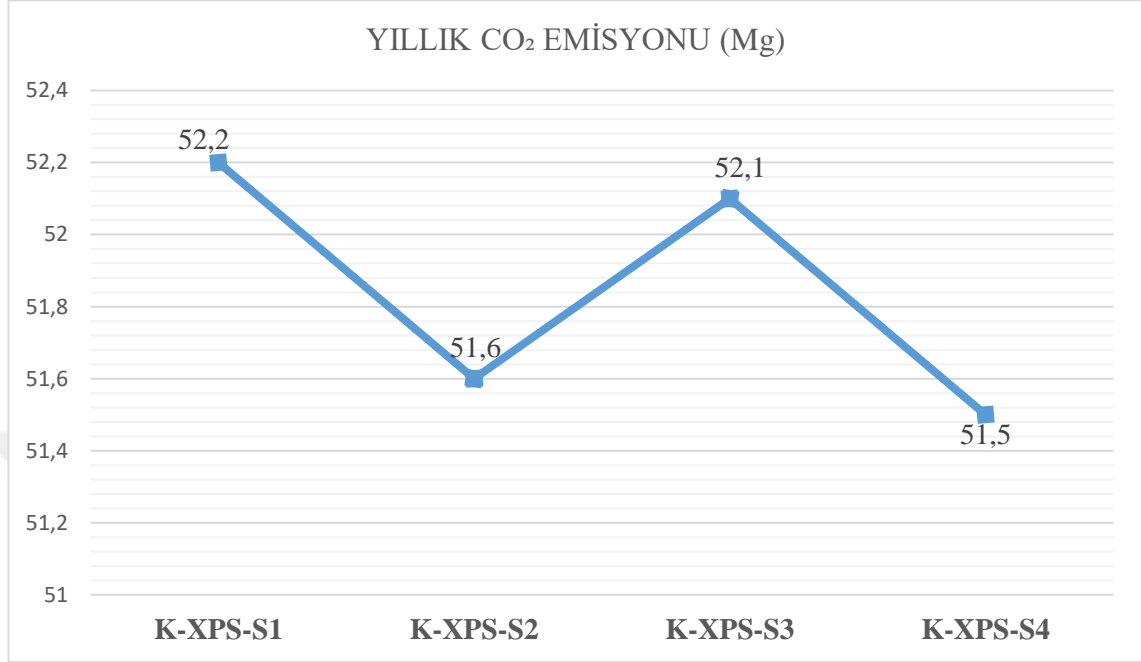
Şekil 5.15. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri

Tablo 5.20. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi

Tip	K-XPS-S1	K-XPS-S2	K-XPS-S3	K-XPS-S4
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	5600	5420	5568	5390
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi		%3,21	%0,57	%3,75

Oluşturulan XPS yalıtım katmanlı, ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık karbon emisyonu analiz sonuçları Şekil 5.16’da verilmiştir. Karbon emisyonları çerçevesinde alternatif senaryolar karşılaştırıldığında Tablo 5.20’de görüldüğü gibi sandviç duvar uygulamalı XPS yalıtım malzemeli ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında yatay delikli tuğla, içte 0,06 m kalınlığında gaz betondan oluşan K-XPS-S1 kodlu duvar senaryosu yerine ana malzemeleri; dışta 0,13 m kalınlığında gaz beton, içte 0,06 m kalınlığında yatay delikli tuğla oluşan K-XPS-S4

kodlu duvar senaryosu kullanıldığında % 1,34 oranında daha az karbon emisyonuna neden olduğu görülmüştür.



Şekil 5.16. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyon değerleri

Tablo 5.21. Yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların yıllık CO₂ emisyonu azalım yüzdesi

Tip	K-XPS-S1	K-XPS-S2	K-XPS-S3	K-XPS-S4
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)	52,2	51,6	52,1	51,5
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi		%1,15	%0,20	%1,34

Bu göstergelere göre yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryoların içerisinde hem enerji verimliliği hem de karbon salınımı açısından dışta 0,13 m kalınlığında gaz beton içte 0,06 m kalınlığında yatay delikli tuğla tanımla K-XPS-S4 duvar alternatifi hem “*en iyi enerji performansı*” hem de “*en iyi çevre performansı*” gösteren senaryodur. Analiz sonuçlarına göre yalıtım katmanlı ve ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz betondan oluşturulan senaryolar içerisinde hem enerji verimliliği hem de karbon salınımı açısından dışta 0,13 m yatay delikli tuğla

içte 0,06 m gaz betondan tanımla K-XPS-S1 duvar alternatifi hem “*en kötü enerji performansı*” hem de “*en kötü çevre performansı*” gösteren senaryodur. Yapılan analizler sonucunda gaz beton ana malzemesinin dış yüzeye yakın olması enerji performansını olumlu yönde etkilemektedir.

5.1.3. En yüksek enerji performanslı duvar senaryosunun belirlenmesi

Bu aşamada öncelikle XPS yalıtım malzemesi sabit tutularak 3 ayrı grupta oluşturulan toplam 12 duvar senaryosu içinden belirlenen en iyi performanslı duvar alternatifleri, kendi aralarında kıyaslanmış ve en yüksek enerji performanslı duvar senaryosu belirlenmiştir. Sonrasında bu duvar senaryosunda XPS yerine aynı kalınlıkta “cam yünü” kullanılarak yeni bir duvar tipi oluşturulmuştur. Bu iki senaryo birbiriyle mukayese edilmiştir.

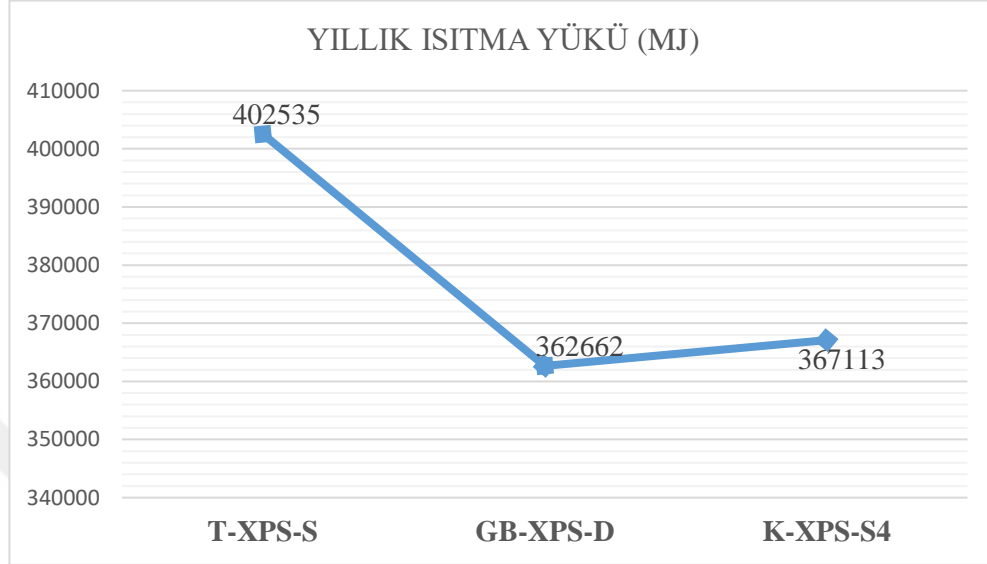
Soğuk iklimli bölgelerde en çok enerji tüketimine sebebiyet veren ısıtma yükleri bağlamında yalıtım katmanlı alternatifler karşılaştırıldığında;

- Ana malzemesi tuğla olan duvar senaryolarından, sandviç yalıtımlı T-XPS-S kodlu duvar tipi,
- Gaz beton malzemeli duvar senaryolarından GB-XPS-D kodlu dıştan yalıtımlı duvar tipi,
- Karma malzemeli duvar senaryolarından ise dışta gaz beton içte tuğlanın yer aldığı sandviç uygulamalı K-XPS-S4 kodlu duvar tipi,

kendi gruplarında en iyi senaryolar olarak belirlenmiştir. Bu 3 senaryo ısıtma yükleri açısından karşılaştırıldığında en düşük enerji performanslı duvar senaryosunun ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifinin, en yüksek enerji performanslı duvar senaryosunun ise ana malzemesi gaz betondan oluşan dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu duvar alternatifinin olduğu görülmüştür.

Yıllık ısıtma yükü analiz sonuçları Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en kötü enerji performansı sağlayan ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifinin yerine en iyi enerji performansı gösteren

ana malzemesi gaz betondan oluşan dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu duvar alternatifi senaryosu kullanıldığında yıllık ısıtma yüklerinde %9,90 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.21).

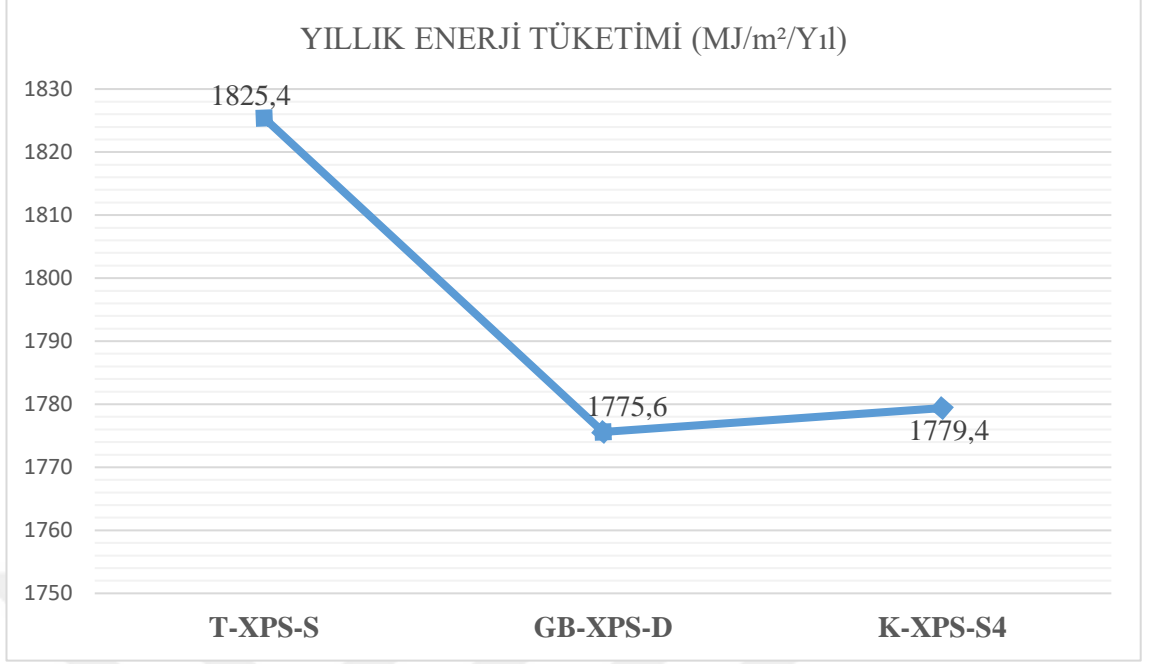


Şekil 5.17. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü değerleri

Tablo 5.22. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü azalım yüzdesi

Tip	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	402535	362662	367113
Yıllık Isıtma yükü azalım yüzdesi		%9,90	%8,79

Yıllık enerji tüketimi analiz sonuçları Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en kötü enerji performansı sağlayan ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifinin yerine en iyi enerji performansı gösteren ana malzemesi gaz betondan oluşan dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu duvar alternatifi senaryosu kullanıldığında yıllık metrekare başına tüketilen enerji miktarında %2,73 oranında bir azalmanın mümkün olduğu görülmüştür (Tablo 5.22).

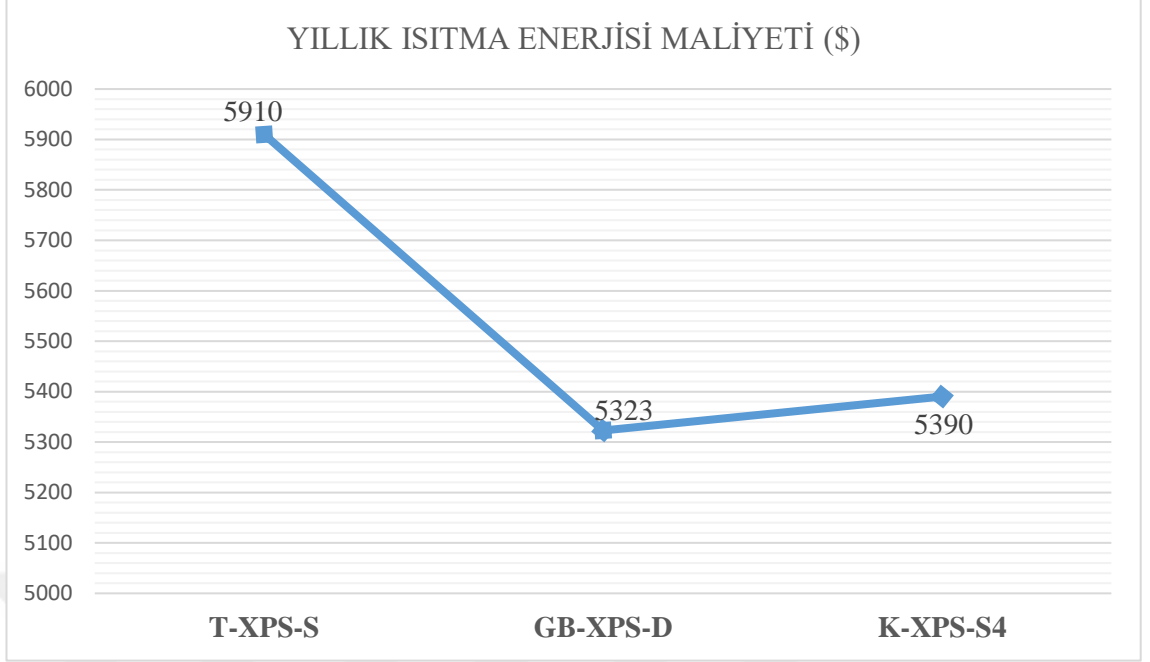


Şekil 5.18. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi değerleri

Tablo 5.23. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi

Tip	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	1825,4	1775,6	1779,4
Yıllık enerji tüketimi azalım yüzdesi		%2,73	%2,52

Duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti analiz sonuçları Şekil 5.19'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en kötü enerji performansı sağlayan ana malzemesi yatay delikli tuğladan oluşan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifinin yerine en iyi enerji performansı gösteren ana malzemesi gaz betondan oluşan dıştan yalıtımlı GB-XPS-D kodlu duvar alternatifi senaryosu kullanıldığında Tablo 5.23'te görüldüğü üzere yakıt maliyetinde %9,93 oranında bir kazanım sağlanmaktadır.

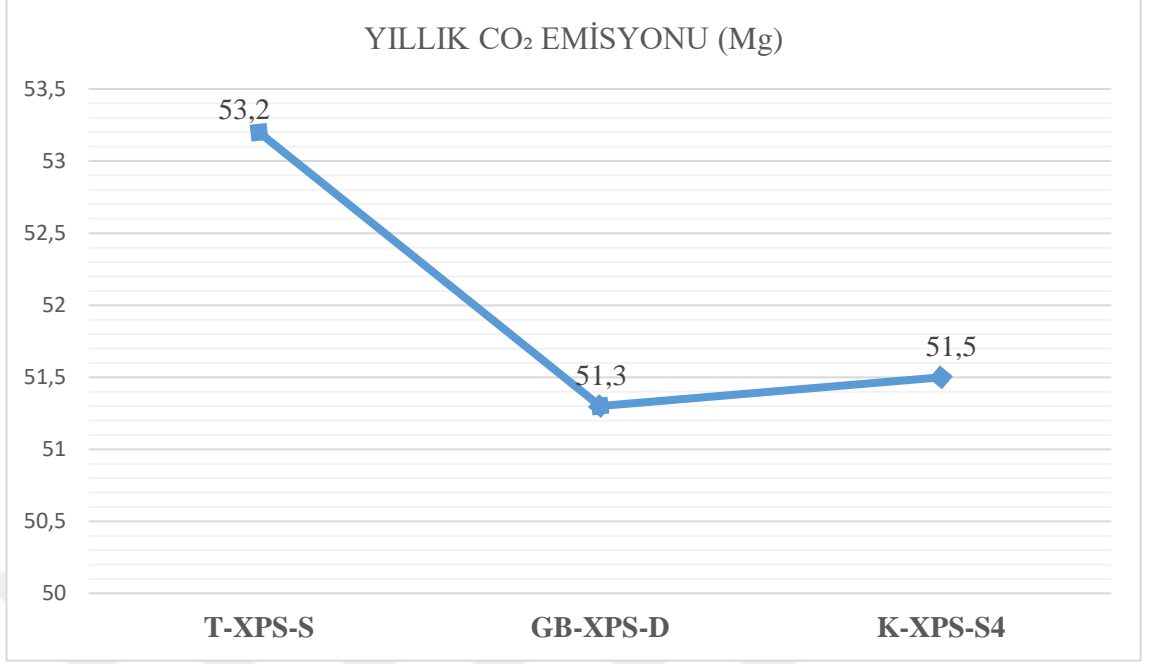


Şekil 5.19. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyetleri

Tablo 5.24. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi

Tip	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	5910	5323	5390
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi		%9,93	%8,80

Duvar senaryoların yıllık karbon emisyonu analiz sonuçları Şekil 5.20’de verilmiştir. Karbon emisyonları çerçevesinde alternatif senaryolar karşılaştırıldığında Tablo 5.24’te görüldüğü gibi ana malzemesi gaz beton olan dıştan yalıtımlı GB-XPS-D senaryosunun, en kötü enerji performansı gösteren ana malzemesi yatay delikli tuğla olan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar alternatifine göre %3,57 oranında daha az karbon emisyonuna neden olduğu görülmüştür.



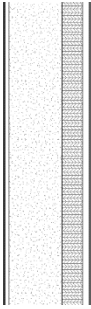
Şekil 5.20. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık karbon emisyon miktarları

Tablo 5.25. Kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren duvar senaryolarının yıllık karbon emisyonu azalım yüzdesi

Tip	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)	53,2	51,3	51,5
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi		%3,57	%3,19

En iyi enerji performansı gösteren GB-XPS-D kodlu duvar senaryosunda kalınlığı sabit kalmak üzere (0,08 m) yalıtım malzemesi olarak “XPS” yerine “Cam yünü” kullanılarak yeni duvar alternatifi oluşturulmuş ve GB-CY-D şeklinde kodlanmış ve bu iki alternatif karşılaştırılmıştır. Tablo 5.25’te GB-CY-D kodlu senaryo malzemeleri, katmanları ve termofiziksel özellikleri ile gösterilmiştir.

Tablo 5.26. GB-CY-D kodlu duvar senaryosu

Duvar tipi	Katmanlar	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri W/(m ² K)	R değeri (m ² K)/W
	Alçı sıva (dış)	0,035	0,51	1200		
	Yalıtım malzemesi (cam yünü)	0,08	0,03	200		
	Gaz beton	0,19	0,04	102		
	Alçı sıva (iç)	0,025	0,51	1200		
	Toplam		0,33			0,143

U: Isıl geçirgenlik katsayısı W/ (m²K)

R: Isıl direnç katsayısı (m²K) /W

5.2. Enerji Göstergelerine Göre Duvar Senaryolarının Karşılaştırılması

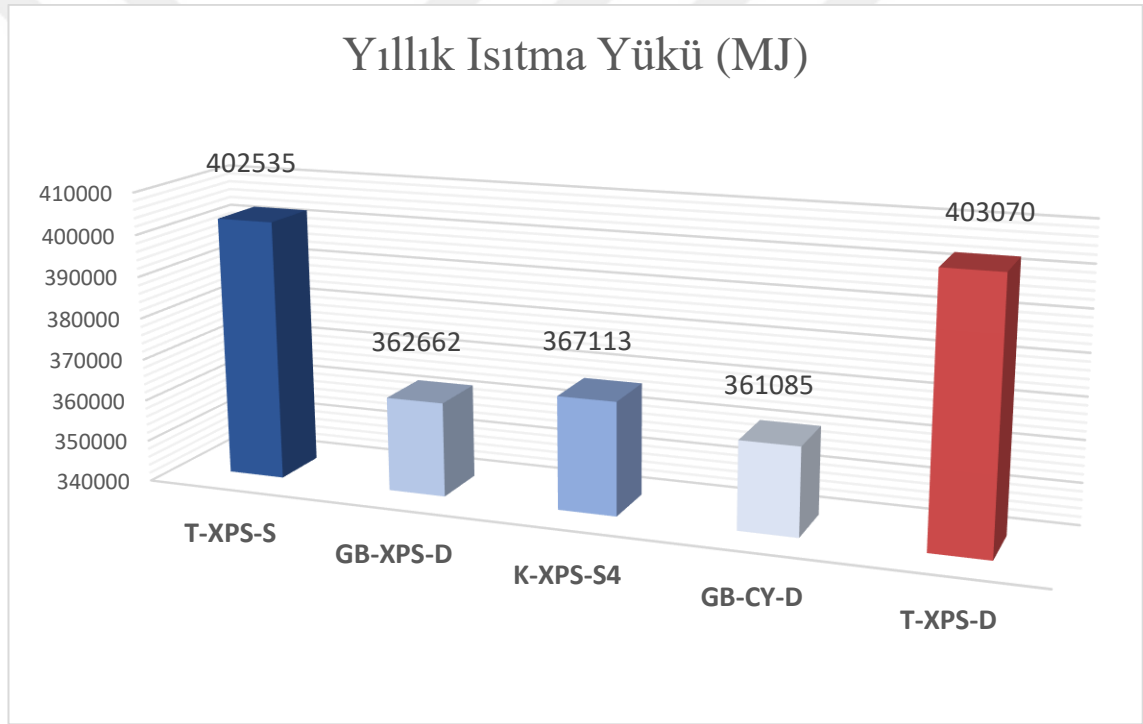
Oluşturulan sınıflandırmaların her birinden en iyi enerji performansı gösteren duvar tipleri seçilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca Erzincan ilinde güncel ve yaygın olarak kullanılan TS825'e standartlarına uygun duvar tipi de bu karşılaştırmaya eklenerek mukayese edilmiştir. Yalıtımsız duvar senaryoları dikkate alınmamıştır.

- **Ana malzemesi yatay delikli tuğla olan grup:** Sandviç duvar uygulaması olan 0,06 m yatay delikli tuğla, 0,08 m XPS, 0,13 m yatay delikli tuğla, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik T-XPS-S kodlu duvar senaryosudur.
- **Ana malzemesi gaz beton olan grup:** Dıştan yalıtımlı duvar olan 0,08 m XPS, 0,19 m gaz beton, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik GB-XPS-D kodlu duvar senaryosudur.
- **Ana malzemesi yatay delikli tuğla ve gaz beton olan karma grup:** Sandviç duvar uygulaması olan 0,13 m gaz beton, 0,08 m XPS, 0,06 m yatay delikli tuğla, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik K-XPS-S4 kodlu duvar senaryosudur.

- **En iyi enerji performansı gösteren grup:** Dıştan yalıtımlı duvar olan 0,08 m cam yünü, 0,19 m gaz beton, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik GB-CY-D kodlu duvar senaryosudur.
- **Güncel ve yaygın olarak kullanılan grup:** Dıştan yalıtımlı duvar olan 0,08 m XPS, 0,19 m yatay delikli tuğla, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik T-XPS-D kodlu duvar senaryosudur.

Yıllık ısıtma yükü

Yıllık ısıtma yükü analiz sonuçlarına göre;



Şekil 5.21. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma yükü değerleri

Erzincan ili için gruplandırılan duvar senaryoları yıllık ısıtma yükleri analiz sonuçları Şekil 5.21'de verilmiştir. Tablo 5.26'da azalım yüzdelerine göre en kötü enerji performansı gösteren XPS yalıtım katmanlı ana malzemesi yatay delikli tuğla olan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar senaryosu yerine optimum enerji performansı gösteren cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık ısıtma yükünde %10,30 tasarruf elde edilebilir.

Tablo 5.27. Gruplandırılan duvar senaryoları yıllık ısıtma yükü azalım yüzdeleri

Senaryolar	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4	GB-CY-D
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	402535	362662	367113	361085
Yıllık Isıtma Yükü Azalım Yüzdesi (MJ)		%9,91	%8,80	%10,30

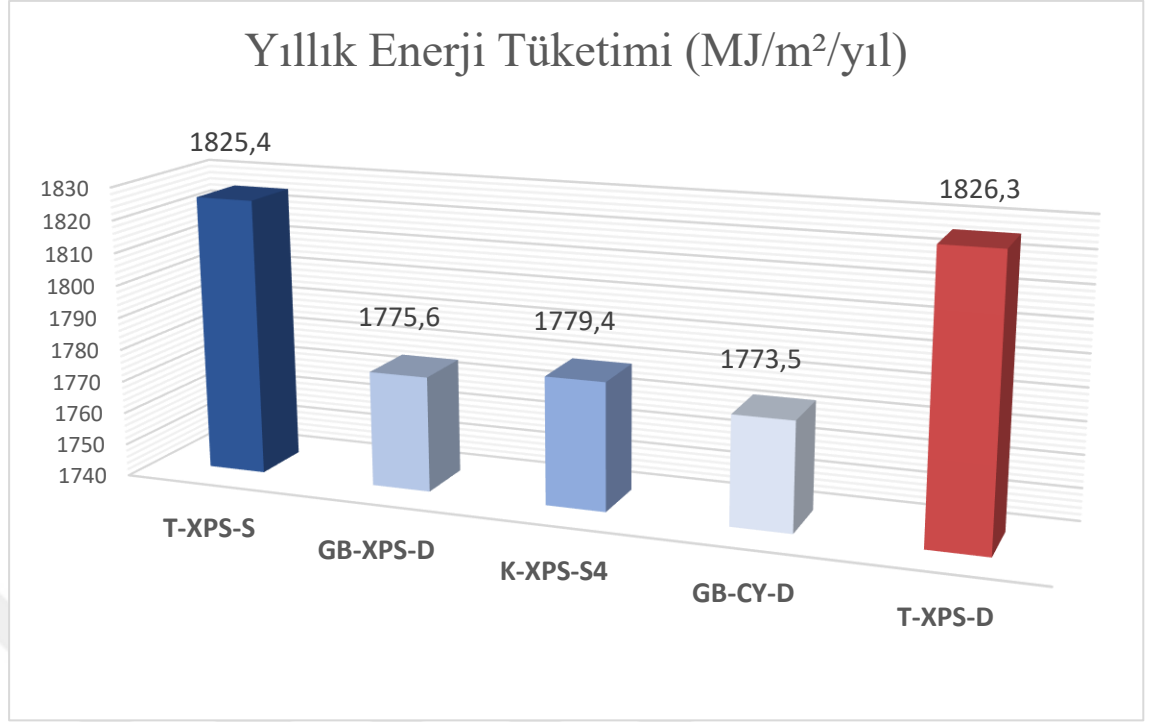
Erzincan ilinde güncel ve yaygın olarak kullanılan XPS yalıtım katmanı dıştan uygulanmış ana malzemesi yatay delikli tuğla olan T-XPS-D kodlu duvar senaryosu yerine en iyi enerji performansı sağlayan cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık ısıtma yükünde %10,42 tasarruf elde edilebilir (Tablo 5.27).

Tablo 5.28. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık ısıtma yükü sayısal analiz sonuçları ve azalım yüzdeleri

Senaryolar	Güncel ve yaygın olarak kullanılan T-XPS-D	Optimum enerji performansı gösteren GB-CY-D
Yıllık Isıtma Yükü (MJ)	403070	361085
Yıllık Isıtma Yükü Azalım Yüzdesi (MJ)		%10,42

Yıllık Enerji Tüketimi

Yıllık m² başına düşen enerji tüketimi değerinde;



Şekil 5.22. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık enerji tüketimi değerleri

Erzincan ili için gruplandırılan duvar senaryoları yıllık m² başına düşen enerji tüketimi analiz sonuçları Şekil 5.22’de verilmiştir. Tablo 5.28’de azalış yüzdelerine göre en kötü enerji performansı gösteren XPS yalıtım katmanlı ana malzemesi yatay delikli tuğla olan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar senaryosu yerine en iyi enerji performansı gösteren cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D duvar senaryosu kullanıldığında yıllık m² başına düşen enerji tüketiminde %2,84 tasarruf elde edilebilir.

Tablo 5.29. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık m² başına düşen enerji tüketimi azalış yüzdeleri

Senaryolar	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4	GB-CY-D
Yıllık Enerji Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	1825,4	1775,6	1779,4	1773,5
Yıllık enerji tüketimi azalış yüzdesi		%2,73	%2,52	%2,84

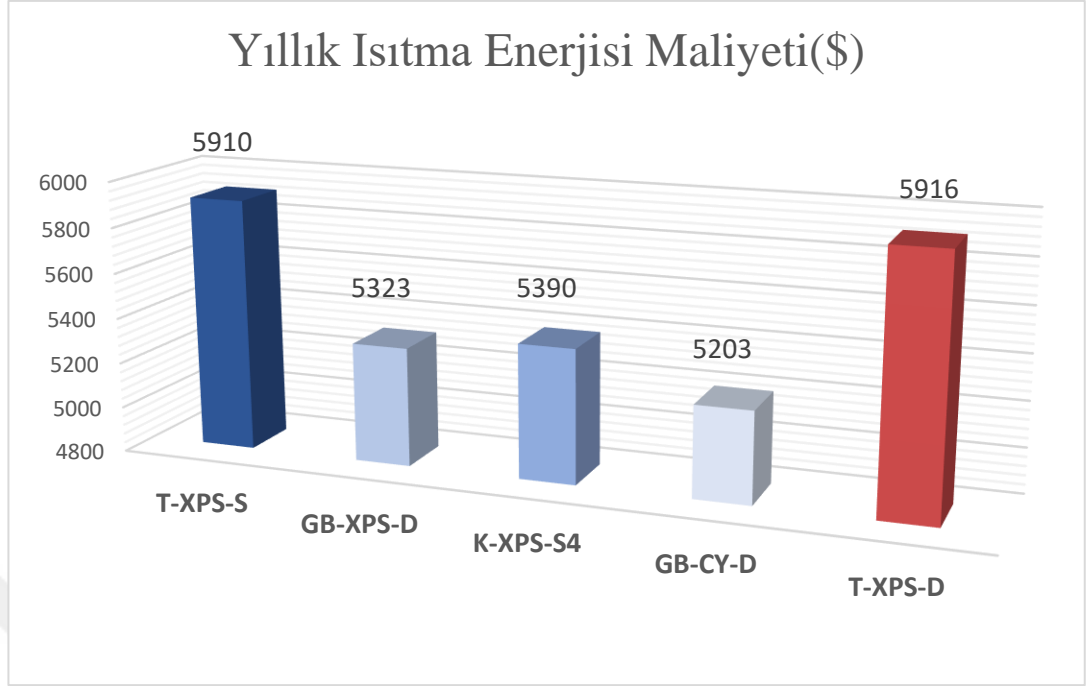
Erzincan ilinde güncel ve yaygın olarak kullanılan XPS yalıtım katmanı dıştan uygulanmış ana malzemesi yatay delikli tuğla olan T-XPS-D duvar senaryosu yerine en iyi enerji performansı sağlayan cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kullanıldığında yıllık enerji tüketimi değerinde m² başına %2,9 tasarruf elde edilebilir (Tablo 5.29).

Tablo 5.30. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık m² başına enerji tüketimi azalım yüzdeleri

Senaryolar		Güncel ve yaygın olarak kullanılan T-XPS-D	Optimum enerji performansı gösteren GB-CY-D
Yıllık Tüketimi (MJ/m ² /yıl)	Enerji	1826,3	1773,5
Yıllık tüketimi yüzdesi	enerji azalım		%2,9

Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti

Yıllık enerji maliyet analiz sonuçlarına göre;



Şekil 5.23. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyet değerleri

Erzincan ili için gruplandırılan duvar senaryoları yıllık ısıtma enerjisi maliyeti analiz sonuçları Şekil 5.23'te verilmiştir. Tablo 5.30'daki azalış yüzdelere göre en kötü enerji performansı gösteren XPS yalıtım katmanlı ana malzemesi yatay delikli tuğla olan sandviç uygulamalı T-XPS-S kodlu duvar senaryosu yerine en iyi enerji performansı gösteren cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık ısıtma enerjisi maliyetinde % 11,96 tasarruf elde edilebilir.

Tablo 5.31. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalış yüzdeleri

Senaryolar	T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4	GB-CY-D
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)	5910	5323	5390	5203
Yıllık Isıtma enerji maliyeti azalış yüzdesi		%9,93	%8,79	%11,96

Erzincan ilinde güncel ve yaygın olarak kullanılan XPS yalıtım katmanı dıştan uygulanmış ana malzemesi yatay delikli tuğla olan T-XPS-D kodlu duvar senaryosu

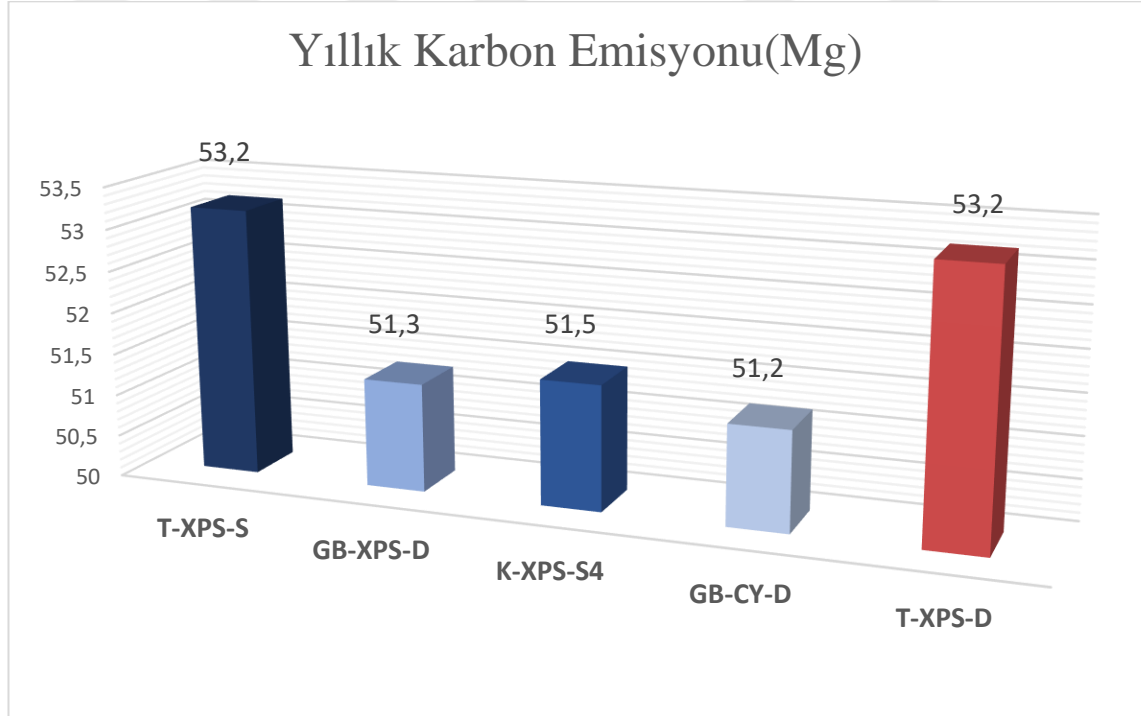
yerine en iyi enerji performansı sağlayan cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kodlu duvar senaryosu kullanıldığında yıllık enerji maliyet değerinde %12,05 tasarruf elde edilebilir (Tablo 5.31).

Tablo 5.32. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdeleri

Senaryolar		Güncel yaygın olarak kullanılan T-XPS-D	Optimum enerji performansı gösteren GB-CY-D
Yıllık Isıtma Enerjisi Maliyeti (\$)		5916	5203
Yıllık ısıtma enerjisi maliyeti azalım yüzdesi			% 12,05

Yıllık Karbon Emisyon

Yıllık CO₂ emisyonu analiz sonuçlarına göre;



Şekil 5.24. Gruplandırılan duvar senaryolarının yıllık karbon emisyon değerleri

Erzincan ili için gruplandırılan duvar senaryoları yıllık karbon emisyonu analiz sonuçları Şekil 5.24'te verilmiştir. Tablo 5.32'deki azalım yüzdelerine göre en kötü çevre performansı gösteren XPS yalıtım katmanlı ana malzemesi yatay delikli tuğla olan sandviç ve dıştan yalıtım uygulamalı T-XPS-S ve T-XPS-D kodlu duvar senaryoları yerine en iyi çevre performansı gösteren cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D duvar senaryosu kullanıldığında atmosfere yıllık %3,76 daha az karbon emisyonu salınımı yapılır.

Tablo 5.33. Gruplandırılan duvar senaryoları yıllık karbon emisyonu azalım yüzdeleri

Senaryolar		T-XPS-S	GB-XPS-D	K-XPS-S4	GB-CY-D
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)		53,2	51,3	51,5	51,2
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi			%3,57	%3,20	%3,76

Erzincan ilinde güncel ve yaygın olarak kullanılan XPS yalıtım katmanı dıştan uygulanmış ana malzemesi yatay delikli tuğla olan T-XPS-D kodlu duvar senaryosu yerine en iyi çevre performansı sağlayan cam yünü yalıtım malzemesi dıştan uygulanmış ana malzemesi gaz beton olan GB-CY-D kullanıldığında yıllık atmosfere yalnızca analizi yapılan bir binada %3,75 daha az CO₂ salınımı yapılacağı sonucuna varılmıştır (Tablo 5.33).

Tablo 5.34. Güncel olarak kullanılan duvar tipi ve optimum enerji performansı sağlayan duvar tipi yıllık karbon emisyonu azalım yüzdeleri

Senaryolar		Güncel yaygın olarak kullanılan T-XPS-D	Optimum enerji performansı gösteren GB-CY-D
Yıllık CO ₂ Emisyonu (Mg)		53,2	51,2
Yıllık CO ₂ Emisyonu azalım yüzdesi			%3,75

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki enerji tüketiminin artması ve enerji kaynağı olarak tükenebilir fosil yakıtlarının kullanımı ile birlikte çevre sorunları önemli bir konu haline gelmiş, enerji tüketimini azaltacak çözüm yolları hala aranmaktadır. Yapı sektörünün, toplam enerji tüketimindeki payının büyük olması binalardaki enerjinin verimli kullanılması için tasarım aşamasından son aşamaya kadar enerji verimliliğinin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, soğuk iklim bölgesinde yer alan Erzincan ili için konut binasının dış duvar parametrelerinin optimum değerleri BIM yazılımları aracılığıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada farklı yalıtım ve malzeme katmanlarından hareketle 13 duvar alternatifi oluşturulmuştur. Duvar alternatiflerinde, ana malzemeler ile duvarı oluşturan elemanların tasarımdaki sıralanışı-konumu değişken, diğer parametrelerin sabit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri, iklime ilişkin tasarım parametreleri, yönlenme, bina aralıkları vb. binaya ilişkin parametreler ile HVAC sistemi sabit olarak kabul edilmiştir.

Geliştirilen dış duvar alternatifleri ile örnek bina, Revit kullanılarak modellenmiş, Green Building Studio ile yıllık ısıtma yükü enerji harcamaları, yıllık m² başına düşen enerji tüketimi, yıllık yakıt maliyeti ve yıllık CO₂ emisyon miktarı esas alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Dış duvar parametresi için optimum değerler ve tasarım belirlenmiştir. Buna göre en iyi enerji ve çevre performansı gösteren duvar tasarımı dıştan yalıtımlı duvar olan 0,08 m cam yünü, 0,19 m gaz beton, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik GB-CY-D kodlu duvar senaryosudur. En kötü enerji ve çevre performansı gösteren duvar tasarımı ise yalıtım malzemesi içten uygulanan 0,19 m yatay delikli tuğla, 0,08 m XPS, iç ve dış sıvadan oluşan 0,33 m'lik T-XPS-İ kodlu duvar senaryosudur.

Diğer taraftan çalışmada duvar senaryolarının analiz sonuçlarına göre ana malzeme, katmanlaşma ve yalıtım malzemesi parametrelerinin enerji tüketimi, enerji harcamaları ve karbon emisyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Buna göre enerji etkinlik ve çevre etkileri çerçevesinde en etkili parametrenin duvarı oluşturan ana malzemenin olduğu; bu bağlamda malzemenin termofiziksel özelliklerinin en temel belirleyici unsur olduğu görülmüştür. Malzemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri) ne kadar düşük ise

enerji performansı o kadar yüksek, benzer şekilde karbon emisyon miktarı da o kadar düşük olmaktadır. Enerji analizlerinin gerçekleştirildiği Erzincan ili, ısıtma öncelikli bir bölgede bulunduğu için duvar parametresine bağlı olarak, toplam enerji tüketimleri ısıtma harcamalarıyla paralel bir şekilde artış veya düşüş göstermiştir.

Duvar tasarımında ana malzemeden sonra etkili bir diğer tasarım parametresinin ise yalıtım malzemesinin olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir. Çalışmada aynı ana malzeme, kalınlık ve katmanlaşma sırası ile tasarlanmış bir duvar senaryosunda aynı kalınlıkta “XPS” yerine “Cam Yünü” yalıtım malzemesinin kullanılması ile yıllık ısıtma yükü, yıllık m² başına düşen enerji tüketimi, yıllık ısıtma enerjisi maliyeti ve yıllık karbon emisyonu oranlarında bir azalmanın sağlanabileceği görülmüştür. Bu sonuç enerji etkinliğinde yalıtım malzemesinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır.

Analiz sonuçları enerji ve çevre performansında katmanlaşmada sıralamanın en az etkili parametre olduğunu göstermiştir. Ancak aynı termofiziksel değerlere sahip alternatif duvar senaryolarında kalın ve U değeri düşük ana malzemenin dış ortama yakın olmasının enerji performans değerleri ve karbon salınımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Sandviç uygulamalı duvar tasarımının uygulanması zor ve hata oranının yüksek olması sebebi ile duvar uygulaması kalifiye elemanlar tarafından yapılmalıdır. Uygulamadan kaynaklı oluşan hatalar sebebiyle ısı kaçakları meydana gelmektedir. Bu kaçaklar hem enerji kaybının oluşmasına hem de dış ortamla sürekli temas halinde olan duvar parametresinin yıpranmasına neden olabilmektedir (Yılmaz, 2012). İçten yalıtımlı duvar uygulamalarında ise, yoğuşma riskinin yüksek olması, ısı köprülerinin oluşması ve iç mekandaki yıpranmalardan dolayı en kötü enerji performansını gösteren yalıtım uygulaması olarak nitelendirilebilir (Yılmaz, 2009). Aksoy (2008)'unda belirttiği gibi ısı kaybını minimuma indirmek açısından en iyi enerji performansı, yalıtım sürekliliğinin sağlandığı dıştan yalıtımlı duvar uygulamalarıdır. Bu nedenle katmanlaşma aşamasındaki avantaj ve dezavantajlar dikkate alınmalıdır.

Çalışmada enerji modellemesine olanak sağlayan Revit ile enerji analizlerinin yapıldığı Green Building Studio yazılımlarının duvar tasarımında alternatif senaryolar üretme ve analiz yapabilme olanağı sağladığı görülmüştür. kolaylıkla yapılabilen bu analizler ile mimari tasarım sürecinde enerji etkinlik parametreleri ölçülerek değerlendirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Autodesk Revit, "Bina Bilgi Modellemesi ve Bina Enerji Analizi", <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>, Son erişim tarihi: 10.05.2020
- Autodesk Green Building Studio, "Bina Bilgi Modellemesi ve Bina Enerji Analizi", <https://gbs.autodesk.com/GBS/>, Son erişim tarihi: 10.05.2020
- Autodesk Insight 360, "Bina Bilgi Modellemesi ve Bina Enerji Analizi", <https://insight360.autodesk.com/oneenergy>, Son erişim tarihi: 11.05.2020
- Abanda, F., and 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.
- Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., and Ilori, O. M. (2019) "Changing significance of embodied energy: A comparative study of material specifications and building energy sources", *Journal of Building Engineering*, 23, 324-333.
- Aksoy, U. T. (2008) "Sandviç Ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı Ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi ", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2), 277- 290.
- Akkoyunlu, T. (2015) "Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Algın, F., ve Alkan, M. (2019) "Konut Stoğunda Duvarda Malzeme Seçimini Etkileyen Faktörler ve Sektör Aktörlerinin Malzeme Seçimlerinin Değerlendirilmesi", *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 32-37.
- Al-Saggaf, A., Nasir, H., and Taha, M (2020) "Quantitative approach for evaluating the building design features impact on cooling energy consumption in hot climates", *Energy & Buildings*, 1-24.
- Altınöz, M. (2019) "Binaların Çevresel Etkilerinin Enerji Verimliliği Ve Karbon Ayak İzi Açısından İncelenmesi: Kırklareli Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- Arpacıoğlu, Ü. (Kasım-Aralık 2012) "Mekânsal Kalite ve Konfor için Önemli bir Faktör: Günışığı", *Mimarlık*, 368, 48-52.
- Aste, N., Angelotti, A. and Buzzetti, M. (2009) "The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings", *Energy and Buildings*, 41, 1181-1187.
- Atmaca, U. (2016) "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler", *Tesisat Mühendisliği*, 154, 21-35.

- Attia, S., Hensen, J. L., Beltrán, L., and Herde, A. d. (2012) "Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects and engineers needs", *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 155-169.
- Aydın, M. A. (2019) "Enerji Harcamalarının Azaltılmasını Hedefleyen Yerleşme Dokusu Tasarım Parametrelerinin Bım Aracılığı İle Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Azhar, S. (2011) "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry", *Leadership Manage. Eng.*, 11, 241-252.
- Balcıoğlu, A. (2013) "Geleneksel Ve Modern Bağ Evi Örneklerinin Soğutma Enerjisi Korunumunda Etkili Olan Tasarım Değişkenleri Açısından Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayraç, H. N. (2009) "Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 115-142.
- Büte, E. (2014) "Ekolojik Yapı Tasarım Kriterleri Bağlamında Muş Kale Mahallesi Geleneksel Evlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Clarke, J. A. (2001) "Energy simulation in building design", 2nd ed., 19, *Oxford*, Butterworth-Heinemann.
- Çağlı, Z. Ş. (2018) "Enerji Etkin Bina Tasarımı ve Adana Örneği", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Çetin, H. M. (2020) "Soğuk İklim Bölgesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çomaklı, K., ve Yüksel, B. (2003) "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", *Applied Thermal Engineering*, 23(4), 473-479.
- Demircan, R. K., ve Gültekin, A. B. (2017) "Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi", *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(1), 36-51.
- Dizdar, H. (2009) "İklimsel Tasarım Parametreleri Açısından Geleneksel ve Yeni Konutların Değerlendirilmesi: Diyarbakır Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Efe, A. (2009) "Pasif Güneş Evlerinde Bina Kabuğu Sistemi Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (2016) "Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu", *Ankara*.

- Engin, N. (2012) "Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme" *Tesisat Mühendisliği*, Mayıs-Haziran, 62-70.
- Erdem, L., ve Enarun, D. (2007) "Kullanıcıların Aydınlik Düzeyi Tercihlerinin Değişkenliği Üzerine Bir Çalışma", *IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir.
- Esen, S. (2019) "Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli", Yüksek Lisans Tezi, *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Isparta.
- Fitriaty, P., and Shen, Z. (2018) "Predicting energy generation from residential building attached Photovoltaic Cells in a tropical area using 3D modeling analysis", *Journal of Cleaner Production*, 195, 1422-1436.
- Flores, M. S. (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" Yüksek Lisans Tezi, *The University of Nottingham Faculty of Engineering Department of Architecture and Built Environment*, Nottingham.
- Gao, H., Koch, C., and Wu, Y. (2019) "Building information modelling based building energy modelling: A review", *Applied Energy*, 238, 320-343.
- Google Earth,
<https://earth.google.com/web/@39.74947997,39.48787898,1212.24502138a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=MicKJQojCiExVEh3eHh0bTA3MlpczTJGRUNHMmQ4WGdxZWlYQ3l2T1I>, Son erişim tarihi: 10.09.2020
- Goulding, J. R., Lewis, J. O., Steemers, and T. (1992) "Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook", *London: B. T.*, Batsford..
- Güçü, İ. (2016) "Evaluation Of Passive Building Design Parameters For Izmir City", Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 824-833.
- Gültekin, A. B. ve Farahbakhsh, E. B. (2015) " Cam Yapı Malzemelerinin Enerji Performanslarının Değerlendirilmesi", *Sustainable Buildings Symposium*, Ankara.
- Harputlugil, G. U. (2007) "Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Enerji Simülasyon Programı Uygulamalarının Yeri", *Teknoloji*, 10(4), 249-265.
- Harputlugil, G. U. (2009) "Enerji Performansı Öncelikli Mimari Tasarım Sürecinin İlk Aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Hong, T., Chou, S., and Bong, T. Y. (2000) "Building simulation: an overview of developments and information sources", *Building and Environment*, 35(4), 347-361.

- IEA. "Türkiye ve Dünyada Enerji Tüketim Verileri", <https://www.iea.org/countries/turkey>, Son erişim tarihi:14.04.2020
- İMO. "Çatı Tipleri", <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10778.pdf>, Son erişim tarihi: 10.05.2020
- IZODER. (2018) Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Türkiye Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası Yönetici Özeti ve Yol Haritası", **Ankara**.
- Johnston J. and Newton J. (2004) "Building Green A guide to using plants on roofs, walls and pavements", Mayor Of London, 1-121.
- Kamel, E., Memari, A.M. (2019) "Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions", **Automation in Construction**, 97, 164-180.
- Karaaslan, S. (2011) "Sürdürülebilir Mimari Tasarım Sürecinde Ön Tasarım Kararlarını İçeren Bir Model Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- Karaca, M., ve Varol, Ç. (2012) "Konut Alanlarında Enerji Etkinliği: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) Toplu Konut Projeleri Üzerine Eleştirel Bir Değerlendirme", **METU JFA**, 29(2), 127-141.
- Karakoç, T.H. (2001) Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı, **Anadolu Üniversitesi**, Eskişehir, 104.
- Kasmayı, M. (2003) İklim ve Mimari, **Edebiyat, Mimarlık**, İran.
- Kılıç Demircan, R., Gültekin, A.B. (2017) "Binalarda Pasif Ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi", **Türk Bilim Araştırma Vakfı**, 10(1),36-51,
- Koca, Ö. (2006) "Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- Koyun T., Koç E. (2017) "Bir Binanın Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi", **Mühendis ve Makina**, 58(688), 1-14.
- Kutlu, R. (2012) "Enerjisini Etkin Kullanan Bir Bina Yapıyoruz", **Ekoyapı Ekolojik Yapılar ve Yerleşimler Dergisi**, 78-83.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü "İklim Sınıflandırması", <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx>, Son erişim tarihi: 20.10.2020.
- Mangan, S. D., ve Oral, G. K. (2014) "Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi", **Tesisat Mühendisliği**, 143, 37-46.

- Manioğlu, G. (2012) "Enerji Etkin Tasarım ve Yenileme çalışmalarının rneklerle Değerlendirilmesi", *Tesisat Mühendisliği*, 126, 35-47.
- Miño, I., Lobato, A., Labus, J., (2013) "Energy thermal simulations as a tool for social housing assessment of Ecuador: Case Yachay (in Spanish) ", Quito - Ecuador: Energy Efficiency and Renewable Energy Institute (INER - acronym in Spanish).
- Mirnoori, S. V. (2013) "Integration between Building Information Modeling (BIM) and Energy Performance Modeling to Analyze the Effects of Building Shape and Orientation on Energy Consumption", Yüksek Lisans Tezi, *Eastern Mediterranean University Institute of Graduate Studies*, North Cyprus.
- Mostafavi, N., Farzinmoghadam, M. and Hoque S. (2015) ‘‘ Envelope retrofit analysis using eQUEST, IESVE Revit Plug-in and Green Building Studio: a university dormitory case study’’, *International Journal of Sustainable Energy*, 34(9), 594-613.
- OCED " Türkiye ve Dünyada Enerji Tüketim Verileri", <https://stats.oecd.org/>, Son erişim tarihi: 15.04.2020
- Ofluoğlu, S. (2014) "Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte alışabilirlik", *Mimarist*.
- Ofluoğlu, S. (2020) "Autodesk Revit Enerji Analizi Ders Notu".
- Ok, V. (2008) "Sağlıklı Kentler İçin Pasif İklimlendirme ve Bina Aerodinamiği", *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 213, 33-44.
- Olgyay, V., (2015) Bioclimatic Design With Climate, Approach to Architectural Regionalizm, *Princeton University Press*, New York, 89.
- Oral, G. K. (2010) "Güneş Enerjisi ve Yapı", *Diyararch Bülteni*, 8-20.
- Ovalı, P. K. (2009) "Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi", Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- Özaydoğdu, G. (2015) "Enerji Etkin Pasif Sistemlerin Tasarım Boyutunda Önemi ve Bu Bağlamda Dicle Üniversitesi Lojmanlarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- Özdemir, B. B. (2005) "Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Özler, M. E. (2003) "Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Özmehmet, E. (2007) "Avrupa ve Türkiye’de Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışına Eleştirel Bir Bakış", *E-Journal of Yaşar University*, 7(2), 809-826.
- Öztürk, S. (2010), "Bina Performans Analizi Programları İle Enerji Etkin Binalarda Tasarım Süreci – Bir Örnek İncelemesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Revit 2021, "User Interface", <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/ENU/?guid=GUID-3197A4ED-323F-4D32-91C0-BA79E794B806>, Son erişim tarihi: 20.09.2020.
- Rezaei, F., Bulle, C., and Lesage, P. (2019) "Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages", *Building and Environment*, 153, 158-167.
- Salameh, T., Assad, M. E., Tawalbeh, M., Ghenai, C., Merabet, A., and Öztop, H. F. (2019) "Analysis of cooling load on commercial building in UAE climate using building integrated photovoltaic façade system", *Solar Energy*, 199, 617-629.
- Salimzadeh, N., Vahdatikhaki, F., and Hammad, A. (2020) "Parametric modeling and surface-specific sensitivity analysis of PV module layout on building skin using BIM", *Energy & Buildings*, 216.
- Savaşkan, M.O. (2015) "Yüksek Enerji Performanslı Konut Yapıları İçin Bım Tabanlı Bir Açık Kaynak Bilgi Sistemi Modeli", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Schlueter, A., and Thesseling, F. (2009) "Building information model based energy/exergy performance assessment in early", *Automation in Construction*, 18(2), 153-163.
- Shi, X., Tian, Z., Chen, W., Si, B., and Jin, X. (2016) "A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 872-884.
- Shoubi, M. V., Shoubi, M. V., Bagchi, A., and Barough, A. S. (2015) "Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches", *Ain Shams University*, 6(1), 41-55.
- Singh, P., and Sadhu, A. (2019) "Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling", *Sustainable Cities and Society*, 49, 1-12.
- Sojoudihassanlouei, L. (2019) "Sıcak-Kuru İklim Geleneksel Konutlarında İklim Duyarlı Tasarım", Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, Ankara.
- Solmaz, A. Ş. (2015) "Bina enerji performansını geliştirmede optimum çözümleri", Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- Soysal, S. (2008) "Konut Binalarında Tasarım Parametreleri İle Enerji Tüketimi İlişkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- "Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 (2017)", *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara.
- Tanrıverdi, B. (2015) "TS 825 2.Derece Gün Bölgesinde Yer Alan İllerin, Isıtma Ve Soğutma Derece Gün Bölgelerine Göre Değerlendirilmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tunalı, S. (2012) "Enerji Simülasyon Metodlarının Bina Tasarım Sürecinde Destek Sistemi Olarak Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- TS 825 (2009) "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Türkiye İçin U-Değerleri Haritaları, "Kuramsal Temeller", <https://www.izoder.org.tr/:https://www.izoder.org.tr/dosyalar/haberler/Turkiye-U-degerleri-haritasiraporu-2016-Turkce.pdf> Son erişim tarihi: 08.06.2020
- Türktaş M.H. (2014) "Sıcak Nemli İklim Bölgesi İçin İklimsel Tasarım Parametrelerinin Isıl Performansa Etkisini Değerlendirme: Bir Konut Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Umaroğulları, F., Gedik, G. Z., ve Mıhlayanlar, E. (2011) "Periyodik Rejimde Yalıtımlı ve Yalıtımsız Betonarme Duvarlarda Yoğuşma Denetimi: Edirne Örneği", *Megaron*, 6(1), 13-20.
- Utkucu, D., and Sözer, H. (2020) "An evaluation process for natural ventilation using a scenario-based multi-criteria and multi-interaction analysis", *Energy Reports*, 6, 644-661.
- Utkutuğ, G., "Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim ve Ekip Çalışmasının Önemi", *Mimar-Tesisat Mühendisi İşbirliği 4. Ulusal tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1999.
- Yaman Ö., Şengül Ö., Selçuk H., Çalikuş O., Kara İ., Erdem Ş., Özgür D. (2015) "Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri", *TMH*, 487(4), 62-75.
- Yakut, M. Z., Selbaş, R., ve Yakut, G. (2013) "Ofis Ortamında İklimlendirmenin Çalışanlara Etkisi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 97-106.
- Yasan, A. S. (2011) "Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yılmaz, A. (2012) "Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya Ve Erzincan Örneği)", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Yılmaz, A. Z. (2012) "Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları", *Ekoyapı*
- Yılmaz, G. H. (2009) "Binalarda Dış Duvarlarda Kullanılan Isı Yalıtım Kaplamalarının Enerji Korunum Performansları Açısından İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Yılmaz, Y., ve Oral, G. K. (2019) "Bir ortaokul binasının maliyet ve enerji etkin yenilenmesi için bir yaklaşım", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 393-408.
- Yılmaz, Z. (2006) "Türkiye ve İrlanda'daki Binaların Enerji Etkin Tasarım ve Yapımı İçin Sürdürülebilirlik Stratejileri", İ.T.Ü. Araştırma Fonu, Proje No: 30657.
- Yılmaz, Z. (2006) "Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 7-15.
- Yumurtacı, Z., ve Dönmez, A. H. (2013) "Konutlarda Enerji Verimliliği" *Mühendis ve Makina*, 38-43.
- Yüceer, N. S. (2010) "Çevre Duyarlı Mimarlık, Bilgisayar Destekli Enerji Etkin Bina", *Mimarlık Dergisi*, 37-43.
- Yüceer, N. S. (2015) "Yapıda Çevre ve Enerji", *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara.
- Yüksek, İ., (2008) "Geleneksel Anadolu Mimarlığında Ekolojik Uygulamalar Üzerine Bir Araştırma (Kırklareli Kırsal Alan Örneği)", Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- Yüksel, N. (2005) "Günümüz Kamu Kurumlarında Yapısal Konfor Koşullarının Tespit Edilmesine Yönelik Bir Çalışma", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 21-31.
- Wall De H. (1993) "New Recommendations For Buildings In Tropical Buildings", *Building and Environment*, 3(2).

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Erzincan'da doğdu. İlköğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulu, ortaöğrenimini Erzincan Milliyet Anadolu Öğretmen Lisesi' nde tamamladı. 2013-2018 yılları arasında İstanbul Maltepe Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık (İngilizce) Bölümü'nde lisans öğrenimini onur derecesi ile tamamladı. Lisans öğreniminin ardından 2018 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi Yapı Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Yüksek Lisans öğrenimiyle birlikte özel sektörde çalıştı.

