T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA KABUĞUNUN ENERJİ VE MALİYET OPTİMİZASYONUNUN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ YAPILARAK DEĞER MÜHENDİSLİĞİ VE BIM YAKLAŞIMLARI İLE BELİRLENMESİ

Burkay AKKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

Danışman

Doç. Dr. Şenay ATABAY

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA KABUĞUNUN ENERJİ VE MALİYET OPTİMİZASYONUNUN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ YAPILARAK DEĞER MÜHENDİSLİĞİ VE BIM YAKLAŞIMLARI İLE BELİRLENMESİ

Burkay AKKUŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı İşletmesi Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şenay ATABAY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Şenay ATABAY, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Hande ALADAĞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan GELİŞEN, Üye
Bahçeşehir Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Şenay ATABAY sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Bina Kabuğunun Enerji ve Maliyet Optimizasyonunun Tekno-Ekonomik Analizi Yapılarak Değer Mühendisliği ve BIM Yaklaşımları ile Belirlenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burkay AKKUŞ

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi çalışmasının her aşamasında, bilimsel rehberliği, yapıcı eleştirileri ve akademik desteğiyle yolumu aydınlatan danışmanım Doç. Dr. Şenay ATABAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Araştırma kapsamında yürütülen analizlerde bilgi ve deneyimleriyle sürece değerli katkılar sunan sektör çalışanlarına da teşekkür ederim; sağladıkları veriler ve paylaştıkları saha tecrübeleri, çalışmanın uygulama boyutunu güçlendirmiştir.

Eğitim hayatım boyunca her koşulda yanımda olan, desteğini ve sevgisini hiç eksik etmeyen varlıklarıyla bana güç veren, en yorucu anlarda bile yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Burkay AKKUŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ x
ÖZET xii
ABSTRACT xiv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3
2 LİTERATÜR TARAMASI 4
2.1 Değerin Tanımı 4
2.2 Değer Mühendisliğinin Tanımı 7
2.3 Değer Mühendisliği Tarihçesi 9
2.4 İnşaat Sektöründe Değer Mühendisliği 10
2.5 Değer Mühendisliği ve Temel İlkeleri 12
2.6 Değer Mühendisliği ile Geleneksel Maliyet Azaltma Arasındaki Farklılıklar 13
2.7 Değer Mühendisliğinin Amaçları 14
2.8 Değer Mühendisliğinin Faydaları 14
2.9 Değer Mühendisliğinin Uygulanabileceği Projeler 15
2.10 Değer Mühendisliği ve Pareto Kuralı 16
2.11 Değer Mühendisliğinin Diğer Yöntemler ile İlişkisi 18
2.12 Değer Mühendisliği İş Planı 18
2.12.1 Ön İnceleme Evresi 22
2.12.2 İnceleme Evresi 23
2.12.3 Son İnceleme Evresi 24
3 METODOLOJİ 25

3.1 Problemin Tanımlanması 25
3.2 Metodun Belirlenmesi 26
3.3 Bina Kabuğu 26
3.4 Malzeme Seçimi 26
3.5 Kriterlerin Belirlenmesi 32
3.6 Enerji Tüketiminin Belirlenmesi 33
3.6.1 Proje Bilgilerinin Toplanması 34
3.6.2 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması 35
3.6.3 Malzeme ve Girdilerin Tanımlanması 36
3.6.4 Coğrafi Konumun Belirlenmesi 44
3.6.5 Enerji Analitik Modelinin Oluşturulması 45
3.6.6 Enerji İhtiyacının Belirlenmesi 45
3.6.6.1 Alternatiflere Göre BIM Analiz Sonuçları 47
3.7 Kriterlerin Sayısal Değerlerinin Belirlenmesi 52
3.8 Değer Mühendisliği Çalışması 59
3.8.1 Değer Mühendisliği Takımı 60
3.8.2 Nominal Grup Tekniği 60
3.8.3 Öncelik Matrisi Yöntemi 63
3.8.4 Tatmin Düzeylerinin Belirlenmesi 64
3.8.5 Nitelik / Fonksiyon Matrisi 69
3.8.6 Değerlendirme 72
4 SONUÇ **73**
4.1 Sonuç 73
4.2 Öneriler 74
KAYNAKÇA **75**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **80**

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BIM	Yapı Bilgi Modellemesi
DM	Değer Mühendisliği
XPS	Ekstrüde Polistiren

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Ürünün gerçek değeri 6
Şekil 2.2 Yeniliğin değere katkısı..... 7
Şekil 2.3 DM uygulama zamanının tasarrufa etkisi 15
Şekil 2.4 Pareto dağılım yasası (Seker, 2014) 17
Şekil 2.5 DM yönteminin uygulama aşamaları (Quffa, 2023)..... 22
Şekil 3.1 Tuğla duvar detayı 27
Şekil 3.2 Tuğla + XPS duvar detayı 28
Şekil 3.3 Tuğla + cam köpüğü duvar detayı 28
Şekil 3.4 Gazbeton duvar detayı..... 29
Şekil 3.5 Gazbeton + XPS duvar detayı 29
Şekil 3.6 Gazbeton + cam köpüğü duvar detayı..... 30
Şekil 3.7 Bims duvar detayı..... 30
Şekil 3.8 Bims + XPS duvar detayı..... 31
Şekil 3.9 Bims + cam köpüğü duvar detayı 31
Şekil 3.10 Örnek bina projesi..... 35
Şekil 3.11 Örnek bina 3 boyutlu tasarımı 35
Şekil 3.12 Revit tuğla malzeme girdileri 36
Şekil 3.13 Revit gazbeton malzeme girdileri 37
Şekil 3.14 Revit bims malzeme girdileri..... 37
Şekil 3.15 Revit iç sıva malzeme girdileri 38
Şekil 3.16 Revit dış sıva malzeme girdileri 38
Şekil 3.17 Revit cam köpüğü malzeme girdileri..... 39
Şekil 3.18 Revit XPS malzeme girdileri 39
Şekil 3.19 Revit tuğla duvar tanımlaması..... 40
Şekil 3.20 Revit tuğla + XPS duvar tanımlaması 40
Şekil 3.21 Revit tuğla + cam köpüğü duvar tanımlaması..... 41
Şekil 3.22 Revit gazbeton duvar tanımlaması 41
Şekil 3.23 Revit gazbeton + XPS duvar tanımlaması 42
Şekil 3.24 Revit gazbeton + cam köpüğü duvar tanımlaması..... 42

Şekil 3.25 Revit bims duvar tanımlaması 43
Şekil 3.26 Revit bims + XPS duvar tanımlaması 43
Şekil 3.27 Revit bims + cam köpüğü duvar tanımlaması 44
Şekil 3.28 Revit coğrafi konum tanımlaması 44
Şekil 3.29 Revit enerji analitik modeli 45
Şekil 3.30 Insight metric ataması 46
Şekil 3.31 Insight metric çıktısı 46
Şekil 3.32 Tuğla duvar enerji tüketimi 47
Şekil 3.33 Tuğla + XPS duvar enerji tüketimi 47
Şekil 3.34 Tuğla + cam köpüğü duvar enerji tüketimi 48
Şekil 3.35 Gazbeton duvar enerji tüketimi 48
Şekil 3.36 Gazbeton + XPS duvar enerji tüketimi 49
Şekil 3.37 Gazbeton + cam köpüğü duvar enerji tüketimi 49
Şekil 3.38 Bims duvar enerji tüketimi 50
Şekil 3.39 Bims + XPS duvar enerji tüketimi 50
Şekil 3.40 Bims + cam köpüğü duvar enerji tüketimi 51
Şekil 3.41 Cam duvar enerji tüketimi 51
Şekil 3.42 Tek sıra tuğla kullanımı ile duvar tanımlaması 53
Şekil 3.43 Çift sıra tuğla kullanımı ile duvar tanımlaması 54
Şekil 3.44 Enerji tüketimi tatmin düzeyi grafiği 65
Şekil 3.45 CO_2 salınımı tatmin düzeyi grafiği 66
Şekil 3.46 Dayanım tatmin düzeyi grafiği 66
Şekil 3.47 Bakım maliyeti tatmin düzeyi grafiği 67
Şekil 3.48 İnşaat süresi tatmin düzeyi grafiği 67
Şekil 3.49 Ağırlık tatmin düzeyi grafiği 68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Klasik maliyet azaltımı ile değer analizi kıyaslanması 13
Tablo 2.2 Değer mühendisliği iş planı 21
Tablo 3.1 Duvar alternatifleri 27
Tablo 3.2 Isı iletkenlik katsayısı değerleri 36
Tablo 3.3 Duvar alternatifleri enerji tüketim değerleri 52
Tablo 3.4 Duvar alternatifleri CO_2 değerleri 52
Tablo 3.5 Duvar alternatifleri dayanım değerleri 53
Tablo 3.6 Duvar alternatifleri maliyet değerleri 54
Tablo 3.7 Duvar alternatifleri bakım maliyeti yüzdeleri 54
Tablo 3.8 Duvar alternatifleri bakım maliyeti değerleri 55
Tablo 3.9 Duvar alternatifleri inşaat süresi değerleri 55
Tablo 3.10 Duvar alternatifleri ağırlık değerleri 56
Tablo 3.11 Duvar ve yalıtım malzemeleri için birim fiyat tarifleri 57
Tablo 3.12 Yalıtımlı duvar ve cam duvar için birim fiyat tarifleri 58
Tablo 3.13 Duvar alternatifleri ve kriter değerleri 59
Tablo 3.14 Değer mühendisliği takımı 60
Tablo 3.15 1. Üye kriter puanlaması 61
Tablo 3.16 2. Üye kriter puanlaması 61
Tablo 3.17 3. Üye kriter puanlaması 61
Tablo 3.18 4. Üye kriter puanlaması 61
Tablo 3.19 5. Üye kriter puanlaması 62
Tablo 3.20 6. Üye kriter puanlaması 62
Tablo 3.21 7. Üye kriter puanlaması 62
Tablo 3.22 8. Üye kriter puanlaması 62
Tablo 3.23 9. Üye kriter puanlaması 63
Tablo 3.24 10. Üye kriter puanlaması 63
Tablo 3.25 Üye puanlamalarına göre önem sıralaması 63
Tablo 3.26 Öncelik matrisine göre önem sıralaması ve yüzdeleri 64
Tablo 3.27 Kriter önem sıralaması ve yüzdeleri 64

Tablo 3.28 Duvar alternatifleri ve tatmin düzeyleri 68
Tablo 3.29 Nitelik / Fonksiyon matrisi 70
Tablo 3.30 Alternatiflerin faydalarına göre sıralanması 71
Tablo 3.31 Duvar alternatifleri ve değerleri 71
Tablo 3.32 Alternatiflerin değerlerine göre sıralanması 72

ÖZET

Bina Kabuğunun Enerji ve Maliyet Optimizasyonunun Tekno-Ekonomik Analizi Yapılarak Değer Mühendisliği ve BIM Yaklaşımları ile Belirlenmesi

Burkay AKKUŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı İşletmesi Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç Dr. Şenay ATABAY

Bu çalışma, inşaat sektöründe sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve maliyet etkinliği hedefleri doğrultusunda bina kabuğunun optimize edilmesini amaçlamaktadır. Çalışmada, Değer Mühendisliği (DM) ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yaklaşımları bir arada kullanılarak, farklı bina kabuğu alternatiflerinin enerji tüketimi, ilk yatırım maliyeti, bakım maliyeti, inşaat süresi, dayanım ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi hedeflenmiştir. İstanbul'da örnek bir ofis binası üzerinde yürütülen araştırmada, tuğla, gazbeton, bims ve cam gibi ana malzemeler ile XPS ve cam köpüğü yalıtım malzemelerinin kombinasyonlarından oluşan 10 farklı duvar alternatifi analiz edilmiştir. BIM tabanlı Autodesk Revit yazılımı kullanılarak enerji simülasyonları gerçekleştirilmiş; enerji tüketimi, CO_2 salınımı, dayanım, bakım maliyeti, inşaat süresi ve ağırlık kriterleri nicel olarak değerlendirilmiştir. Bu analizler Autodesk Revit programıyla desteklenmiştir. DM analizi yapılarak tatmin düzeyleri belirlenmiş ve alternatiflerin fonksiyonel değeri

ölçülmüştür. Analizler sonucunda, enerji performansı yüksek ve maliyet etkin çözümlerin, proje paydaşlarına optimum fayda sunduğu görülmüştür. Ayrıca, BIM tabanlı analizlerin karar verme sürecini hızlandırdığı ve tasarım süreçlerinde sayısal doğruluk sağladığı saptanmıştır. Elde edilen bulgular, enerji ve maliyet optimizasyonunun bir arada ele alınmasının sürdürülebilir bina tasarımı açısından önemli çıktılar sağladığını ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonucunda, DM ve BIM entegrasyonu ile yüksek performanslı ve maliyet etkin bina kabuğu tasarımı için yol gösterici bir yaklaşım sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Değer mühendisliği, Yapı bilgi modellemesi, Bina kabuğu, Malzeme seçimi

ABSTRACT

Determination of the Energy and Cost Optimization of the Building Shell by Techno-Economic Analysis Using Value Engineering and BIM Approaches

Burkay AKKUŞ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şenay ATABAY

This study aims to optimize the building shell in line with the goals of sustainability, energy efficiency, and cost-effectiveness in the construction sector. By integrating Value Engineering and Building Information Modeling approaches, the study evaluates various building shell alternatives in terms of energy consumption, initial investment cost, maintenance cost, construction time, durability, and environmental impact. The research was conducted on a sample office building located in Istanbul, where ten different wall alternatives composed of combinations of main materials such as brick, autoclaved aerated concrete, pumice concrete, and glass, along with insulation materials like XPS and glass wool, were analyzed. Energy simulations were performed using Buildin information modelling-based Autodesk Revit software, and quantitative evaluations were carried out for criteria such as energy consumption, CO_2 emissions, durability, maintenance cost, construction time, and weight. These analyses were supported by Autodesk Revit. Through VE analysis, satisfaction levels were identified and the functional value of each alternative was measured. The results revealed that high energy performance and cost-effective

solutions provide optimal benefits for project stakeholders. Moreover, building information modelling-based analyses were found to accelerate the decision-making process and enhance numerical accuracy during design stages. The findings demonstrate that considering energy and cost optimization together yields significant outcomes for sustainable building design. Ultimately, the integration of value engineering and building information modelling offers a guiding approach for designing high-performance and cost-efficient building shells.

Keywords: Value engineering, Building information modelling, Building shell, Material selection

1
GİRİŞ

İnşaat sektörü, gelişmekte olan ülkeler için ekonominin temel dinamiklerinden biri olarak kabul edilir. Ancak, projelerin uzun vadeli, karmaşık ve dinamik yapısı, sistematik bir yönetim yaklaşımını zorunlu kılar. Günümüz inşaat sektöründeki üç temel sorun kalite, maliyet ve zamandır. Bu noktada, kalite, maliyet ve zaman faktörlerinin etkin bir şekilde yönetimi hem firmaların proje hedeflerine ulaşmasını hem de ülke ekonomisi üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesini sağlar. Bu olumsuz etkileri en aza indirebilmek için farklı alternatif yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de "Değer Mühendisliği"dir. Değer mühendisliği (DM), bu üç temel faktörün etkileşimini analiz ederek projelerde değer artışı yaratmayı hedefleyen disiplinler arası bir yöntemdir.

İnşaat malzemeleri, teknolojileri ve yöntemlerinde kaydedilen ilerlemelere rağmen, sektör hâlâ geleneksel tasarım ve proje teslimi yaklaşımlarından kaynaklanan sorunlarla mücadele etmektedir. Bu sorunlar, daha yüksek maliyetlere, optimal olmayan enerji performansına ve daha uzun proje sürelerine yol açabilmektedir. Bu sorunlara yanıt olarak, Değer Mühendisliği ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) gibi modern araçların ve yöntemlerin entegrasyonu, karar verme ve proje sonuçlarını iyileştirme noktasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

İnşaat sektöründe DM, malzeme seçimi, inşaat yöntemleri ve genel proje teslimi süreçlerini optimize etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. DM prensiplerinin bina kabuğuna uygulanması, enerji verimliliğini sağlarken maliyet açısından etkin alternatiflerin araştırılmasına olanak tanımaktadır.

Öte yandan, Yapı Bilgi Modellemesi, inşaat sektöründe dijital dönüşüm sağlayarak detaylı modelleme, analiz ve proje yaşam döngüsü boyunca iş birliğini mümkün kılan yenilikçi bir araçtır. BIM, enerji performansı simülasyonu, maliyet tahmini ve yaşam döngüsü analizi yapılmasını kolaylaştırarak inşaat profesyonellerinin

tasarımlarıyla ilgili bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır. BIM'in tasarım sürecine entegre edilmesi, inşaat ekiplerinin alternatifler arasındaki dengeyi değerlendirmesine, sonuçları öngörmesine ve projeyi enerji ve ekonomik hedeflere uygun şekilde yürütmesine olanak tanır.

DM ve BIM'in inşaat sektöründe bir arada uygulanması, enerji optimizasyonu ve maliyet azaltımı önceliklerini ele alan sağlam bir teknoloji-ekonomik analiz çerçevesi sunmaktadır. Bu bütünleşik yaklaşım, yalnızca tasarım ve inşaat aşamalarının verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda sektörün sürdürülebilirlik ve rekabetçilik hedeflerine katkıda bulunur. DM ve BIM'den faydalanarak, inşaat projeleri düzenleyici gerekliliklere, piyasa taleplerine ve çevresel kaygılara uygun, yüksek performanslı bina kabukları üretebilir.

Bu çalışma, inşaat projelerinde bina kabuğunun optimum tasarımını, DM ve BIM yöntemleriyle desteklenen bir teknoloji-ekonomik analiz çerçevesi üzerinden belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, farklı bina kabuğu alternatiflerini değerlendirerek enerji performansı, maliyet etkileri ve inşaat sektöründeki paydaşlara sağladığı genel değeri analiz etmektedir. Tasarım inovasyonu, ekonomik fizibilite ve sürdürülebilirlik kesişimindeki bu çalışma, inşaat sektörü için uygulanabilir bilgiler sağlamayı hedeflemektedir.

Bu araştırma ile elde edilen bulguların, inşaat sektöründe sürdürülebilir ve maliyet etkin uygulamaların geliştirilmesine katkıda bulunması ve bina kabuklarının enerji performansı ile maliyetini optimize etmek için pratik rehberlik sunması beklenmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Değer Mühendisliği 2. Dünya Savaşı sırasında savaş sebebiyle azalan kaynaklara alternatifler arama amacıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde Lawrence D. Miles, Jerry Leftow ve Harry Erlicher tarafından geliştirilmiştir (Shaikh & Uttekar, 2008). Savaşın sonra ermesiyle ve hayatın olağan akışına dönmesiyle birlikte alternatif malzeme yerine ana malzemenin kullanılacağı düşünülüyordu fakat düşünüldüğü gibi olmadı (Fletcher & McClintock, 2004). Savaştan sonra da ürünler ve projeler için bu yöntem kullanılmaya devam edildi ve ihtiyaç olmayan maliyetleri ortadan

kaldırmakla birlikte ürün tasarımlarını iyileştirmek için kullanıldı. Bu durumla birlikte "Değer Mühendisliği" süreci başlamış oldu (Palmer vd., 1996).

DM'nin bilgiyi kullanma ve birden fazla alternatif ile çözüm fikirleri üretme faydaları bir tarafta, belirli fikir ve alternatifleri sadeleştirmek ile maliyeti düşürmesi ile birlikte çoğu uzmanı DM'nin inşaat sektörüne empoze edilmesine olumlu bakmasını sağlamıştır (Farahmandazad, 2015).

DM'nin uygulanması siyasi veya ekonomik açıdan istikrarsız durumlarla yüzleşen ülkelerde aşırı derecede önemlidir. Ülkenin sınırlı olan kaynaklarını olabilecek en verimli şekilde kullanabilmek, gereksiz maliyetleri azaltmak ve en verimli şekilde kullanabilmek için inşaat sektörü paydaşları ve hükumet paydaşları ortak çalışmalıdır (Elsonoki vd., 2020).

1.2 Tezin Amacı

DM'nin tam kapsamlı tanımlamasını ve literatür araştırmasını yapmak, uygulama yöntemlerini BIM ile entegre ederek anlatmak, ayrıntılı analizlerini yapmak, DM ve BIM ile ilgili literatüre katkı yaparak gerek kamu gerekse özel sektördeki kuruluşlara yardım etmeyi amaçlamaktır.

1.3 Hipotez

Gezegenimizde yer alan kaynakların kısıtlığı, firmalar arası rekabet, farklı çözüm yöntemleri aranması gibi sebeplere değer mühendisliğinin önemi günden güne artmaktadır. Değer mühendisliği çalışmaları ile birlikte daha değerli ürün ya da projeler üretilebilir. Üretimi yapan firmalar bu sayede ekonomik olarak güçlü bir altyapı oluştururken kamu kurumlarının da bu çalışmayı zorunlu hale getirerek kamu harcamalarından tasarruf edebilir. İnşaat projelerinin karışık olmasıyla ortaya çıkan zamansal sorunlar, ekonomik ve sosyolojik sorunlardan etkilenmemesi için planlı bir çalışma yapılmalıdır.

2
LİTERATÜR TARAMASI

İnşaat sektörü, genellikle dinamik yapısı ve projelerin karmaşıklığı nedeniyle birbirine bağlı olduğu bilinen kalite, maliyet ve zaman gibi temel unsurların yeterli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerektiren bir sektördür. Küresel rekabetin artması ve sınırlı kaynaklara erişimin zorlaşması, bu sektörde yenilikçi ve etkili çözümler bulmayı zorunlu kılmaktadır. Dahası, inşaat sektöründe proje yaşam döngüsünün erken aşamalarına yapılan yatırım ve kararların maliyet ve performans üzerinde büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, değer mühendisliği, bu faktörlerin optimum çözümü için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında, değer mühendisliğinin inşaat projelerindeki uygulanabilirliği ele alınacak ve bu yaklaşımın maliyet optimizasyonu, kalite iyileştirme ve zaman yönetimi üzerindeki etkileri değerlendirilecektir.

2.1 Değerin Tanımı

"Değer" kavramının ekonomi, sosyoloji, felsefe gibi farklı disiplinlerde yer alarak farklılaşmış zengin bir tarihçesi vardır. Tarihi antik çağlara kadar uzanmaktadır ve geçen yüzyıllar içerisinde evrilerek disiplinlere göre farklı tanımlamalara sahip olmuştur.

"Değer" kavramının literatüre girişi bir ekonomist tarafından değil de milattan önce 5. yüzyılda takas olgusunun tanımını yapmak için tarihçi ve yazar olan Herodotos tarafından Antik Yunan'da yapılmıştır. Daha sonrasında Aristoteles tarafından kullanım değeri ve takas değeri ayrımı yapılarak eşit değerdeki ürünlerin takas yapılmasını öne sürmüştür. St. Thomas Aquinas ise ticarette ürünlerini fiyatlarının değer olarak eşit olması gerektiğini savunmuş ve buradaki değeri ise üründeki emek, üretim maliyetleri ve müşteri ihtiyaçları gibi kavramlarla

açıklamıştır. 17.yüzyılda William Petty tarafından yapılan çalışmalarla fiyat tanımlaması piyasa fiyatı, politik fiyat ve doğal fiyat olarak ayrılmıştır (Bochenek, 2015).

17. yüzyılın sonlarında ise John Locke sadece insan emeğinin değerin kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. James Stuart Denham'ın 18. Yüzyıl ortalarında yaptığı bir yayında gerçek değerin 3 faktörden oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu faktörleri şu şekilde sıralamıştır: belirli bir zaman aralığında bir işçi tarafından ortaya konulan ortalama emek, bu emeği karşılamak için işçinin kullanması gereken ekipman veya araçların değeri ve kullanılan malzemenin değeri. Adam Smith 1776'da yayınladığı kitabı ile birlikte ekonominin ilk tutarlı bilimsel sistemini oluşturmuştur. Smith bu yayınla takas değeri ve kullanım değeri arasındaki farkı ve tanımlamaları yapmıştır. Aynı şekilde bu çalışmada doğal değer ve pazar değeri farkı da ortaya konmuştur (Bochenek, 2015).

Günümüzde değer kavramı çoğunlukla bir ürünün veya projenin parasal karşılığı olarak algılanmaktadır. Ancak bu yaygın anlayışa rağmen, değer ile maliyet arasında direkt bir ilişki bulunmamaktadır. Değer, bir nesnenin edinilmesi ya da elden çıkarılması sürecinde ortaya çıkan arzular ve beklentiler doğrultusunda şekillenen öznel bir niteliktir. Buna göre bir matematiksel denklem kurulabilir (Kayabaşı Aksu, 2019).

$$Değer = Maliyet + Alıcının\ Ödemeye\ Hazır\ Olduğu\ Artık\ Değer \qquad (2.1)$$

Bu denklemde yer alan kavramlar ise şu şekilde açıklanabilir:(Kayabaşı Aksu, 2019)

1. Maliyet:

Üretimi gerçekleştirebilmek için gerekli olan işçilik, malzeme sarf giderler gibi tüm masraflardır. Üretimin detayları net ise gerekli olan işçilik ve malzeme maliyetleri bulunabilir. Ancak kar oranları, pazarlama fiyatları, ek üretim masrafları gibi sarf giderlerin belirlenmesi için detaylı çalışma yapılmalıdır. Buna göre maliyet şu şekilde formüle dökülebilir.

$$Maliyet = Satın\ Alma\ Değeri + Üretim\ Masrafları + Pazarlama\ Masrafları \qquad (2.2)$$

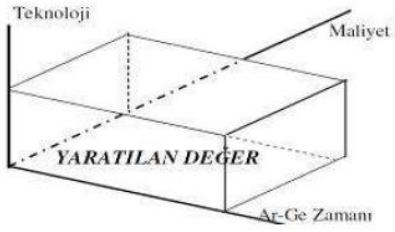
2. Alıcının Ödemeye Hazır Olduğu Artık Değer:

Burada belirtilen değer 3 ana başlıkta incelenebilir.

- Değişim Değeri: İki alternatif ürün ya da hizmet arasında tercih yaparken dikkate aldığımız sebeplerin parasal ölçüsüdür.
- Kullanım Değeri: Ürünün fonksiyonlarına ve kullanım amacına verilen değerdir.
- Etkileyici Değer: Alıcının istediği görünüş ve biçimler sağlayarak bir ürünü daha çekili kılan değerdir.

Bir ürünün ortaya çıkabilmesi maddi kaynak, teknoloji ve zaman olarak 3 ana başlığa sahiptir.

- Maddi Kaynak: Bir ürünün ortaya koyulabilmesi için gerekli olan insan gücü, kaynak, malzeme gibi girdileri içeren ürünün yaratılması, geliştirilebilmesi ve üretilebilmesi için harcanan maddi olanakların tümüdür.
- Teknoloji: Bilgi birikimi ve bilgi ürünlerinin tamamıdır. Doğrudan ölçülmesi mümkün olmayan düşünsel girdiler ve buna bağlı kaynaklarındır.
- Zaman: Bir ürünün düşünce olarak oluşturulması ile satışı arasında geçirdiği süredir. Piyasaya ilk giren ile son giren arasında ürüne olan talep, ürünün alternatifleri, ürünün fiyatını belirleme gibi konularda daha rahat olacaktır



Şekil 2.1 Ürünün gerçek değeri

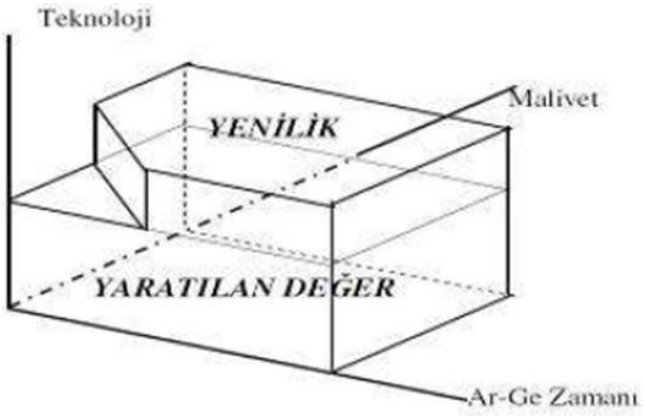
Buradaki denklemler ve şekil incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılabilir:

- Her ürünün ayrı özelliklerine karşılık gelen bir mutlak değeri vardır.
- Değer girdilerin tamamına bağlıdır. Bir girdideki değişim değeri de etkiler. Bir girdi azalırsa diğer girdileri arttırmadan değer sabit tutulamayacaktır.
- 3 boyuttaki herhangi bir öğe sıfıra yaklaştıkça diğer iki etmende belirsizlikler oluşacaktır. Bir girdiyi sıfıra getirip diğer iki girdiyi arttırmak mümkün değildir.

- Zaman girdisi tek başına bir girdi olmasına karşın diğer girdilerin zamanlamasına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Teknoloji ve kaynakların zamanında ve etkili olarak kullanılması ortaya çıkabilecek sorunları önler. Gecikmeler oluşursa fazladan zaman harcamaları, boşa giden kaynaklar gibi sorunlar ortaya çıkar. Bu sebeple özellikle günümüzde ortaya çıkan düşük zamanlı tasarım düşüncelerini karşılayabilmek için proje planlamasına verilen önem artmıştır.

Yaratılan değerin oluşumunda uygulanacak yenilikler, üretilen ürünün veya gerçekleştirilecek sürecin iyileştirilmesini sağlayarak değer yaratımını artırır ve bunun sonucunda karı ve üreticinin kazancını yükseltir. Yenilik, genellikle teknoloji alanında gerçekleşeceğinden, bunu bu eksende bir artış olarak değerlendirebiliriz. Bu bağlamda, yenilik, teknoloji ekseninde bir basamağa tekabül eden bir fonksiyon olarak değer artışını gösterir. Yeniliğin düzgün ve sistematik bir şekilde değer yaratma sürecine entegre edilmesi, kazancı artırırken uygulamanın da kolaylaşmasını sağlar. Ancak, her yenilik her zaman kesin bir artış sağlamaz. Yeniliklere karar verilmeden önce, uygun analizler ve örnek uygulamalar ile elde edilecek sonuçlar dikkate alınmalıdır. Çünkü her yenilik her zaman kazanç sağlamaz; bunun yanında, yeniliğin teknolojik ve fikirsel maliyetleri ile düşünce maliyeti de bulunmaktadır ve bu maliyetlerin, elde edilecek yeniliğin faydasından daha fazla olmaması gerekir.



Şekil 2.2 Yeniliğin değere katkısı

2.2 Değer Mühendisliğinin Tanımı

Crum L. W. tarafından yazılan kitaba göre DM bir ürünün veya projenin performansına, sonucuna, güvenilirliğine ve kalitesinde zarar vermeden gerekli ve

istenen işlevlerin en az maliyetle gerçekleştirilmesini amaçlayan bir yöntemdir (Crum, 1971)

Dell'Isola tarafından yazılan kitaba göre DM, projenin optimum çözümlerinin belirlenmesi sürecinde işlevlerin, kalitenin ve maliyetlerin ilişkilendirilmesi olarak tanımlanmakta birlikte proje veya ürünün ilk değerini belirleyip beklenen kaliteye göre tekrar değerlendirilmesi yöntemidir (Dell'Isola, 1988).

Wei T. ve Chen Y. tarafından yapılan araştırmada DM, bir ürün veya hizmetin işlevsel analizini yaparak, ürün veya hizmetin gerekli işlevlerini en düşük yaşam döngüsü maliyetiyle nasıl yerine getirebileceğini incelediği belirtilmiştir. Bu değerlendirmenin temel formülü şu şekildedir: (Wei & Chen, 2020)

$$Değer = \frac{Fayda}{Maliyet} \tag{2.3}$$

Shaikh S. ve Uttekar S. tarafından yapılan araştırmada DM her zaman para karşılığında değer elde etmeyi amaçlayan bir uygulamadır. Değer mühendisliği, maliyet azaltımı yoluyla değer iyileştirmelerini hedefler ve/veya kaliteyi artırarak ve tasarım özelliklerini geliştirerek müşteri için fayda sağlamayı amaçlar. Değer mühendisliği tekniği, bir öğenin veya sürecin işlevlerini analiz ederek en iyi değeri veya değer ile maliyet arasındaki en iyi ilişkiyi belirlemeye yöneliktir. En iyi değer, gerekli temel işlevi yerine getiren ve en düşük yaşam döngüsü maliyetine sahip olan bir öğe veya süreçle temsil edilir. Bu nedenle, değer mühendisliği sadece bir maliyet azaltma yöntemi değil, işlevleri değiştirme ve geliştirme yoluyla hizmetin değerini artırma amacı taşır. Tanımlandığı şekilde değer, işlev ile maliyet arasındaki orandır. Bu nedenle, değer işlevi iyileştirerek veya maliyeti azaltarak artırılabilir (Shaikh & Uttekar, 2008).

Heralova R. tarafından yapılan çalışmada, Değer Mühendisliği (DM), projelerin müşteri beklentilerini kısa sürede ve maliyet açısından etkin bir biçimde karşılamasını sağlayan bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Özellikle kamuya yönelik inşaat projelerinde, DM araçlarının proje kapsamına odaklanmasının gerekliliği vurgulanmaktadır; zira bu tür projelerde en karmaşık ve kısıtlayıcı unsur genellikle kapsamın belirlenmesi ve yönetilmesidir. Değer Mühendisliği, mevcut sorunlara yenilikçi ve işlev temelli çözümler geliştirmeye yönelik sistematik, disiplinler arası ve ekip çalışmasına dayalı bir yaklaşımdır. Bu yöntem, yalnızca maliyetlerin düşürülmesini değil, aynı zamanda performansın ve kalite düzeyinin artırılmasını da amaçlamaktadır. DM uygulamaları, birden çok yaratıcı alternatifin değerlendirilmesi yoluyla maliyet, zaman ve kapsam değişkenleri arasında

optimal bir denge kurmayı hedefler. Bu sürecin başarıyla yürütülebilmesi, uygun biçimde yapılandırılmış bir süreç yönetimi ile birlikte, proje paydaşlarıyla uyum içinde çalışan, motive ve yetkin bir profesyonel ekip varlığını gerektirmektedir (Heralova, 2016).

Yeşil binalar üzerine Janani R., Kalyana Chakravarthy P. R. ve Rathan Raj R. tarafından yapılan çalışmada Değer, maliyetin kalite veya işlevle ilişkisi çerçevesinde tanımlanan bir fonksiyondur. Zaman ve para tasarrufu sağlamak ve üstün bir değer sunmak, genel olarak herkesin kabul edebileceği bir yaklaşımdır. Bugün, yatırılan her bir birimin daha verimli kullanılması, daha az maliyetle daha fazla inşa edebilmek, verimliliği artırmak ve enerji yoğun yapı ve tesislere olan bağımlılığımızı azaltmanın faydaları kabul edilmeli ve gelecekte bu yönde adımlar atılmalıdır. Değer Mühendisliği, ürünle ilişkili gereksiz maliyetleri azaltarak, toplam maliyeti düşürme potansiyeline sahiptir. Bu süreçte, kaliteye zarar vermeden gizli maliyetler ortadan kaldırılabilir. Bu nedenle, Değer Mühendisliği hem maliyet tasarrufu sağlar hem de üretkenliği artırır şeklinde ifade edilmiştir (Janani vd., 2018).

Marzouk M. ise yaptığı çalışmada DM programlarını inşa edilen varlıkların yaşam döngüsü süresince elde edilen değeri artırmak amacıyla uygulanır. Bu süreç, projenin fonksiyonlarını, kalitesini ve maliyetlerini ilişkilendirerek en uygun çözümleri belirlemeye yönelik olarak tanımlanır. Değer Mühendisliği, ürünlerin (örneğin proje, hizmet, malzeme vb.) performansını ve maliyetlerini optimize etmeyi amaçlar; bu amaçla gereksiz maliyetlerin belirlenip ortadan kaldırılmasını sağlar. Bu gereksiz maliyetler, toplam yaşam döngüsü maliyetlerini veya üretimle ilgili doğrudan maliyetleri (örneğin inşaat, uygulama, montaj vb.) içerebilir şeklinde ifade etmiştir (Marzouk, 2011).

Belirtilen tüm tanımlamalar dikkate alındığında DM'nin bir ürünün müşteri tarafından istenilen özellikler ve performanstan taviz vermeden, ürün geliştirme sürecini uzatmadan ve müşteri beklentileri ile kalite standartları gibi ürünlerin fonksiyonları üzerine yoğunlaşılarak yapılan maliyet azaltıcı fikirler üretme tekniği olduğu söylenilebilir.

2.3 Değer Mühendisliği Tarihçesi

Değer Mühendisliği bir ürünün veya projenin performansına, sonucuna, güvenilirliğine ve kalitesinde zarar vermeden gerekli ve istenen işlevlerin en az maliyetle gerçekleştirilmesini amaçlayan bir yöntemdir (Crum, 1971). Değer Mühendisliği 2. Dünya Savaşı sırasında savaş sebebiyle azalan kaynaklara alternatifler arama amacıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde Lawrence D. Miles, Jerry Leftow ve Harry Erlicher tarafından geliştirilmiştir (Shaikh & Uttekar, 2008). Ehrlicher, savaş sırasında kullanılan özel alaşımlı demire alternatif olarak maliyet

olarak daha avantajlı olan bir malzeme üzerine arayıştaydı. Savaşın sonra ermesiyle ve hayatın olağan akışına dönmesiyle birlikte alternatif malzeme yerine ana malzemenin kullanılacağı düşünülüyordu fakat düşünüldüğü gibi olmadı (Fletcher & McClintock, 2004). Bu durumun sebebi ise alternatif olarak bulunan malzemelerinin ana malzemelere göre avantajları görüldü. Alternatif malzemeler daha üstün özellikleriyle birlikte daha avantajlı fiyatlara elde ediliyordu. Ehrlicher ise savaşın doğurduğu zorluklarla bulunan alternatiflerin savaştan sonra gelen barış döneminde de kullanılması gerektiğini düşünüyordu (Duran, 2007). Farklı revizyonlar ile birlikte daha güncel bir plan ile maliyetlerin azaltılmasının mümkün olabileceği düşünülüyordu. Bu revizyonlar ile birlikte ürünün fonksiyonları ve maliyeti arasındaki ilişkiler incelenip geliştirilerek kâr elde edilecekti (Davis, 2004). Savaştan sonra da ürünler ve projeler için bu yöntem kullanılmaya devam edildi ve ihtiyaç olmayan maliyetleri ortadan kaldırmakla birlikte ürün tasarımlarını iyileştirmek için kullanıldı. Bu durumla birlikte "Değer Mühendisliği" süreci başlamış oldu (Palmer vd., 1996). DM köken olarak üretim sektöründe başlamış olsa dahi inşaat sektöründe de kullanılacak şekilde başarılı bir şekilde geliştirilmiştir (Dell'Isola, 1988).

2.4 İnşaat Sektöründe Değer Mühendisliği

1950'lerde Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmasından bu yana, Değer Mühendisliği dünya genelinde birçok ülkede başarıyla uygulanmaktadır. DM'nin küresel düzeyde yaygınlaşması hem araştırmacıların hem de uygulayıcıların, inşaat projelerinde DM kullanımını incelemesine büyük ilgi uyandırmıştır(Chen vd., 2010)

DM'nin bilgiyi kullanma ve birden fazla alternatif ile çözüm fikirleri üretme faydaları bir tarafta, belirli fikir ve alternatifleri sadeleştirmek ile maliyeti düşürmesi ile birlikte çoğu uzmanı DM'nin inşaat sektörüne empoze edilmesine olumlu bakmasını sağlamıştır (Farahmandazad, 2015).

Karunasena ve Gamage'ye göre ise DM'nin inşaat sektörüne empoze edilmesi diğer sektörlere göre halen düşük seviyelerdedir. Bu durumu açıklayan birkaç sebebi ise: 1- Müşterilerin farkındalık eksikliği, 2- Sonuçların veya çıktıların belirsizliği, 3- Ek maliyetler, 4- Devlet desteğinin eksikliği, 5- Harcanan zaman, 6- Uzmanlık eksikliği, 7- Yönetmeliklerin eksikliği ve 8- Stratejilerin uygulanabilmesi

şeklindedir. Diğer teknikler çoğunlukla zaman ve maliyet gibi başlıklara odaklanırken DM değeri en üst seviyeye getirmeye çalışan tek yöntem olarak kabul edildiği için inşaat sektörü açısından da önemi son derece yüksektir. Değer mühendisliği inşaat sektöründe maliyetleri %26 düşürürken aynı zamanda performansta %50'ye yakın artış sağlayabilmektedir. Nihai raporlarda ise ürünün son kalitesindeki artışın ortalama %40 olduğu görülebilmektedir (Karunasena & Rajagalgoda Gamage, 2017).

Proje bütçelerini düşürme ihtiyacı her zaman var olmuştur ancak aynı zamanda projenin temel fonksiyonları ve kalitesi çoğunlukla göz ardı edilmiştir. Bu duruma çözüm olarak en düşük maliyet ile birlikte en yüksek değeri sunmayı amaçlayarak DM geliştirilmiştir. Son yıllara kadar DM önceliklendirilmemiş olsa da son yıllarda mühendisler ve mimarlar tarafından hem maliyet optimizasyonunu sağlamak hem de genel kaliteyi arttırabilmek adına kullanılmaya başlanmıştır (Rane & Attarde, 2016).

DM'nin uygulanması siyasi veya ekonomik açıdan istikrarsız durumlarla yüzleşen ülkelerde aşırı derecede önemlidir. Ülkenin sınırlı olan kaynaklarını olabilecek en verimli şekilde kullanabilmek, gereksiz maliyetleri azaltmak ve en verimli şekilde kullanabilmek için inşaat sektörü paydaşları ve hükumet paydaşları ortak çalışmalıdır (Elsonoki vd., 2020).

DM'nin inşaat sektöründeki örneklerinden birisi olarak ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ordusu tarafından gerçekleştirilen atık su arıtma projesi için DM uygulanmış ve genel bütçede 200.000 dolar düşüş sağlanmıştır. Buna ek olarak ise tesisin işletme ve bakım maliyetlerinde 4,4 milyon dolar düşüş sağlanmıştır. ABD'deki başka bir örnek olarak ise Miami'deki Ritz Carlton otelinin ısıtma, havalandırma sistemlerinde uygulanan DM ile ekipmanların ve malzemelerin değiştirilmesi ile maliyet 700.000 dolar azaltılmış ve kurulum süreci hızlandırılmıştır (Seidel & Ware, 2012).

Mwakasungula ve Mbewe tarafından yapılan bir çalışmaya göre DM uygulamalarının yeterince geniş bir alana yayılmamış olmamasının ülkeden ülkeye değişmekle birlikte belirli sebepleri vardır. En yaygınları ise yeterli bilgi eksikliği, DM hakkında uzmanlık eksikliği, inşaat sektörü paydaşları arasındaki iletişim kopukluğu ve ekonomik istikrarsızlıklardır. Araştırmada bu durumlara çözüm

olarak ise uzmanların DM süreçleri hakkında profesyonel eğitim alması, inşaat sektöründeki tüm mühendislik alanları ile birlikte paydaşların birbiri ile entegrasyonu, kaliteyi arttırabilmek ve mükemmeliyeti teşvik edebilmek için rekabetçi bir ortam yaratılmasının desteklenmesi gibi çözüm önerileri yer almaktadır (Mwakasungula & Mbewe, 2018).

L. Rane ve N. Attarde tarafından yapılan araştırmada ise DM uygulanabilmesini ve doğru kullanımını arttırabilmek için ilk olarak takım çalışması kültürünün geliştirilmesini, ikinci olarak liderlik ve iletişim becerisi gibi özellikleri ön planda olan paydaşların DM hakkında profesyonel eğitim almasını ve son olarak ise büyük çaplı projelerdeki tüm yüklenicilerin teklif aşamalarında DM çalışması yürütmüş olmasını zorunlu hale getirmeyi önermektedirler (Rane & Attarde, 2016).

Yapılan araştırmalara bakıldığında inşaat sektöründe DM'nin geri kalmasının en büyük sebepleri arasında tecrübe eksikliği, gerekli politika ve yönetmeliklerin eksikliği, iletişim eksiklikleri ve DM'nin gereksiz maliyet olarak görülmesi gibi sebepler gözükmektedir. DM kullanımının arttırılması için her bir sebep için teşvik edici farkındalıklar ortaya konulmalıdır. Bu adımların atılması ile birlikte DM'nin inşaat sektöründeki yeri artacak ve projelerden daha başarılı ve kaliteli sonuçlar elde edilmesi sağlanacaktır.

2.5 Değer Mühendisliği ve Temel İlkeleri

DM, bir ürün ya da projenin hedeflenen standartlarını karşılayan, bu fonksiyonların maliyet açısından düşük tutulmasını hedefler. Bu süreçte fonksiyonlar için yapılan araştırmaya fonksiyonel analiz veya fonksiyonel değer analizi denir. Bu araştırma değer mühendisliğinin başlangıç aşamasını oluşturur. Bir diğer yaklaşım olarak da "Fonksiyonel Maliyet Analizi" olarak da adlandırılan bu yöntem DM'nin sistematik ve analitik yaklaşımlarını yansıtır (Urhan, 2004).

DM'nin sistematik özellikleri şunlardır:

- İş birliği yaklaşımı vardır.
- Multidisipliner takım ruhu oluşturulur.
- Fonksiyon analizi yapılır.
- Dokümantasyon çok önemlidir.
- Sistemin genel sürecini kolaylaştıracak iş planlamaları yapılır.

DM bir ürünün ya da sürecin tüm fonksiyonlarını inceler, problemleri analiz eder ve alternatif yöntemleri kullanarak çözüm üretmeye çalışır. Standart belirlenen fonksiyonları korurken arttırmak ve maliyeti düşürmeyi temel ilke edinir (Urhan, 2004).

ABD'de ise DM beş ana alanı içerir:

- DM'nin anlaşılması ve tanımlanması
- Paydaşlar arası ilişkiler
- DM ve tasarım
- Tedarikçiler ile tecrübe paylaşımı
- DM önerilerinin geliştirilmesi

2.6 Değer Mühendisliği ile Geleneksel Maliyet Azaltma Arasındaki Farklılıklar

Urhan K. tarafından yapılan çalışmada klasik maliyet azaltma yöntemleri ile DM tekniklerinin karşılaştırılması Tablo 2.1'de ifade edilmiştir (Urhan, 2004).

Tablo 2.1 Klasik maliyet azaltımı ile değer analizi kıyaslanması

Klasik Maliyet Azaltımı	Değer Analizi
Ürün analiz edilir.	Fonksiyon analiz edilir.
İş yalnızca bir kişi tarafından yapılır.	Grup çalışması daha iyi sonuç verir.
Maliyeti azaltmanın tek yolu kazancı arttırmaktır.	Maliyeti azaltmanın tek yolu daha iyi değerde ve kalitede üretmektir.
Klasik maliyet azaltımı prosedürleri, şirketi kısa vadede daha rekabetçi yapsa da güncel araştırmalar göz ardı edilir.	DM prosedürleri yeni Pazar alanları açar, mevcut pazar alanını geliştirir ve ürün geliştirme potansiyelini arttırır.

2.7 Değer Mühendisliğinin Amaçları

Değer mühendisliği, bir ürün ya da projenin işlevlerini kaybetmeden maliyetini düşürerek talep edilen işlevleri yerine getirebilmek için alternatif yöntemleri seçmek için kullanılan ve etkin bir şekilde yaptığı kanıtlanmış bir yönetim tekniğidir. Bu yöntem ekipman, malzeme, hizmet gibi süreçleri işlevsellik ve maliyetlerine odaklanarak değer arttırmaya prensibine dayanır. Mevcut bilgi ve standartları farklı bakış açıları ile değerlendirirken geliştirme süreçlerini iyileştirir (Urhan, 2004).

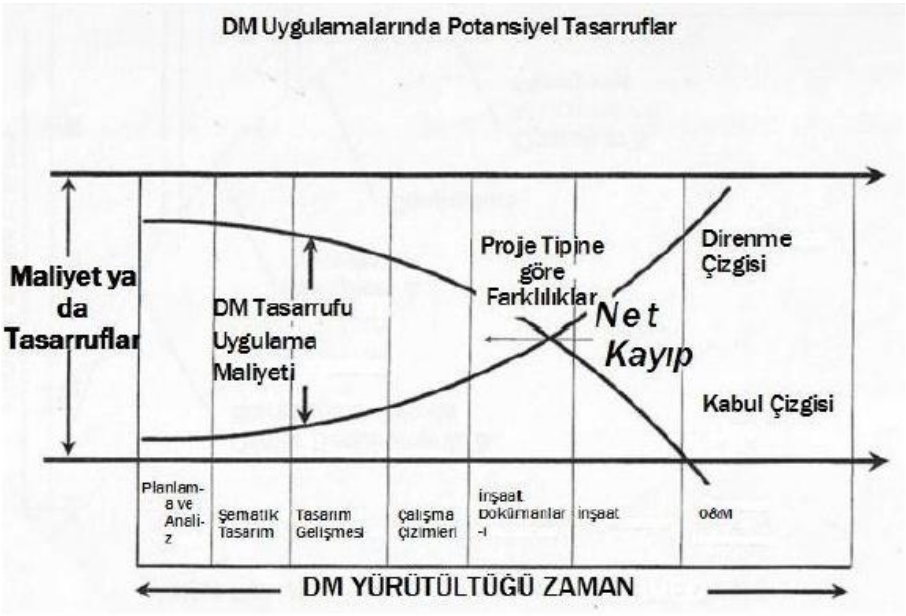
Değer mühendisliği amaçlarını aşağıdaki gibi listeleyebiliriz: (Elhegazy, 2022)

- Proje / ürün kalitesini arttırmak
- Proje / ürün maliyetini düşürmek
- İnovasyonu teşvik etmek
- Tasarım unsurlarını analiz etmek
- Gereksiz maliyetleri ve zaman harcamalarını ortadan kaldırmak
- Uygulama prosedürleri geliştirmek

2.8 Değer Mühendisliğinin Faydaları

DM ilgilendirdiği sektörlerin de fazlalığı ile çok yönlü faydalara sahiptir. Aşağıda yer alan listede bu faydalar özetlenebilir (Mansour & Abueusef, 2015)

- Maliyet ve kalite bilinci oluşturur.
- Ürün veya projenin kapsamının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur.
- Ürün veya projenin maliyetini düşürür.
- İşlev bazlı harcamalar ve fonksiyonlar hakkında paydaşlar bilgi sahibi olur.
- Maliyet düşürülürken istenen kalite standardı düşürülmez.
- “Bu fikir uygulanamaz.”, “Bu sistem çalışıyor değiştirmeye gerek yok.” gibi düşüncelerin önüne geçerek inovasyona öncülük eder.
- Değişime olan direnci azaltarak uygulama süreçlerini hızlandırır.
- İşlevselliği geliştirirken hem başlangıç ve yaşam süreci boyunca oluşacak maliyetlerde tasarruf sağlar.



Şekil 2.3 DM uygulama zamanının tasarrufa etkisi

2.9 Değer Mühendisliğinin Uygulanabileceği Projeler

DM çalışmasının kendisi de bir maliyet içerdiğinden dolayı her projede kullanılması pratik sonuçlar doğurmayabilir. Ancak aşağıda liste halinde verilen durumlardan birisi ilgili projede ortaya çıkarsa DM uygulamak iyi bir fikir olacaktır (Ilayaraja & Zafar Eqyaabal, 2015).

1. Maliyetli Projeler

DM çalışmaları genelde %5-10 arasında bazı durumlarda ise daha yüksek oranlarda maliyetten tasarruf sağlamaktadır. Bu sebeple yüksek maliyetli projelerde DM çalışmaları yapmak neredeyse her zaman maliyetten tasarruf sağlayacaktır.

2. Karmaşık Projeler

DM çalışmaları ile farklı disiplinlerden çokça uzmanın fikirlerine başvurulur. Bu sebeple özellikle teknik açıdan karmaşık projelerde orijinal tasarım üyelerinden farklı bir bakış açısı getirecek uzmanlar ile birlikte ikinci bir görüş olarak alternatif çözüm yöntemleri uygulanarak projenin karmaşıklığı azaltılır.

3. Tekrarlanan Maliyetler

Aynı türde birden çok kez uygulanan projelerde DM kullanımı ile ortaya çıkacak fikirler ile bir sonraki projelerde de hem maliyetten hem zamandan tasarruf edilebilir.

4. Az Sayıda Örneği Olan ya da Yeni Teknolojiler İçeren Projeler

Karmaşık projelere benzer şekilde orijinal tasarım ekibine ek fikirler alıp alternatif yöntemler izlenerek hem maliyetten hem zamandan tasarruf ederken değer ve kaliteyi arttırabilmek mümkündür.

5. Kısıtlı Zamanı Olan Projeler

Değer mühendisliği alternatif çözümleri, maliyeti azaltan yöntemleri ile projelere fayda sağlarken aynı zamanda DM çalışmaları için de zaman ayrılacağından dolayı proje süresini uzatabilir. Buna karşılık olarak DM faaliyetleri gerekli tasarım programları ve ilkeleri ile doğru şekilde koordine edilip gerçekleştirilirse buradaki süre en düşük seviyelerde tutulabilir ve alternatif yöntemler ile proje süresi dahi kısaltılabilir.

6. İlgi Odağı Olan Projeler

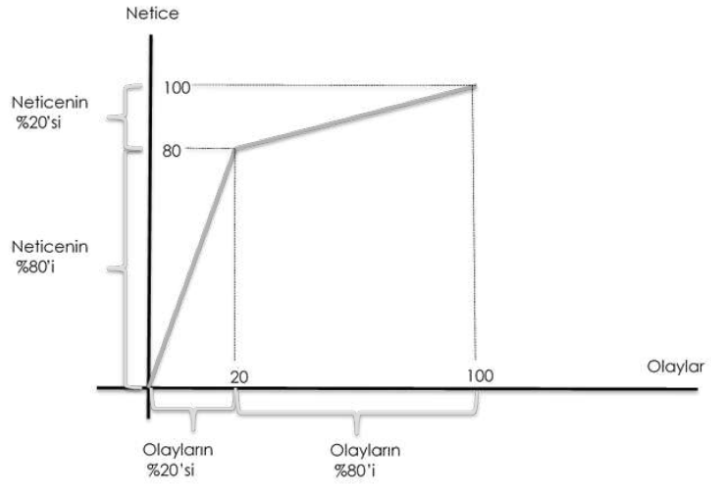
Hükümet destekli ya da kitlelere etkisi büyük olan projelerde bu durum ortaya çıkmaktadır. Bu projelerde oluşabilecek hatalar ya da gecikmeler hızla gündemlere taşınacaktır. Bu sebeple ikincil görüşlere başvurularak DM uygulanması ile bu tür sorunlar önlenebilir.

2.10 Değer Mühendisliği ve Pareto Kuralı

İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto, İtalya'daki topakların %80'inin sahiplerinin nüfusun %20'sini oluşturduğunu fark etti. Bunun üzerine gidince aynı orandaki dağılımların hayatın diğer alanlarında da karşısına çıktığını gördü. Örneğin bezelyelerin %80'inin bezelye kabuklarının %20'si tarafından oluşturulduğunu gözlemledi. Sonrasında ise bu ikili ilişkiyi şöyle ifade etti "Kontrol edilmesi gereken her türlü öğe serisinde, öğe sayısının küçük bir kısmı, etkilerin büyük bir kısmını neredeyse her zaman oluşturur (Lipovetsky, 2009). Sonrasında bu olay literatüre "Pareto Kuralı" ya da "80/20" kuralı olarak giriş yapmış oldu.

Değer mühendisliğinin uygulanabileceği projelerin seçiminde de Pareto kuralı uygulanabilir. Bu kuralla aynı zamanda hangi alanlara ağırlık verileceği de kararlaştırılabilir.

Pareto kuralı katkıda bulunan az tarafın sonucun büyük tarafını oluşturduğunu belirtir. Bu kural DM çalışmaları haricinde insan ilişkilerinde de geniş bir şekilde uygulanır. Bireylerin nispeten küçük bir yüzdesi çoğu kitabı yazar, çoğu suçu işler ya da çoğu serveti sahiplenir şeklinde örneklendirilebilir.



Şekil 2.4 Pareto dağılım yasası (Seker, 2014)

Pareto kuralı değer mühendisliğine uygulandığında, proje ya da uygulama bileşenlerinin %20'sinin, projenin maliyetinin %80'ini oluşturduğunu görmek mümkündür. Bu bileşenler belirlendikten sonra, fonksiyonel analizde en önemli unsurlar haline gelirler, çünkü maliyet tasarrufu sağlama potansiyeli en yüksek olanlar bunlardır (Kayabaşı Aksu, 2019).

DM çalışmalarında hedef seçimi için belli başlıklar taranmalıdır. Örnek olarak şu maddelerle özetlenebilir:

- İnşaatın zorlu fakat mazeretsiz kriterleri ve standartları,
- Başlangıç tasarı maliyetlerini aşan proje bileşenleri,
- Kompleks inşaat özellikleri ya da öğeleri gereksiz fakat maliyetli uygulamaları şart koşabilir.
- Pahalı ve kritik bileşenlere önem vermek.
- Zor ve maliyetli inşaat ve üretim prosedürleri

- Gereksiz kompleks tasarımlar işlevinde azalma oluşturmadan tasarım üzerinde değişiklikler yapılması
- Yeni teknolojinin getirdi alternatiflerin kullanılması
- Çevresel etkenler
- Standard prosedürlerin ve mevcut tasarımın kullanılması

2.11 Değer Mühendisliğinin Diğer Yöntemler ile İlişkisi

Farklı ürün ya da projeleri gerçekleştirebilmek için bir sürü yöntem vardır ve bu yöntemler oldukça geniş kapsamda çeşitlilik gösterirler. Bazı yöntemler sadece süreci kolaylaştırmakla kalmayıp süreçleri daha da hızlı hale getirebilmektedir. Her yöntemin geliştirme döngüsündeki farklı aşamalarda farklı avantajlar sağladığı görülmektedir. Değer mühendisliği ile diğer alternatif yöntemlere bakıldığında ise DM'nin projelerin işlevlerine odaklanması ve sürede iyileştirmeler yapacak stratejiler sunabilmek için belirli bir grup ile beyin fırtınası yapması DM'nin avantajları arasında yer alır (Miladi Rad & Aminoroayaie Yamini, 2016). DM'nin ana amacı değeri arttırmaktır. Farklı alternatif yöntemler de aynı şekilde değeri arttırabilir. Ancak alternatif yöntemler aşağıda verilen işlemlerden bir tanesi ya da gruplandırılmış şekilde birkaç tanesini kullanırken DM hepsini birleştiren bir yöntemdir. Bu işlemler şu şekildedir:(Kazanç, 2000)

- Verimliliğin arttırılması,
- Maliyetin azaltılması,
- Yönetim sisteminin geliştirilmesi,
- Enerjinin verimli kullanılması,
- Kullanım maliyetinin incelenmesi,
- Bütçenin kararlarının doğruluğu,
- Kalitenin arttırılması,
- İşlerin basitleştirilmesi

2.12 Değer Mühendisliği İş Planı

Bir proje sürecinin herhangi adımında DM uygulanabilir. Bununla birlikte ürün ya da projenin tüm yaşan döngüsünde herhangi bir anda bir defadan fazla da uygulanabilir. Bununla birlikte DM'nin sürecin erken aşamalarında uygulanması

ile daha organize bir şekilde yardımcı olarak bu sayede süreç içerisinde oluşabilecek revizyonlardan kaçınılabilir (Mahadik, 2015).

DM organize bir süreç olan iş planı kapsamında uygulanır. Bu plan ürün ya da projenin değerini arttıracak fikirler ortaya çıkmasına olan sağlaması için oluşturulur. 5 ana adımdan oluşan DM iş planı şu şekildedir: (Shaikh & Uttekar, 2008)

1. Bilgi Toplama

Bu aşamada, projenin arka planına, temel işlevlerine ve gereksinimlerine ilişkin bilgilerin sistematik biçimde toplanması sağlanarak mevcut veya potansiyel sorunların tanımlanması amaçlanmaktadır. Bu adımdaki ana konu başlıkları şunlardır:

- Ürünün geliştirilmesi için ürünün arka planı iyice anlaşılmalı,
- Hedefler ve projedeki kriterler belirlenmeli,
- Oluşabilecek sorunlar analiz edilerek bilgi edinilmeli,
- Proje maliyeti ve zaman planlaması yapılmalı,
- Maliyet ve enerji modelleri belirlenip bilgileri edinilmeli

2. Fonksiyon Analizi

Bu adımda fonksiyonların -işlevlerin- tanımlanması ve sınıflandırılması yapılır. En sık kullanılan model ise 1964'te Charles W. Bytheway tarafından oluşturulan İşlev Analizi Sistem Tekniği'dir. Bu tekniğin literatürde en sık karşılaşılan kısaltılması FAST – Function Analysis System Technique- şeklindedir. Bu diyagram karışık sistemlerin tanımlanmasının yapılabilmesi için fiil – isim ikilisinin ilişkisini inceler. Bu diyagram ile ilgili en önemli nokta diyagramın üç ana soruya yanıt verebilmesidir. Bu 3 soru ise; Neden, Nasıl ve Ne Zamandır.

3. Yaratıcılık ve Fikir Geliştirme

Bu adımda ürün ya da proje ile ilgili alternatif ve yaratıcı fikirlerin ortaya konulur. DM çalışması için kurulmuş olan ekip alternatif fikirlerin üretilebilmesi amacı ile ürün ya da projeyi inceleyerek beyin fırtınası yöntemini kullanır. Tüm ekip üyelerinin katılım göstermesinin teşvik edilmesi ile üretilecek fikir sayısı arttırılır.

Bu adımda içerisinde ana amaç olabildiğince alternatif fikirler üretmektir. Fikirlerin değerlendirilmesi sonraki adımda yapılacaktır.

4. Değerlendirme

Bu adımda ise müşteri ve DM ekibi birlikte hareket ederek analizlerde kullanılacak değerlendirme kriterlerini belirlerler. Bu adım 4 ana başlığa ayrılabilir:

- Yaratıcılık ve Fikir Geliştirme adımında elde edilen fikirlerin analizi
- DM ekibi tarafından fikirlerin sıralamasının yapılması
- Fikirlerin ürün ya da proje ile ilgili bir alakası yoksa veya değersizse elenmesi
- Bütçede tasarrufa gidilebilecek ya da kaliteyi ve değeri arttırma ihtimali en yüksek olan fikirlerin seçilmesi

Maliyetin de ötesinde bir değerlendirme yapabilmek adına ağırlıklı bir değerlendirme metodu uygulanır. Bu ağırlıklı değerlendirme de kullanılan kriterlere kalite, zaman, uygulanabilirlik, estetik, işlevsellik vb. örnekler verilebilir.

5. Önerilerin Geliştirilmesi

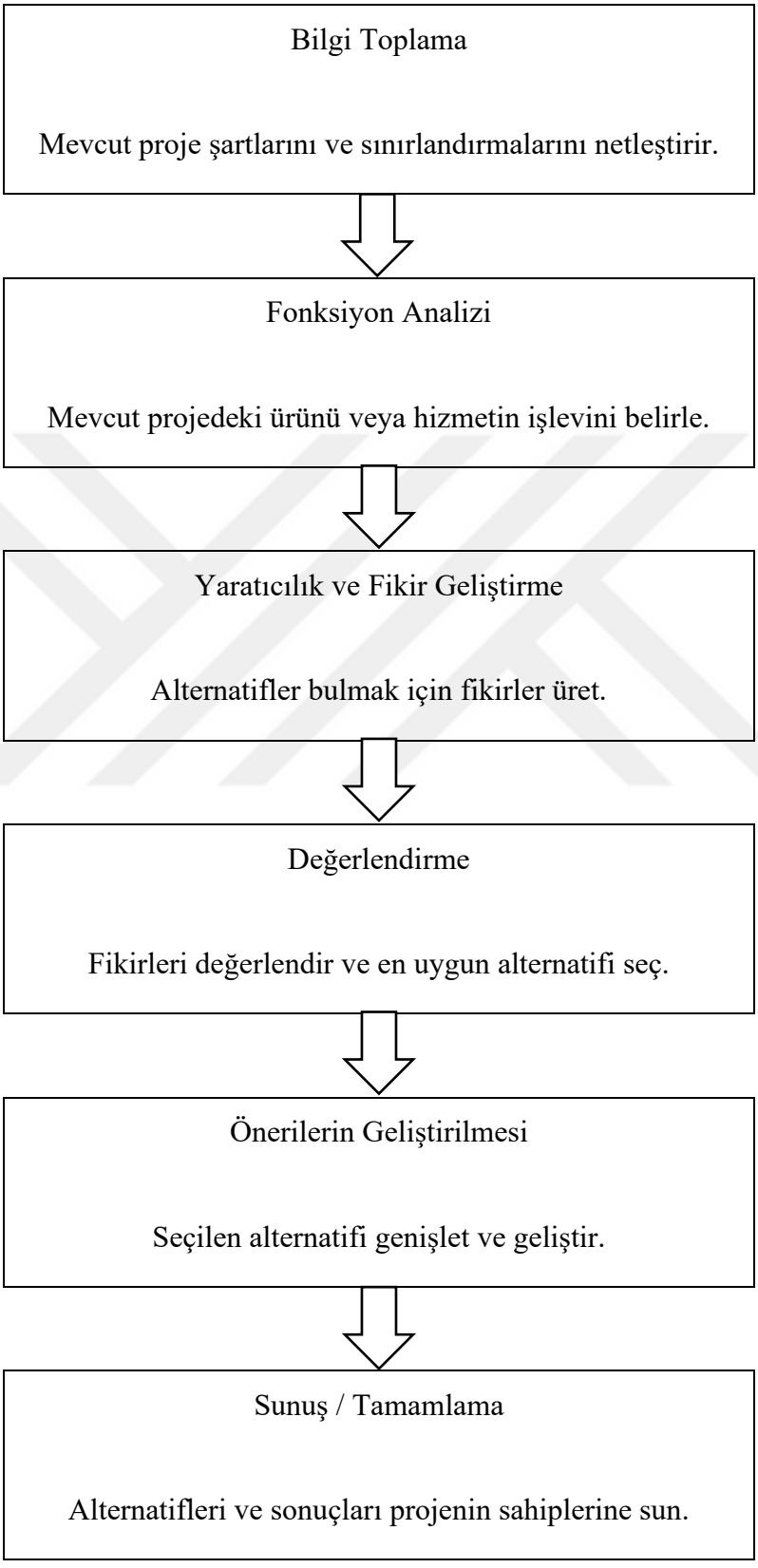
DM ekibi ürün ya da projenin orijinal tasarımı ile birlikte ortaya konulan alternatiflerle ve yaşam döngüsü maliyeti karşılaştırmalarını yaparak alternatif tasarımlar hazırlar. Proje sahibi ve tüm paydaşlarla önerilerin amacı ve faydaları tartışılır. Oluşabilecek potansiyel olumsuzluklar belirlenir.

6. Sunuş / Tamamlama

Önerilerin geliştirme adımında alınan kararlar karar vericilere sunulur. DM çalışması sonucu ortaya çıkan alternatifler ve bu alternatiflerin kısa ve uzun vadedeki olumlu – olumsuz yönlerini anlamaları için karar vericilere yardımcı olunur. Sunum sırasında proje sahibinden DM ekibine kadar projenin tüm paydaşları bulunur. Müşterinin geri dönüşlerinin de eklenmesinden sonra ön uygulama planı ile birlikte uygulama plan taslağı oluşturulur.

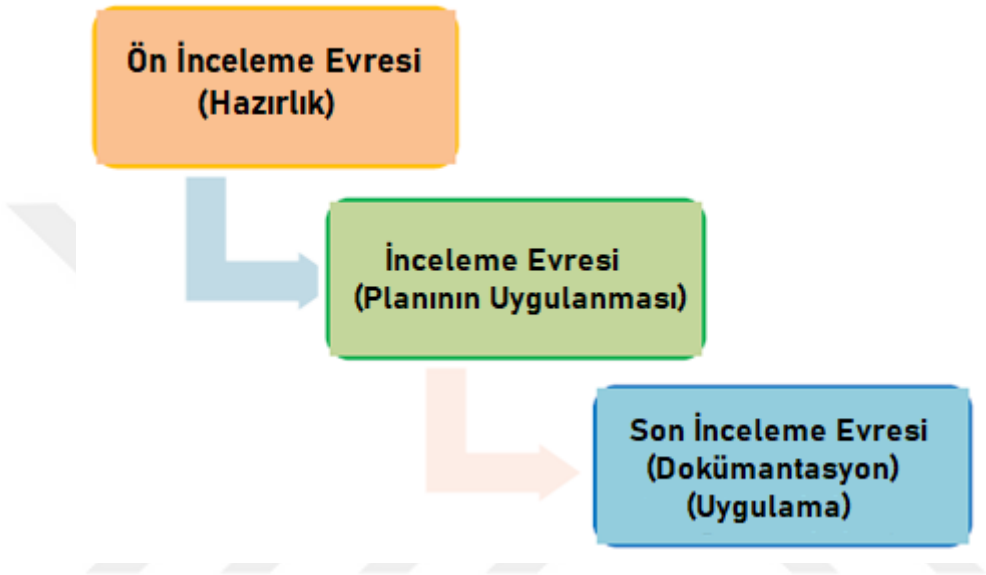
Tüm bu adımlar özet halinde aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. (Chen vd., 2022)

Tablo 2.2 Değer mühendisliği iş planı



DM bir proje ya da üründe kullanılmaya karar verildikten sonra üç ana adımdan oluşan bir çalışma planı oluşturulur. Bu 3 adım şöyledir: (Quffa, 2023)

- Ön İnceleme Evresi
- İnceleme Evresi
- Son İnceleme Evresi



Şekil 2.5 DM yönteminin uygulama aşamaları (Quffa, 2023)

2.12.1 Ön İnceleme Evresi

DM çalışmasının başarılı olmasının ana öncülü iyi bir hazırlığa sahip olmasıdır. Ön inceleme evresinde tüm engellerin kaldırılması, detayların netleştirilmesi ve gerekli bilgilerle belgelerin sağlanması önem göstermektedir (Quffa, 2023).

Bu konudaki çalışmalar başlamadan önce bu evreden etkili bir şekilde faydalanabilmek için insan ilişkileri ve ekip çalışması gibi değerlerle bir temel oluşturulur. Bunun için atılan adımlar şöyledir: (Humphreys, 2003)

- Proje seçimi ve ekip üyelerine dağıtımın yapılması,
- Nasıl bir türde proje ile çalışıldığının belirlenmesi,
- Projeyi çalışabilmek için nasıl bir ekip kurulması gerektiğinin belirlenmesi,
- Projenin ana bileşenlerinin belirlenmesi,

- Sürece başlandığının tüm paydaşlara duyurulması ve bir zaman taslağının hazırlanması

2.12.2 İnceleme Evresi

Ön inceleme evresinde başlayan bilgi toplama işleminde eksik kalan ya da anlaşılmamış noktalar olabilecektir bu sebeple bu evrede de bilgi toplama işlemi DM çalışmasının tüm paydaşları arasındaki iletişim ile devam eder ancak bu evrenin sonunda DM takımı bilgileri toplamış olacaktır. Bundan sonra DM takımının çalışması başlar. Bu evrede gerçekleşecek 6 adım şu şekildedir:(Ilayaraja & Zafar Eqyaabal, 2015)

- Bilgi Toplama
- İş Analizi
- Yenilikler ve Beyin Fırtınası
- Değerlendirme ve Test
- Araştırma ve Geliştirme

Bu evrede değer indeksi hesabı yapılır.

$$Değer\ İndeksi = \frac{Maliyet}{Değer} \tag{2.4}$$

Proje fonksiyonlarının değer indeksleri hesaplanarak DM çalışması için bir öngörü oluşturulur. Bu indeks ikiden büyük ise değer indeksi düşüktür. İkiden küçük veya ikiye eşitse de değer indeksi idealdir.

Değer indeksi ile birlikte tüm maliyet verilerinin tamamlanması ile DM takımının hedefleri belirlenir. Yenilikler ve beyin fırtınası ile projede görülen sorunlara alternatif çözüm fikirleri oluşturulur. Öneri olarak verilen her alternatif belirli kriterler ışığında incelenir:

- Fonksiyonları yerine getirebilmek
- Değer İndeksi
- Uygulanabilirlik
- Enerji Kullanımı
- Kalite Standartları
- Performans

Yapılan çalışmalar proje sahibi ve tasarımcılarına sözlü olarak sunularak sunuş / tamamlama adımının da ilk çalışmaları başlar.

2.12.3 Son İnceleme Evresi

Bu aşamada, çalışmanın bulgularını ve önerilerini içeren nihai rapor hazırlanarak sunulmaktadır. Rapor, aynı zamanda çalışma sürecinde kullanılan tüm dokümanları ve yapılan analizleri kapsamaktadır.

Bu evrede gerçekleştirilen adımlar şu şekildedir:

- DM ekibinin raporu ürün ya da proje sahibine sunulur.
- DM çalışmasının tüm paydaşlarıyla öneriler ve çözümler tartışılır.
- Son toplantılar da dikkate alınarak Son Rapor hazırlanır.

3
METODOLOJİ

Bu çalışmada, bina kabuğunun enerji ve maliyet optimizasyonunu sağlamak amacıyla tekno-ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak kapsamlı bir değerlendirme yapılacaktır. Bu doğrultuda, bina kabuğunun performansına doğrudan etki eden bileşenleri ele alınarak kalite ve maliyet etkinliği açısından en uygun çözümler belirlenmeye çalışılacaktır. Çalışmanın temel yaklaşımı, Değer Mühendisliği prensipleri doğrultusunda, bina kabuğunun maliyet ve performans ilişkisini en iyi şekilde optimize edecek alternatif tasarım ve malzeme seçimlerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Bina Bilgi Modellemesi (BIM) gibi dijital teknolojilerden faydalanılarak, farklı bina kabuğu senaryolarının enerji tüketimi ve maliyet üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir. Bu metodoloji, sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde enerji tasarrufunu artırırken, aynı zamanda ekonomik uygulanabilirliği en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir.

3.1 Problemin Tanımlanması

Yeni bir bina projesinde bina kabuğu tasarımı için uygun yapı malzemesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu seçim sürecinde hem kullanıcı beklentilerini karşılayan hem de uzman ekip tarafından tanımlanan performans ölçütlerine uygun çözümler değerlendirmeye alınacaktır. Belirlenen çeşitli malzeme seçenekleri arasından, fayda ve maliyet açısından en avantajlı olan tercih edilerek dış duvar uygulamalarında kullanılacaktır.

3.2 Metodun Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında bir binanın dış duvar malzeme seçimi ve analizi yapılması için Değer Mühendisliği, Tekno-Ekonomik analiz ve BIM yardımı ile analizler yapılacaktır. Yapılacak analizler için planlanan iş programı şu şekildedir:

1. Malzemelerin Belirlenmesi
2. Malzemeler için Kriterlerin Belirlenmesi
3. Analizlerin Yapılması
4. Sonuç ve Önerilerin Sunulması

3.3 Bina Kabuğu

Bina kabuğu, dış ortam ile iç ortamı fiziksel olarak ayıran bir bariyer oluşturarak yapıyı çevreleyen unsurdur (Hagentoft, 2001). Bina kabuğu birçok fonksiyonu gerçekleştirmektedir. Bu fonksiyonlar 4 kategoriye ayrılabilir:

- Ana İşlevi: Dış ortam ile iç ortamı ayırmak.
- Taşıyıcı İşlevi: Dayanıklığı ve rijitliği sağlamak.
- Kontrol İşlevi: Binanın içi ve dışı arasındaki su, yoğuşma, hava ve ısı transferlerini kontrol etmek.
- Son İşlev: Estetik amaçlı bir işlevdir. Binanın görsel açıdan çekici olmasını sağlar.

Bu kriterler ve ön bilgiler ışığında değer mühendisliği ekibi kriter ve malzeme seçimini yapacaktır.

3.4 Malzeme Seçimi

Malzeme seçimi için veri toplanırken bir binanın dış duvarlarında kullanılabilecek malzemeler için literatür araştırması yapılmıştır aynı zamanda sektör paydaşlarına da danışılmıştır. Balo ve Ulutaş tarafından yapılan çalışmada enerji analizleri için bir binanın duvarlarında tuğla, gazbeton ve bims ana malzemeleri ile birlikte ekstrüde polistiren (XPS) ve cam köpüğü yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır (Balo & Ulutaş, 2023). Bunun sonucunda seçilen malzemeler aşağıdaki gibidir.

- Tuğla
- Gazbeton

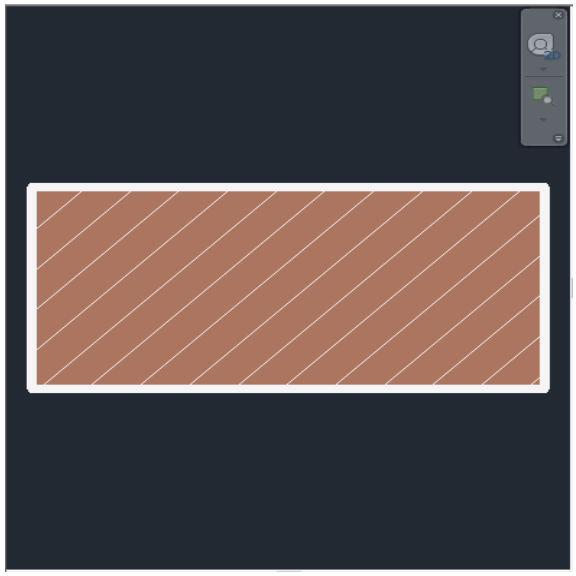
- Bims
- Cam
- XPS
- Cam Köpüğü

Prefabrik, çelik gibi yapı malzemeleri için seçilen kriterlerin sayısal karşılıkları belirlenemediğinden tez kapsamı dışında bırakılmıştır. Seçilen malzemeler ile alternatif duvarlar oluşturulmuştur. Bu alternatif duvarlar şu şekildedir:

Tablo 3.1 Duvar alternatifleri

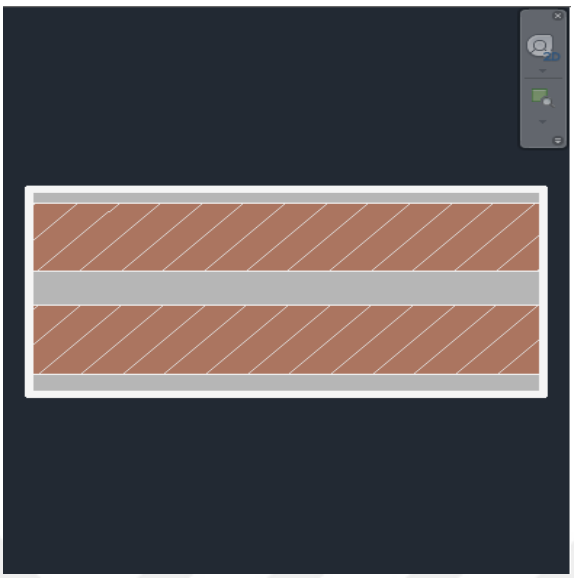
Tuğla Duvar
Tuğla Duvar + XPS
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü
Gazbeton Duvar
Gazbeton Duvar + XPS
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü
Bims Beton
Bims Beton + XPS
Bims Beton + Cam Köpüğü
Cam

Tuğla Duvar: 3 cm dış sıva, 25 cm kalınlığında tuğla ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



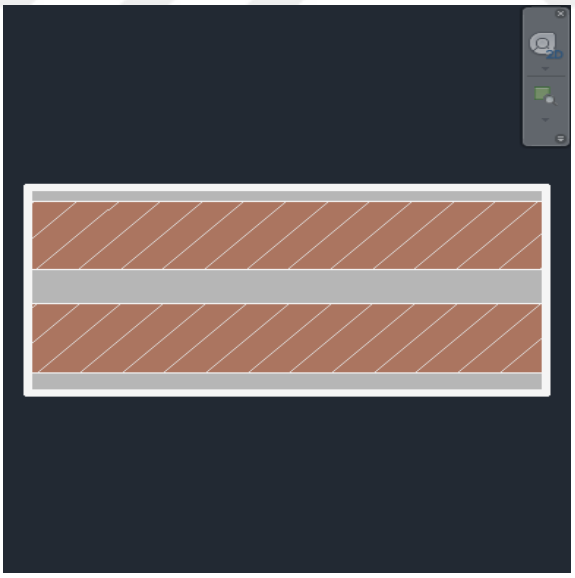
Şekil 3.1 Tuğla duvar detayı

Tuğla Duvar + XPS: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında tuğla, 5 cm kalınlığında XPS, 10 cm kalınlığında tuğla ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



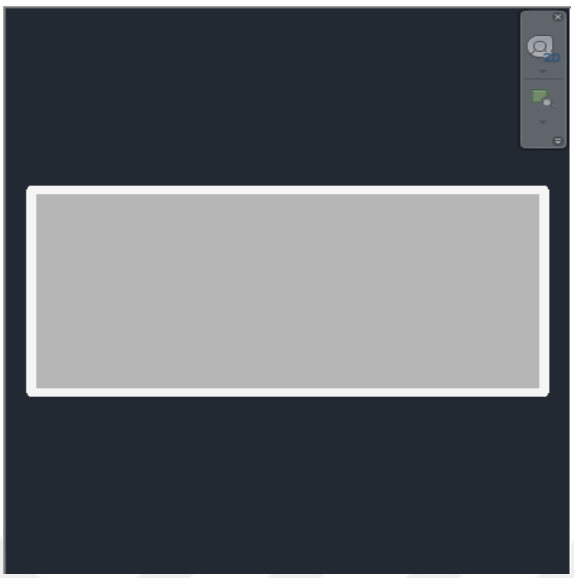
Şekil 3.2 Tuğla + XPS duvar detayı

Tuğla Duvar + Cam Köpüğü: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında tuğla, 5 cm kalınlığında cam köpüğü, 10 cm kalınlığında tuğla ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



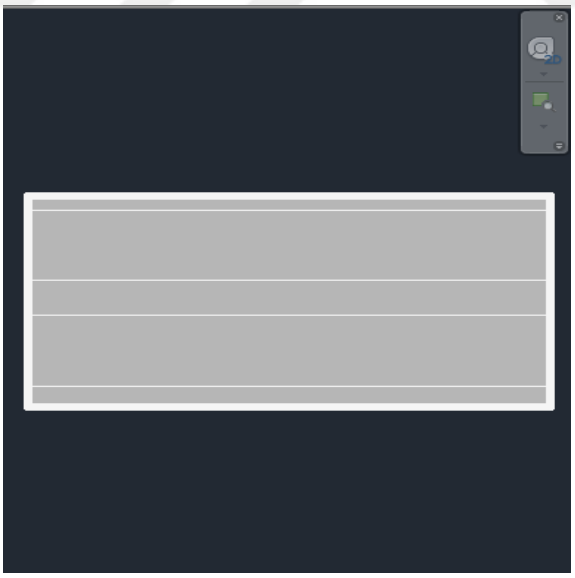
Şekil 3.3 Tuğla + cam köpüğü duvar detayı

Gazbeton Duvar: 3 cm dış sıva, 25 cm kalınlığında gazbeton ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



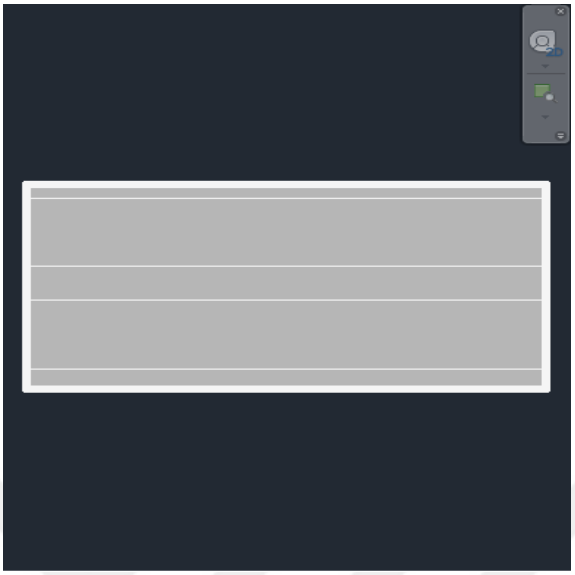
Şekil 3.4 Gazbeton duvar detayı

Gazbeton Duvar + XPS: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında gazbeton, 5 cm kalınlığında XPS, 10 cm kalınlığında gazbeton ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



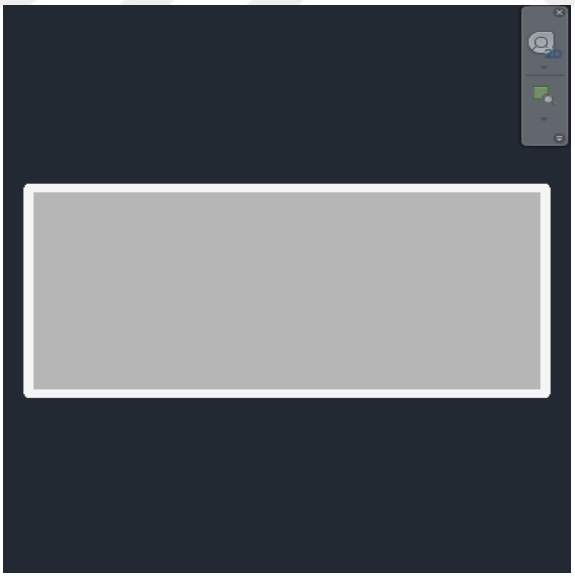
Şekil 3.5 Gazbeton + XPS duvar detayı

Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında gazbeton, 5 cm kalınlığında cam köpüğü, 10 cm kalınlığında gazbeton ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



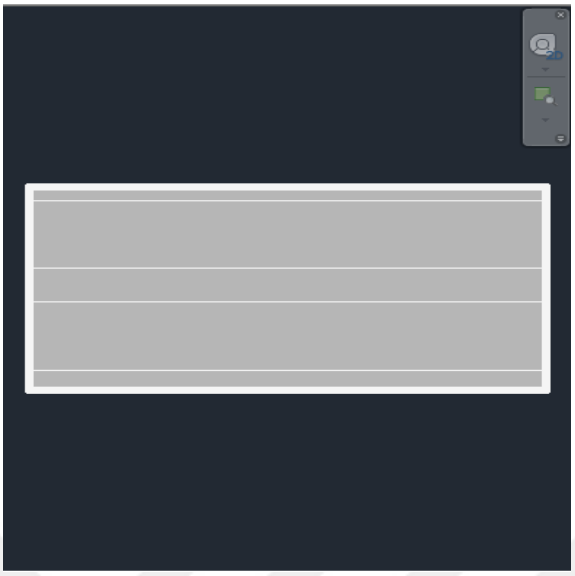
Şekil 3.6 Gazbeton + cam köpüğü duvar detayı

Bims Duvar: 3 cm dış sıva, 25 cm kalınlığında bims ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



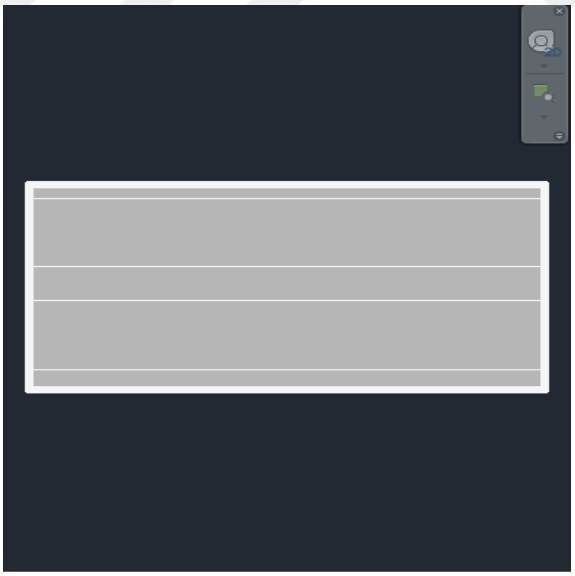
Şekil 3.7 Bims duvar detayı

Bims Duvar + XPS: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında bims, 5 cm kalınlığında XPS, 10 cm kalınlığında bims ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



Şekil 3.8 Bims + XPS duvar detayı

Bims Duvar + Cam Köpüğü: 3 cm dış sıva, 10 cm kalınlığında bims, 5 cm kalınlığında cam köpüğü, 10 cm kalınlığında bims ve 2 cm iç sıva olarak tasarlanan duvardır.



Şekil 3.9 Bims + cam köpüğü duvar detayı

3.5 Kriterlerin Belirlenmesi

Bir binanın dış duvar malzeme seçimi ile ilgili literatürde ve yapılan sektör araştırmalarında oldukça geniş bir yelpazeye yayılan kriterler görülmüştür. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri)
- Isı İletkenlik Katsayısı
- Geçirgenlik
- Ses Yalıtımı
- Yangın Dayanımı
- Maliyet
- Bakım Maliyeti
- İnşaat Süresi
- Dayanım
- Sürdürülebilirlik
- Geri Dönüştürülebilirlik

Bu kriterler arasından seçim yapılırken literatür taraması ve sektörün ana ihtiyacı belirlenmiştir. 2018 yılında yapılan bir çalışmaya göre duvarlarda malzeme seçimi açısından 4 ana kriter belirlenmiştir: (Dikmeoğlu & Atabay, 2018)

- Dayanım
- İmalat Süresi
- Ses Yalıtımı
- Maliyet

2015 yılında Yun Choi ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise inşaat sektöründeki ana performans göstergeleri araştırılmış ve ana olarak bu kriterler belirlenmiştir: (Yun vd., 2016)

- Maliyet
- İmalat Süresi
- Kalite
- Güvenlik
- Müşteri Memnuniyeti
- Sürdürülebilirlik

Literatürde daha önceden kullanılan kriterler baz alınarak bu çalışma için kullanılacak ana ve alt kriterler şu şekilde belirlenmiştir:

- Enerji Tüketimi
    - Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri)
    - Isı İletkenlik Katsayısı
- Sürdürülebilirlik
    - Üretiminde CO_2 Salınımı
- Dayanım
- Bakım Maliyeti
- İnşaat Süresi
- Ağırlık

Ses izolasyonu ve yangın dayanımı kriterleri bina kabuğu seçimi açısından önemli kriterlerdir. Ancak, literatürde yalıtım malzemeli (çok katmanlı) duvar alternatifleri için bu kriterlerin sayısal değerlerine erişilemediği için bu tez kapsamında probleme katılmamışlardır. Seçilen tüm kriterler için literatür ve sektör araştırması yapılacaktır. Kalite kriterinin altında bulunan ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı standartlardan alınarak BIM ile analizi yapılacak ve ortaya çıkan enerji tüketim değeri kriter olarak kullanılacaktır.

3.6 Enerji Tüketiminin Belirlenmesi

Analizi yapılacak olan binanın dış duvarları baz alındığında ısıtma – soğutma döngüsünde harcanan enerjinin hesaplanabilmesi için Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) altyapısına başvurulmuştur. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), inşaat projelerinin planlama, tasarım, yapım ve işletme süreçlerini dijital ortamda canlandırmaya yarayan bir yöntemdir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü, binaların sanal modellerini oluşturarak yapıların daha etkin şekilde tasarlanması, inşa edilmesi ve işletilmesinde bu teknolojiyi vazgeçilmez bir araç olarak benimsemiştir (Maurya vd., 2021). Binanın tasarımının yapılıp girdiler ile birlikte analizinin yapılması için Autodesk Revit program kullanılmıştır.

- **Autodesk Revit:** Autodesk Revit, Autodesk'in Green Building Studio entegrasyonu sayesinde bulut tabanlı bir enerji simülasyon hizmeti sunarak, sürdürülebilir tasarım ilkelerinin uygulanmasını teşvik eder ve inşaat

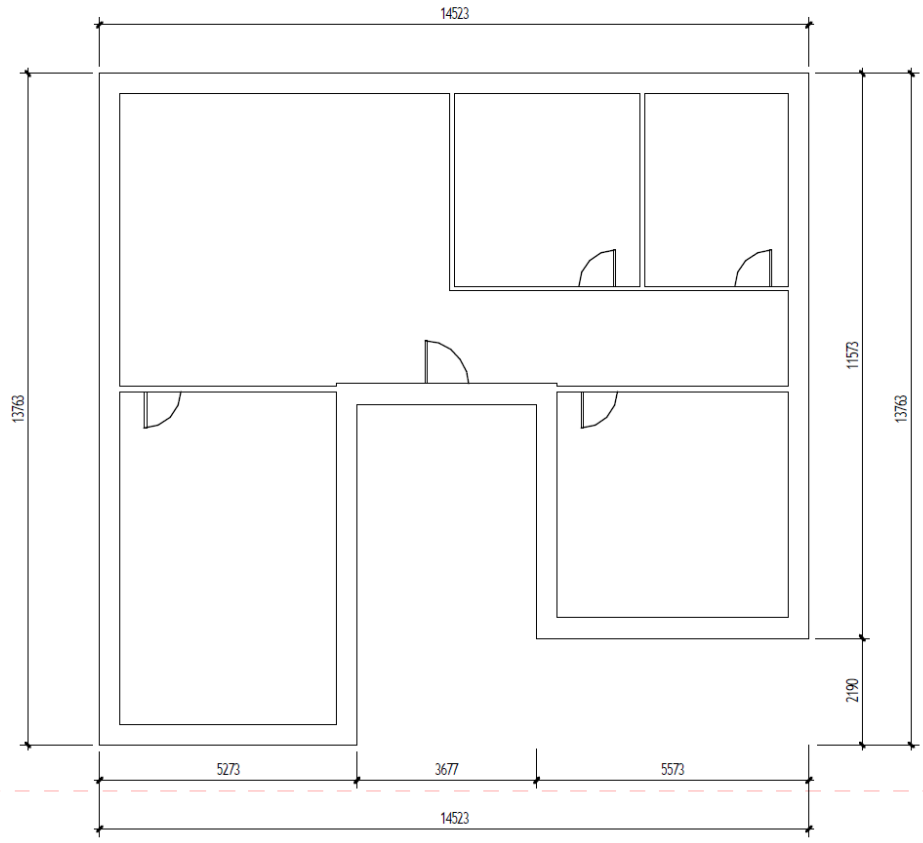
projelerinin enerji analiz işlemlerini pratik hale getirir. Bu yazılım, veri girişlerinin tasarımı ve belgelendirilmesine yönelik sağlam bir altyapıya sahiptir. Ayrıca, Autodesk'in geliştirdiği Revit Architecture kapsamındaki araçlar ve özellikler, yapı bilgi modelleme (BIM) süreçlerini desteklemek amacıyla mimar ve yapı sektörü profesyonelleri için özel olarak oluşturulmuştur (Maurya vd., 2021).

Revit ile analiz yapılırken şu adımlar izlenecektir:

1. Proje Bilgilerinin Toplanması ve İncelenmesi: Analizi yapılacak olan binaya ait tüm gerekli bilgilerin toplanması ve çizim belirlenir.
2. Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması: Belirlenen çizimlere Autodesk Revit program kullanılarak binanın uç boyutlu modeli oluşturulur.
3. Malzeme ve Girdilerinin Tanımlanması: Dış duvarlar, çatı ve iç duvarlar gibi yapı elemanlarının malzeme özelliklerinin tanımlanır.
4. Coğrafi Konumun Belirlenmesi: Hava durumunun simüle edilebilmesi için gerekli konum bilgileri Revit üzerinden tanımlanır.
5. Enerji Analitik Modelinin Oluşturulması: Revit yazılımındaki analiz paneli kullanılarak, binanın enerji analitik modeli otomatik olarak oluşturulur.
6. Enerji İhtiyacının Belirlenmesi: Girilen parametrelere göre binanın yıllık ısıtmı – soğutma döngüsü için erenji ihtiyacı belirlenir.

3.6.1 Proje Bilgilerinin Toplanması

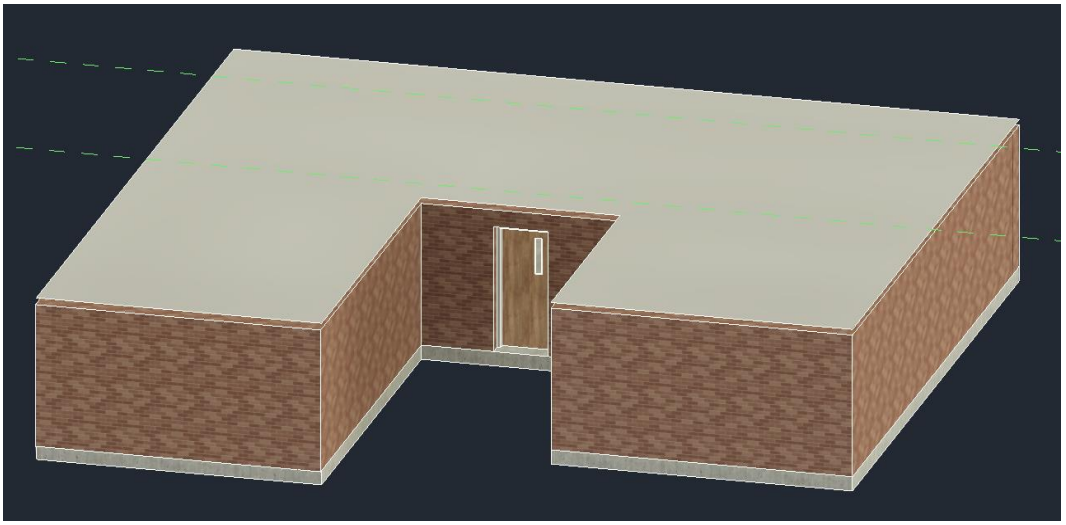
Binanın ana tasarımı belirlenip bir ofis olarak kullanılacaktır. Bu dikkate alınarak binanın planı hazırlanmıştır



Şekil 3.10 Örnek bina projesi

3.6.2 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması

2 boyut olarak ana tasarımı belirlenen binanın kat yükseklikleri, kapılar ve çatı gibi yapı elemanları tanımlanarak Revit üzerinden 3 boyutlu çizimi yapılmıştır.



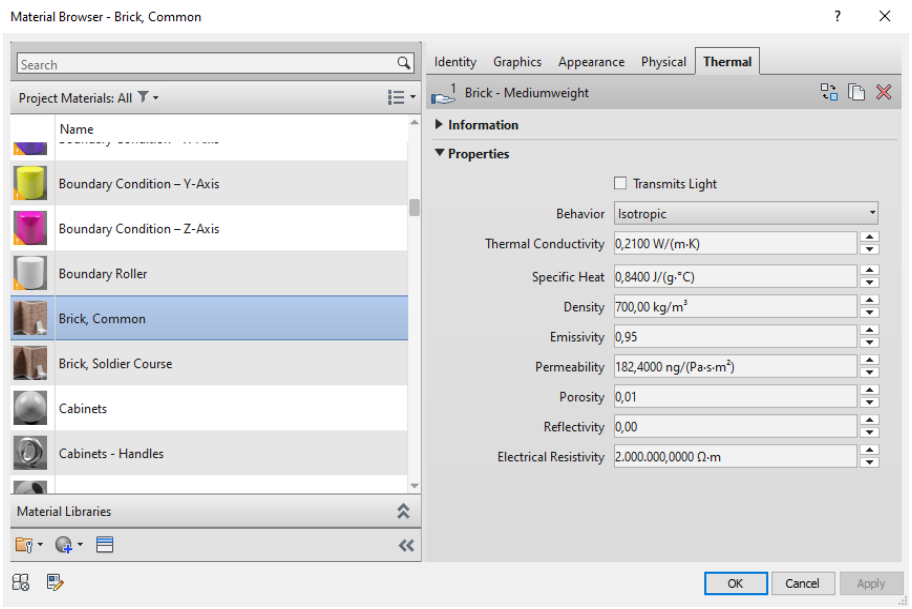
Şekil 3.11 Örnek bina 3 boyutlu tasarımı

3.6.3 Malzeme ve Girdilerin Tanımlanması

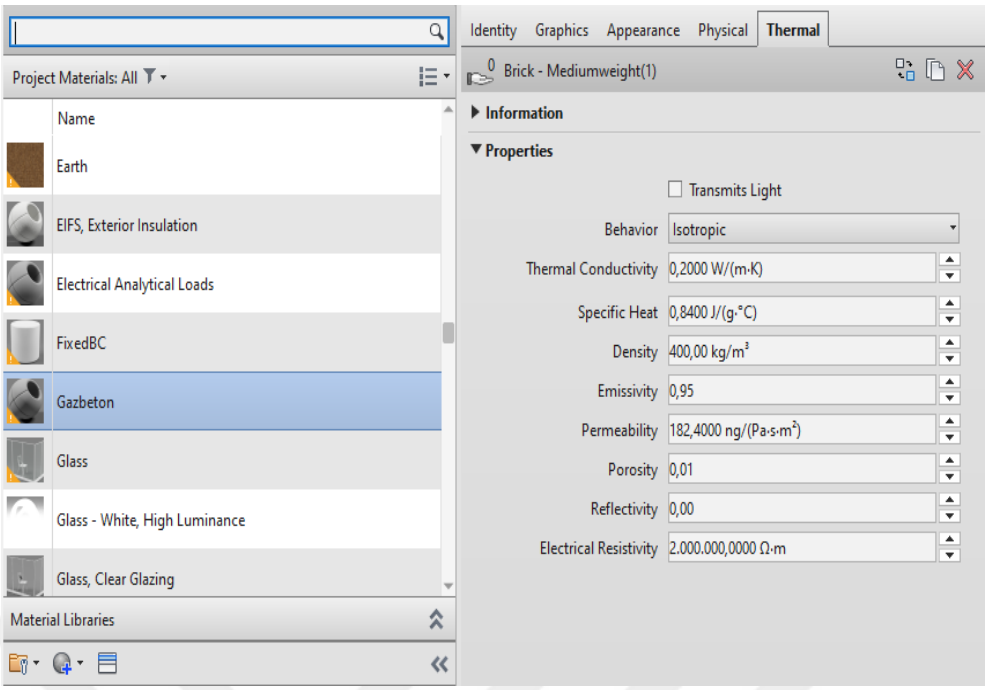
Revit, kullanılan her malzemenin Isı İletkenlik Katsayısını gösterir ve bunu kullanarak malzemenin Isıl Geçirgenlik Katsayısını (U Değeri) hesaplar. Bu değerler, inşaatta tercih edilen malzeme tipine göre seçilir. Seçilen malzemelerin Isı İletkenlik Katsayısı olarak Revit bünyesinde hazır verilen değerler değil TSE 825 tarafından belirtilen standartlara göre katsayılar belirlenip revitte değerler güncellenmiştir (Türkiye Standartları Enstitüsü, 2024). Bu değerler aşağıda yer alan tabloda belirtilmiştir. Girilen malzeme bilgileriyle birlikte duvar konstrüksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan yapı modelinin Revit programı ile ısı iletkenlik katsayısı hesaplanırken sadace duvarların etkisi dikkate alınmış, çatı ve temel analiz dışında tutularak bir değer tanımlaması yapılmamıştır.

Tablo 3.2 Isı iletkenlik katsayısı değerleri

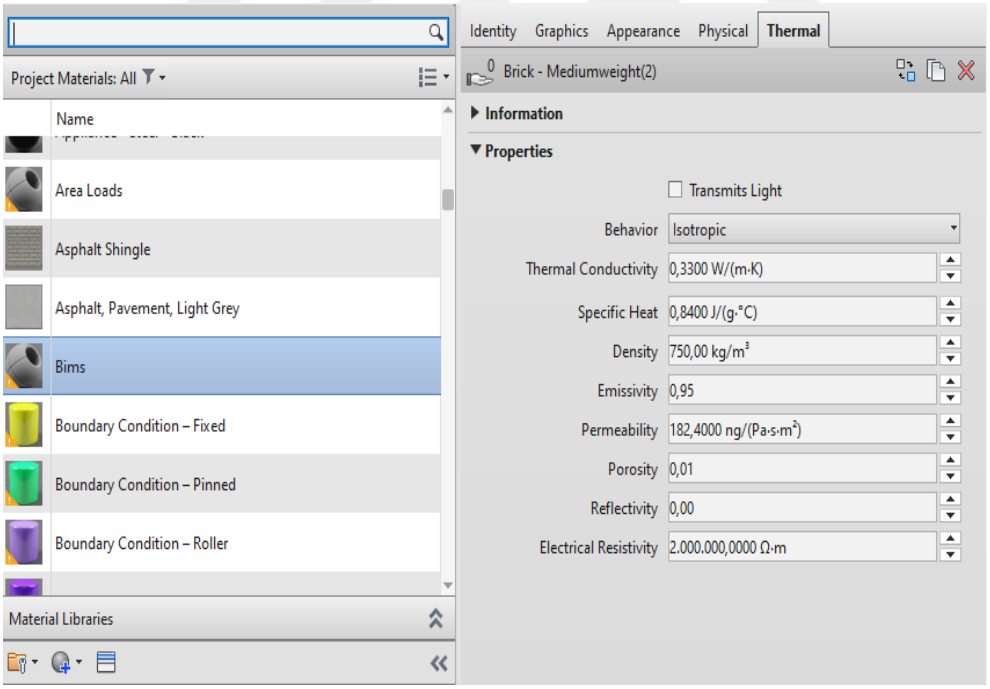
Malzeme	Isı İletkenlik Katsayısı
İç Sıva Harcı	0,700
Dış Sıva Harcı	1,000
Tuğla	0,210
Gazbeton	0,200
Bims	0,330
XPS	0,030
Cam Köpüğü	0,045



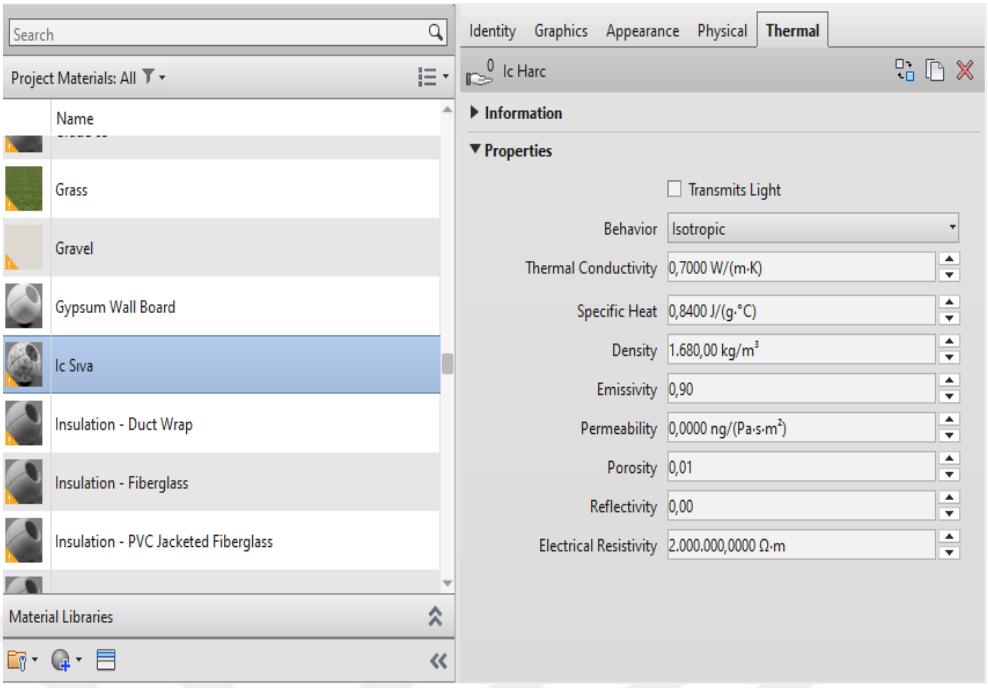
Şekil 3.12 Revit tuğla malzeme girdileri



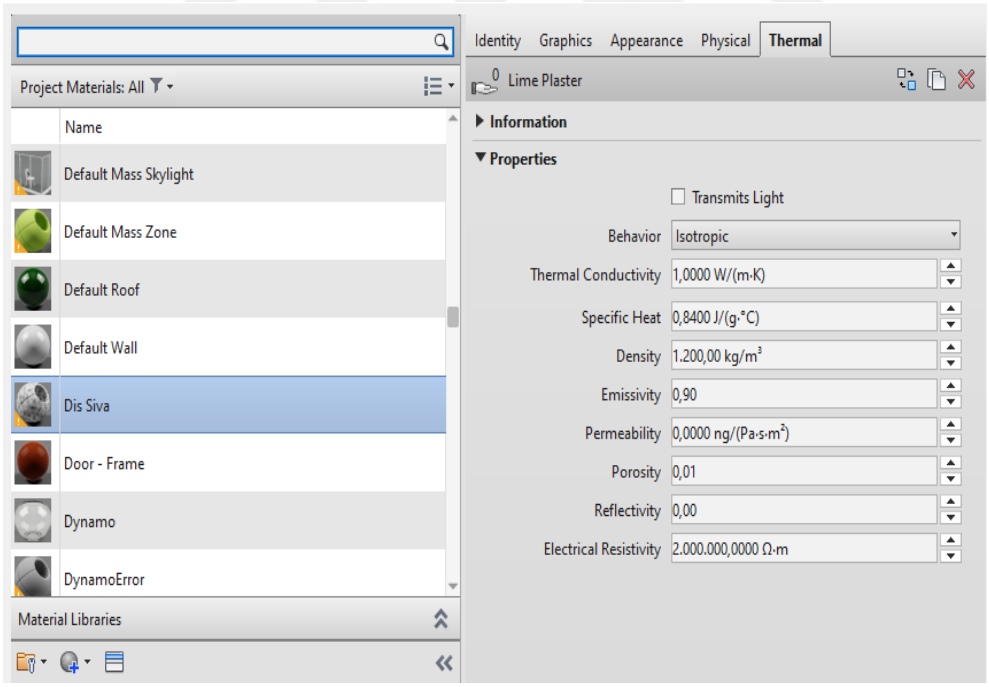
Şekil 3.13 Revit gazbeton malzeme girdileri



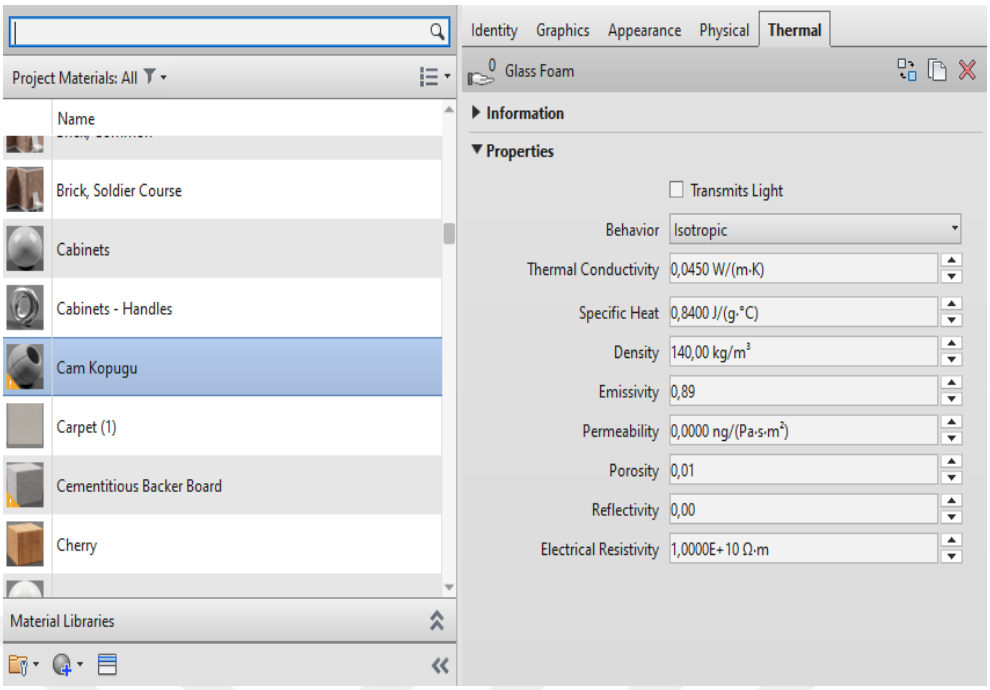
Şekil 3.14 Revit bims malzeme girdileri



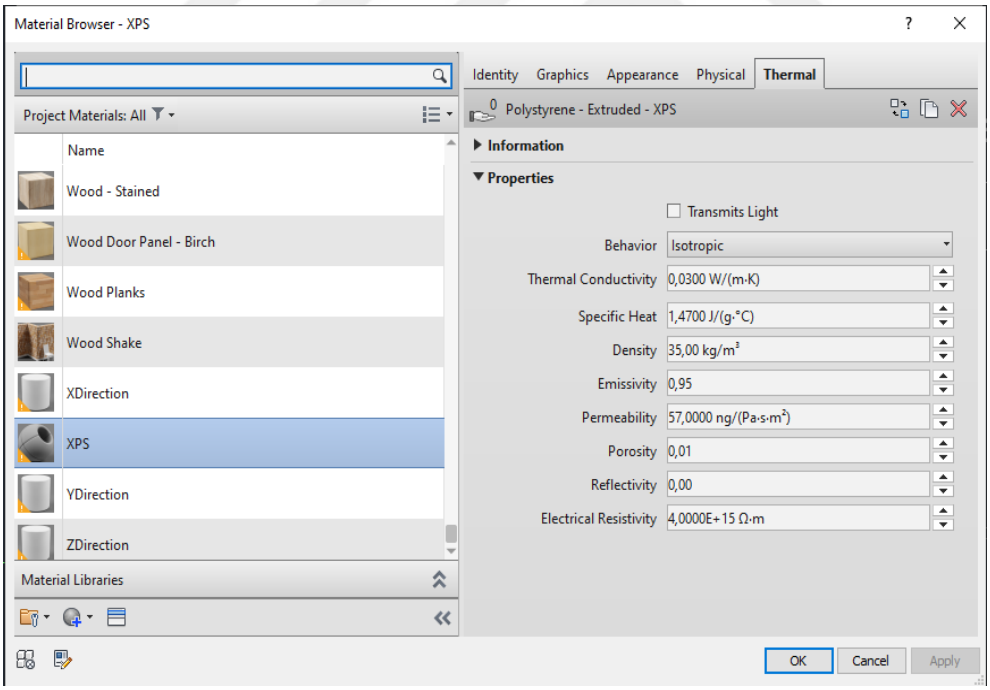
Şekil 3.15 Revit iç sıva malzeme girdileri



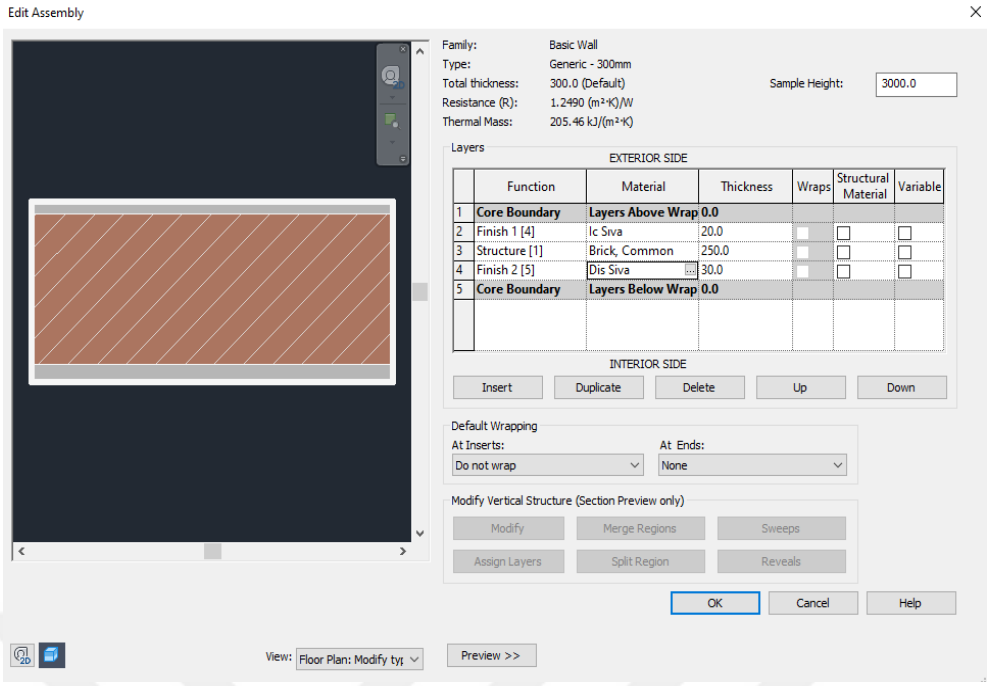
Şekil 3.16 Revit dış sıva malzeme girdileri



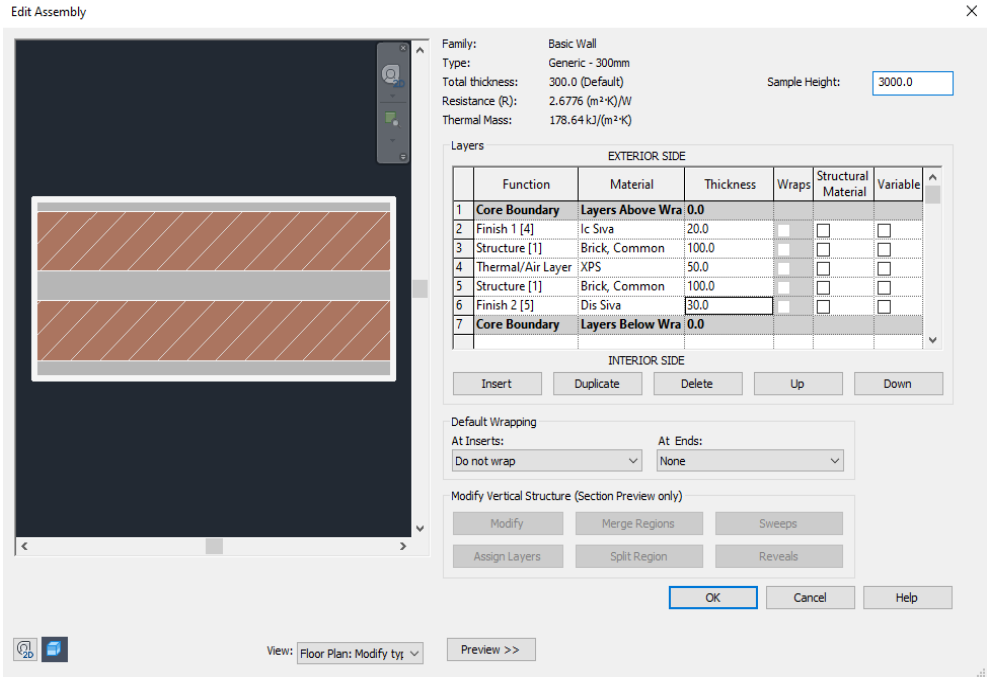
Şekil 3.17 Revit cam köpüğü malzeme girdileri



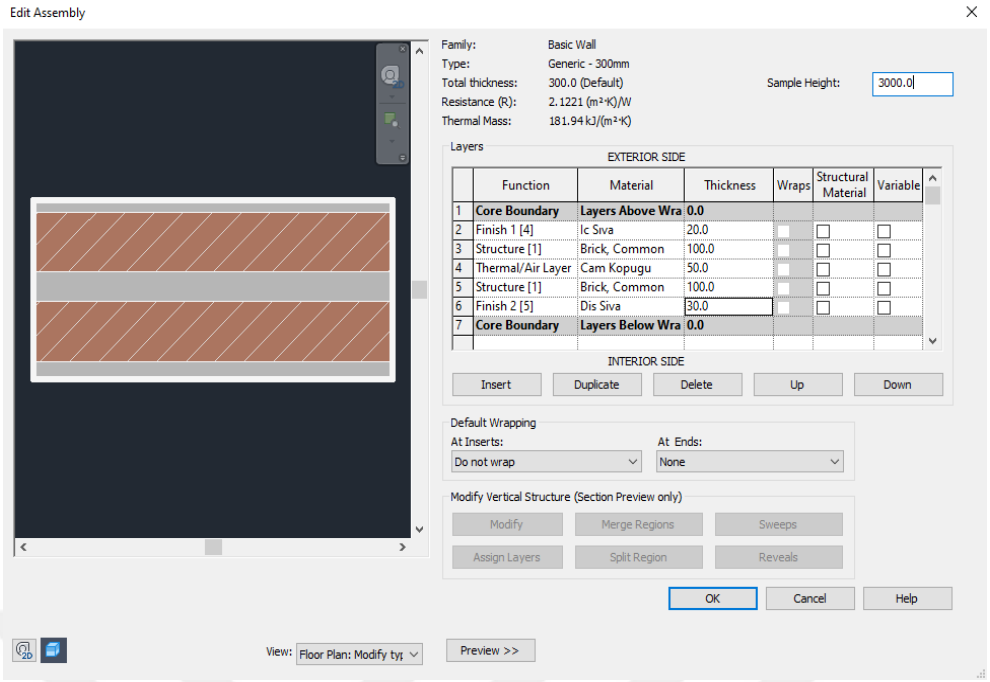
Şekil 3.18 Revit XPS malzeme girdileri



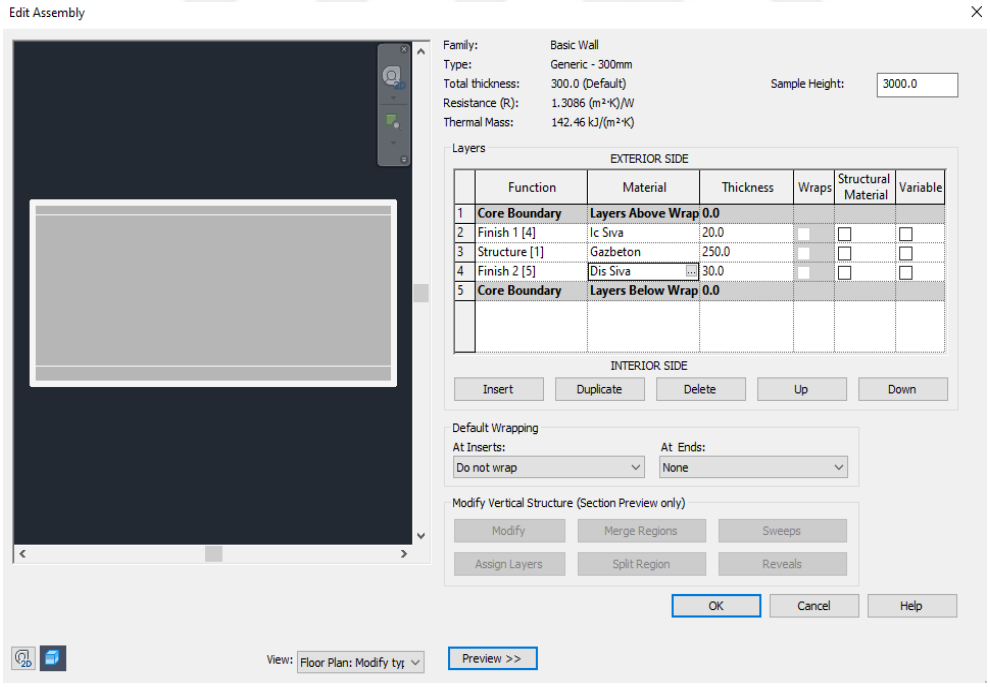
Şekil 3.19 Revit tuğla duvar tanımlaması



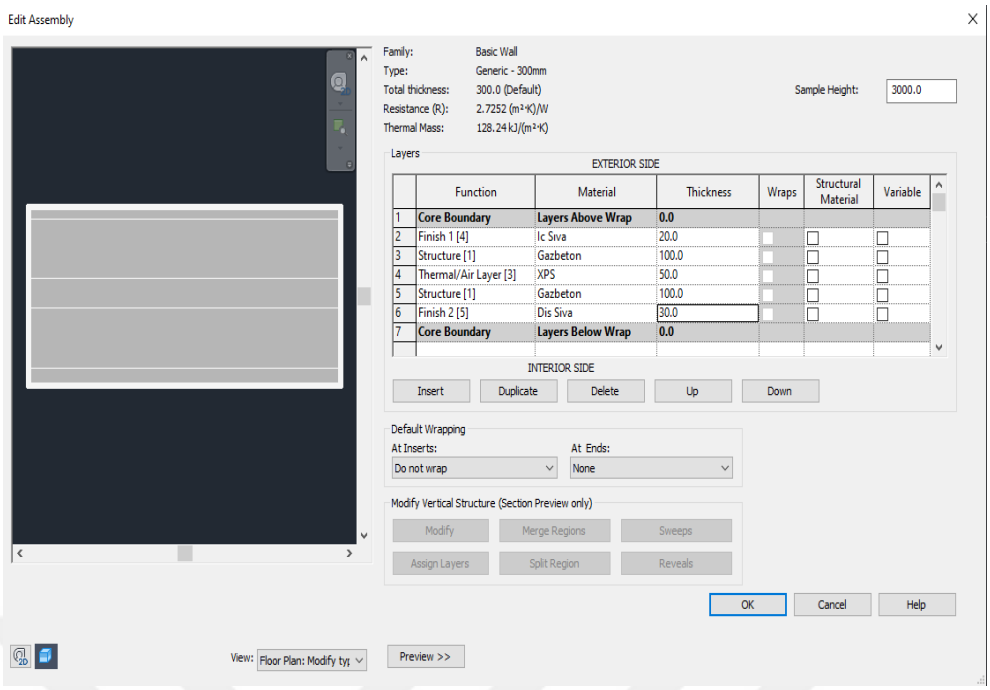
Şekil 3.20 Revit tuğla + XPS duvar tanımlaması



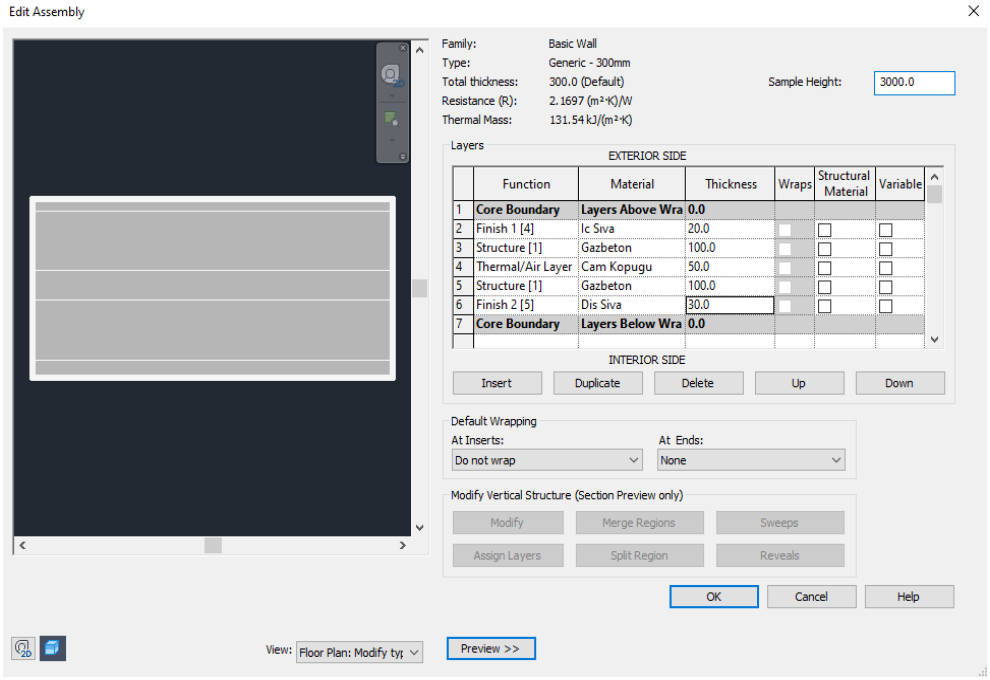
Şekil 3.21 Revit tuğla + cam köpüğü duvar tanımlaması



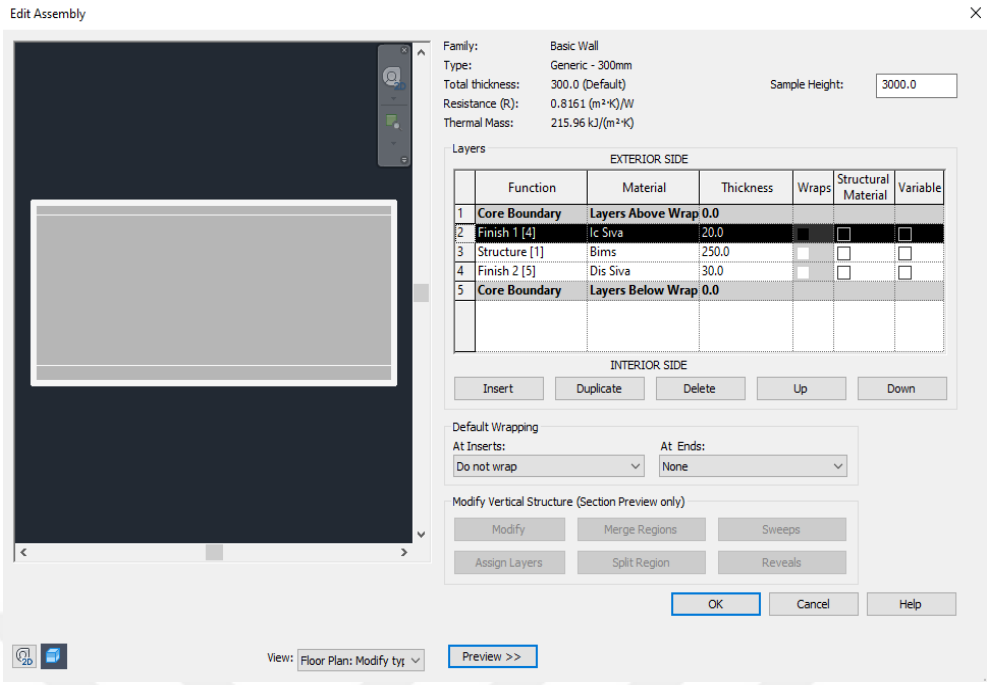
Şekil 3.22 Revit gazbeton duvar tanımlaması



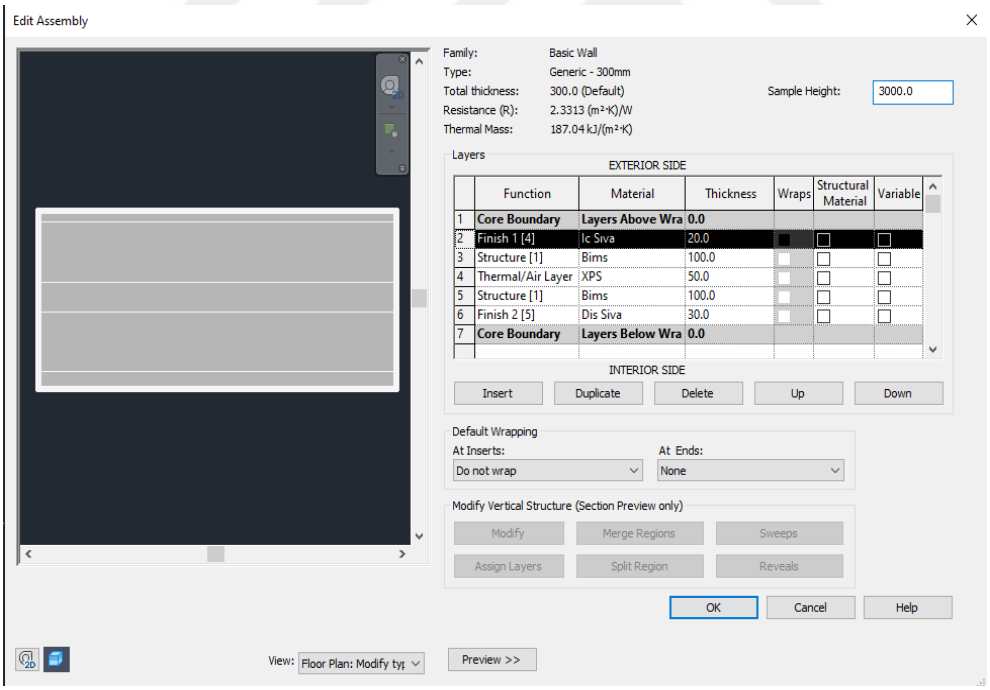
Şekil 3.23 Revit gazbeton + XPS duvar tanımlaması



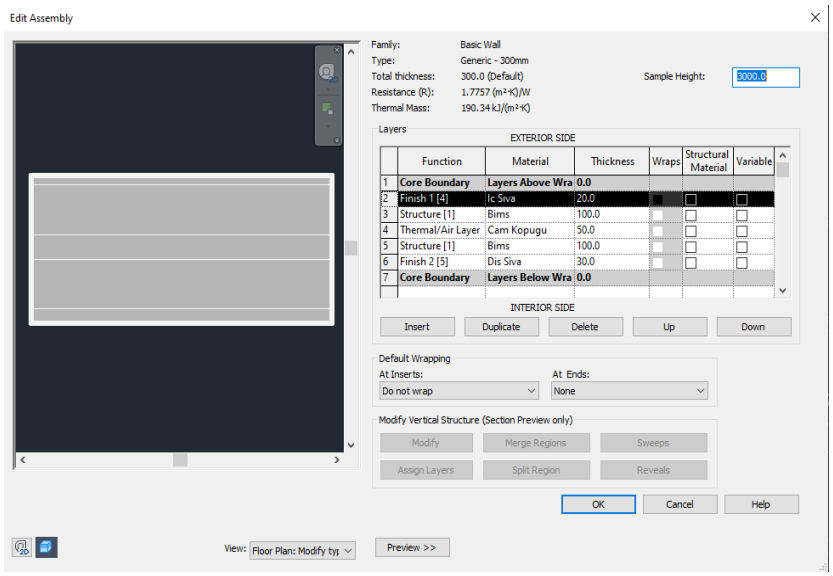
Şekil 3.24 Revit gazbeton + cam köpüğü duvar tanımlaması



Şekil 3.25 Revit bims duvar tanımlaması



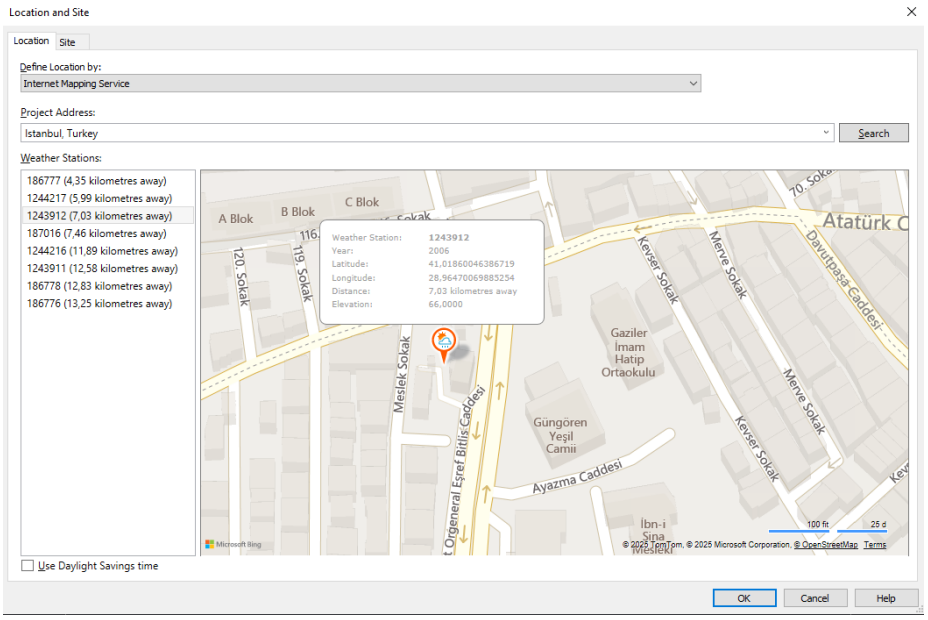
Şekil 3.26 Revit bims + XPS duvar tanımlaması



Şekil 3.27 Revit bims + cam köpüğü duvar tanımlaması

3.6.4 Coğrafi Konumun Belirlenmesi

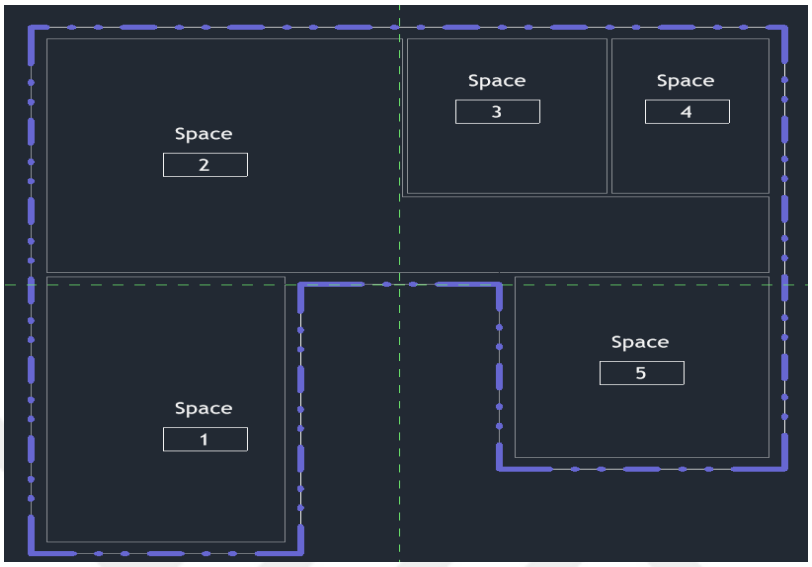
Tasarımı yapılan ofis binası Türkiye'nin İstanbul ilinde yer almaktadır. Binanın 1 yıllık enerji analizi yapılırken 1243912 numaralı, coğrafi koordinatları 41° 1' 6.96" N ve 28° 57' 52.92" E olan, denizden yüksekliği 66 metre olan meteoroloji istasyonu seçilmiştir. Buna göre 3 boyutlu olarak modellenen binaya seçilen farklı malzemelerin girdileri tanımlanarak ısıtma – soğutma döngüsünden kaynaklanan enerji tüketim değeri hesaplanmıştır.



Şekil 3.28 Revit coğrafi konum tanımlaması

3.6.5 Enerji Analitik Modelinin Oluşturulması

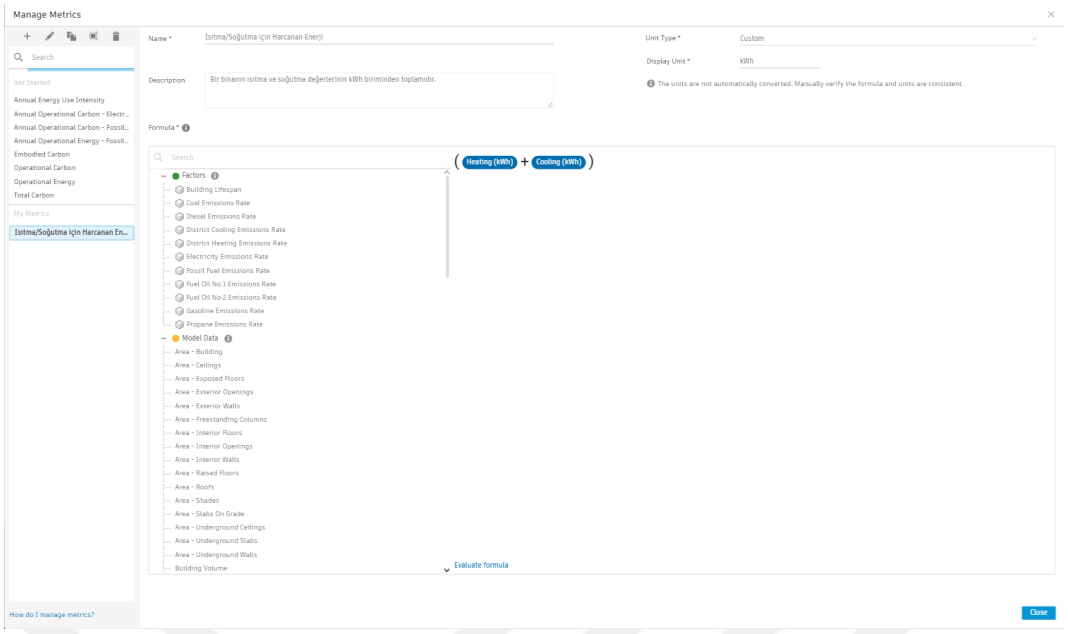
Tasarım program üzerinde odalar space ataması yapılarak her oda belirli bir zone'a dönüştürülmüştür. Bu atamaların yapılmasından sonra Generate komutu ile otomatik olarak binanın enerji analitik modeli Revit tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 3.29 Revit enerji analitik modeli

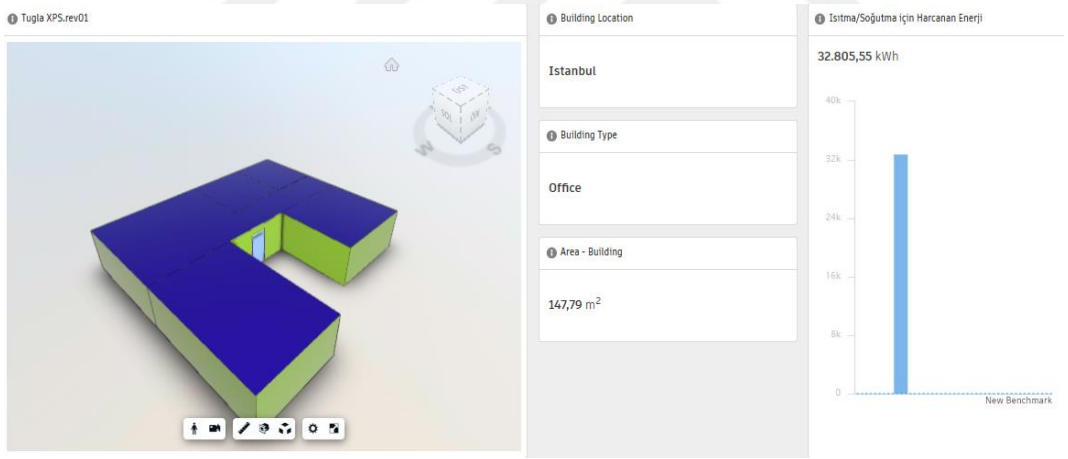
3.6.6 Enerji İhtiyacının Belirlenmesi

Tüm parametrelerin atanması sonrası Revit program içerisinde Analyze ana başlığının altında yer alan Analyze komutu ile analiz gerçekleştirilmiştir. Program kendi içerisindeki hesaplamalarını yaptıktan sonra Autodeskin bir eklentisi olan Insight ile sonuçları paylaşmaktadır. Insight eklentisi içerisinde hazır gelen ölçümlere atamalar yapılmıştır. Metrics başlığı altından analiz edilen ısıtma soğutma değeri için bir "metric" ataması yapılmıştır.



Şekil 3.30 Insight metric ataması

Oluşturulan yeni metric ile bir binanın ısıtma/soğutma için harcanan değeri Insight tarafından sunulmaktadır.



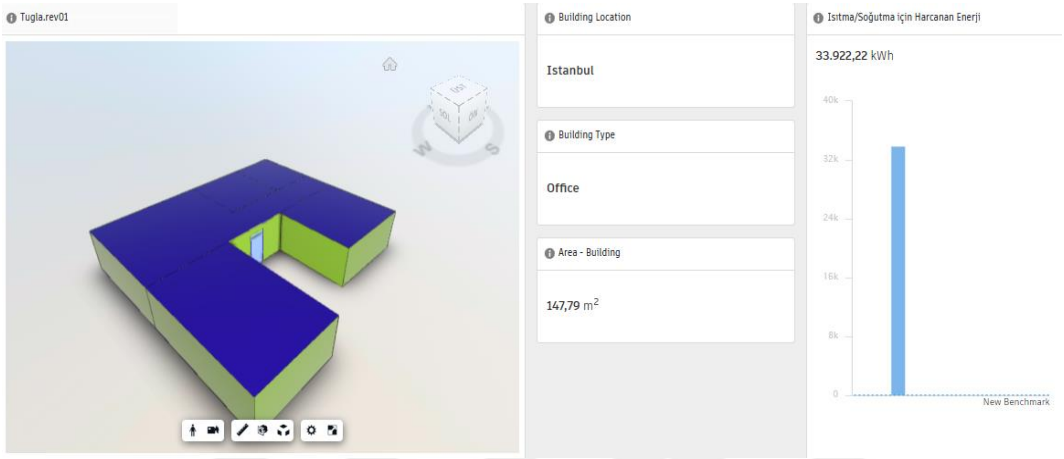
Şekil 3.31 Insight metric çıktısı

3.6.6.1 Alternatiflere Göre BIM Analiz Sonuçları

Tüm parametrelerin girilmesi ile birlikte Tablo 3.1'de belirtilen duvar kombinasyonları için enerji analizi yapılmıştır.

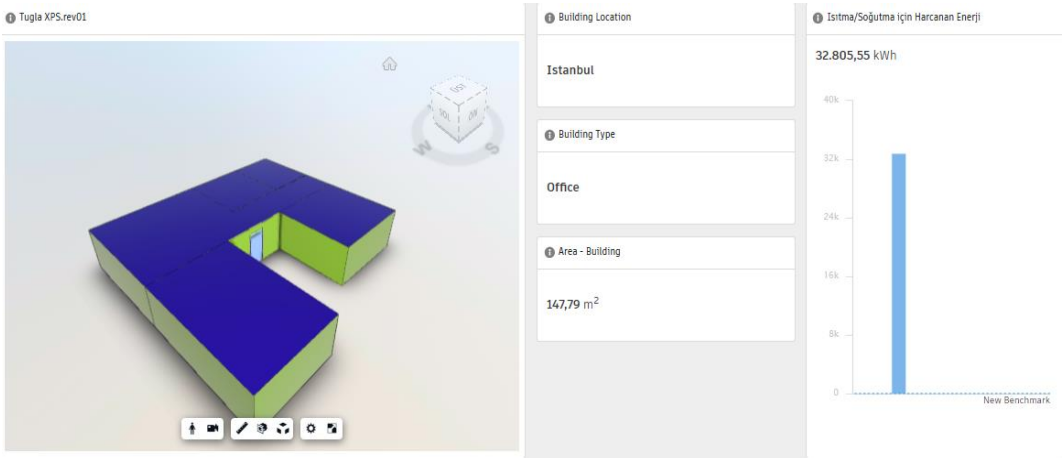
3.6.6.1.1 Tuğla Kombinasyonları

Tuğla Duvar - İç ve Dış sıva harici tek sıra tuğla ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



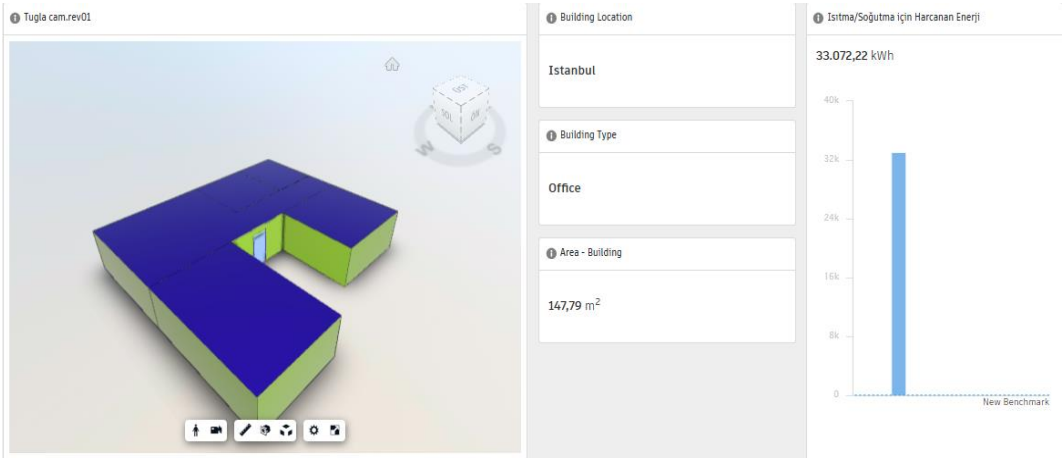
Şekil 3.32 Tuğla duvar enerji tüketimi

Tuğla Duvar + XPS - İç ve Dış sıva harici iki sıra tuğla arasına XPS eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.33 Tuğla + XPS duvar enerji tüketimi

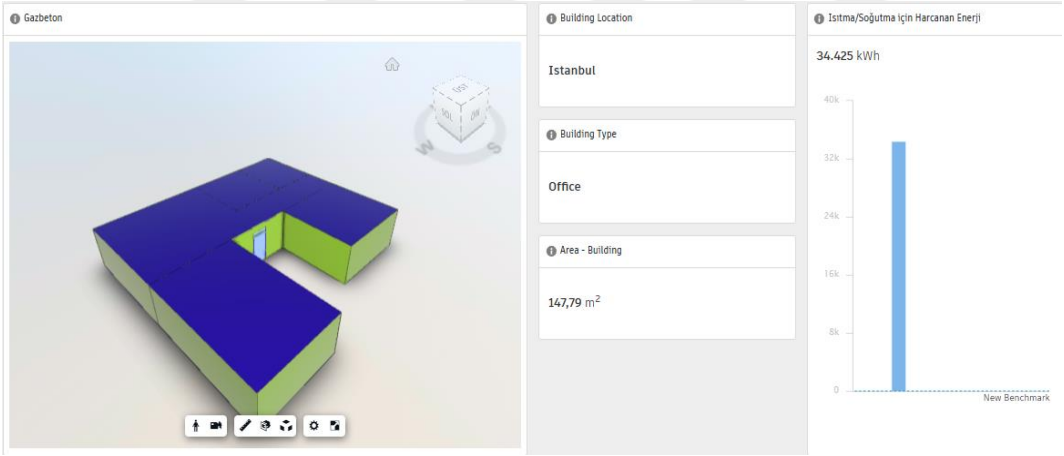
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü - İç ve Dış sıva harici iki sıra tuğla arasına Cam Köpüğü eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.34 Tuğla + cam köpüğü duvar enerji tüketimi

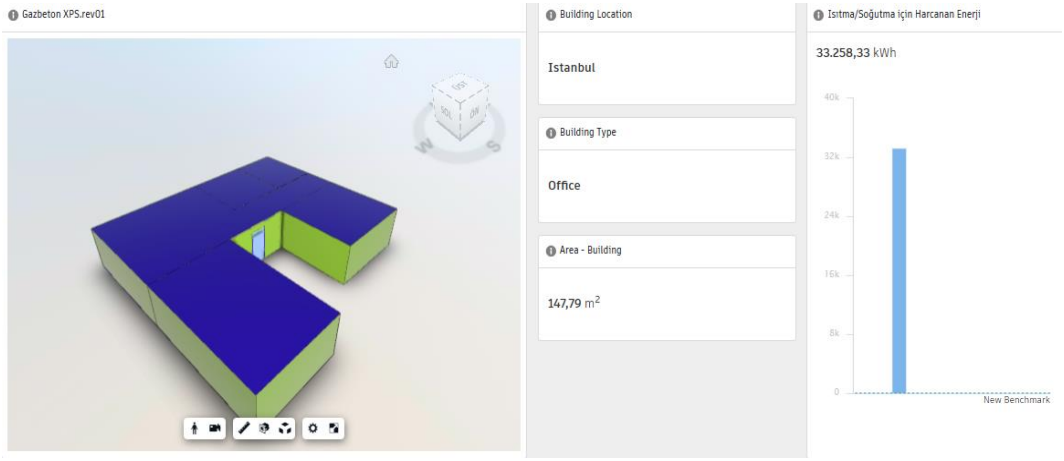
3.6.6.1.2 Gazbeton Kombinasyonları

Gazbeton Duvar - İç ve Dış sıva harici tek sıra gazbeton blokları ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



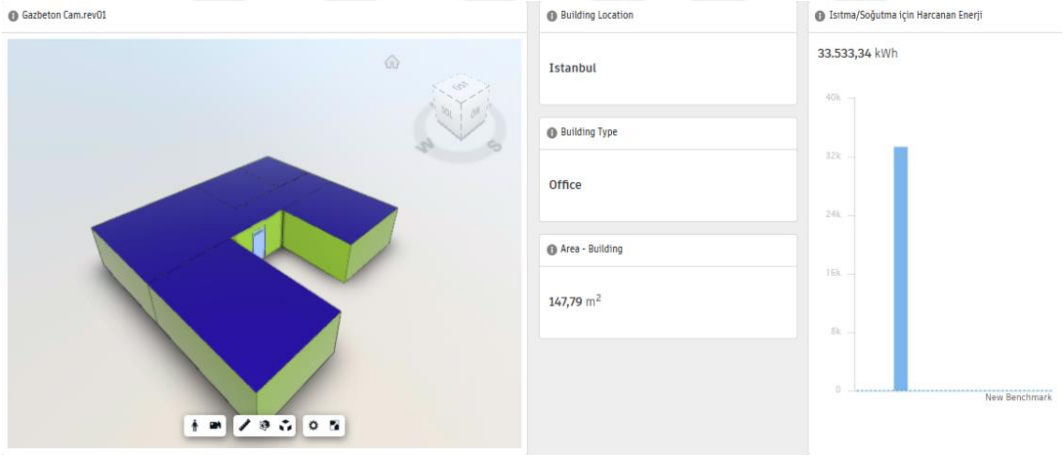
Şekil 3.35 Gazbeton duvar enerji tüketimi

Gazbeton Duvar + XPS - İç ve Dış sıva harici iki sıra gazbeton arasına XPS eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.36 Gazbeton + XPS duvar enerji tüketimi

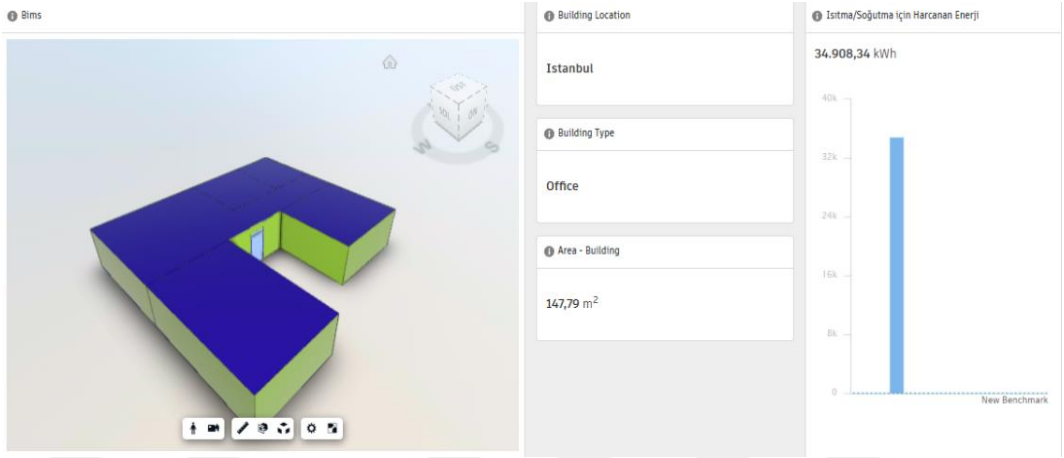
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü - İç ve Dış sıva harici iki sıra gazbeton arasına Cam Köpüğü eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.37 Gazbeton + cam köpüğü duvar enerji tüketimi

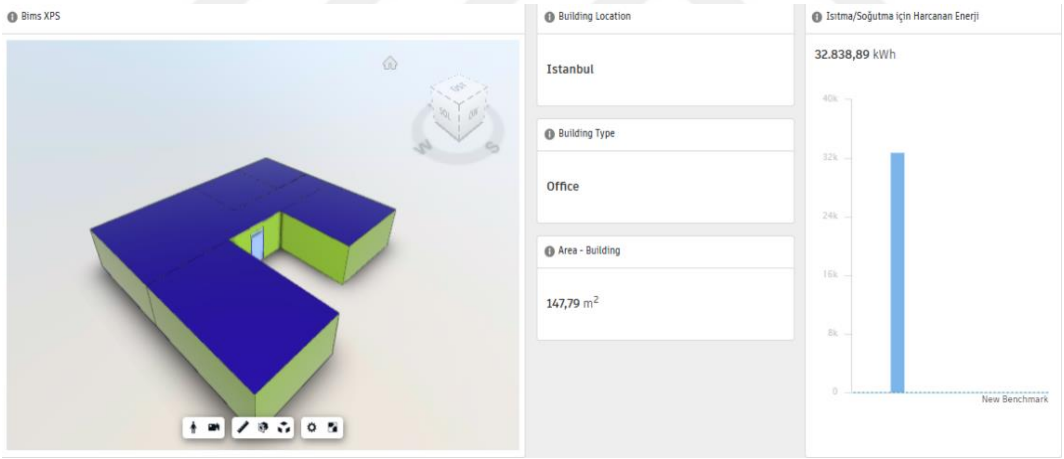
3.6.6.1.3 Bims Kombinasyonları

Bims Duvar - İç ve Dış sıva harici tek sıra bims blokları ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



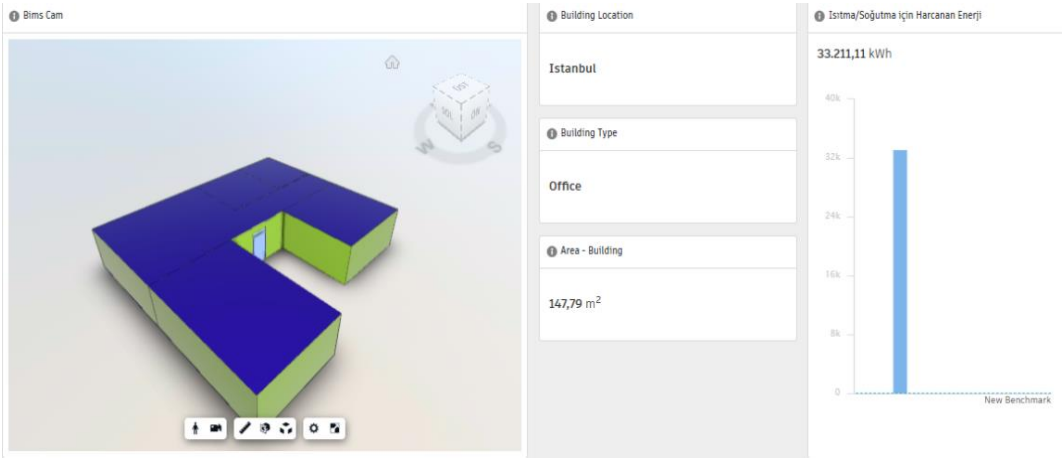
Şekil 3.38 Bims duvar enerji tüketimi

Bims Duvar + XPS - İç ve Dış sıva harici iki sıra bims arasına XPS eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.39 Bims + XPS duvar enerji tüketimi

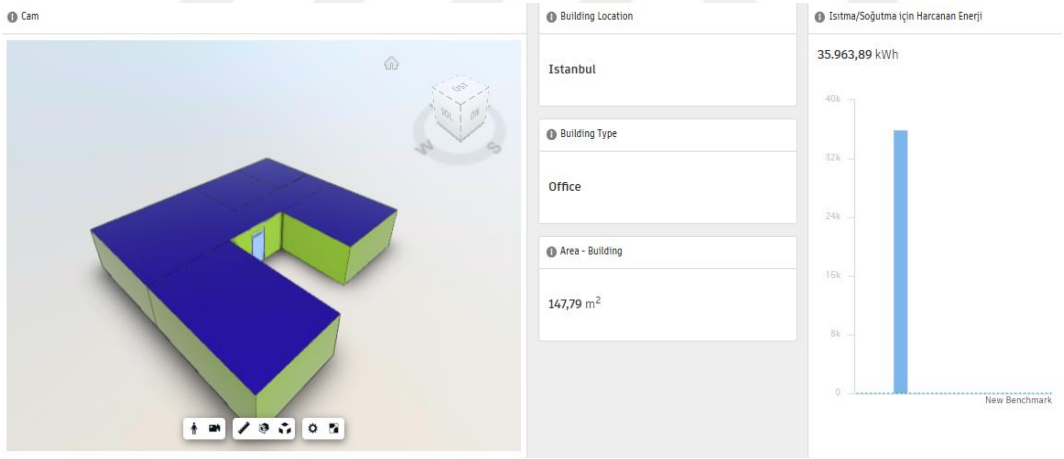
Bims Duvar + Cam Köpüğü - İç ve Dış sıva harici iki sıra bims arasına Cam Köpüğü eklenmesi ile oluşturulmuş duvar analizine göre sonuçlar:



Şekil 3.40 Bims + cam köpüğü duvar enerji tüketimi

3.6.6.1.4 Cam Duvar

Tüm duvar cam panel olarak yapılan analize göre sonuçlar:



Şekil 3.41 Cam duvar enerji tüketimi

Tüm analizlerin sonuçları aşağıda bir tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Duvar alternatifleri enerji tüketim değerleri

Malzeme	Enerji Tüketimi
	kWh
Tuğla Duvar	33.922,22
Tuğla Duvar + XPS	32.805,55
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	33.072,22
Gazbeton Duvar	34.425,00
Gazbeton Duvar + XPS	33.258,33
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	33.533,34
Bims Beton	34.908,34
Bims Beton + XPS	32.838,89
Bims Beton + Cam Köpüğü	33.211,11
Cam	35.963,89

3.7 Kriterlerin Sayısal Değerlerinin Belirlenmesi

Üretiminde CO_2 Salınımı: Kara ve Tuna Kayılı tarafından yapılan çalışmada tuğla, gazbeton ve bims için(Kara & Tuna Kayılı, 2021), Su ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan araştırmadan ise XPS ve cam yünü için değerler elde edilmiştir (Su vd., 2016).

Tablo 3.4 Duvar alternatifleri CO_2 değerleri

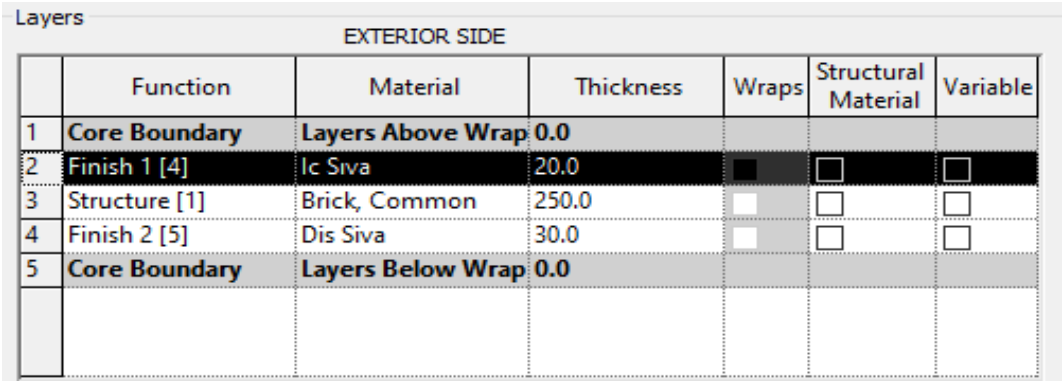
Malzeme	Üretiminde CO_2 Salınımı
	(kg CO_2eq/m^2)
Tuğla Duvar	429,12
Tuğla Duvar + XPS	434,57
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	437,75
Gazbeton Duvar	106,64
Gazbeton Duvar + XPS	112,09
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	115,27
Bims Beton	47,95
Bims Beton + XPS	53,40
Bims Beton + Cam Köpüğü	56,58
Cam	55,00

Dayanım: Çevre ve Şehircilik Birim Fiyatlarından alınmıştır (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2025). Cam için ise Cozzarini ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır (Cozzarini vd., 2023).

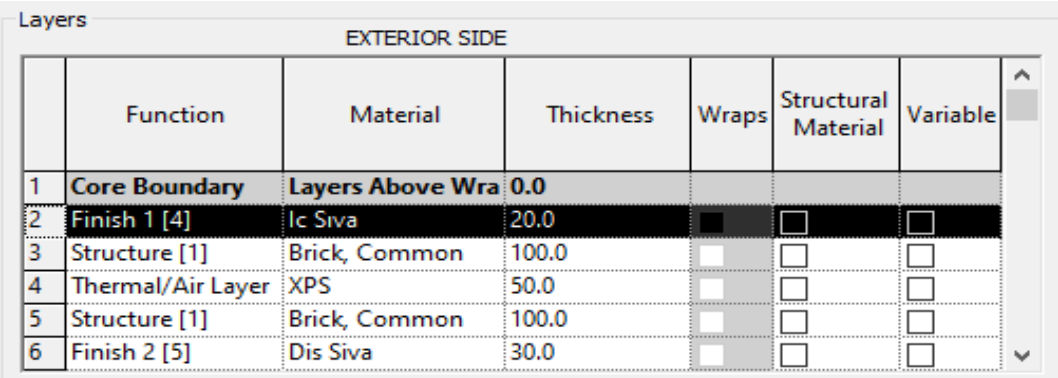
Tablo 3.5 Duvar alternatifleri dayanım değerleri

Malzeme	Dayanım (N/mm^2)
Tuğla Duvar	5,00
Tuğla Duvar + XPS	5,00
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	5,00
Gazbeton Duvar	2,50
Gazbeton Duvar + XPS	2,50
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	2,50
Bims Beton	1,50
Bims Beton + XPS	1,50
Bims Beton + Cam Köpüğü	1,50
Cam	1,66

Maliyet: Çevre ve Şehircilik Birim Fiyatlarından alınmıştır (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2025). Tuğla duvarların tek sıra, çift sıra olması eklenen yalıtım malzemesinin olup olmaması dikkate alınarak birim fiyat pozlarının adam saatleri toplanarak elde edilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası tarafından belirlenen 02.01.2025 tarihli dolar kuru olan 35,369 TL kullanılarak maliyetler dolar cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 3.42 Tek sıra tuğla kullanımı ile duvar tanımlaması



Şekil 3.43 Çift sıra tuğla kullanımı ile duvar tanımlaması

Tablo 3.6 Duvar alternatifleri maliyet değerleri

Malzeme	Maliyet (TL/m^2)	Maliyet ($\$/m^2$)
Tuğla Duvar	₺1.146,21	32,41$
Tuğla Duvar + XPS	₺1.867,43	52,80$
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	₺1.655,69	46,81$
Gazbeton Duvar	₺1.011,59	28,60$
Gazbeton Duvar + XPS	₺1.515,83	42,86$
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	₺1.304,09	36,87$
Bims Beton	₺712,65	20,15$
Bims Beton + XPS	₺1.277,13	36,11$
Bims Beton + Cam Köpüğü	₺1.065,39	30,12$
Cam	₺3.836,19	108,46$

Bakım Maliyeti: Sektör çalışanları ve üreticiler ile yapılan mülakatlardan alınmıştır.

Tablo 3.7 Duvar alternatifleri bakım maliyeti yüzdeleri

Malzeme	Bakım Yüzdeleri
Tuğla	1,50%
Gazbeton	1,25%
Bims	1,25%
Cam	2,50%
XPS	0,75%
Cam Köpüğü	0,75%

Yüzde oranlarına göre TL/m2 cinsinden bakım maliyetleri elde edilmiştir.

Tablo 3.8 Duvar alternatifleri bakım maliyeti değerleri

Malzeme	Bakım Maliyeti (TL/m².yıl)
Tuğla Duvar	₺17,19
Tuğla Duvar + XPS	₺25,22
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	₺23,63
Gazbeton Duvar	₺12,64
Gazbeton Duvar + XPS	₺17,09
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	₺15,50
Bims Beton	₺8,91
Bims Beton + XPS	₺14,10
Bims Beton + Cam Köpüğü	₺12,51
Cam	₺95,90

İnşaat Süresi: Çevre ve Şehircilik Birim Fiyatlarından alınmıştır (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2025). Tuğla duvarların tek sıra, çift sıra olması eklenen yalıtım malzemesinin olup olmaması dikkate alınarak birim fiyat pozlarının adam saatleri toplanarak elde edilmiştir.

Tablo 3.9 Duvar alternatifleri inşaat süresi değerleri

Malzeme	İnşaat Süresi (adam saat/m²)
Tuğla Duvar	2,13
Tuğla Duvar + XPS	3,97
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	3,87
Gazbeton Duvar	1,54
Gazbeton Duvar + XPS	1,51
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	1,41
Bims Beton	1,54
Bims Beton + XPS	1,51
Bims Beton + Cam Köpüğü	1,41
Cam	2,40

Ağırlık: Çevre ve Şehircilik Birim Fiyatlarında belirtilen poz detaylarından hesaplanmıştır (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2025).

Tablo 3.10 Duvar alternatifleri ağırlık değerleri

Malzeme	Ağırlık (kg/m^2)
Tuğla Duvar	175,00
Tuğla Duvar + XPS	162,92
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	162,08
Gazbeton Duvar	100,00
Gazbeton Duvar + XPS	81,92
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	81,08
Bims Beton	187,50
Bims Beton + XPS	151,92
Bims Beton + Cam Köpüğü	151,08
Cam	29,40

Alternatifler için maliyet ve ek bilgiler için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarından yararlanılmıştır. Yalıtım malzemelerinin kullanıldığı duvar alternatiflerinde tek sıra halinde tek bloklar yerine çift sıra halinde araya yalıtım malzemesi gelecek şekilde duvar tasarımı yapılmıştır. Burada kullanılacak malzemelerin boyutu küçüleceği için buna göre alternatif pozlar alınmıştır. Baz alınan pozlar ve tanımları Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de belirtilmiştir: (Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2025)

Tablo 3.11 Duvar ve yalıtım malzemeleri için birim fiyat tarifleri

Alternatif	Poz Numarası	Poz Açıklaması
Tuğla Duvar	152.201.126	250 mm kalınlığında düşey delikli tuğla (240 x 250 x 235 mm) ile duvar yapılması (W Sınıfı - 600-800 kg/m³). Projesine göre düşey delikli tuğla ile çimento-kireç karışımı harç kullanılarak duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Gazbeton Duvar	152.251.012	25 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbetontutkalı ile) (2,50 N/mm² ve 400 kg/m³). Projesine göre teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile gazbeton tutkalı kullanılarak duvar yapılması için, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Bims Duvar	152.301.007	25 cm kalınlığındaki taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması (bimsbeton tutkalı ile) (min. 1,50 N/mm² ve 600-900 kg/m³, 900 kg/m³ hariç). Projesine göre taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile bimsbeton tutkalı kullanılarak duvar yapılması için, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
XPS	153.412.081	, 6 cm kalınlıkta 0.030<Isıl iletkenlik katsayısı ≤ 0.035 W/(m.K) olan levhalar (XPS - 300 Kpa basınç dayanımlı) ile toprak temaslı temel perde ve duvarlarında su yalıtımı üzerine ısı yalıtımı yapılması. 6 cm kalınlıktaki XPS levhaların pimlerin çivili kısımlarına şaşırtmalı olarak, aralarında boşluk kalmaksızın sıkıca yerleştirilmesi, levha arkasına geçen yalıtım piminin pulunun takılması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zaiyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve karı dahil 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Cam Köpüğü	153.414.021	6 cm kalınlıkta camyünü şilte ile yükseltilmiş döşemelerde asma tavanlarda ve diğer detaylarda ısı ve ses yalıtımı yapılması (Ses yutma katsayısı (ortalama) ≥ 0,80 olan). cm kalınlıktaki camyünü şiltelerin aralarında boşluk kalmaksızın yükseltilmiş döşeme uygulamasında veya asma tavanlarda yerine konulması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zaiyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve karı dahil 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.

Tablo 3.12 Yalıtımlı duvar ve cam duvar için birim fiyat tarifleri

Alternatif	Poz Numarası	Poz Açıklaması
Yalıtımlı Alternatif Tuğla Duvar	152.201.121	115 mm kalınlığında düşey delikli tuğla (240 x 115 x 235 mm) ile duvar yapılması (W Sınıfı - 600-800 kg/m³). Projesine göre düşey delikli tuğla ile çimento-kireç karışımı harç kullanılarak duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Yalıtımlı Alternatif Gazbeton Duvar	152.251.004	10 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (2,50 N/mm² ve 400 kg/m³). Projesine göre teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile gazbeton tutkalı kullanılarak duvar yapılması için, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Yalıtımlı Alternatif Bims Duvar	152.301.002	10 cm kalınlığındaki taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması (bimsbeton tutkalı ile) (min. 1,50 N/mm² ve 600-900 kg/m³, 900 kg/m³ hariç). Projesine göre taşıyıcı olmayan bimsbeton duvar blokları ile bimsbeton tutkalı kullanılarak duvar yapılması için, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Cam Duvar / Kasa	155.151.001	Ahşaptan kasa ve pervazlı tek satıhlı pencere yapılması ve yerine konulması. Projesine göre, kasa kayıt ve serenleri temizi en az 45 mm kalınlıkta ve iç kasası en az 35 mm pervazları en az 25 mm kalınlıkta olmak üzere çam kerestesinden kasa ve pervazlı tek satıhlı pencere yapılması, cam çıtalarının (tek cam veya ısıcam) takılması için, her türlü malzeme ve zayiatı, işçilik, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil, (cam, boya, cila ve madenî aksam bedeli hariç, cam çıtası bedeli dahil) 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.
Cam Duvar / Cam	154.701.008	Ahşap doğramaya çıta ile 6+6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu çift camlı pencere ünitesi takılması. 6+6 mm kalınlıkta, 16 mm ara boşluklu çift camlı pencere ünitesinin takılacağı yerin ölçüsüne göre hazırlanması, cam yuvasına takozların konulması ve camın yuvaya yerleştirilmesi, ahşap çıtanın köşelerden en fazla 10 cm uzakta ve birbirine en fazla 30 cm aralıklı olarak vidalarla tutturulması, camlama takozları ile ünitenin dengelenmesi, oluşan derzlerin iç ve dış taraflarının nötral (asitsiz) silikon ile doldurulması, inşaat yerinde yükleme, yatay düşey taşıma ve boşaltma, her türlü malzeme ve zaiyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve karı dahil 1 m² fiyatı" temsil etmektedir.

Tablo 3.13 Duvar alternatifleri ve kriter değerleri

Malzeme	Enerji Tüketimi	Üretiminde CO_2 Salınımı	Dayanım	Bakım Maliyeti	İnşaat Süresi	Ağırlık	Maliyet
	kwH	(kg CO_2eq/m^2)	(N/mm^2)	(TL/yıl)	(ad.sa/m^2)	(kg/m^2)	(TL/m^2)
Tuğla Duvar	33.922,22	429,12	5,00	₺17,19	2,13	175,00	₺1.146,21
Tuğla Duvar + XPS	32.805,55	434,57	5,00	₺25,22	3,97	162,92	₺1.867,43
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	33.072,22	437,75	5,00	₺23,63	3,87	162,08	₺1.655,69
Gazbeton Duvar	34.425,00	106,64	2,50	₺12,64	1,54	100,00	₺1.011,59
Gazbeton Duvar + XPS	33.258,33	112,09	2,50	₺17,09	1,51	81,92	₺1.515,83
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	33.533,34	115,27	2,50	₺15,50	1,41	81,08	₺1.304,09
Bims Beton	34.908,34	47,95	1,50	₺8,91	1,54	187,50	₺712,65
Bims Beton + XPS	32.838,89	53,40	1,50	₺14,10	1,51	151,92	₺1.277,13
Bims Beton + Cam Köpüğü	33.211,11	56,58	1,50	₺12,51	1,41	151,08	₺1.065,39
Cam	35.963,89	55,00	1,66	₺95,90	2,40	29,40	₺3.836,19

3.8 Değer Mühendisliği Çalışması

Değer mühendisliği, bir ürünün işlevlerine odaklanarak kullanıcı talepleri, kalite ve zaman kısıtlarını dikkate alan bir maliyet optimizasyonu yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, değer mühendisliğinin temel unsurlarından biri, kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlamaktır. Her ne kadar analiz edilmesi gereken işlevler müşteri talepleri doğrultusunda belirlenmiş olsa da bu işlevlerin görece önem düzeylerinin sistematik biçimde tespit edilmesi ve kullanıcı önceliklerini yansıtacak şekilde ağırlıklandırılması gereklidir. İşlevlerin önem düzeyi kullanıcıdan kullanıcıya değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, işlevlerin sıralamasını ve oransal önemini belirleyebilmek için hem değer mühendislerinin hem de kullanıcıların görüşlerini ifade edebileceği ve öncelik düzeylerini ortaklaşa belirleyebileceği yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Uğural, 2023).

Seçilen kriterlerin önem sırasını belirleyebilmek adına bir DM takımı kurulup "Nominal Grup Tekniği" kullanılarak kriterlerin önem sırası belirlenip "Öncelik Matrisi Yöntemi" ile kriterlerin ağırlığı belirlenmiştir.

3.8.1 Değer Mühendisliği Takımı

Değer mühendisliği ekibi mimar, inşaat mühendisi, ustalar, üreticiler ve son kullanıcılar gibi farklı disiplinlerden bir araya gelen uzmanlardan oluşmaktadır. Ekip değer mühendisliği aşamalarını uygulayarak alternatifler belirleyip bu alternatiflerin değerlendirmesini yapacaktır.

Tablo 3.14 Değer mühendisliği takımı

Üye No	**Mesleği**
1	İnşaat Mühendisi (Takım Lideri)
2	İnşaat Mühendisi
3	Mimar
4	Mimar
5	İnşaat Ustası
6	İnşaat Ustası
7	Üretici
8	Üretici
9	Müşteri
10	Müşteri

3.8.2 Nominal Grup Tekniği

Bu teknik, değer mühendisinin ve kullanıcıların değer mühendisliği ekibinin, işlevlerin önem sırasını ortaklaşa belirlemesine olanak tanıyacaktır. Bu yöntemde, değer mühendisliği ekibinin her bir üyesine, önceden belirlenen işlev sayısına eşit olacak şekilde puan tahsis edilir. Her katılımcı, en önemli olduğunu düşündüğü işleve en yüksek puanı verir ve sonraki işlevler için puanlamayı her seferinde bir puan azaltarak devam ettirir (Uğural, 2023).

Tablo 3.14'te belirtilen 10 adet değer mühendisliği ekibi üyeleri nominal grup tekniğini uygulayabilmek adına kriterleri birbirleri arasında puanlamıştır.

Tablo 3.15 1. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	4
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	2
Dayanım	(N/mm^2)	3
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	5
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	6
Ağırlık	(kg/m^2)	1

Tablo 3.16 2. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	**3**
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	**1**
Dayanım	(N/mm^2)	**6**
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	**2**
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	**4**
Ağırlık	(kg/m^2)	**5**

Tablo 3.17 3. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	5
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	4
Dayanım	(N/mm^2)	6
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	2
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	3
Ağırlık	(kg/m^2)	1

Tablo 3.18 4. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	6
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	4
Dayanım	(N/mm^2)	2
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	3
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	5
Ağırlık	(kg/m^2)	1

Tablo 3.19 5. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	5
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	1
Dayanım	(N/mm^2)	2
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	4
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	6
Ağırlık	(kg/m^2)	3

Tablo 3.20 6. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	6
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	1
Dayanım	(N/mm^2)	4
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	3
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	5
Ağırlık	(kg/m^2)	2

Tablo 3.21 7. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	6
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	2
Dayanım	(N/mm^2)	5
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	3
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	4
Ağırlık	(kg/m^2)	1

Tablo 3.22 8. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	5
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	6
Dayanım	(N/mm^2)	2
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	4
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	3
Ağırlık	(kg/m^2)	1

Tablo 3.23 9. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	**5**
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	**3**
Dayanım	(N/mm^2)	**6**
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	**4**
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	**2**
Ağırlık	(kg/m^2)	**1**

Tablo 3.24 10. Üye kriter puanlaması

Kriter	Birim	Puan
Enerji Tüketimi	kwH	**4**
Üretiminde CO2 Salınımı	(kg CO_2eq/m^2)	**3**
Dayanım	(N/mm^2)	**6**
Bakım Maliyeti	(TL/m^2)	**5**
İnşaat Süresi	($ad.sa/m^2$)	**2**
Ağırlık	(kg/m^2)	**1**

Her bir ekip üyesinin sıralaması dikkate alınarak tüm sıralar bir tabloda birleştirilip puan ortalamalarına göre kriterlerin önem sıralaması belirlenmiştir.

Tablo 3.25 Üye puanlamalarına göre önem sıralaması

Kriter	1. Üye	2. Üye	3. Üye	4. Üye	5. Üye	6. Üye	7. Üye	8. Üye	9. Üye	10. Üye	Toplam	Sıra No
Enerji Tüketimi	6	3	5	6	5	5	6	6	5	4	49	**1**
Üretiminde CO_2 Salınımı	5	1	4	4	3	1	1	2	6	3	27	**5**
Dayanım	4	6	6	2	6	2	4	5	2	6	42	**2**
Bakım Maliyeti	3	2	2	3	4	4	3	3	4	5	35	**4**
İnşaat Süresi	2	4	3	5	2	6	5	4	3	2	40	**3**
Ağırlık	1	5	1	1	1	3	2	1	1	1	17	**6**

3.8.3 Öncelik Matrisi Yöntemi

Bu yöntem, Nominal Grup Tekniği'ne benzer şekilde işlevlerin önceliklendirilmesini sağlar. Bu yöntemde, işlevler ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilir. Her karşılaştırma sırasında, değer mühendisliği ekibi tarafından daha önemli görülen işlev bir puan alırken, diğer işlev sıfır puan alır. Tüm karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra, elde edilen puanlar toplanarak işlevlerin

sıralaması belirlenir. Ayrıca, toplam puanlara dayanarak işlevlerin göreceli önem yüzdeleri hesaplanır (Uğural, 2023).

Tablo 3.26 Öncelik matrisine göre önem sıralaması ve yüzdeleri

Malzeme	Enerji Tüketimi	Üretiminde CO_2 Salınımı	Dayanım	Bakım Maliyeti	İnşaat Süresi	Ağırlık	Toplam	%
Enerji Tüketimi	1	1	1	1	1	1	6	28,57%
Üretiminde CO_2 Salınımı	0	1	0	0	0	1	2	9,52%
Dayanım	0	1	1	1	1	1	5	23,81%
Bakım Maliyeti	0	1	0	1	0	1	3	14,29%
İnşaat Süresi	0	1	0	1	1	1	4	19,05%
Ağırlık	0	0	0	0	0	1	1	4,76%

Bu iki yöntemle yapılan hesaplamalar sonucu kriterlerin önem sıralamaları ve ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre kriterlerin önem sırası en önemli kriter 1 olacak şekilde şu şekildedir:

Tablo 3.27 Kriter önem sıralaması ve yüzdeleri

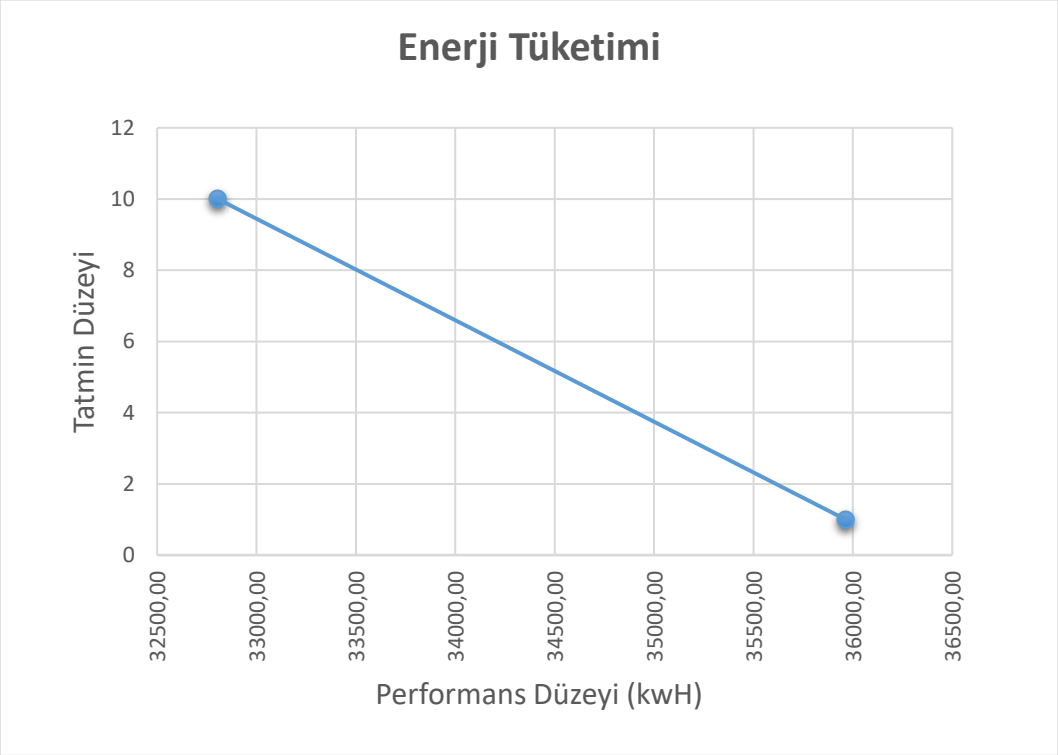
Önem Sırası	Kriter	Önem Yüzdesi
1	Enerji Tüketimi	28,57%
2	Dayanım	23,81%
3	İnşaat Süresi	19,05%
4	Bakım Maliyeti	14,29%
5	Üretiminde CO_2 Salınımı	9,52%
6	Ağırlık	4,76%

3.8.4 Tatmin Düzeylerinin Belirlenmesi

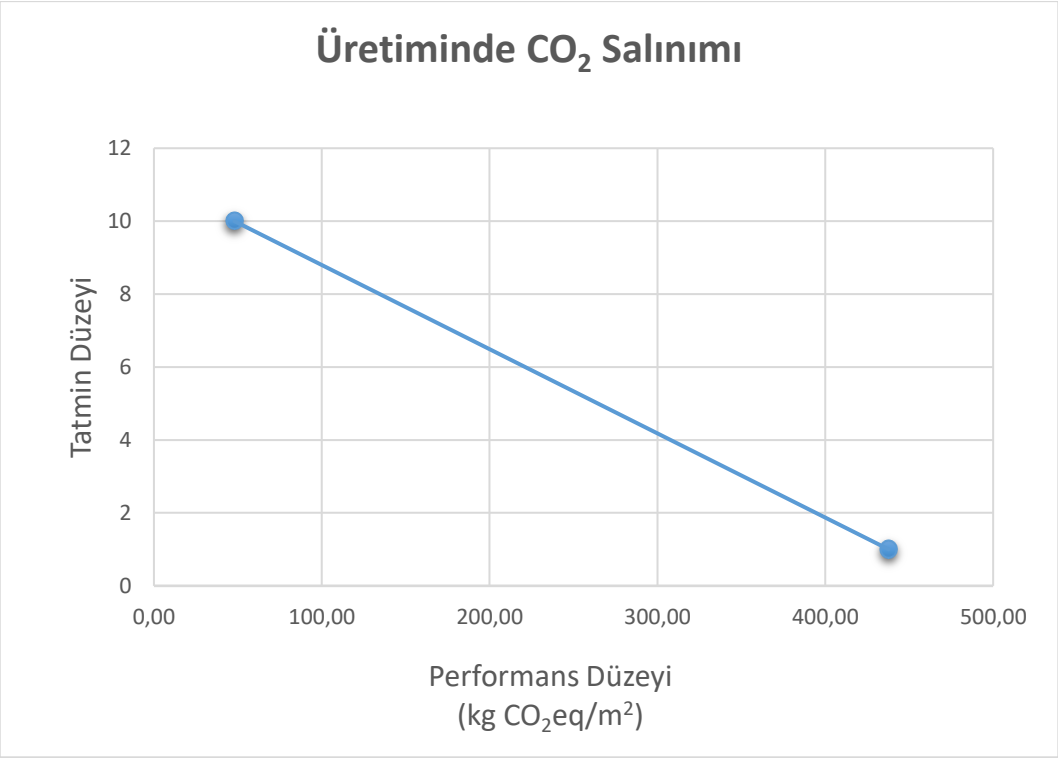
Değer mühendisliği formülü denklem 2.3'te verildiği üzere Fayda / Maliyettir. Bu bağlamda, faydanın doğru şekilde hesaplanabilmesi için malzemelerin tatmin düzeylerinin bilinmesi gerekmektedir. Tatmin düzeylerinin bilinmediği durumlarda, fayda eğrisi oluşturularak bu değerler belirlenebilir (Uğural, 2023).

Fayda eğrisi, iki eksenden oluşan bir grafiksel gösterimdir. Dikey eksende, malzemelerin 1 ile 10 arasında değişen tatmin düzeyleri yer alırken, yatay eksende, malzemelerin belirlenen işlevlerine karşılık gelen performans seviyeleri gösterilir. Her işlev için ayrı bir grafik oluşturulur. En düşük performansa sahip değer tatmin düzeyi 1 olarak, en yüksek performansa sahip değer ise 10 olarak belirlenir ve bu

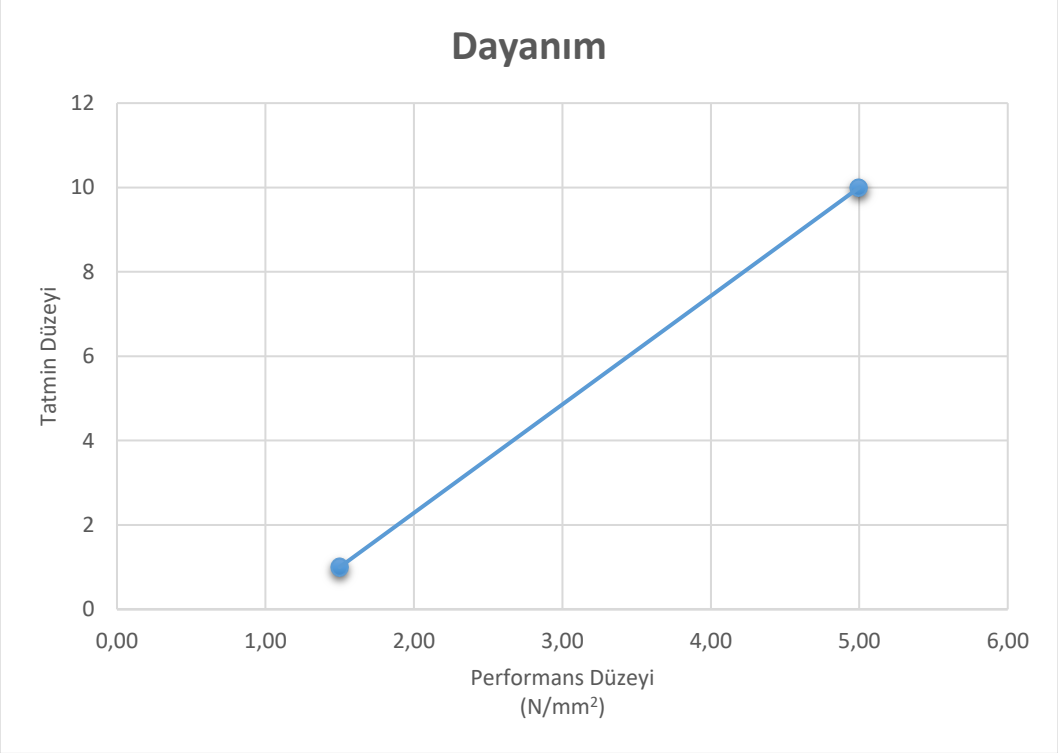
iki nokta grafiğe işlenir. Grafikte, ara performans seviyeleri için karşılık gelen tatmin değerleri bu eğri boyunca hesaplanabilir.



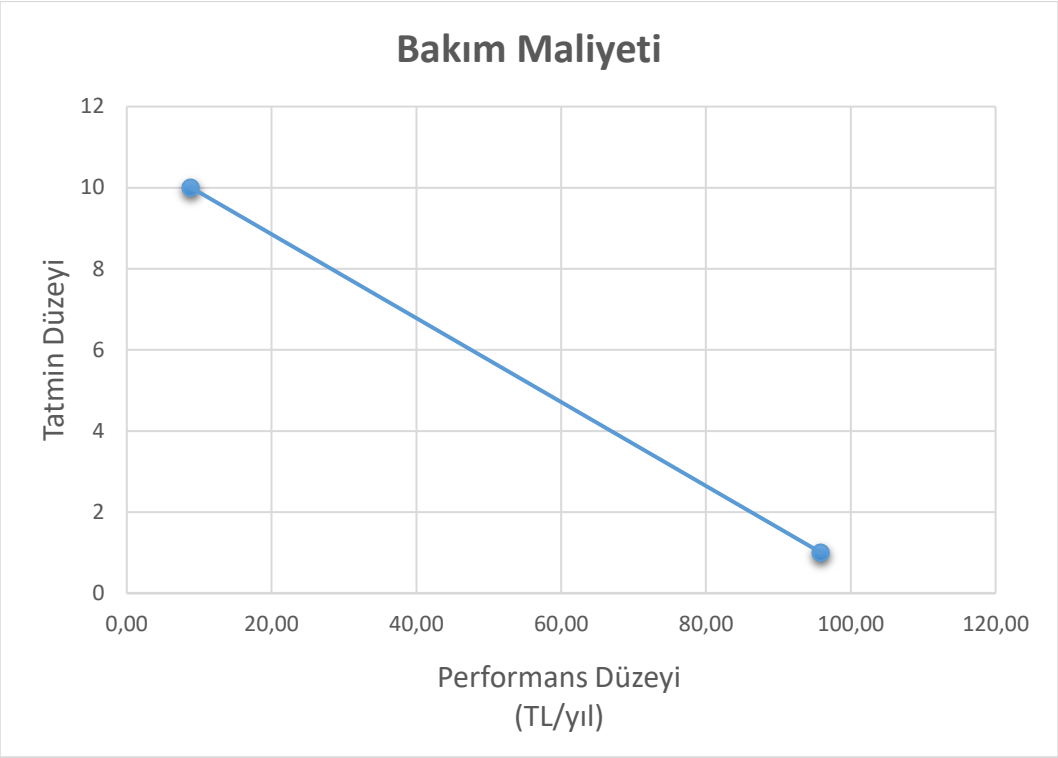
Şekil 3.44 Enerji tüketimi tatmin düzeyi grafiği



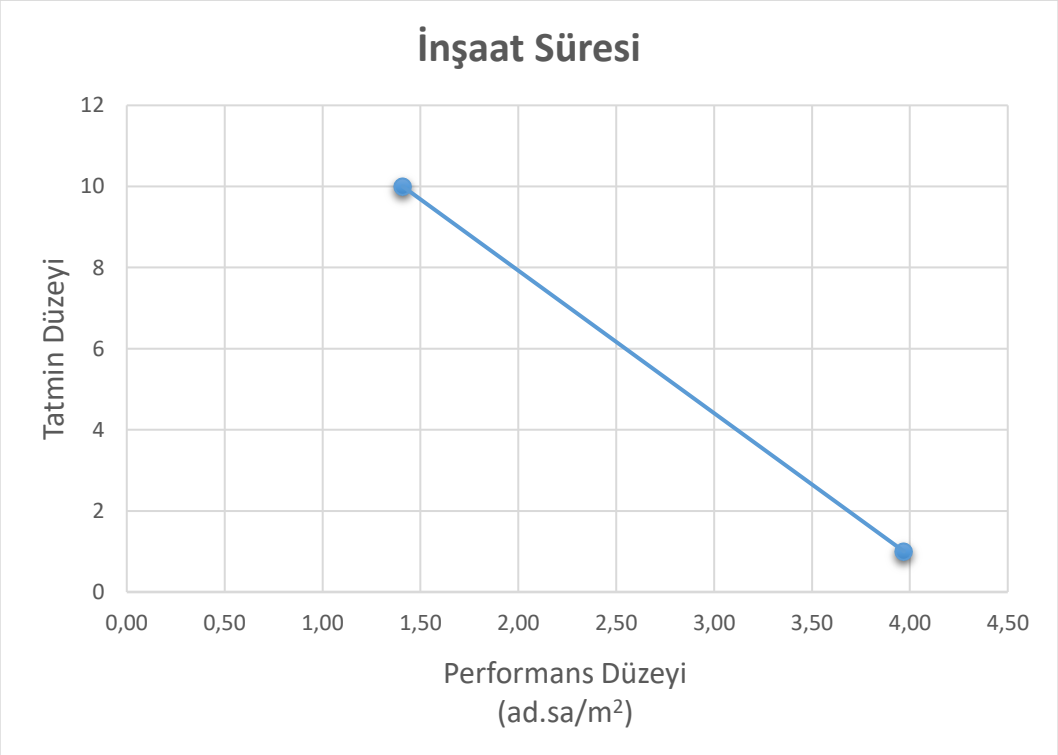
Şekil 3.45 CO_2 salınımı tatmin düzeyi grafiği



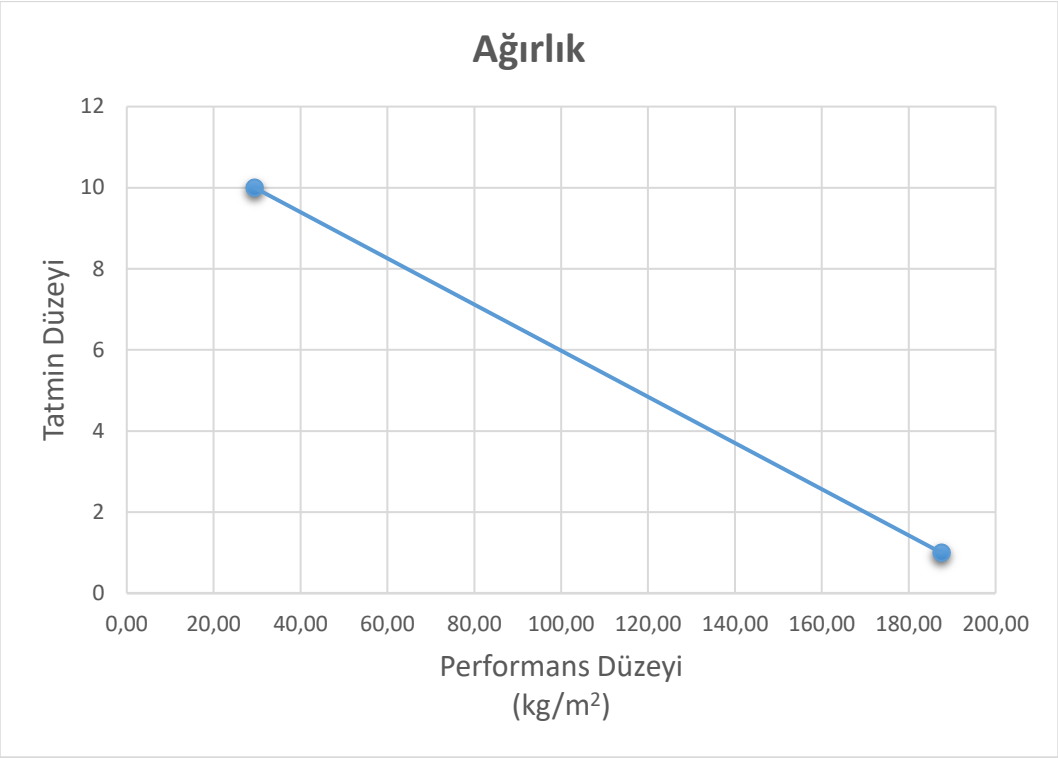
Şekil 3.46 Dayanım tatmin düzeyi grafiği



Şekil 3.47 Bakım maliyeti tatmin düzeyi grafiği



Şekil 3.48 İnşaat süresi tatmin düzeyi grafiği



Şekil 3.49 Ağırlık tatmin düzeyi grafiği

Tablo 3.28 Duvar alternatifleri ve tatmin düzeyleri

Malzeme	Enerji Tüketimi	Üretiminde CO2 Salınımı	Dayanım	Bakım Maliyeti	İnşaat Süresi	Ağırlık
	kwH	(kg CO_2eq/m^2)	(N/mm^2)	(TL/yıl)	(ad.sa/m^2)	(kg/m^2)
Tuğla Duvar	6,82	1,20	10,00	9,14	7,47	1,71
Tuğla Duvar + XPS	10,00	1,07	10,00	8,31	1,00	2,40
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	9,24	1,00	10,00	8,48	1,35	2,45
Gazbeton Duvar	5,39	8,64	3,57	9,61	9,54	5,98
Gazbeton Duvar + XPS	8,71	8,52	3,57	9,15	9,65	7,01
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	7,93	8,45	3,57	9,32	10,00	7,06
Bims Beton	4,01	10,00	1,00	10,00	9,54	1,00
Bims Beton + XPS	9,90	9,87	1,00	9,46	9,65	3,03
Bims Beton + Cam Köpüğü	8,84	9,80	1,00	9,63	10,00	3,07
Cam	1,00	9,84	1,42	1,00	6,52	10,00

3.8.5 Nitelik / Fonksiyon Matrisi

Bu yöntemde, önceki adımlarda belirlenen önem yüzdeleri ve tatmin düzeyleri kullanılacaktır. Nitelik fonksiyonu matrisi yönteminde, fayda puanı, önem ve tatmin düzeylerinin çarpılmasıyla elde edilir. Tatmin düzeyleri aşağıda gösterildiği örnek şekilde hesaplanmıştır:

Dayanım:

$$\frac{\text{Alternatifin Değeri}}{\text{Alternatiflerin Toplam Değeri}} \text{ x DM Üyelerine Göre Önem Yüzdesi}$$

Tuğla duvar için dayanım değeri: 5 N/mm^2

Dayanım kriteri için toplam değer: 5 + 5 + 5 + 2,5 + 2,5 + 2,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,66 = 28,66 N/mm^2

Tuğla duvar alternatifi dayanım kriteri önemi:

$$\frac{5}{28{,}66} \text{ x } 23{,}81 = 4{,}15$$

Hesaplanan önem değeri daha öncesinde hesaplanan tatmin düzeyi ile çarpılarak fayda elde edilir.

Tuğla duvar tatmin düzeyi: 10

Tuğla Duvar Fayda: $4{,}15\ x\ 10 = 41{,}5$

Tablo 3.29 Nitelik / Fonksiyon matrisi

Nitelik / Fonksiyon Matrisi		Enerji Tüketimi	Üretiminde CO_2 Salınımı	Dayanım	Bakım Maliyeti	İnşaat Süresi	Ağırlık	Toplam
Tuğla Duvar	Önem	2,81	0,28	4,15	0,83	1,35	0,30	9,73
	Tatmin Düzeyi	6,82	1,20	10,00	9,14	7,47	1,71	36,34
	Fayda	19,14	0,34	41,53	7,59	10,09	0,52	**79,21**
Tuğla Duvar + XPS	Önem	3,04	0,28	4,15	0,74	1,26	0,30	9,77
	Tatmin Düzeyi	10,00	1,07	10,00	8,31	1,00	2,40	32,79
	Fayda	30,41	0,30	41,53	6,12	1,26	0,73	**80,35**
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	Önem	2,91	0,25	4,15	0,74	1,26	0,37	9,69
	Tatmin Düzeyi	9,24	1,00	10,00	8,48	1,35	2,45	32,52
	Fayda	26,89	0,25	41,53	6,31	1,70	0,91	**77,60**
Gazbeton Duvar	Önem	2,80	0,58	2,08	1,39	1,38	0,60	8,82
	Tatmin Düzeyi	5,39	8,64	3,57	9,61	9,54	5,98	42,74
	Fayda	15,06	4,99	7,42	13,37	13,15	3,60	**57,59**
Gazbeton Duvar + XPS	Önem	2,84	0,55	2,08	0,91	2,15	0,60	9,13
	Tatmin Düzeyi	8,71	8,52	3,57	9,15	9,65	7,01	46,61
	Fayda	24,69	4,68	7,42	8,35	20,72	4,24	**70,10**
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	Önem	2,81	0,29	2,08	1,01	3,55	0,65	10,39
	Tatmin Düzeyi	7,93	8,45	3,57	9,32	10,00	7,06	46,32
	Fayda	22,29	2,46	7,42	9,37	35,52	4,58	**81,64**
Bims Beton	Önem	2,78	2,26	1,25	5,65	1,38	0,11	13,41
	Tatmin Düzeyi	4,01	10,00	1,00	10,00	9,54	1,00	35,55
	Fayda	11,13	22,56	1,25	56,45	13,15	0,11	**104,64**
Bims Beton + XPS	Önem	2,95	2,24	1,25	1,01	1,91	0,56	9,92
	Tatmin Düzeyi	9,90	9,87	1,00	9,46	9,65	3,03	42,92
	Fayda	29,23	22,11	1,25	9,58	18,39	1,70	**82,25**
Bims Beton + Cam Köpüğü	Önem	2,87	0,59	1,25	1,48	3,46	0,56	10,22
	Tatmin Düzeyi	8,84	9,80	1,00	9,63	10,00	3,07	42,35
	Fayda	25,37	5,82	1,25	14,29	34,62	1,73	**83,08**
Cam	Önem	2,77	2,21	1,38	0,52	1,35	0,70	8,94
	Tatmin Düzeyi	1,00	9,84	1,42	1,00	6,52	10,00	29,77
	Fayda	2,77	21,75	1,96	0,52	8,81	6,96	**42,77**

Nitelik / Fonksiyon matrisinde yapılan hesaplamalar sonrasında belirlenen kriterler ve önem yüzdelerine göre en faydalı ilk 3 alternatif Bims Beton, Bims Beton + Cam Köpüğü ve Bims Beton + XPS olmuştur.

Tablo 3.30 Alternatiflerin faydalarına göre sıralanması

Alternatif	Fayda	Analize Göre Sıralama
Tuğla Duvar	79,21	**6**
Tuğla Duvar + XPS	80,35	**5**
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	77,60	**7**
Gazbeton Duvar	57,59	**9**
Gazbeton Duvar + XPS	70,10	**8**
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	81,64	**4**
Bims Beton	104,64	**1**
Bims Beton + XPS	82,25	**3**
Bims Beton + Cam Köpüğü	83,08	**2**
Cam	42,77	**10**

Hesaplanan faydalar ile denklem 2.3'te belirtildiği şekilde fayda / maliyet yapılarak değer hesabı yapılmıştır.

Tablo 3.31 Duvar alternatifleri ve değerleri

Alternatif	Fayda	Maliyet	Değer
Tuğla Duvar	79,21	32,41$	**2,444**
Tuğla Duvar + XPS	80,35	52,80$	**1,522**
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	77,60	46,81$	**1,658**
Gazbeton Duvar	57,59	28,60$	**2,013**
Gazbeton Duvar + XPS	70,10	42,86$	**1,636**
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	81,64	36,87$	**2,214**
Bims Beton	104,64	20,15$	**5,193**
Bims Beton + XPS	82,25	36,11$	**2,278**
Bims Beton + Cam Köpüğü	83,08	30,12$	**2,758**
Cam	42,77	108,46$	**0,394**

Yapılan değer mühendisliği çalışması sonucu değerlerine göre malzeme sıralaması yapıldığında bu çalışma özelinde en değerli duvar alternatifi bims beton duvar olmuştur. Tüm alternatifler için değerlerine göre sıralama Tablo 3.32'de verilmiştir.

Tablo 3.32 Alternatiflerin değerlerine göre sıralanması

Alternatif	Analize Göre Sıralama
Tuğla Duvar	**3**
Tuğla Duvar + XPS	**9**
Tuğla Duvar + Cam Köpüğü	**7**
Gazbeton Duvar	**6**
Gazbeton Duvar + XPS	**8**
Gazbeton Duvar + Cam Köpüğü	**5**
Bims Beton	**1**
Bims Beton + XPS	**4**
Bims Beton + Cam Köpüğü	**2**
Cam	**10**

3.8.6 Değerlendirme

DM analizleri sırasında fayda sıralamasına bakıldığında ilk 3 faydanın bims beton, bims beton + cam köpüğü ve bims beton + XPS alternatifinden elde edilmiştir. Değer sıralamasına bakıldığında ise ilk 3 değer sıralaması bims beton, bims beton + cam köpüğü iken 3. sırada tuğla duvar olduğu görülmektedir. Bu sonuçla birlikte fayda ve maliyetin bir arada kullanılıp analiz edilmesi ile değer mühendisliğinin hem kalite hem maliyeti göz önüne alarak sadece maliyet veya fayda olarak en ideal seçimi değil birleştirerek değeri en yüksek seçimi yapmayı sağlar. Bu analiz sonucunda DM ekip üyelerinin belirlediği kriterler ve önem yüzdelerine göre en değerli ürün olarak yalıtımsız bims duvar seçilmiştir. Farklı kriter, malzeme veya farklı önem yüzdeleri ile birlikte en değerli ürün değişiklik gösterebilir.

Değer analizi ile birlikte duvarlarda yalıtım malzemesi kullanımının enerji tüketimine etkisi de görülmüştür. Tüm alternatiflerde XPS veya cam köpüğü eklenmesi enerji tüketimini %3-5 oranında azaltmıştır. Örneğin, tuğla duvarda XPS kullanımı 1.116,67 kWh/yıl tasarruf sağlamıştır.

4
SONUÇ

4.1 Sonuç

Bu tez çalışmasında, bina kabuğunun enerji ve maliyet performansını optimize etmeye yönelik olarak Değer Mühendisliği ve Yapı Bilgi Modellemesi yöntemleri birlikte kullanılmış, bu sayede hem ekonomik hem de kalite hedefleri doğrultusunda çok kriterli bir karar destek süreci oluşturulmuştur. Tezde yer alan uygulama aşamaları, DM'nin sistematik süreci doğrultusunda ilerlemiş; bilgi toplama, işlev analizleri, alternatif geliştirme, değerlendirme ve önerme aşamaları eksiksiz biçimde uygulanmıştır. BIM aracı olarak kullanılan Autodesk Revit üzerinden gerçekleştirilen enerji analizleri, teorik analizlerle desteklenmiş ve alternatiflerin çevresel performansı sayısal olarak ortaya konulmuştur. Değer Mühendisliği, fonksiyonel değer üretme yaklaşımıyla projenin gereksinimlerine en düşük maliyetle çözüm bulmayı hedeflerken, BIM ise bu çözümleri dijitalleştirerek analiz edilebilir, paylaşılabilir ve güncellenebilir hale getirmiştir. Çalışmanın merkezinde, farklı duvar malzemeleri (tuğla, gazbeton, bims, cam) ve yalıtım alternatifleri (XPS, cam köpüğü) ile oluşturulan 10 farklı bina kabuğu konfigürasyonunun enerji performansı, maliyet etkinliği ve çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. İstanbul'daki örnek bir ofis binası üzerinde Autodesk Revit tabanlı enerji simülasyonları yürütülmüş ve elde edilen veriler, çok kriterli bir DM analiziyle değerlendirilmiştir. Tez çalışmasında analiz edilen tuğla duvar kombinasyonları içerisinden, Tuğla + XPS kombinasyonu enerji tüketimi açısından en düşük değeri üretmiş ancak değer hesabına göre tuğla alternatifleri arasında yalıtımsız Tuğla Duvar kombinasyonu en yüksek değeri elde etmiştir. Bu sonuç, yalnızca enerji performansını değil, aynı zamanda malzemenin dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve inşaat süresi gibi kriterlerini de dikkate alan bütüncül bir karar süreci ile elde edilmiştir. BIM ve DM yöntemlerinin entegrasyonunun enerji ve maliyet etkileşimli bir model sunarak ileri düzey tekno-ekonomik analiz pratiği kazandırdığı görülmüştür. Proje maliyetini artırmadan enerji tüketimini azaltmayı

hedefleyen karar süreçleri, kamu kurumlarında değeri yüksek bina tasarımı için referans oluşturabilir. Aynı zamanda özel sektörde yüklenici firmalar için karar destek sistemleri bağlamında kullanılabilir. DM uygulamalarının kamu projelerinde zorunlu hale getirilmesi, yaşam döngüsü maliyeti gibi yaklaşımların yaygınlaşması için bilimsel bir temel sunmaktadır.

Bu çalışma, bina kabuğu optimizasyonunda BIM ile DM'nin sistematik karar verme mekanizmasını birleştirerek, teorik bir metodolojiyi pratik bir çözüme dönüştürmüştür. Sonuçlar, geleneksel olarak "yüksek performanslı" kabul edilen malzemelerin (ör. gazbeton) beklenmedik dezavantajlarını ortaya koyarken yerel ve düşük maliyetli çözümlerin (bims) sürdürülebilirlik ve ekonomi dengesinde nasıl öne çıkabileceğini kanıtlamıştır. Ancak bu avantaj ve dezavantajlar bu çalışmada yer alan ekibin önem yüzdelerine ve belirlediği niteliklere göre oluşmuştur. Farklı önem yüzdeleri ve farklı nitelik değerleri ile alternatiflerin değeri değişebileceği gibi en değerli alternatif de değişebilir. Tez kapsamında yapılan çalışma Türkiye'nin İstanbul ili için yapılmıştır. Farklı iklim koşulları için farklı sonuçlar çıkabileceği göz ardı edilmemelidir.

Bu tez, inşaat sektörünün kaynak verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında, teknoloji-ekonomi sinerjisinin kritik rolünü ortaya koyan bir rehber niteliğindedir. Uygulanan metodoloji, tüm yapı bileşenlerine (çatı, pencere, temel) uyarlanabilir ve sürdürülebilir ve değeri yüksek kentleşme için bir model oluşturur.

4.2 Öneriler

- Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde analizlerin tekrarlanabilir. Yapılan çalışma Marmara bölgesi özelinde İstanbul ilinin iklim verilerine göre yapılmıştır.
- BIM entegrasyonu arttırılarak farklı değişkenlerin de tanımlanması ile karbon salınımı gibi analizler eklenebilir.
- Alternatifler ve kriterler arttırılarak daha kapsamlı analizler yapılabilir.
- Yaşam döngüsü maliyetleri tez kapsamı dışında tutulmuştur. Her bir alternatif için yaşam döngüsü analizleri yapılabilir.

KAYNAKÇA

Balo, F., & Ulutaş, A. (2023). Energy-Performance Evaluation with Revit Analysis of Mathematical-Model-Based Optimal Insulation Thickness. Buildings, 13(2). https://doi.org/10.3390/buildings13020408

Bochenek, M. (2015). The Issue of Value in Economic Thought — Part 1: The Evolution of Views from the 5th Century BC to the Mid-19th Century. Ekonomia i Prawo, 14(3), 303. https://doi.org/10.12775/eip.2015.019

Chen, W. T., Chang, P. Y., & Huang, Y. H. (2010). Assessing the overall performance of value engineering workshops for construction projects. International Journal of Project Management, 28(5). https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.08.005

Chen, W. T., Merrett, H. C., Liu, S. S., Fauzia, N., & Liem, F. N. (2022). A Decade of Value Engineering in Construction Projects. Advances in Civil Engineering (C. 2022). https://doi.org/10.1155/2022/2324277

Cozzarini, L., De Lorenzi, L., Barago, N., Sbaizero, O., & Bevilacqua, P. (2023). Expanded Glass for Thermal and Acoustic Insulation from Recycled Post-Consumer Glass and Textile Industry Process Waste. Materials, 16(4). https://doi.org/10.3390/ma16041721

Crum, L. (1971). Value Engineering. The Organised Search for Value. Longmans.

Davis, K. (2004). Finding Value in the Value Engineering Process. Cost Engineering, 46(12), 24-27.

Dell'Isola, A. J. (1988). Value engineering in the construction industry. New York: Construction Publishing Company.

Dikmeoğlu, N. E., & Atabay, Ş. (2018). İnşaat Sektöründe Değer Mühendisliği Yöntemi ile Malzeme Seçimi. Journal of Technical Sciences.

Duran, C. (2007). Değer Analizinin Uygulama Süreci. Kamu-İş, 109(3), 81-96.

Elhegazy, H. (2022). State-of-the-art review on benefits of applying value engineering for multi-story buildings. Intelligent Buildings International (C. 14, Sayı 5). https://doi.org/10.1080/17508975.2020.1806019

Elsonoki, M. M., Yunus, R., Yunus, S. R., & Hamid, A. R. A. (2020). The Adoption of Value Engineering Practices in the Libyan Construction Industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 498(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012099

Farahmandazad, M. (2015). Developing a Model for Implementation of Value Engineering System for the Construction Projects of Executing Construction Project-Based Companies (Fourth Factor) Case Study: Construction Projects of Social Security Organization. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 5(S1), 1403-1413. www.cibtech.org/sp.ed/jls/2015/01/jls.htm

Fletcher, T., & McClintock, S. (2004). Integrating Value Engineering into the Quality Management Framework. Quality Congress ASQ' s Annual Quality Congress Proceedings (American Society for Quality), 553-562.

Hagentoft, C.-E. (2001). Introduction to Building Physics (1st bs). Ligthning Source.

Heralova, R. S. (2016). Possibility of Using Value Engineering in Highway Projects. Procedia Engineering, 164. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.631

Humphreys, K. K. (2003). Cost Engineering. Marcel Dekker.

Ilayaraja, K., & Zafar Eqyaabal, MD. (2015). Value Engineering in Construction. Indian Journal of Science and Technology, 8(32). https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i32/87285

Janani, R., Kalyana Chakravarthy, P. R., & Rathan Raj, R. (2018). A study on value engineering & green building in residential construction. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(1).

Kara, F. Ç., & Tuna Kayılı, M. (2021). Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi. European Journal of Science and Technology. https://doi.org/10.31590/ejosat.1015367

Karunasena, G., & Rajagalgoda Gamage, K. (2017). A Decision-Making Formula for Value Engineering Applications in the Sri Lankan Construction Industry. Journal of Financial Management of Property and Construction, 22(1). https://doi.org/10.1108/JFMPC-01-2016-0001

Kayabaşı Aksu, C. (2019). Değer Mühendisliği'nin Deniz Yapıları Uygulamalarıyla İncelenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Kazanç, D. (2000). İnşaatlarda Değer Mühendisliği Uygulanması [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Lipovetsky, S. (2009). Pareto 80/20 law: Derivation via Random Partitioning. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 40(2). https://doi.org/10.1080/00207390802213609

Mahadik, U. A. (2015). Value Engineering for Cost Reduction and Sustainability in Construction Projects. Journal of Mechanical and Civil Engineering. www.iosrjournals.org

Mansour, A. B., & Abueusef, M. (2015). Value Engineering in Developing Countries. International Conference Data Mining, Civil and Mechanical Engineering. https://doi.org/10.15242/iie.e0215041

Marzouk, M. M. (2011). ELECTRE III Model for Value Engineering Applications. Automation in Construction, 20(5). https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.026

Maurya, A., Kumar, R., Bharadwaj, U., Rawat, P., & Kumar, M. (2021). Sustainable Building Design: Energy Analysis of a Residential Building using AutodeskRevit. Proceedings of 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management, ICIEM 2021. https://doi.org/10.1109/ICIEM51511.2021.9445376

Miladi Rad, K., & Aminoroayaie Yamini, O. (2016). The Methodology of Using Value Engineering in Construction Projects Management. Civil Engineering Journal, 2(6). https://doi.org/10.28991/cej-030986

Mwakasungula, G., & Mbewe, P. (2018). Application of Value Engineering Services in the Malawi Construction Industry. Casle 2018. https://www.researchgate.net/publication/332465989

Palmer, A., Kelly, J., & Male, S. (1996). Holistic Appraisal of Value Engineering in Construction in United States. Journal of Construction Engineering and Management, 122(4). https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1996)122:4(324)

Quffa, B. A. S. (2023). The Impact of Value Engineering on Material Selection an Example from the Construction Industry [Master of Science Thesis]. İstanbul Kültür University.

Rane, N. L., & Attarde, P. (2016). Application of Value Engineering in Commercial Building Projects. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 286-291.

Seidel, J. K., & Ware, W. Mac. (2012). Value Engineering Trends 1 Value Engineering Trends in the Construction Industry. The Ohio State University.

Seker, S. E. (2014). Pareto Prensibi. Içinde YBS Ansiklopedi.

Shaikh, S., & Uttekar, S. (2008). Value Engineering-An Approach to Enhance Real Estate Industry. International Research Journal of Engineering and Technology.

Su, X., Luo, Z., Li, Y., & Huang, C. (2016). Life cycle inventory comparison of different building insulation materials and uncertainty analysis. Journal of Cleaner Production, 112, 275-281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.113

Türkiye Standartları Enstitüsü. (2024). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

Uğural, M. N. (2023). Material Selection with Value Engineering Technique-A Case Study in Construction Industry. Tehnicki Vjesnik, 30(1). https://doi.org/10.17559/TV-20220201102150

Urhan, K. (2004). Maliyet Düşürme Aracı Olarak Değer Mühendisliği [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

Wei, T., & Chen, Y. (2020). Green Building Design Based on BIM and Value Engineering. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(9). https://doi.org/10.1007/s12652-019-01556-z

Yun, S., Choi, J., de Oliveira, D. P., & Mulva, S. P. (2016). Development of Performance Metrics for Phase-Based Capital Project Benchmarking. International Journal of Project Management, 34(3). https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.12.004

Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı. (2025). İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları (1. bs, Sayı 1). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

Akkuş, B., & Atabay, Ş. (2025). Bina Dış Duvarlarında Malzeme Seçiminin Değer Mühendisliği Yaklaşımıyla Optimizasyonu. 10. Uluslararası Akademik Öğrenci Çalışmaları Kongresi, 67-74.