

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI**

**BİNA YAPIM SÜREÇLERİNDE YAPI BİLGİ MODELLEMESİ
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mine Pınar BAYAR YILMAZ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Mine Pınar BAYAR YILMAZ tarafından hazırlanan "**Bina Yapım Süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması 07/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Umut OKKAN
Balıkesir Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mine Pınar BAYAR YILMAZ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (YBM)	8
3.1. YBM Bileşenleri	10
3.2. YBM Platformları ve Yazılımlar	12
3.2.1. 3B Modelleyiciler	13
3.2.2. 3B Görüntüleyiciler	15
3.2.3. Analiz Araçları.....	16
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	19
4.1. Örnek Proje Bilgileri	20
4.2. Proje Tasarım Alternatifleri	23
4.3. YBM Tabanlı Enerji Simülasyonu	25
5. ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ.....	27
5.1. Yıllık Enerji Tüketimi (P/D = %40).....	27
5.2. Yıllık Enerji Tüketimi (P/D = %30).....	28
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
DOE	Design of Experiments
GBS	Green Building Studio
P/D	Pencere alanı (m^2) / Duvar alanı (m^2)
R	Yapı elemanının ısı iletim direnci (m^2K/W)
R_e	Dış yüzeyin ısı iletim direnci (m^2K/W)
R_i	İç yüzeyin ısı iletim direnci (m^2K/W)
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
U	Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
YBM	Yapı Bilgi Modellemesi
λ	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. YBM de proje paydaşları	1
Şekil 1.2. Bina yaşam döngüsünde YBM kullanımı	3
Şekil 3.1. YBM boyutları	9
Şekil 3.2. Bina yaşam döngüsü boyunca YBM boyutlarının rolü	10
Şekil 3.3. Autodesk Revit 2019 platformunda dış duvar bileşenine ait gösterim	11
Şekil 3.4. Autodesk Revit 2019 platformunda tanımlı dış duvar bileşenleri	12
Şekil 3.5. Graphisoft Archicad	13
Şekil 3.6. Tekla Structures	14
Şekil 3.7. OpenBuildings Designer	14
Şekil 3.8. Autodesk Revit	15
Şekil 3.9. Navisworks	16
Şekil 3.10. SketchUp	16
Şekil 3.11. Green Building Studio	17
Şekil 3.12. DAYSIM	17
Şekil 3.13. Energy Plus	18
Şekil 4.1. Çalışmaya ait akış diyagramı	19
Şekil 4.2. Örnek proje binası güney-batı perspektifi	20
Şekil 4.3. Örnek proje binası kuzey-doğu perspektifi	21
Şekil 4.4. Örnek proje binası güney-doğu perspektifi	21
Şekil 4.5. Örnek proje binası kuzey-batı perspektifi	22
Şekil 4.6. 1. Kat planı	22
Şekil 4.7. GBS enerji analiz sonuçları ekran görüntüsü	26

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Örnek projeye ait bilgiler.....	23
Tablo 4.2. TS 825 de en büyük değer olarak tavsiye edilen U değerleri	24
Tablo 4.3. Tasarım alternatifleri ve kullanılan U ($\text{W/m}^2\text{K}$) değerleri.....	25
Tablo 5.1. Tasarım alternatiflerinin enerji tüketim değerleri ($P/D = 0,40$).....	27
Tablo 5.2. Tasarım alternatiflerinin enerji tüketim değerleri ($P/D = 0,30$).....	28
Tablo 5.3. $P/D = 0,40$ ile $P/D = 0,30$ ile değişen tasarruf yüzdeleri (%)	29



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU'ya, lisansüstü eğitimimin başından sonuna kadar bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve desteğini eksik etmeyen sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Barış YILMAZ'a yürekten teşekkür ederim.

Mine Pınar BAYAR YILMAZ
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bina Yapım Süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi

Mine Pınar BAYAR YILMAZ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTCU

Çağımızda artan nüfus ve gereksinimler yapıların daha büyük ölçekli ve karmaşık bir hal almasına sebep olmuştur. Bu büyük projelerin üstesinden gelmek için kullanılmaya başlanan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) tüm bina yapım süreçlerinde mimarlar, mühendisler ve proje ekibine ortak çalışma imkânı sunmakta, olası hata ve problemleri minimize ederek zamandan ve maliyetten önemli kazançlar sağlamaktadır. YBM, planlama ve tasarım aşamasında yapısal analizler, enerji performansı, ses ve aydınlatma analizleri gibi birçok amaç için de kullanılabilir.

Bu çalışmada, bina yapım süreçlerinden biri olan tasarım aşamasında enerji analizleri için YBM araçlarının kullanımı değerlendirilmiştir. Bu amaçla, örnek bir proje Autodesk Revit 2019 yazılımı ile üretilmiş ve daha sonra Autodesk Green Building Studio (GBS) ile üç farklı yapı kabuğu modeli tasarlanmıştır. Bu modeller birbirine göre çatı, duvar ve pencere yapı elemanlarına ait ısı geçirgenlik katsayıları bakımından farklılaşmaktadır. Alternatif 1 de tavan, duvar ve pencereler için TSE 825 de tavsiye edilen U (W/m^2K) ısı geçirgenlik katsayıları kullanılmıştır. Alternatif 2 ve Alternatif 3, çatı ve duvarlarda daha kalın yalıtım özellikleri ile birlikte ısı geçirgenliği daha düşük olan yalıtım camları kullanımını içermektedir. Ayrıca her üç tasarım seçeneği de P/D (pencere alanı / duvar alanı) oranı 0,40 ve 0,30 alınarak modellenmiş ve yapılan enerji analizleri sonucunda yıllık toplam enerji tüketiminde % 15,63 e, doğalgaz tüketiminde % 22,94 e ve elektrik tüketiminde % 9,40 a varan tasarruf sağlanabileceği tespit edilmiştir. P/D oranının düşürülmesi ile toplam enerji tüketiminde % 7,59 oranında bir azalmanın daha sağlanabileceği görülmüştür.

YBM nin inşaat sektörü için birçok yenilikçi çözüm sunduğu ve YBM kullanımının geleneksel yöntemlere göre zaman, maliyet ve işgücü bakımından büyük faydalar sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi, Tasarım alternatifleri, Enerji analizi, Ekonomik analiz

2019, 34 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Evaluation of Building Information Modeling in Building Construction Phases

Mine Pınar BAYAR YILMAZ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Halil NOHUTCU

In our age, the increasing population and requirements have caused the structures to become larger and more complex. Building Information Modeling (BIM), which is being used to overcome these large projects, enables architects, engineers and project team to work together in all building construction processes, minimizing potential errors and problems and providing significant savings in time and cost. The BIM can be used for many purposes such as structural analysis, energy performance, sound and lighting analysis in the planning and design stage.

In this study, the use of BIM tools for energy analysis in the design process, which is one of the building construction phases, is evaluated. For this purpose, a sample project was produced with Autodesk Revit 2019 software and then three different building shell models were designed with Autodesk Green Building Studio (GBS). These models differ from each other in terms of thermal conductivity coefficients of roof, wall and window building elements. In alternative 1, U (W/m²K) thermal permeability coefficients recommended for TSE 825 are used for ceilings, walls and windows. Alternative 2 and Alternative 3 include the use of insulating glasses with lower thermal conductivity as well as thicker insulating properties on roofs and walls. Additionally, all the design options are modeled by assuming the P/D (window area / wall area) ratio as 0.40 and 0.30. As a result of the energy analysis, savings up to 15.63 % in total energy consumption, up to 22.94 % in natural gas consumption and up to 9.40% in electricity consumption were achieved. Moreover, by decreasing the P/D ratio, a further decrease of 7.59 % was observed in total energy consumption.

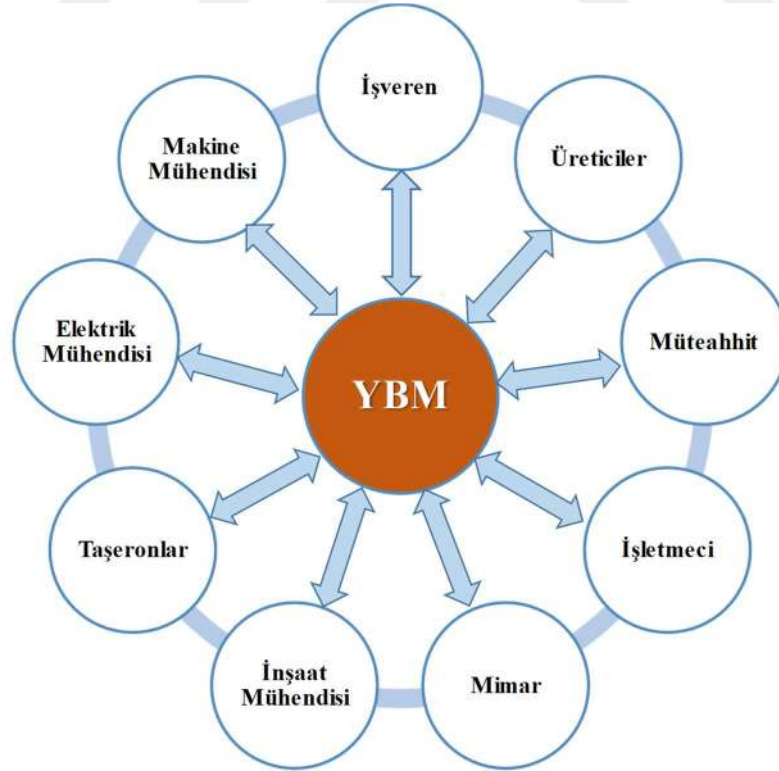
It has been concluded that YBM offers many innovative solutions for the construction sector and that the use of YBM provides great benefits in terms of time, cost and labor compared to traditional methods.

Keywords: Building Information Modeling, Design alternatives, Energy analysis, Economic analysis

2019, 34 pages

1. GİRİŞ

Çağımızda kullanım amaçları birbirinden farklı olan tasarımlar ile daha çok insana hizmet edecek büyük inşaat projeleri yapılmaktadır. Bu durum ilgili inşaat faaliyetinin tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında yükleniciler, devlet kurumları, yatırımcılar, mühendisler, mimarlar ve tedarikçiler gibi farklı paydaşların ortak bir çalışma platformunda buluşmalarını zorunlu hale getirmiştir. Projelerin artan karmaşıklığının hızla çözülmesinde, sürdürülebilir yapıların tasarımında ve etkin proje yönetimi konularında günümüzde bilgi ve iletişim teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM, Building Information Modeling-BIM) adı verilen bu yeni yaklaşım tüm paydaşların ortak bir platform üzerinde çalışabilirliğini mümkün kılarak, yapım aşamasında yaşanabilecek olumsuzlukları önceden yani tasarım sürecinde görebilmeyi ve önlem almayı sağlamaktadır (Şekil 1.1). Böylece büyüklüğü ne olursa olsun YBM tabanlı projelerde zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanmakta, iş planlarının uygulanabilirliği artmakta ve projenin tamamlanmasından sonra da ilgili tesisin yönetiminde büyük kolaylıklar sağlanmaktadır.



Şekil 1.1. YBM de proje paydaşları

Succar [1] YBM'yi "binanın yaşam döngüsü boyunca temel bina tasarımını ve proje verilerini dijital formatta yönetmek için bir metodoloji üreten bir dizi etkileşimli politika, süreç ve teknoloji" olarak tanımlamıştır. Bu tanımdan da anlaşılabileceği gibi YBM yalnızca geometrik modellemeye ve bilgi girişine izin veren bir yazılımlar bütünü değil, aynı zamanda proje yönetimi ile ilgili araçları ve süreçleri de içeren bütüncül bir yaklaşımdır.

2000 li yılların başlarından itibaren dünyada mega projelerin birçoğunda YBM kullanımı görülmektedir. Ülkemizde de İstanbul Havalimanı projesi bunun en iyi örneği olarak gösterilebilir. Tümüyle tamamlandığında 76,5 milyon m² alanda günlük 3500 uçağın kalkış ve inişine imkân verecek 6 piste sahip dünyanın en büyük havalimanı olma özelliğine sahip bu havalimanında dünyanın 350 farklı destinasyondan yıllık 200 milyon yolcunun faydalanması beklenmektedir [2,3]. YBM ile tamamlanmış diğer çok prestijli projelerden bazıları Şangay Kulesi, Heathrow Havalimanı Terminal 5 ve Amerika Gıda ve İlaç Yönetim Merkezi olarak sıralanabilir [4]. Bu örneklerin yanısıra daha küçük ve orta ölçekli projelerde de YBM kullanımına sıkça raslanmaktadır.

Ayrıca, son yıllarda YBM kullanımının bazı ülkelerde bir zorunluluk halini aldığını görmek mümkündür. İşlem maliyetlerinin ve yapılacak hataların azaltılması açısından YBM kullanımından faydalanmayı öngören İngiltere Hükümeti, 2016 yılından itibaren, kamu ihalelerinde verilen tüm sözleşmelerin tedarik zinciri üyelerinin de katılacağı 3 boyutlu YBM ile alınmasını, diğer bir ifade ile tüm projelerin, varlık bilgilerinin, verilerin ve belgelerin elektronik ortamda verilmesini gerekli kılmıştır. ABD, İngiltere, Norveç, Finlandiya, Hong Kong ve Singapur'da mevzuat geliştirmeleri yapılmış YBM standartları yayınlanmıştır [5].

YBM bina yaşam döngüsü içerisinde yer alan üç temel sürecin her aşamasında kullanım alanı bulmaktadır (Şekil 1.2). Bunlar genel olarak 3B modelleme, görselleştirme, çakışma analizi, koordinasyon, iş akışlarının planlaması, maliyet ve performans analizleri (çevresel etki, enerji, aydınlatma vb.) sıralanabilir. YBM de yapı sayısal ortamda modeller (mimari, statik, betonarme, makine tesisat ve elektrik vb.) kurularak oluşturulur ve bu modeller birleştirilerek yapının ana modeli elde edilir. Yapıda kullanılacak malzemelere ait boyut ve özellikler (parametreler) de modellerde

tanımlanmaktadır. Böylece projede yapılan revizyonlar sonrası ortaya çıkabilecek sorunlar ve çakışmalar gerek 3B çizimleri gerekse simülasyonlar yardımıyla rahatlıkla tespit edilmektedir.



Şekil 1.2. Bina yaşam döngüsünde YBM kullanımı

Diğer taraftan, inşaat sektörü “% 40 ların sektörü” olarak tanımlanmaktadır, çünkü binalar toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 40 ını üretmekte, toplam atık üretiminin % 40 ını ortaya çıkarmakta ve tüm toplam doğal kaynakların % 40 ını tüketmektedir [6,7]. İnşaat sektöründe tüketilen enerjinin çok büyük bir kısmı da yapının işletme süresince olan ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sıcak su temini gibi faaliyetlerde harcanmaktadır [8]. Bu sebeple, yapı tasarımında enerji performansının dikkate alınması ve daha az enerji kullanımı sağlayan sürdürülebilir yapı tasarımı için de YBM kullanımı önem arz etmektedir. Önceden tanımlanan yapı malzemesi bilgilerinin modeller içerisinde kullanılması ile çevresel etkilerinin hesaplanması oldukça kolaylaşmaktadır. Tasarlanan yapı tipi, geometrisi ve bölgesel iklim özelliklerinin de YBM tabanlı yazılımlar içerisinde değerlendirilmesi ile mimarlara, mühendislere ve kullanıcılara enerji tüketimi ile ilgili istatistikler önceden sunulabilmekte, böylece karar verme aşamasında hızlı çözümler üretilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, bina yapı süreçlerinde YBM kullanımını değerlendirmek ve tasarım aşamasında sürdürülebilirlik analizlerinin nasıl yapılabileceğine dair bir çerçeve ortaya koymaktır. Bu amaçla, Autodesk Revit ile oluşturulmuş örnek bir projede çatı, dış duvar ve pencere gibi binanın dış yüzey öğelerinde ısıl geçirgenlik özellikleri değiştirilmiş ve üç farklı alternatif tasarlanmıştır. YBM tabanlı bir yazılım olan Green Buildings Studio ile simüle edilen alternatiflerin enerji performansları (yıllık toplam doğalgaz tüketimi, yıllık toplam elektrik tüketimi ve yıllık toplam enerji tüketimi) hesaplanmıştır. Her bir tasarım alternatifi ile sağlanabilecek tasarruflar yüzdesel olarak ifade edilmiş ve pencere/duvar alanı oranı yapısal özelliği değişikliğinde bu oranlardaki değişimler de incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Projelerin yaşam döngüsü boyunca, yapı bilgi modelleme (YBM) kavramı farklı yönleri kapsamaktadır. YBM hem çevre hem de bina ile ilgili çeşitli konuları ele alabildiğinden, tasarım, inşaat, bakım ve işletme dahil olmak üzere tüm aşamalarda kullanılabilir [9]. Ancak, araştırmacılar BIM tabanlı yazılım kullanımının inşaat projelerinin her aşamasında etkililiği konusunda farklı görüşlere sahiptir. Örneğin, elde edilen YBM verimliliği, proje tasarım aşamalarında bina bakım ve işletme dönemlerine göre daha yüksektir [10]. Ayrıca, YBM nin performansı, bina türü, mülkiyeti ve mevcut veya yeni yapılara atıfta bulunan statü ile ilgili çeşitli koşullardan etkilenebilir [11]. Bu bağlamda, Mascio ve Wang [12], YBM'in tasarım ve yönetim aşamaları ile daha ilgili olduğunu, yeni binaların farklı süreçlerine daha fazla odaklandığını belirtmiştir. Diğer taraftan, Gökğür [9]'e göre, YBM nin ana odağı zaman içerisinde yapılacak yenileme ve bakım çalışmalarıdır.

Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, çevresel bozulmaların azaltılması, 3B görselleştirme, mühendisler ve danışmanlar arasında işbirliğinin yaratılması ve çeşitli performans analizleri inşaat işlerinde verimliliğini artırmak adına uzmanlar tarafından YBM nin tavsiye edilmesinin ana nedenidir.

Birçok araştırmada, YBM teknolojisi gibi bilgi işlem teknolojilerinin biraraya getiren platformların kullanımı önerilmiştir. Bina yapım maliyet tahmini, malzeme seçimi, sözleşme anlaşmazlıkları konularında düzenleme yapılması ve karar vermeyi önemli ölçüde iyileştirecek analizlerin yapılmasında YBM kullanımı çalışmalarının olduğu belirtilmiştir [13].

Bakım aşamalarında ekonomik analiz ile ilgili olarak, Grussing ve ark. [14], tesis performansı arttıran ve yaşam döngüsü maliyetlerini azaltan faaliyetleri hızlıca tanımlamayı ve seçmeyi amaçlayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışma, hem koşulları hem de işlevleri dikkate alarak en uygun iş planını seçmek için bir model çerçeve ortaya koymuştur.

Lee ve ark. [15], yüksek binalarda enerji verimliliği, CO₂ emisyonları ve yaşam döngüsü maliyetini dikkate alarak uygun dış cam tiplerini YBM kullanımı ile analiz

etmiş ve seçim alternatifleri sunmuştur. Benzer bir çalışma, Cho ve Yoon [16] tarafından ekonomik açıdan en uygun yenileme zamanını tahmin etmeyi amaçlayan bir model önerilmiştir. Bu çalışmada, inşaat projelerinde yaşam döngüsü maliyetinin ilgili fizibilite çalışmaları sırasında değerlendirmesinin gerekli olduğu vurgulanmış ve önerilen model gerçek bir proje örneği ile anlatılmıştır. Yukarıda belirtilen literatürlerin ışığında, yenileme sürecinde enerji tasarruflarının ekonomik analizi ile ilgili birçok çalışma örneği göstermek mümkündür.

YBM tabanlı enerji simülasyonları ile ilgili olarak Kim ve ark. [17], YBM modelindeki tahmini enerjinin hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlayan bir yöntem önermiştir. Bu çalışmada, bina enerji analizi ile ilgili sorunları çözmek için enerji simülasyon motoru ve YBM yazılımı arasında birlikte çalışabilirliğe dikkat çekilmiştir ve iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Eleftheriadis ve ark. [18] yapısal mühendislik ve yaşam döngüsü açısından YBM tabanlı sürdürülebilir ve enerji verimliliği kavramlarına ait standartlarını ölçmek için çerçeve belirlemiştir.

Bina enerji modellemesinin doğruluğunu arttırmak için Kim ve ark. [19] çalışmalarında malzeme özelliklerinde nesne temelli bir yaklaşım kullanarak YBM tabanlı bir bina enerji analizi sistemi geliştirmişlerdir.

Çeşitli çalışmalar ise bina enerji performansının iyileştirilmesine odaklanmıştır. Örneğin, Juan [20], mevcut binalarda maliyetler ve çevresel etkiler arasındaki dengeyi göz önünde bulundurarak bina kalitesinin iyileştirilmesi konusunda karar destek sistemi geliştirmiştir. Çalışma sonunda devlet yetkilileri de dahil olmak üzere sorumlu tüm insanlara çevre dostu inşaat düzenlemeleri hakkında bilgilendirme yapılmasının gerekliliği belirtilmiştir.

Yenileme projelerinde pasif ve aktif uygulamalar ile ilgili olarak Kim ve ark. [21], pencerelerde gölgeleme oranları ve yalıtımın bir kontrol mekanizması olarak nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.

Jung [22] yapı elemanlarının izolasyonu, yüksek yalıtımlı camlar ve yenileme öncesi ve sonrası standartları göz önüne alarak enerji analizleri gerçekleştirmiştir. Benzer bir çalışmada Gwon [23], dış duvarlara, pencerelere, çatı ve temele ait değişik tasarım alternatifleri kullanarak yıllık enerji gereksinimlerini analiz etmiştir.

Önceki araştırmalardan anlaşılabileceği gibi, binaların enerji performansını iyileştirmeye yönelik çalışmalarda yapı elemanlarının yalıtımı, yalıtımlı pencere kullanımı, pencerelere gölge kurulumu gibi alternatifler YBM tabanlı modellemeler ile analiz edilmiştir.



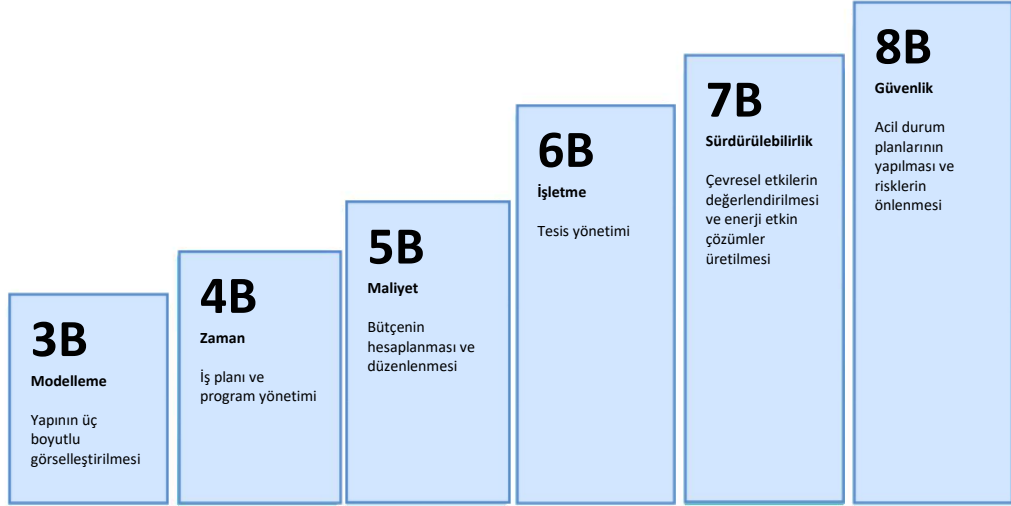
3. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (YBM)

YBM, kendine özgü özelliklere sahip bir çevrenin, yapının veya binanın 3B dijital temsidir ve her model veri özelliklerini ve parametrik kuralları içeren akıllı bina bileşenleri veya ortamların özelliklerinden oluşur. Amerika Birleşik Devletleri YBM standartlarında ise tanımını, “bir tesisin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital bir temsidir ve bir tesis hakkında bilgi için paylaşılan bilgi kaynağının yaşam döngüsü boyunca kararlar için güvenilir bir temel oluşturur” şeklinde verilmiştir [24].

Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design, CAD) ile YBM arasında büyük farklar vardır. YBM teknolojisi, yalnızca grafikleri değil, bilgileri de yöneterek CAD e göre birçok avantajlar sağlar. Ayrıca, çoğu zaman veri fazlalığından dolayı oluşacak iletişim sorunlarını da ortadan kaldırmaktadır. YBM de yapının projesine ait tüm çizimler, yapısal elemanlar, mekanik sistemler, malzeme boyut ve özellikleri, detay çizimleri, planlama bilgileri ve finansal veriler saklanabilmektedir. Bu özelliği le YBM bakım onarım süreçlerinde de zaman ve maliyet kazançları sağlamaktadır.

YBM yaklaşımı tasarımdan itibaren yapının tüm yaşam döngüsü boyunca ihtiyaç duyulabilecek gerekli tüm aşamalarda kullanılabilir olduğundan dolayı çok boyutludur. YBM-nB şeklinde ifade edilen teknolojide genel olarak 3B genişlik, yükseklik ve derinlik düzlemsel boyutlarını, dördüncü boyut (4B) zamanı, beşinci boyut (5B) maliyeti, altıncı boyut (6B) tesis yönetimini ve yedinci boyut (7B) sürdürülebilirlik bileşenlerini kapsamaktadır (Şekil 3.1).

YBM-3B, ortak bir veri ortamında paylaşılan grafiksel bilgi oluşturma sürecinin en bilinen boyuttur. Bu boyutun önem derecesi, inşaat projesinin planlama ve tasarım aşamasında zirve yapar, daha sonra Şekil 3.2’de görüldüğü gibi işletme ve bakım aşamasının sonuna kadar kademeli olarak azalır.



Şekil 3.1. YBM boyutları

4B boyutu, 3B modellemedeki veri kümesini proje programlama ve zamanlama verileri ile birleştiren bir planlama sürecidir [25]. İnşaat faaliyetlerinde zamanlama simülasyonu yapılabilir. Bu nedenle, bu boyutun önemli rolü, tasarım aşamasında başlar, inşaat aşamasında ise zirve yapar. Daha sonraki aşamalarda kademeli olarak azalır (Şekil 3.2). 4B, bir inşaat projesinin katılımcılarına, binaların tüm yaşam süresi boyunca inşaatın ilerleyişini görselleştirme ve analiz etme ve imkânı verir.

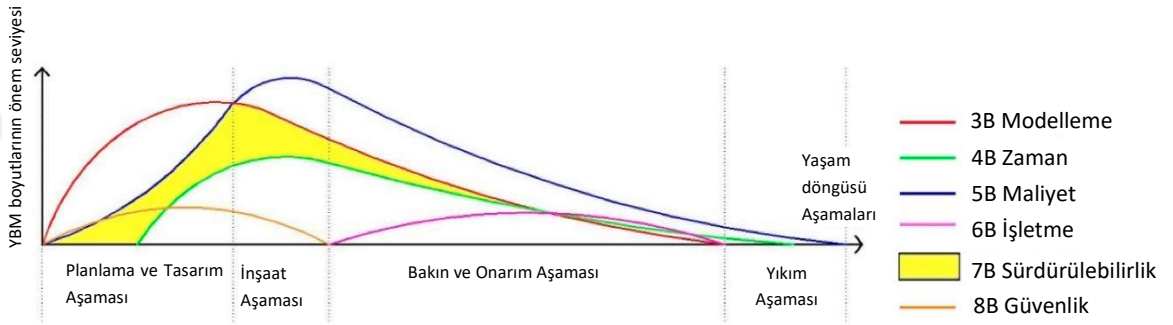
5B boyutu, 4B boyutunu, miktarlar ve birim fiyatlar gibi maliyet verileriyle birleştirir. Hem miktar hem de maliyet tahmininin doğru biçimde yapılabilmesini sağlar [26, 27]. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, planlama ve tasarım aşamasından itibaren büyüyen bir role sahip olan 5B, inşaat aşamasında zirve yapar, sonraki aşamalarda azalır.

6B boyutu, binaları korumak, geliştirmek ve isteğe göre uyarlamak için bütünsel bir yaklaşım olarak kabul edilen tesis yönetiminde YBM kullanımıdır. Bu boyut, inşaat aşamasının tamamlanmasıyla başlar ve binanın tüm işletme ve bakım aşaması boyunca devam eder (Şekil 3.2).

7D boyutu sürdürülebilirlik bileşenlerini içermektedir. Farklı YBM boyutlarında elde edilen bilgi deposu ile tasarımcıların farklı tasarım alternatiflerini

(enerji etkinliği, çevresel etki ve aydınlatma gibi konularda) analiz ederek birbirleriyle kıyaslamasını mümkün kılar [28]. Bu tür gereksinimler inşaat projelerinin tasarım ve inşaat aşamalarında gerçekleştirilebilirken, sürdürülebilirlik gerekliliklerini karşılama şansı, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, bir sonraki yaşam döngüsü aşamasında kademeli olarak azalır.

8D boyutu, tasarım ve yapım aşamalarında farklı iş güvenliği unsurlarını (kaçış planları gibi) içermektedir.



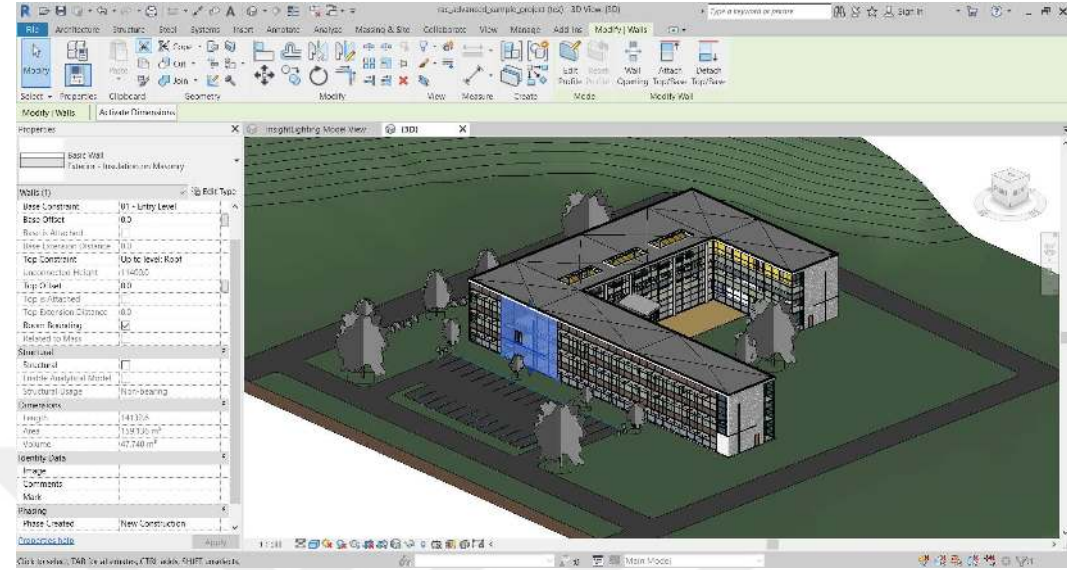
Şekil 3.2. Bina yaşam döngüsü boyunca YBM boyutlarının rolü

Özetle, YBM, bina tasarımını optimize etme, simüle etme ve görselleştirme işlevleri yanısıra yüksek kaliteli bir dökümantasyon sistemi sunmaktadır. Geliştirilen sanal model, proje ekibine (mimarlar, inşaat mühendisleri, makine mühendisleri, yükleniciler vb.) zamanında ve hızlı kararlar için güvenilir bir temel sağlamakta ve ilgili personelin hem tasarımda ve hem de proje çalışması sırasında verimliliğinin arttırmasına yardımcı olmaktadır. YBM bu avantajları ile projenin tüm aşamalarındaki hataları ve riskleri önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olmaktadır.

3.1. YBM Bileşenleri

YBM, bileşenlere, yani nesne kitaplıklarında depolanan parametrik nesnelere dayanır. Aslında, bunlar çelik kirişler, beton plakalar, çerçeveler, alçıpanlar, kanallar, pencereler, vb. gibi fiziksel binayı inşa etmek için kullanılan gerçek nesnelerin yazılım karşılığıdır. Bileşenler 3B modellerde özellikleri ile gösterilebilmektedir. YBM bileşenleri veri ve kurallarla ilişkili geometrik bilgiler içerir. İlişkili nesnelerde değişiklik yapıldığında otomatik olarak ilişkili geometrileri değiştiren parametrik

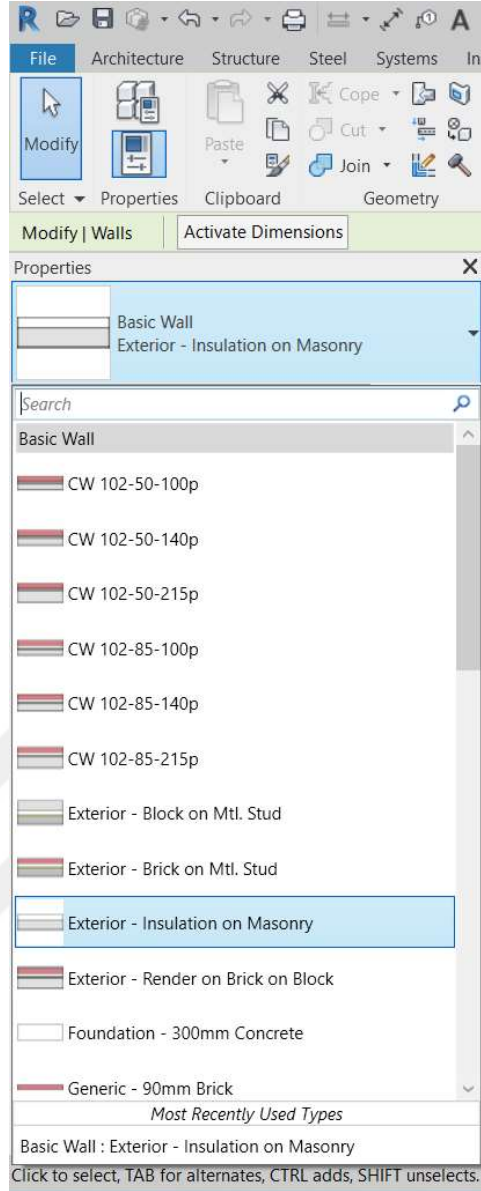
kuralları vardır. Şekil 3.3 de Autodesk Revit 2019 da modellenmiş bir projede dış duvara ait görünüm ve malzeme özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Autodesk Revit 2019 platformunda dış duvar bileşenine ait gösterim

Modelin gereksinim duyulan detay seviyesine göre bileşenler, genişlik, derinlik ve yüksekliğin yanında daha fazla parametre ile tanımlanır. Diğer bir ifade ile kullanılan bileşenler ihtiyaç halinde ağırlık, yoğunluk, maliyet vb. ek parametrelerle tanımlanabilir. Yazılım içeriğinde bulunan diğer tanımlı bileşenler ile de tanımlama yapılabilir (Şekil 3.4). YBM bileşenleri, yapısal malzemeler, akustik verileri, enerji verileri, maliyet vb. nitelik kümelerini diğer uygulamalara ve modellere bağlama ya da verme kabiliyetine sahiptir.

YBM son yıllarda tarihi binalarda ve özellikle de kültürel miras kabul edilen yapılarda uygulama alanı bulmaktadır. Kültürel miras nesneleri söz konusu olduğunda, kültürel miras anıtları temel olarak geometri ve özellikleri tipik yazılım kütüphaneleri için temsili olmayan bileşenlerden ve malzemelerden yapıldığı için işler daha karmaşıktır. Bu durumda parametrik nesneler tarihi verilerden (anketler, testler ve literatürden) oluşturulabildiği gibi, lazer tarama teknikleri ile de YBM bileşenleri oluşturulmaktadır.



Şekil 3.4. Autodesk Revit 2019 platformunda tanımlı dış duvar bileşenleri

3.2. YBM Platformları ve Yazılımlar

Günümüzde YBM modellemesi gerçekleştirilebilmek için en yoğun kullanımı olan YBM platformları üç farklı grup altında toplanabilir. Bunlar,

1. 3B Modelleyiciler
2. 3B Görüntüleyiciler
3. Analiz Araçları

Bununla birlikte YBM platformları ticari, serbest ve açık kaynak olarak da sınıflandırılır.

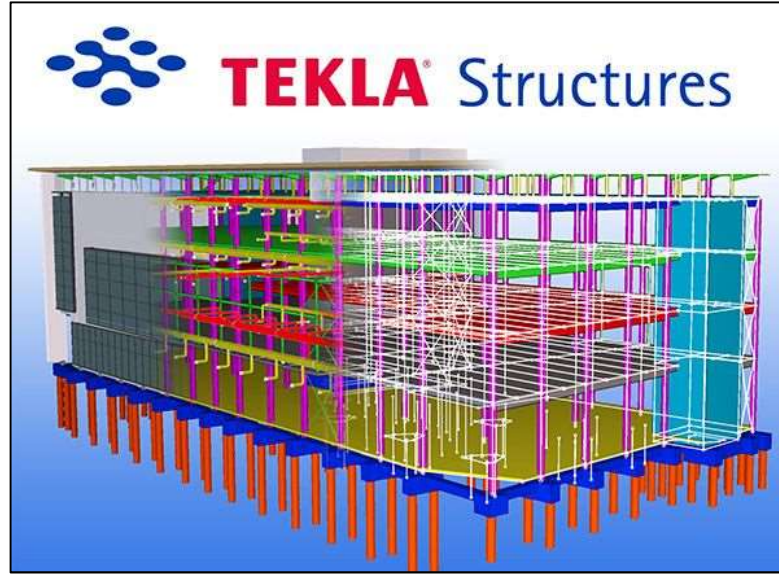
3.2.1. 3B Modelleyiciler

ArchiCAD, Graphisoft tarafından geliştirilen ArchiCAD, tasarım ve modelleme için kullanılan bir 3B mimari YBM aracıdır. Mac ve Windows işletim sistemleri ile uyumludur. Şehir ve bölge planlayıcıları, mimarlar ve tasarımcılar tarafından tasarım ve iş akışı süreçlerini geliştirmek için kullanılır. İlk BIM uygulamalarından biri olarak kabul edilen ArchiCAD, hem 2B hem de 3B geometri oluşturma yeteneğine sahip olan CAD araçlarının öncüsüdür. Mimari firmaların ihtiyaçlarının çoğunu desteklemek için çeşitli bina bilgi modelleme ve görselleştirme işlevlerine sahip eksiksiz bir tasarım paketidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Graphisoft Archicad (<https://www.graphisoft.com/archicad/>)

Tekla Structures, yapının malzemesi veya karmaşıklığına bakılmaksızın doğru şekilde detaylandırılmış ve yüksek derecede yapılandırılabilir 3B modellerin oluşturulmasını ve yönetimini sağlayan bir YBM yazılımıdır. Tekla modelleri, kavramsal tasarımdan inşaata ve yapının yönetimine kadar olan tüm inşaat sürecini kapsayacak şekilde kullanılabilir. Yazılım, mevcut diğer uygulamalarla arabirim oluşturmak için veya dahili bir özelleştirilebilir çözüm geliştirmek için bir platform olarak kullanılabilir. Standardizasyon ve birlikte çalışabilirliği destekleyen açık bir çözümdür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Tekla Structures (<https://www.tekla.com>)

Bentley System'in YBM platformlarından biri olan OpenBuildings Designer, herhangi bir ölçekte ve türde altyapıyı tasarlamak, analiz etmek, inşa etmek ve yönetmek için inşa edilmiş bir bina tasarım yazılımı sistemidir. Mimarlardan elektrik, mekanik ve yapısal mühendislere kadar çeşitli disiplinlerle bütünleşir. Platformun birlikte çalışabilirlik, bulut kabiliyeti, hız, mobil destek ve bağlanabilirlik açısından gelişmiş özellikleri bulunmaktadır. Örneğin kavramsal bir tasarım oluşturmak ve parametrik BIM içeriği oluşturmak için mesh modelleme ve katı itme / çekme yeteneğine sahiptir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. OpenBuildins Designer (<https://www.bentley.com/en/products/product-line/building-design-software/openbuildings-designer>)

Autodesk Revit yazılımı mimari, yapı ve mekanik tasarımların geliştirilebildiği YBM aracıdır. YBM alanında kullanılan en popüler yazılım paketlerinden biridir. Yalnızca Microsoft Windows ile uyumludur. Revit, tüm süreçler tek bir sistemden geçerken, yanlış iletişimden kaynaklanan hata riskini de minimize eder. Koordinasyon aynı zamanda birden fazla proje katılımcısı ile yeniden işleme ve çakışmaları önleme özellikleriyle birlikte sağlanmıştır. Revit ayrıca sistemler ve yapılar için tasarımları simüle etmekte kullanılabilir. Bu 4B YBM, inşaatın tüm yaşam döngüsünü bakıma ve hatta yıkım süreçlerine kadar izleyebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Autodesk Revit (<https://www.autodesk.com/products/revit/overview>)

3.2.2. 3B Görüntüleyiciler

Navisworks Autodesk tarafından geliştirilmiştir. Navisworks ve Revit arasındaki fark, Navisworks'ün mimarlık, mühendislik ve inşaat profesyonelleri için bir proje inceleme yazılımı aracı olarak uzmanlaşmış olmasıdır. Bu 3B tasarım inceleme paketi yalnızca Microsoft Windows ile uyumludur. 3B modelleri açmak ve birleştirmek, modeli incelemek ve gerçek zamanlı olarak dolaşmak için kullanılır. Bu araç, inşaat öncesi kontrolü sağlamak ve başarılı bir proje sonucu elde etmek için çok önemlidir. Özelliklerinden biri model koordinasyonu ve çakışma tespiti içerir. Böylece, olası çakışma ve diğer sorunların tespit edilmesini ve azaltılmasını sağlar. Animasyon, model simülasyonu ve tek bir modele veri toplanması ana özelliklerinden bazılarıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Navisworks (<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>)

SketchUp, kullanım kolaylığı ile bilinen diğer bir 3B modelleme aracıdır. İşlevsellikten olarak çizgi ve şekil çizmeye ve sonra bunları 3B formlara dönüştürmeye imkân sağlar. Ücretsiz 3D modellerine erişim sağlayarak modelleri basitleştirir ve hızlandırır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. SketchUp (<https://www.sketchup.com/>)

3.2.3. Analiz Araçları

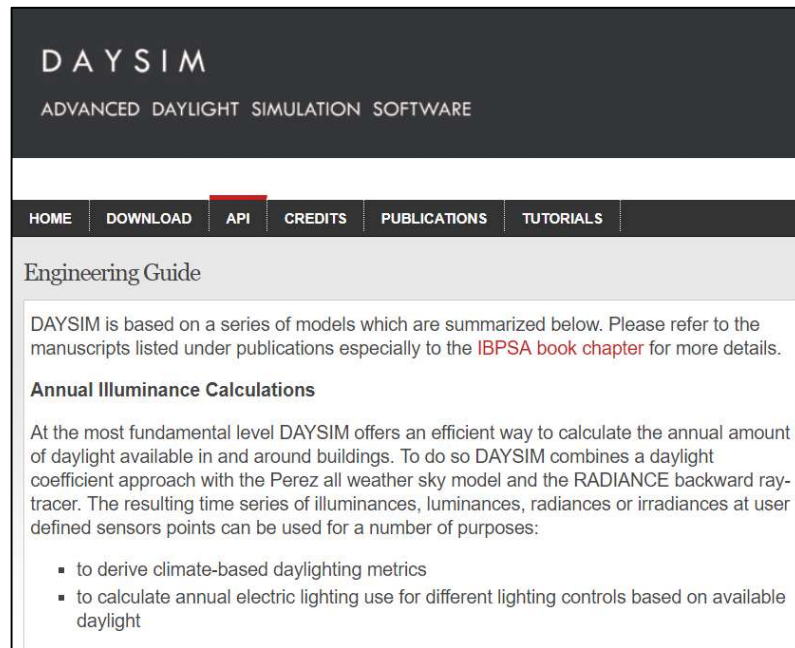
Autodesk tarafından geliştirilmiş olan Green Building Studio (GBS), enerji analizi ve karbon emisyonu raporlama içeren web tabanlı bir yazılımdır. Karbon emisyonu raporlaması binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan yakıt miktarı, elektrik sağlayacak güç santrallerinin kullandıklarını yakıt miktarı ve kullanılacak yakıt türü seçilerek sisteme geri kazandırılacak elektrik enerjisi miktarının özetlenmesidir. GBS, bina tasarımlarının enerji profillerini ve karbon ayak izlerini değerlendirmek için de kullanılmaktadır. GBS'nin en büyük avantajı Revit modelleme ortamıyla olan entegrasyonudur. Green Building Studio, enerji analitik

modellemesinde binanın tipini ve bölgenin iklim koşullarını da dikkate alır. Basit açılır menüleri kullanarak tasarımların belirli özellikleri (örneğin daha düşük bir U-değerine sahip pencere camı) tanımlanır yada hızlı bir şekilde değiştirilebilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Green Building Studio (<https://gbs.autodesk.com/GBS/>)

DAYSIM, sanal bina projelerinde doğal ışığın kullanılabilirliğini ve aydınlatma enerjisinin kullanımını analiz etmek için kullanılır. Ücretsiz, açık kaynaklı bir yazılımdır. C programlama dili ile yazılmış bir dizi komut alt programından oluşan bir simülasyon motorudur. Ayrıca, DAYSIM Ecotect, Rhinoceros ve SketchUP dosyalarıyla uyumludur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. DAYSIM (<http://daysim.ning.com/page/program-structure>)

EnergyPlus, bir enerji simülasyon programıdır ve bir binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi enerji tüketimini modellemek için kullanılmaktadır (Şekil 3.13).



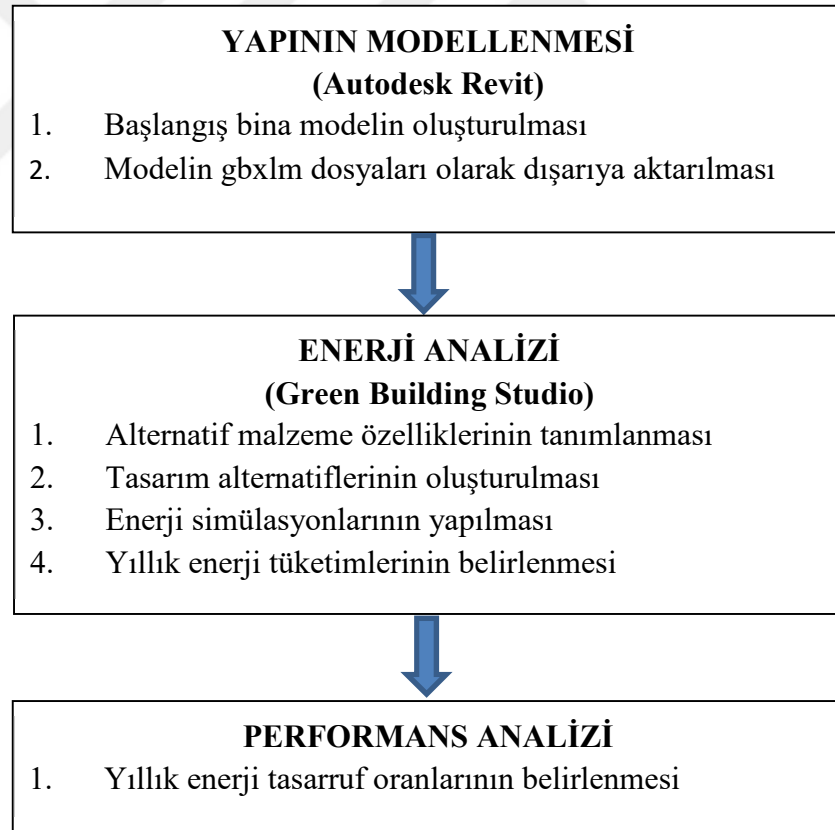
Şekil 3.13. EnergyPlus (<https://energyplus.net/>)

Ecotect Analysis, enerji açısından verimli ve yüksek performanslı bina projelerinin oluşturulmasına, görselleştirilmesine ve simülasyonuna izin verir. Bina enerjisinin, suyun ve malzemelerin performansını, kullanımını ve entegrasyonunu sağlar. Ek olarak, Ecotect, mimarların ve tasarımcıların verimli ve sürdürülebilir bir bina için gerekli tüm araçları uygulayarak, 3B'de kolayca çalışmasını sağlar. Autodesk 2015 yılında Ecotect yazılımına desteğini kaldırmıştır ve daha fazla işlev taşıyan Green Building Studio yu kullanıma sunmuştur. Ancak Ecotect Analysis halen oldukça yoğun kullanılan bir yazılımdır [29].

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, Autodesk Revit yazılımı ile modellenen YBM tabanlı bina modeli, Green Building Studio yazılımı ile enerji verimliliğini arttırmak için oluşturulan farklı tasarım alternatifleri altında analiz edilmiştir. Çalışmanın çerçevesi genel olarak üç ana safhadan oluşmaktadır (Şekil 4.1).

İlk aşama, Autodesk Revit programı ile binanın yapı bilgi modelinin kurulmasıdır. Bu aşamada binaya ait mimari proje, kat planları ve yapı elemanları oluşturulmuştur. Çalışmanın amacına uygun olarak seçilen çatı, dış duvarlar ve pencere tiplerine ait boyut ve ısı geçirgenlik katsayıları (U , W/m^2K) tanımlanmıştır. Oluşturulan yapı modeli Revit programından (gbxlm) uzantılı olarak dışarı aktarılmış ve Green Building Studio yazılımına yüklenmiştir.



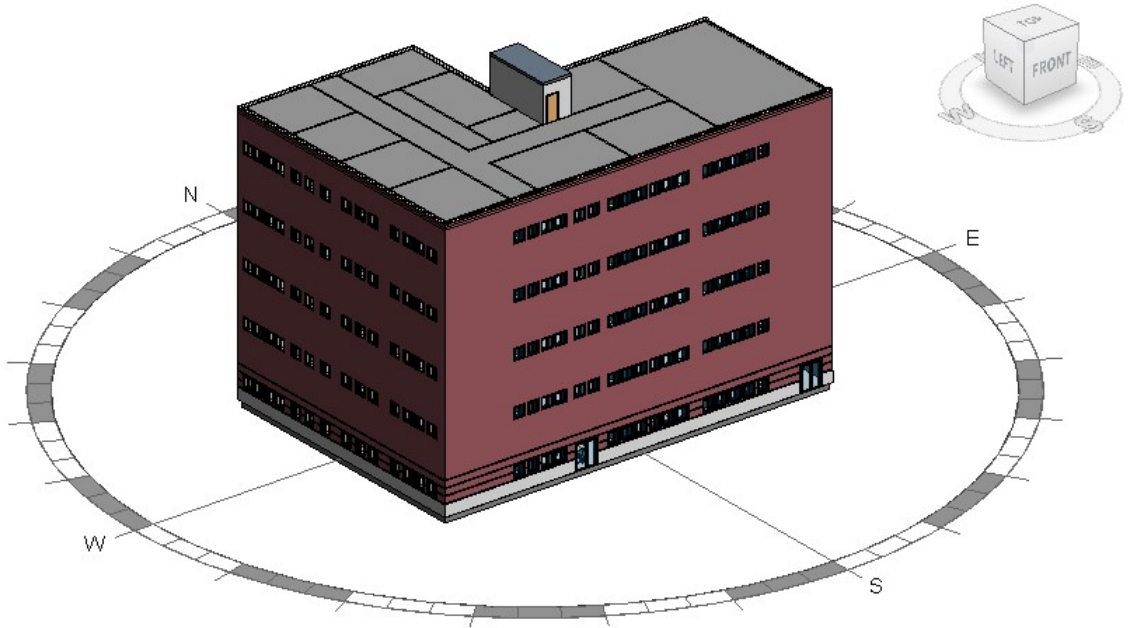
Şekil 4.1. Çalışmaya ait akış diyagramı

İkinci aşama, YBM tabanlı enerji analizi yazılımlarından olan Green Building Studio (GBS) da gerçekleştirilmiştir. Enerji performansının artırılması için yapının dış kabuğunu oluşturan çatı, duvar ve pencere tiplerinde iyileştirmeler düşünülmüştür. Bu anlamda her üç yapı elemanı için de daha düşük ısıl geçirgenlik katsayılarına sahip malzemeler tanımlanmıştır. GBS yazılımı içerisinde pencerelerin tente ile gölgelenme oranı, bina yönü gibi seçenekler değiştirilerek oluşturulacak alternatifler ile enerji analizi yapmakta mümkündür. Ancak bu çalışmada bu seçenekler değerlendirilmemiştir.

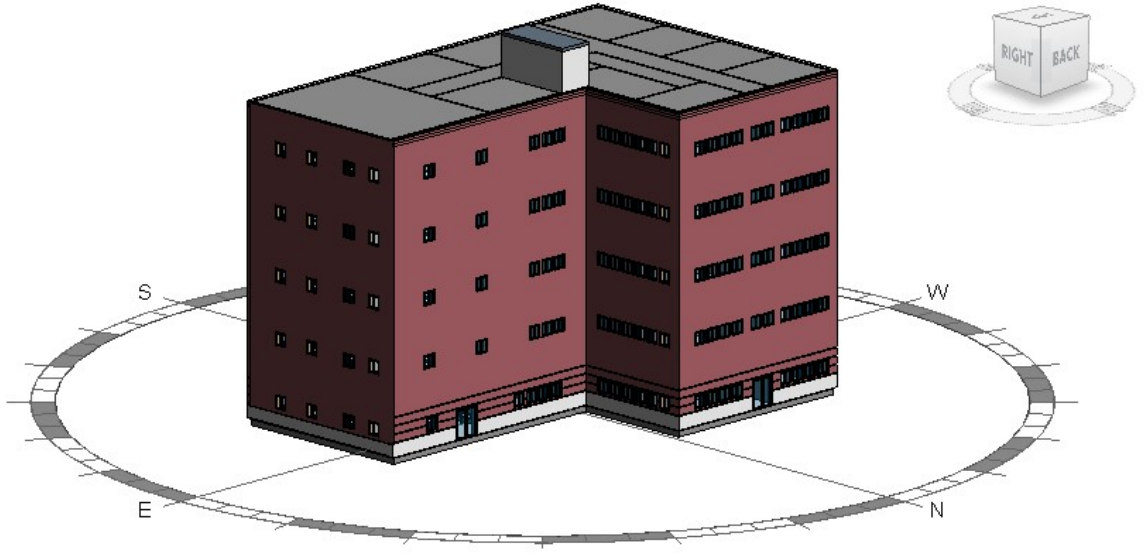
Üçüncü ve son aşamada ise GBS çıktıları kullanılarak her bir alternatife ait yıllık toplam enerji tüketimi, yıllık elektrik tüketimi ve yıllık doğalgaz tüketimi birbirleri ile kıyaslanmıştır. Enerji tüketimi açısından sağlanabilecek kazanımlar yüzdesel olarak ifade edilmiştir.

4.1. Örnek Proje Bilgileri

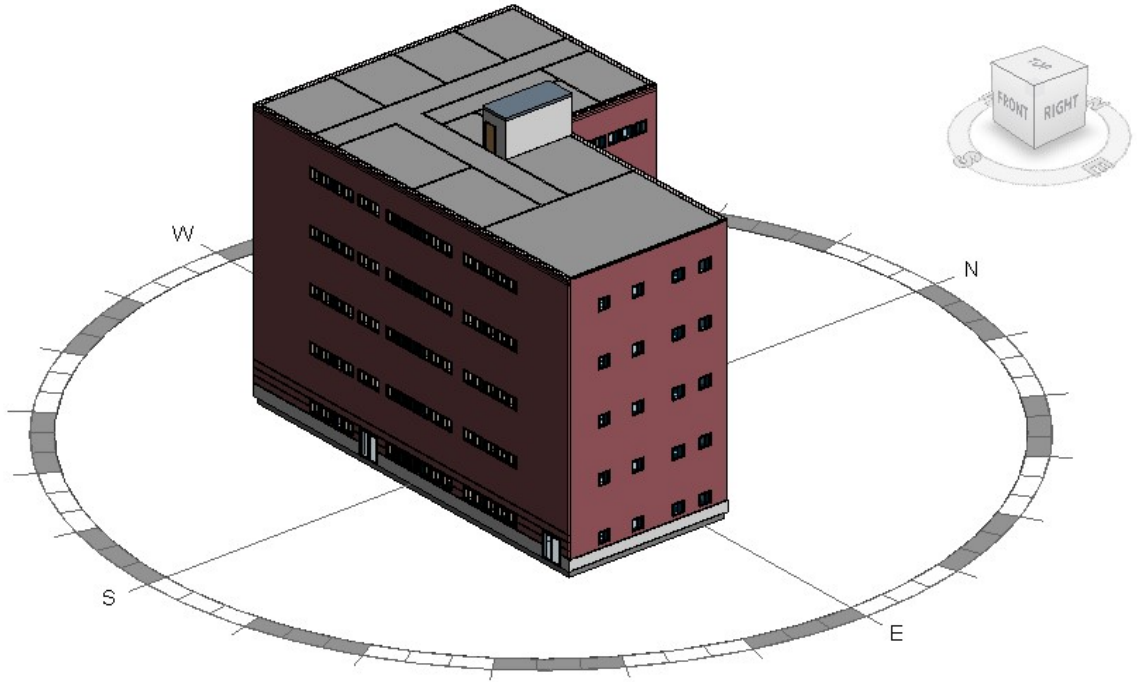
Örnek proje, Ankara’da yapımı planlanan betonarme 4 kat ve bir giriş katı olmak üzere toplam 3100 m² alana sahip bir ofis binasıdır. Binanın ön tarafı güney yönüne bakmakta ve dört yönde de cephesi bulunmaktadır (Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5). Örnek projenin 1. Kat planı Şekil 4.6 de, projeye ve ilgili meteoroloji istasyonuna ait bilgiler Tablo 4.1 de verilmiştir.



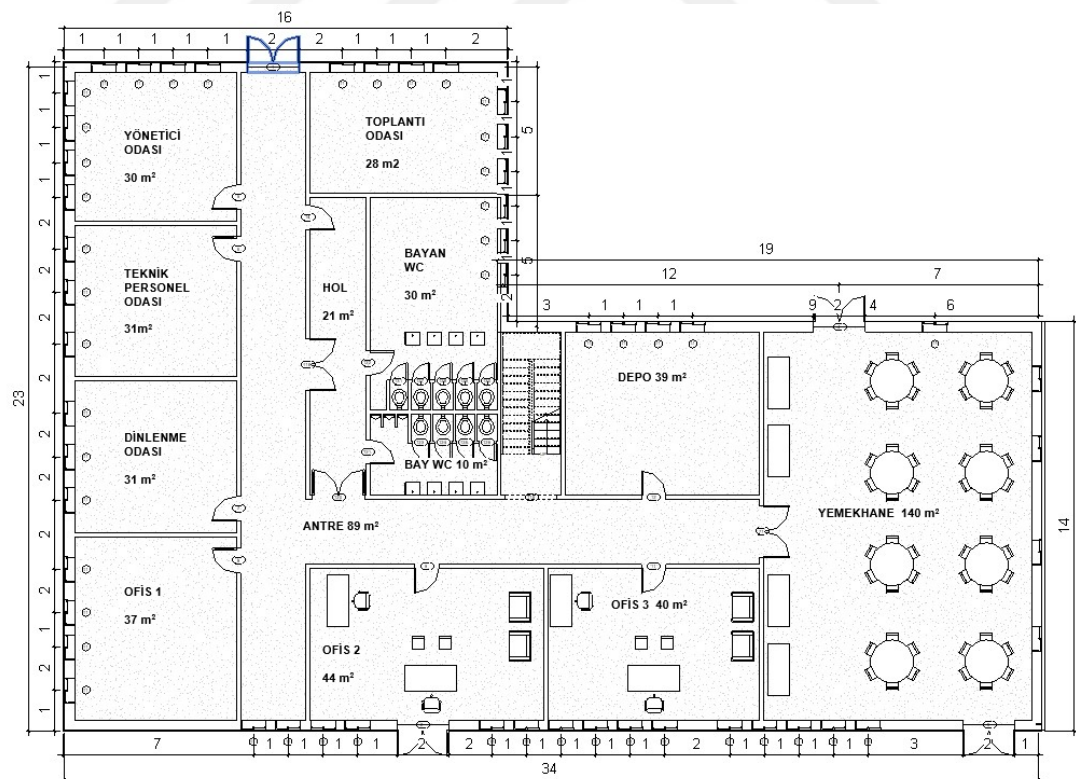
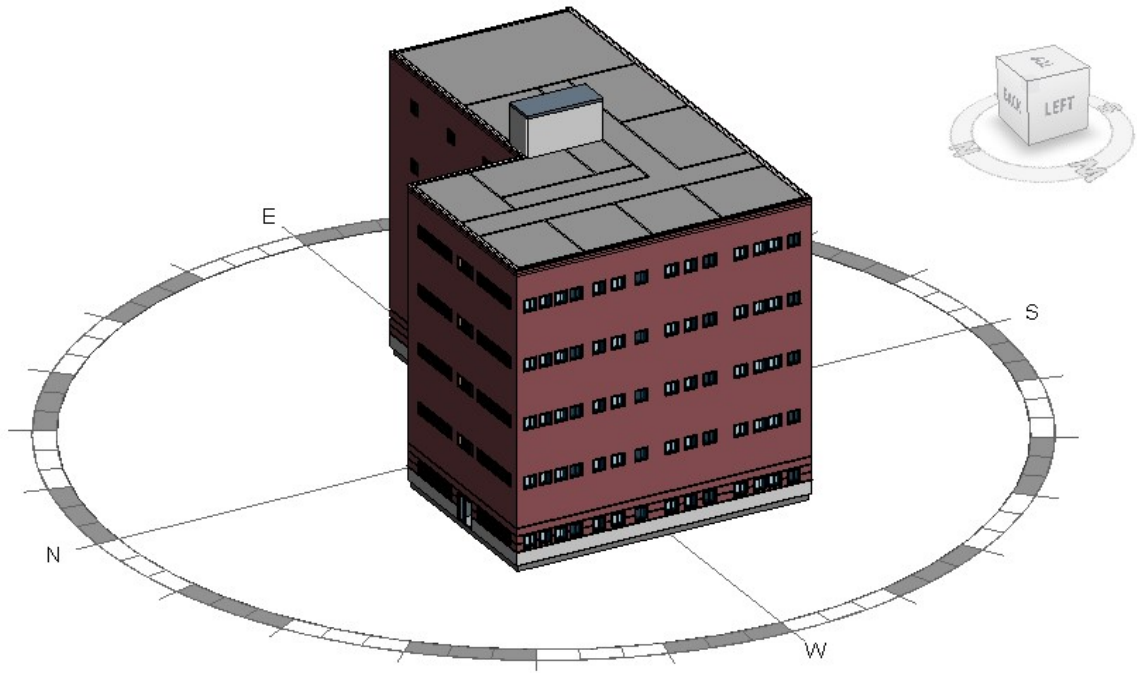
Şekil 4.2. Örnek proje binası güney-batı perspektifi



Şekil 4.3. Örnek proje binası kuzey-doğu perspektifi



Şekil 4.4. Örnek proje binası güney-doğu perspektifi



Şekil 4.6. 1.Kat planı

Tablo 4.1. Örnek projeye ait bilgiler

Proje Yeri	Ankara / Keçiören	
Kullanım amacı	Büro / Ofis	
Toplam alan (m ²)	3100	
Bina faaliyet süresi	7/24	
Taban alanı (m ²)	620	
Kat adedi	5	
Bina yüksekliği (m)	23	
Yapının hacmi (m ³)	14260	
Duvar alanı (m ²)	Kuzey	712,2
	Güney	701,2
	Doğu	504,5
	Batı	482,5
Pencere alanı (m ²)	Kuzey	80,3
	Güney	91,3
	Doğu	55
	Batı	77
Meteoroloji İstasyonu	Keçiören/9.(Ankara) bölge	
Proje alanına uzaklığı	5,7 km	
Green Building Studio kodu	GBS_06M12_18_111266	

4.2. Proje Tasarım Alternatifleri

Bir binanın ısıtılması için gerekli olan enerji ihtiyacında, yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı (U , W/m^2K) en önemli parametredir. Isıl geçirgenlik katsayısı, çeşitli kalınlıklardaki katmanlardan (iç sıva + delikli tuğla + dış sıva + mantolama gibi) oluşan yapı bileşeninin $1 m^2$ sinden $1^\circ C$ lik sıcaklık farkı bulunması durumunda saatte kilojoule (kJ) cinsinden geçen ısı miktarını ifade etmektedir [30].

Yapı elemanlarında ısıl iletim direnci (R , m^2K/W), tek tek yapı malzemelerinin (tuğla, sıva gibi) kalınlıkları ($d_1, d_2, \dots, d_n$) ve bu yapı malzemelerini ısıl iletkenlik katsayısı ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) kullanılarak Denklem 1 ile hesaplanır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (1)$$

İzolasyon malzemeleri ile düşünüldüğünde bir yapı elemanına ait toplam ısıl geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K) ise Denklem 2 de verilen eşitlik ile belirlenebilir.

$$U = \frac{1}{(R_i + R + R_e)} \quad (2)$$

Burada; R_i iç yüzeyin ısı iletim direncini (m^2K/W); R , yapı elemanının ısı iletim direncini (m^2K/W) ve R_e , dış yüzeyin ısı iletim direncini (m^2K/W) göstermektedir.

TS 825 (Binalarda Isı yalıtım Kuralları) standardı ülkemizde yapılacak yeni binalarda çeşitli tasarım seçenekleri ile ideal enerji performansını sağlanması gerekliliğini belirtmektedir [31]. Bu standartta illere göre derece-gün bölgeleri oluşturulmuş ve her bir bölge için yapı elemanlarına uygulanması gereken en büyük U değerleri tanımlanmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. TS 825 de en büyük değer olarak tavsiye edilen U değerleri

	U_{duvar} (W/m^2K)	U_{tavan} (W/m^2K)	U_{taban} (W/m^2K)	U_{pencere} (W/m^2K)
1.Bölge	0,70	0,45	0,70	2,40
2.Bölge	0,60	0,40	0,60	2,40
3.Bölge	0,50	0,30	0,45	2,40
4.Bölge	0,40	0,25	0,40	2,40

Günümüzde yalıtım malzemeleri oldukça çeşitlidir. Genel olarak bir yalıtım malzemesinden beklenen en önemli özellikler düşük ısı iletkenlik katsayısı (λ , W/mK), yeterli kalınlık ve boyut kararlılığıdır. Isı iletkenlik katsayısı arttıkça standartlarda belirtilen U ısı geçirgenlik değerine ulaşabilmek zorlaşmaktadır. Ancak hızla gelişen yapı malzemeleri sektöründe izolasyon malzemelerinin verimliliği oldukça artmıştır.

Bu çalışmada verilen örnek projede enerji verimliliği ön planda tutulmaktadır. Bu sebeple enerji kayıplarının en aza indirilmesi için yapı kabuğunda bulunan çatı, duvar ve pencerelerde ısı geçirgenlik katsayısının standartlarda istenen değerlerden daha düşük olacak şekilde tasarım alternatifleri oluşturulmuştur.

Örnek projenin yapıldığı Ankara ili TS 825 standardına göre 3. Bölge illerindendir. Binada doğalgaz ile çalışan merkezi ısıtma sistemi ve elektrik ile çalışan soğutma sistemi düşünülmüştür. Tasarım alternatifleri Tablo 4.3 de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Tasarım alternatifleri ve kullanılan U (W/m²K) değerleri

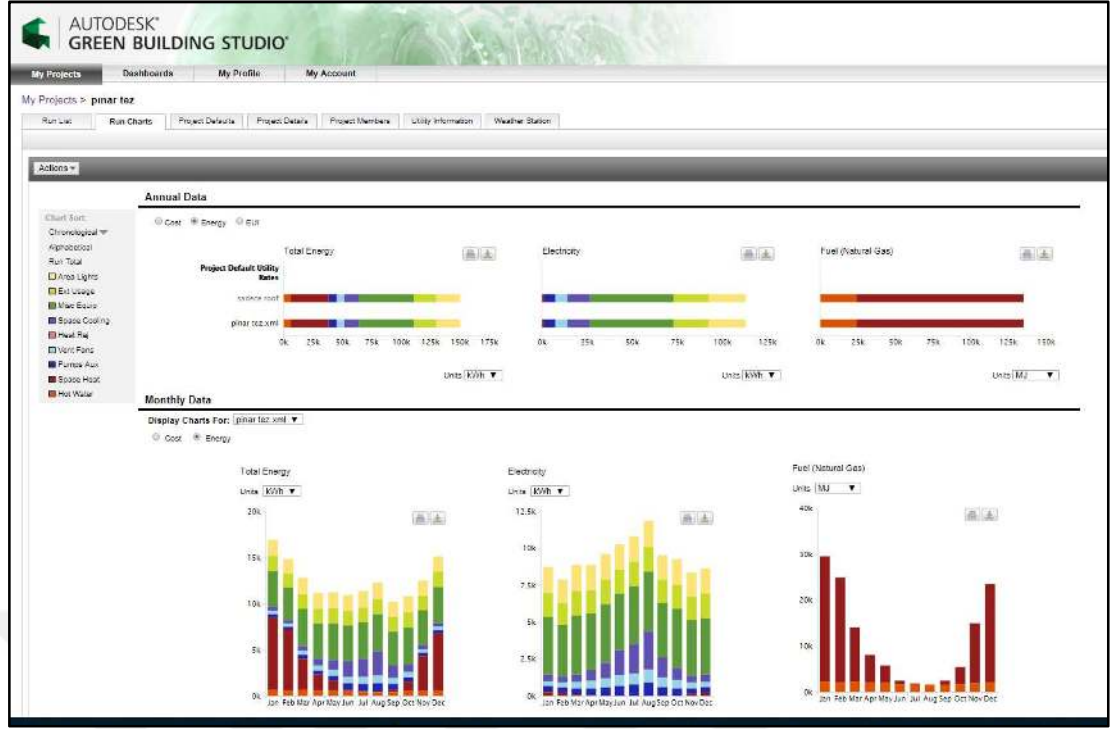
Yapı Elemanı	Alt1	Alt2	Alt3
Çatı (A)	U= 0,30	U= 0,22	U= 0,15
Dış duvarlar (B)	U= 0,50	U= 0,40	U= 0,20
Pencereler (C)	U= 2,40	U= 1,60	U= 1,30

Alt1 de her yapı elemanı için TSE 825 de tavsiye edilen U değerleri (çatı için 16 cm yalıtım kalınlığı, dış duvarlarda 25 cm masif duvar + 3 cm yalıtım kalınlığı, pencerelerde 4+12+4 mm = 20 mm standart çift cam) kullanılmıştır. Alt2 ile verilen U değerlerinde çatı için 22 cm yalıtım kalınlığı, dış duvarlar için 25 cm masif duvar + 6 cm yalıtım kalınlığı, pencereler için 4+12+4 mm = 20 mm Low- E kaplamalı çift cam yalıtımlı yapı elemanlarının kullanımı öngörülmüştür. Alt3 ile verilen U değerlerinde ise çatı için 30 cm yalıtım kalınlığı, dış duvarlar için 25 cm masif duvar + 16 cm yalıtım kalınlığı, pencereler için 4+16+4 mm = 24 mm Low- E kaplamalı çift cam yalıtımlı yapı elemanlarının kullanımı tasarlanmıştır [32].

4.3. YBM Tabanlı Enerji Simülasyonu

Çalışmada kullanılan örnek proje Autodesk Revit programı ile tasarlanmış ve daha sonra (xlm) dosyası olarak Green Building Studio programına aktarılmıştır. Green Building Studio (GBS) programına ait bir enerji analiz sonuçları ekran görüntüsü Şekil 4.7 de verilmiştir.

GBS simülasyonlarında kış aylarında doğalgaz ile ısınma ve yaz aylarında elektrik kullanımı ile soğutma sistemleri kullanılmıştır. Program çıktıları olarak binada ısıtma ve soğutma için kullanılacak yıllık toplam doğalgaz tüketimi ve yıllık toplam elektrik tüketimi ile kWh cinsinden toplam enerji kullanımı hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. GBS enerji analiz sonuçları ekran görüntüsü

GBS, bina enerji tüketiminin hesaplanmasında DOE (Design of Experiments) simülasyonunu kullanmaktadır. DOE, her türlü bina için enerji kullanımını ve maliyetini tahmin edebilen, yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen ücretsiz bir bina enerji analiz programıdır. Güncel versiyon olan DOE-2, binanın saatlik simülasyonunu gerçekleştirmek ve tahmin etmek için hava durumu verileriyle birlikte kullanıcı tarafından sağlanan bina yerleşimi, yalıtım durumu, bina işletme programları (günün kaç saati hizmet verildiği gibi), iklimlendirme sistemleri ve verimlilikleri gibi verileri kullanmaktadır.

5. ENERJİ PERFORMANS ANALİZİ

5.1. Yıllık Enerji Tüketimi (P/D = % 40)

Green Building Studio ile yapılan ve pencere/duvar (P/D) oranı % 40 olarak alınan simülasyonlara ait sonuçlar Tablo 5.1 de verilmiştir. Yıllık toplam enerji tüketimlerinin hesaplanmasında $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ dönüşümü yapılmıştır. Bu analiz girdilerinde toplam pencere alanı 776 m^2 ve toplam dış duvar alanı 1928 m^2 dir.

Tablo 5.1. Tasarım alternatiflerinin enerji tüketim değerleri (P/D = 0,40)

	Yıllık toplam doğalgaz tüketimi (MJ/m ² yıl)	Yıllık toplam elektrik tüketimi (kWh/m ² yıl)	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh/m ² yıl)
Alt1	388	117	224
Alt2	331	112	204
Alt3	299	106	189

Alt1 e göre Alt2, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 8,93 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 14,69 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 4,27 olmuştur.

Alt1 e göre Alt3, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 15,63 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 22,94 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 9,40 olmuştur.

Alt2 ye göre Alt3, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 7,35 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 9,67 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 5,36 olmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde, yalıtım özellikleri yüksek olan yapı elemanları ile tasarlanan projede yıllık toplam enerji tüketiminde, TS 825 standardını sağlayan yapılara göre %15,63 ile % 8,93 oranları arasında değişen miktarda daha az enerji kullanımının mümkün olduğu görülmektedir. Bu tasarruf doğalgaz kullanımında da daha yüksek oranlara (%22,94 ile % 14,69 arasında değişen) ulaşmaktadır. Elektrik tüketiminde oluşturulabilecek tasarruf ise daha sınırlıdır ve % 9,40 ile % 4,27 arasında değişmektedir.

5.2. Yıllık Enerji Tüketimi (P/D = % 30)

Green Building Studio ile yapılan ve pencere/duvar (P/D) oranı % 30 olarak alınan simülasyonlara ait sonuçlar Tablo 5.2 de verilmiştir. Yıllık toplam enerji tüketimlerinin hesaplanmasında $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ dönüşümü yapılmıştır. Bu analiz girdilerinde toplam pencere alanı 624 m^2 ve toplam dış duvar alanı 2080 m^2 dir.

Tablo 5.2. Tasarım alternatiflerinin enerji tüketim değerleri (P/D = 0,30)

	Yıllık toplam doğalgaz tüketimi (MJ/m ² yıl)	Yıllık toplam elektrik tüketimi (kWh/m ² yıl)	Yıllık toplam enerji tüketimi (kWh/m ² yıl)
Alt1	339	113	207
Alt2	295	109	191
Alt3	268	105	179

Alt1'e göre Alt2, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 7,73 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 12,98 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 3,54 olmuştur.

Alt1'e göre Alt3, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 13,53 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 20,94 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 7,58 olmuştur.

Alt2'ye göre Alt3, yıllık toplam enerji tüketimi olarak % 6,28 daha tasarrufludur. Doğalgaz tüketimi olarak bu tasarruf oranı % 9,15 seviyesindedir. Elektrik tüketimi olarak bakıldığında yıllık tasarruf oranı % 3,67 olmuştur.

P/D = 0,30 oranıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yalıtım özellikleri yüksek olan yapı elemanları ile tasarlanan projede yıllık toplam enerji tüketiminde TS 825 standardını sağlayan yapılara göre %13,53 ile % 7,73 oranları arasında değişen miktarda daha az enerji kullanımının mümkün olduğu görülmektedir. Bu tasarruf oranları doğalgaz kullanımında %20,94 ile % 12,98 arasında değişmiştir. Elektrik tüketiminde oluşturulabilecek tasarruf ise daha sınırlıdır ve % 7,58 ile % 3,54 arasında değişmektedir.

P/D oranlarının 0,40 dan 0,30 a düşürülmesi ile yıllık toplam enerji tüketiminde sağlanan tasarruf oranı % 7,59 ile en çok Alt1 alternatifinde görülmüştür (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. P/D =0,40 ile P/D =0,30 ile değişen tasarruf yüzdeleri (%)

	Doğalgaz tüketimi değişimi (%)	Elektrik tüketimi değişimi (%)	Yıllık toplam enerji tüketimi değişimi (%)
Alt1	12,63	3,42	7,59
Alt2	10,88	2,68	6,37
Alt3	10,37	0,94	5,29

Bu tasarruf miktarları Alt2 ve Alt3 için sırasıyla % 6,37 ve % 5,29 mertebesindedir. Bu sonuçlar örnek projede P/D oranında % 10 luk bir azaltmanın en büyük faydasının ısıtma amaçlı kullanılan doğalgaz tüketiminde olduğunu göstermektedir. Örnek proje yerinde bulunan iklim şartları (rüzgâr yönü ve şiddeti, güneşlenme oranı, aylık sıcaklık ortalaması vb.), proje özellikleri (cephede bulunan pencere alanı vb.) gibi etkiler düşünüldüğünde GBS kullanımı ile analiz sonuçlarına oldukça hızlı bir şekilde ulaşılmıştır. Bu özellik bina yapım süreçlerinde YBM kullanımının tüm proje paydaşları için sağladığı bir diğer fayda olarak yorumlanabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada enerji tasarrufu sağlamak için devam eden çabaların bir parçası olarak, optimum tasarım alternatiflerini seçmek için YBM tabanlı modelleme ve enerji simülasyon programlarının kullanımına dair bir çerçeve oluşturulmuştur. Bu çerçeve altında, mimari ve 3B modelleme Autodesk Revit yazılımı ile ve önceden belirlenen tasarım alternatiflerinin enerji simülasyonları ise Autodesk Green Building Studio (GBS) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Örnek proje olarak tasarlanan ofis amaçlı yapıda tasarım alternatifleri enerji verimliliği bakış açısıyla değerlendirilmiş ve farklı yalıtım özelliklerine sahip tasarım alternatiflerinin sağlayacağı enerji tasarrufları YBM tabanlı uygulamalar ile oldukça hızlı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapılan enerji analizleri sonucunda yıllık toplam enerji tüketiminde % 15,63 e, doğalgaz tüketiminde % 22,94 e ve elektrik tüketiminde % 9,40 a varan tasarruf sağlanabileceği tespit edilmiştir. P/D oranının düşürülmesi ile toplam enerji tüketiminde % 7,59 oranında bir azalmanın daha sağlanabileceği görülmüştür. Bu analizlerde binaya ait mimari ve yapısal özellikler, yapı malzemeleri özellikleri, proje yerine ait iklim özellikleri de bulundurulmuştur. Büyük ve kapsamlı projelerde tüm bu etkenlerin eş zamanlı olarak değerlendirilebilmesi ancak YBM kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Diğer taraftan, GBS, gerçek standartlar altında çalışan ve sıcaklık, enerji ve aydınlatma analizlerini yüksek güvenilirlikle yapabilen bulut tabanlı bir YBM aracıdır. Enerji analizleri için kullanılabilen diğer programlarla kıyaslandığında ise en büyük avantajı yapı bilgi modellemesinin en bilinen ve yoğun kullanımı olan yazılımı Autodesk Revit ile uyumlu çalışabilmesidir.

Tasarım kararlarını desteklemek için YBM tabanlı araçların uygulanması yönünde artan bir eğilim bulunmaktadır. Gelecekte Türk inşaat sektörünün YBM konusunda yeterlilikleri olan mimar ve mühendislere ihtiyaç duyacağı açıktır. Bu noktada üniversitelerin mühendislik ve mimarlık fakülteleri öğretim planlarına YBM dersleri veya eğitimlerinin eklenmesi faydalı olacaktır. Ayrıca, YBM kullanımı ile ilgili yurtdışı kaynaklı çok sayıda akademik yayın olmasına karşın yurtiçi adresli yayınların azlığı dikkat çekicidir. YBM uygulamaları yapan inşaat firmalarının akademik çevrelerle yapacağı bilgi paylaşımı ve ortak çalışmalar ile akademik yayınların sayısının arttırılması önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Succar, B., Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 2009, 18 (3), 357-375.
- [2] Koseoglu, O., Keskin, B., Ozorhon, B. Challenges and enablers in BIM-enabled digital transformation in mega projects: The Istanbul New Airport Project Case Study. *Buildings*. 2019, 9 (115), 1-24.
- [3] Autodesk. İGA, İstanbul yeni havalimanı'nın inşaatı için BIM kullanmaya başladı. 2019. <https://www.autodesk.com.tr/redshift/istanbul-yeni-havalimani/>
- [4] Bryde, D., Broquetas, M., Volm, J.M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013, 31 (7), 971-980.
- [5] Akkoyunlu, T. Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 2015, 184 s. (Doktora Tezi).
- [6] Lasvaux, S. Study of a Simplified Model for the Life Cycle Analysis of Buildings. Paris Institute de Technologie. Paris, France, 2010.
- [7] Wong, J.K.W., Zhou, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*. 2015, 57, 156-165.
- [8] Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting: Sustainable design methods for architects. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ, USA, 2014.
- [9] Gökgür, A. Current and future use of BIM in renovation projects. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2015. (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Sheth, A., Price, A. Glass, J. BIM and refurbishment of existing healthcare facilities. 26th Annual ARCOM Conference, 6–8 September, 2010, Leeds, UK. (Bildiriler Kitabı)
- [11] Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. Building information modelling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs. *Automation in Construction*. 2014, 38, 109-127.
- [12] Mascio, D.D., Wang, X. Building Information Modelling (BIM)-Supported Cooperative Design in Sustainable Renovation Projects. In *Proceedings of the International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering*, Alcodia, Spain, 22 September 2013, Luo, Y., Ed., Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013. (Bildiriler Kitabı)
- [13] Kim, K.P., Park, K. BIM feasibility study for housing refurbishment projects in the UK. *Organization, Technology and Management in Construction*. 2013, 5, 756-774.

- [14] Grussing, N., Liang, Y.L. Knowledge-based optimization of building maintenance, repair, and renovation activities to improve facility life cycle investments. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2014, 28, 539-548.
- [15] Lee, C., Hong, T., Lee, G., Jeong, J. Life cycle cost analysis on glass type of high-rise buildings for increasing energy efficiency and reducing CO2 emission in Korea. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2011, 138, 897–904.
- [16] Cho, K., Yoon, Y. Decision support model for determining cost-effective renovation time. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2015, 32 (3): 04015051.
- [17] Kim, H., Kyle, A. Energy modeling system using Building Information Modeling open Standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2013, 27, 203-211.
- [18] Eleftheriadis, S., Mumovic, D., Greening, P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2016, 67, 811-825.
- [19] Kim, H., Shen, Z., Kim, I., Kim, K., Stumpf, A., Yu, J. BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information. *Automation in Construction*. 2016, 68, 183–193.
- [20] Juan, Y.K., Gao, P., Wang, J. A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement. *Energy and Buildings*. 2010, 42, 290-297.
- [21] Kim, S.H., Shin, K.J., Choi, B.E., Jo, J.H., Cho, S., Cho, Y.H. A study on the variation of heating and cooling load according to the use of horizontal shading and venetian blinds in office buildings in Korea. *Energies*. 2015, 8, 1487–1504.
- [22] Jung, J.W. A Study on the Remodeling of Deteriorated Office Building for the Energy Saving. Master's Thesis, Inha University, Incheon, Korea, 2014. (Yüksek Lisans Tezi)
- [23] Gwon, J.H. A Study on the Reasonable Goal Setting for Green Remodeling of Office Building. Master's Thesis, Inha University, Incheon, Korea, 2014. (Yüksek Lisans Tezi)
- [24] Hergunsel, M., Benefits of Building Information Modeling for Construction Managers and BIM Based Scheduling Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2011, 95 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [25] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2011.
- [26] Bomfim, C.A.A., Lisboa, B.T.W., de Matos, P.C.C. Civil construction management with BIM—A new era for the construction sector metodologia. The

SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 9–11 November, 2016, Buenos Aires, Argentina.

[27] Lu, Q., Won, J., Cheng, J.C.P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). International Journal of Project Management. 2016, 34, 3-21.

[28] Fadeyi, M.O. gulf organisation for research and development the role of building information modeling (BIM) in delivering the sustainable building value. International Journal of Sustainable Built Environment. 2017, 6, 711-722.

[29] López, F.J., Lerones, P.M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., Zalama, E. A review of heritage building information modeling (H-BIM). Multimodal Technologies Interaction. 2018, 2, 21.

[30] Aksoy, T.U. Sandviç ve gaz beton duvar uygulamalarının ortalama ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı kaybı üzerindeki etkisinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2008, 24 (1-2), 277- 290.

[31] Türk Standartları Enstitüsü. TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı. Ankara, 2008.

[32] İzocam. Multi Konfor Binalar Kitabı. İstanbul, 2019.
<https://www.izocam.com.tr/f200-multi-konfor-binalar-kitabi.html>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mine Pınar BAYAR YILMAZ

Doğum Yeri ve Yılı : Zonguldak, 1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : mpinaryilmaz@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Çaycuma Anadolu Ticaret Meslek Lisesi, 1999

Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 2007

Mesleki Deneyim

Balıklı Mimarlık 2007-2009

Cemer İnşaat 2009-2010

Buca Belediyesi 2011-2013

İnka İnşaat 2013-2014

Şehzadeler Belediyesi 2014-2016

Manisa Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü 2016-2017