
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

TASARIMIN ERKEN EVRELERİNDE BENZETİM ARAÇLARININ KULLANIMI: TOPLU KONUT ÖRNEĞİ

Seda Nur KOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Seda Nur KOÇ

11/07/2025

TASARIMIN ERKEN EVRELERİNDE BENZETİM ARAÇLARININ KULLANIMI: TOPLU KONUT ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Seda Nur KOÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2025

ÖZET

Günümüz mimarlık pratiği, yalnızca estetik ve işlevsellik boyutlarıyla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda sürdürülebilirlik, çevresel performans, enerji verimliliği ve kullanıcı odaklılık gibi çok katmanlı kriterleri içeren karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Bu çok boyutlu dönüşüm, tasarım kararlarının alındığı erken tasarım evresinin önemini artırmış; bu süreçte tasarımcının bilgiye erişimi ve yönlendirilmesi kritik bir unsur hâline gelmiştir. Bu doğrultuda, erken tasarım sürecinde kullanılan benzetim araçları, sundukları veri ve analizlerle tasarım sürecine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu tez çalışması, yeni nesil benzetim araçları olan Autodesk Forma ve Spacio'nun erken tasarım sürecine sağladığı katkıları, tasarımcının bu araçlarla kurduğu deneyim üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, tip proje esaslı olarak geliştirilen bir toplu konut vaziyet planı her iki araçta modellenmiş; araçların sunduğu çevresel analiz türleri, veri çıktıları, kullanım kolaylığı ve yönlendirme nitelikleri belirlenen kriterler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her iki aracın da erken tasarım kararlarını veri temelli biçimde desteklediğini; ancak analiz kapsamı, çıktı detayları ve tasarımcıyla etkileşimi gibi açılardan farklılıklar barındırdığını ortaya koymuştur. Özellikle toplu konut projeleri gibi çoklu yerleşim kararları içeren karmaşık kurgularda, bu araçların sunduğu hızlı analiz ve görsel geri bildirim imkanları; yoğunluk, yönlenme, açıklık, güneşlenme gibi temel kütle yerleşim kararlarının değerlendirilmesinde tasarımcıya anlamlı katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda, benzetim araçları yalnızca teknik veri üreten araçlar değil; aynı zamanda çevresel ve mekânsal kararları çoklu parametrelerle eş zamanlı olarak değerlendirme imkanı sunan araçlardır. Çalışma, bu araçların tasarım sürecine sağladığı katkıları ve sahip oldukları sınırlılıklarını görünür kılarak, erken evre tasarım süreçlerinde nasıl bir rol üstlendiklerini açıklamaktadır. Araçların sunduğu çıktıların, çevresel etkiyi dikkate alan, veri temelli ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele alınması, tasarım sürecine dair daha bütüncül bir değerlendirme yapmaya olanak tanımaktadır.

Bilim Kodu	:	80107
Anahtar Kelimeler	:	Erken tasarım evresi, benzetim araçları, Autodesk Forma, Spacio, toplu konut, veri odaklı tasarım, tasarımcı deneyimi
Sayfa Adedi	:	101
Danışman	:	Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK
İkinci Danışman	:	Doç. Dr. Güneş MUTLU AVİNÇ

USE OF SIMULATION TOOLS IN THE EARLY STAGES OF DESIGN: A CASE OF MASS HOUSING

(Master Thesis)

Seda Nur KOÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2025

ABSTRACT

Today's architectural practice is not limited to aesthetics and functionality; it has become a complex paradigm that includes multi-layered criteria such as sustainability, environmental performance, energy efficiency, and user-centricity. This multidimensional transformation has increased the importance of the early design phase, during which design decisions are made; in this process, the designer's access to information and guidance has become a critical factor. In this regard, simulation tools used in the early design process contribute significantly to the design process with the data and analyses they provide. This thesis aims to examine the contributions of the new-generation simulation tools Autodesk Forma and Spacio to the early design process through the designer's experience with these tools. Within the scope of the research, a collective housing site plan developed based on a typical project was modelled in both tools; the types of environmental analysis, data outputs, ease of use, and guidance qualities offered by the tools were evaluated within the framework of the criteria determined. The findings revealed that both tools support early design decisions in a data-driven manner; however, they differ in terms of analysis scope, output details, and interaction with the designer. Especially in complex scenarios involving multiple layout decisions, such as housing projects, the rapid analysis and visual feedback capabilities offered by these tools provide meaningful contributions to designers in evaluating fundamental mass layout decisions such as density, orientation, openness, and sunlight exposure. In this context, simulation tools are not merely tools that generate technical data; they are also tools that enable the simultaneous evaluation of environmental and spatial decisions based on multiple parameters. The study explains the role these tools play in early-stage design processes by highlighting their contributions to the design process and their limitations. The outputs provided by these tools enable a more comprehensive assessment of the design process through an environmentally conscious, data-driven, and comparative approach.

Science Code	:	80107
Key Words	:	Early design stage, simulation tools, Autodesk Forma, Spacio, mass housing, data-driven design, designer experience
Page Number	:	101
Supervisor	:	Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK
Co-Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Güneş MUTLU AVİNÇ

TEŞEKKÜR

Bu tez sürecinde bilgi, deneyim ve desteğiyle her zaman yanımda olan değerli danışmanım Prof.Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a ve eş danışmanım Doç.Dr. Güneş MUTLU AVİNÇ'e, çalışmamın her aşamasında gösterdikleri ilgi, sabır ve özveri için en içten teşekkürleri sunarım. Yönlendirmeleri, enerjileri ve teşvikleri, bu çalışmamın şekillenmesinde ve tamamlanmasında benim için çok kıymetli olmuştur.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu zorlu süreçte de sabırları, sevgileri ve koşulsuz destekleriyle bana güç veren başta annem, babam, abim ve arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

RESİMLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE 9

2.1. Erken Evre Mimari Tasarım Süreci 10

2.1.1. Erken tasarım evresinde karar alma ve kararların etkisi 18

2.2. Benzetim Araçları 20

2.3. Erken Tasarım Evresinde Benzetim Araçları 23

2.3.1. Erken tasarım kararlarında benzetim araçlarının rolü ve sürece etkisi 23

2.3.2. Benzetim araçlarının erken tasarım sürecine entegrasyonu 27

2.3.3. Erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının kullanımı ve değerlendirilmesi 29

2.4. Erken Tasarım Evresinde Kullanılan Benzetim Araçları 33

2.4.1. Sefaira 34

2.4.2. Ladybug Tools 35

2.4.3. ZEBO 36

2.4.4. iDbuild 36

Sayfa

2.4.5. EvoMass 37
2.4.6. Autodesk Forma 38
2.4.7. Spacio 42
3. MATERYAL VE METOT 47
3.1. Çalışmada Analiz Edilen Toplu Konut Projesi 47
3.2. Araştırmanın Yöntemi 49
3.3. Değerlendirme Kriterleri ve Alt Kriterler 50
3.3.1. Kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi 52
3.3.2. Yapay zekâ ve otomasyon kabiliyeti 52
3.3.3. Arazi ve konum tabanlı analizler 53
3.3.4. Çevresel ve performans analizleri 53
3.3.5. Fonksiyonel ve teknik özellikler 54
3.3.6. BIM ve yazılım entegrasyonu 54
3.3.7. İş birliği ve paylaşım 55
3.3.8. Verimlilik ve performans ölçütleri 55
3.3.9. Çıktı kalitesi ve raporlama 56
3.3.10. Sınırlılıklar ve kısıtlamalar 56
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 57
4.1. Autodesk Forma ile İlgili Bulgular 58
4.2. Spacio ile İlgili Bulgular 71
4.3. Autodesk Forma ve Spacio'nun Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi 83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 89
KAYNAKLAR 95
ÖZGEÇMİŞ 101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Değerlendirme kriterleri ve alt kriterler 51

Çizelge 4.1. Autodesk Forma kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi 59

Çizelge 4.2. Autodesk Forma yapay zeka ve otomasyon kabiliyeti 60

Çizelge 4.3. Autodesk Forma arazi ve konum tabanlı analizler 62

Çizelge 4.4. Autodesk Forma çevresel ve performans analizleri..... 63

Çizelge 4.5. Autodesk Forma'nın fonksiyonel ve teknik özellikleri 65

Çizelge 4.6. Autodesk Forma'nın BIM ve yazılım entegrasyonu 66

Çizelge 4.7. Autodesk Forma iş birliği ve paylaşım 68

Çizelge 4.8. Autodesk Forma verimlilik ve performans ölçütleri 69

Çizelge 4.9. Autodesk Forma çıktı kalitesi ve raporlama 70

Çizelge 4.10. Autodesk Forma sınırlılıklar ve kısıtlamalar 71

Çizelge 4.11. Spacio kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi 72

Çizelge 4.12. Spacio yapay zeka ve otomasyon kabiliyeti 73

Çizelge 4.13. Spacio arazi ve konum tabanlı analizler 75

Çizelge 4.14. Spacio çevresel ve performans analizleri 76

Çizelge 4.15. Spacio fonksiyonel ve teknik özellikleri..... 78

Çizelge 4.16. Spacio BIM ve yazılım entegrasyonu 79

Çizelge 4.17. Spacio iş birliği ve paylaşım 80

Çizelge 4.18. Spacio verimlilik ve performans ölçütleri 81

Çizelge 4.19. Spacio çıktı kalitesi ve raporlama 82

Çizelge 4.20. Spacio sınırlılıklar ve kısıtlamalar 83

Çizelge 4.21. Autodesk Forma ve Spacio'nun karşılaştırılması 86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Tezin strüktürü 7

Şekil 2.1. Christopher Jones (1970)'un açıkladığı tasarım sürecinin aşamaları 11

Şekil 2.2. Archer'e göre tasarım süreci 12

Şekil 2.3. Lawson (2004)'un tasarım süreci 12

Şekil 2.4. Armstrong (2008) tasarım sürecinin tanımlanması 13

Şekil 2.5. Erken tasarım süreci 14

Şekil 2.6. Bina yaşam döngüsünde tasarım kararlarının zamanla değişen etkisi 15

Şekil 2.7. Mimari tasarım süreci 16

Şekil 2.8. TMMOB, RIBA (2020), AIA göre erken tasarım süreci 17

Şekil 2.9. Han ve diğerleri (2018), göre benzetim araçlarının sınıflandırılması 22

Şekil 2.10. Yazılım geliştirme sırasında olası perspektifler 33

Şekil 3.1. Araştırmanın yöntemi 50

Şekil 4.1. Autodesk Forma'da modellenen toplu konut tasarımı 57

Şekil 4.2. Spacio'da modellenen toplu konut tasarımı 58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Košir ve diğerleri (2014) çalışmasında yerleşim dokularında farklı saatlerdeki güneşten yansıtılan konumları 24

Resim 2.2. Xu ve diğerleri (2019) çalışmasından örnek ticari yerleşimler ve güneş radyasyonu analizi 24

Resim 2.3. Lee ve diğerleri (2016) çalışmasında kullanılan farklı yerleşim modelleri .. 25

Resim 2.4. SketchUp'a entegre Sefaira aracında gün ışığı analizi 34

Resim 2.5. Laydbug Tools araçları ve işlevleri 35

Resim 2.6. ZEBO aracının arayüzü, referans model ve çıktı grafikleri 36

Resim 2.7. EvoMass'da oluşturulan rüzgar geçirgenliği (solda) ve güneş ışığı saatleri (sağda) üzerine saha analizi örnekleri 37

Resim 2.8. Autodesk Forma güneş saatleri ve günışığı potansiyeli analizleri 39

Resim 2.9. Autodesk Forma ile rüzgâr analizleri 40

Resim 2.10. Autodesk Forma ile mikro iklim analizi 41

Resim 2.11. Spacio ile genel bir görünüm 42

Resim 2.12. Spacio ile çevresel bağlam 43

Resim 2.13. Spacio ile gün ışığı potansiyel analizi 43

Resim 3.1. Proje taslağına ilişkin vaziyet planı 48

Resim 3.2. Proje alanını gösteren Google Earth görüntüsü 49

Resim 4.1. Autodesk Forma' da (solda) "*site automation*" seçeneği ile üretilen yerleşim planı 60

Resim 4.2. Autodesk Forma'da proje alanının seçilmesi 61

Resim 4.3. Autodesk Forma'da "*board*" sekmesi tasarım ekranı 67

Resim 4.4. Spacio'da "g*enerative*" seçeneğiyle üretilen yerleşim planı 73

Resim 4.5. Spacio 'da proje alanının seçilmesi 74

Resim 4.6. Spacio'da proje alanının çevresel bağlam ile oluşturulması 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
m^2	Metrekare
kWh/m^2	Metrekare başına kilovatsaat

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
TMMOB	Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği
AIA	Amerika Mimarlar Enstitüsü
BIM	Yapı bilgi modellemesi
BEA	Bina çevresel değerlendirme
BPS	Bina performans simülasyonu
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
DIVA	Design Iterate Validate Adapt
DXF	Drawing exchange format
ECOTECT	Autodeks Ecotect Analysis
ESP-r	Environmental Systems Performance
GUI	Grafiksel kullanıcı arayüzü
GBS	Green Building Studio
HEED	Home Energy Efficient Design
IES/VE	Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment
IFC	Industry foundation classes
KAKS	Katlar alanı kat sayısı
LCA	Yaşam döngüsü değerlendirme
LCCA	Yaşam döngüsü maliyet değerlendirme
LLM	Büyük dil modelleri
ML	Makine öğrenimi
M&SaaS	Modelleme ve simülasyon hizmeti
M&S	Modelleme + simülasyon

Kısaltmalar	Açıklamalar
NEN 8100	Hollanda rüzgar standardı
N++	Notepad++
RIBA	İngiliz Mimarlar Enstitüsü
TAKS	Taban alanı kat sayısı
TDK	Türk Dil Kurumu
USER-FIT	Kullanıcı odaklı simülasyon yaklaşımı
UTCI	Evrensel termal iklim endeksi
TMMOB	Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası Birliği
TOKİ	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ZEBO	Zero Energy Building Optimization
VSC	Dikey gökyüzü bileşeni
WebGL	Web graphics library

1. GİRİŞ

Günümüzde mimarlık pratiği, estetik ve işlevsellik gibi tasarım kriterleri ile sınırlı kalmayarak; sürdürebilirlik, çevresel performans, iklim değişikliği ve küresel ısınma, enerji verimliliği ve kullanıcı odaklılık gibi çok boyutlu amaçları kapsayan kompleks bir yapıya dönüşmüştür. Bu dönüşüm, tasarım kararlarının etkili bir biçimde verildiği erken tasarım evresinin önemini ortaya çıkarmıştır. Tasarımın yeni biçimlendiği bu evre hem potansiyel fırsatlar hem de belirsizlikler açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, tasarımcıların erken evrede bilgiye erişebilmesi, bunu etkin kullanabilmesi ve yönlendirilmesi, alınan kararları doğrudan etkilemektedir.

Østergård, Jensen ve Maagaard (2016), erken tasarım aşamasının, mimari projelerde kararların şekillendiği kritik bir dönem olduğunu; bu dönemde alınan kararların projesinin sürdürebilirliği, enerji performansı ve kullanıcı konforu gibi önemli parametreleri doğrudan etkilediğini ifade etmiştir. Yaptıkları kapsamlı çalışmada, erken tasarım evresinde kullanılan benzetim araçlarının sağladığı karar destek fonksiyonlarının çeşitliliğini ve uygulama alanlarını sistematik bir şekilde incelemiştir. Benzetim araçlarının tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sunduğu; fakat benzetim araçlarının karmaşıklığı, tasarım sürecine entegrasyonu ve aracın etkin kullanımı ile ilgili zorluklar devam etmektedir. Bu durumun geliştirilmeye ihtiyacı olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda, güncel benzetim araçlarının sunduğu imkan ve sınırlılıkların değerlendirilmesi, tasarım sürecinin etkin ve verimliliğini artırmak açısından önem taşımaktadır.

Benzetim araçları, yapıların çevresel, iklimsel ve mekânsal performanslarının erken evrede değerlendirilmesini sağlamakta; böylelikle sezgisel tasarım sürecine veri desteği sunabilmektedir. Yapay zeka ve bulut teknolojileri bütünleşen benzetim araçları, tasarımcıya veri desteğinin yanında tasarım alternatiflerinin üretilmesi ve karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Literatürde de benzetim araçlarının incelenmesi ve değerlendirilmesiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Weytjens, Attia, Verbeeck ve De Herde (2011), çeşitli araçların mimar dostu olup olmadığı üzerine değerlendirmeler yapmıştır. Han, Huang, Zhang ve Zhang (2018), erken tasarım aşamasında yeşil binalar için kullanılan araçları kapsamlı incelemiş; Attia, Gratia, De Herde ve Hensen (2012), ise enerji verimliliğine odaklanan bir destek aracı geliştirerek tasarım sürecine katkı sağlamayı hedeflemiştir. Bu

tür yaklaşımlar genellikle belirli bir kritere odaklanmakta; tasarımcının sezgisel süreçlerini, kullanıcı deneyimini ya da yapay zeka ile etkileşimi gibi güncel ihtiyaçları sınırlı biçimde değerlendirmektedir.

Bina performansının da şekillendiği erken tasarım aşamasında alınan kararlar, projenin enerji verimliliği, çevresel etkiler gibi birçok kriterde belirleyici rol oynayabilmektedir. Günümüzde de bu sürece yönelik performansa dayalı tasarım ve optimizasyon yöntemleri önem kazanmaktadır. Wang, Janssen ve Ji (2024), geliştirdikleri EvoMass ile bina kütle tipolojilerinin çok kriterli performans optimizasyonunu erken tasarım aşamasında mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, farklı bina kütlelerinin otomatik üretilmesi; performans analizleri kapsamında değerlendirilmesini sağlamaktadır. Böylelikle tasarımcıların bilinçli ve veri odaklı karar alınmasına olanak sağlamaktadır.

Bilinçli tasarım kararlarının oluşması, tasarım seçeneklerinin ayrıntılı özellikleri ve performansları hakkında birçok verinin yönetilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda benzetim araçları, verilerinin işlenmesi açısından değil; aynı zamanda bu verilerin karar alma sürecine de aktarılması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Petersen (2011), bu araçların hem veri yönetimi hem de performans değerlendirme açısından tasarımcıya faydalı bilgiler aktarmaktadır. Liu, Rysanek, Frisque ve Chan (2020), ise benzetimin, standart tasarım sürecinin bir parçası haline gelirse, mimarlar erken aşamalarda etkileşimleri ile daha iyi bir binaya yol açacağı inancıyla aktif ve zarif tasarım eylemleri gerçekleştireceklerini vurgulamıştır. Bu perspektif, benzetim araçlarının yalnızca teknik analizler değil, aynı zamanda yaratıcı ve sezgisel süreçleri de destekleyebilecek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında, yeni nesil benzetim araçları Autodesk Forma ve Spacio'nun erken tasarım sürecine sunduğu veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri, tasarımcının araçları kullanım deneyimi üzerinden ele alınmakta; böylece mimari tasarım pratiği bağlamında daha bütüncül bir değerlendirme sunulmaktadır. Bu yönüyle tez, literatürdeki araç-merkezli ve performans sınırlı değerlendirmelerin ötesine geçerek, tasarımcının aktif katılımını, deneyimini ve sezgisel yönelimlerini odağa alan bir yaklaşım benimsemektedir.

Problem durumu / Konunun tanımı

Erken tasarım evresi, mimari tasarım sürecinin ilk adımını oluşturan, problemin analiz, sentez ve değerlendirilmesini içeren, temel tasarım kararlarının alındığı bir aşamadır. Bu süreçte, elde edilen çok sayıda verinin analiz edilmesi ve karar mekanizmalarına dahil edilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel tasarım yöntemlerinde, karar alma süreçleri çoğunlukla sezgisel yaklaşımlara dayalı olup, sınırlı veri kullanımı ile belirsizlikler içermektedir.

Benzetim araçları, erken tasarım sürecinde tasarımcılara çeşitli veri ve analizler sunarak, analitik ve veri temelli bir karar verme sürecini destekleme potansiyeline sahiptir. Autodesk Forma ve Spacio, bu amaçla kullanılan benzetim araçları arasında yer almakta olup, tasarım sürecine veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri ile katkı sağlamaktadır. Ancak, bu araçların sağladığı veri, analiz ve yönlendirme potansiyellerinin karar sürecini nasıl yönlendirdiği konusunda kapsamlı bir inceleme yapılmamıştır.

Bu tez, bir toplu konut vaziyet planı üzerinden Autodesk Forma ve Spacio'nun sunduğu veri ve analiz çıktılarını değerlendirerek, erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının nasıl bir rol oynadığını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, bu iki aracın sunduğu verilerin tasarım kararlarını yönlendirdiğini ve sürece olan potansiyel katkılarını değerlendirmektedir.

Araştırma sorusu ve hipotezi

Bu tez çalışması "Erken tasarım evresinde kullanılan benzetim araçlarının; sunduğu veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri ile mimari tasarım süreci ve kararlarına sağladığı katkılar nelerdir?" sorusuna yanıt bulmaktadır. Çalışma, bu temel soruyu destekleyen alt araştırma soruları doğrultusunda yapılandırılmıştır.

- Benzetim araçlarından elde edilen veri ve analizler tasarımcıyı erken evrede nasıl yönlendirmektedir?
- Benzetim araçları yerleşim planı ve çevresel analizler kapsamında sunduğu veriler, toplu konut projelerinin vaziyet planı kararlarını nasıl desteklemektedir?
- Benzetim araçlarının sunduğu veri, analiz ve yönlendirme imkanları hangi açılardan farklılık göstermektedir?

- Benzetim araçlarının erken tasarım sürecinde kullanımının avantaj ve sınırlılıkları nelerdir?

Bu araştırmanın hipotezi, “Erken tasarım evresinde kullanılan benzetim araçları, sağladıkları veri, analiz ve yönlendirme olanakları ile tasarım ve karar verme sürecini anlamlı biçimde etkilemektedir. Araçlar arasında veri türü, analiz kapsamı ve yönlendirme biçimi açısından görülen farklılıklar, tasarım sürecinde değişken sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu doğrultuda erken tasarım aşamasında benzetim araçlarının etkili kullanılabileceğine dair öneriler geliştirilerek, projelerde bilinçli ve veri temelli tasarım kararlarının desteklenmesine katkı sunacaktır.” şeklinde kurgulanmıştır.

Araştırmanın önemi

Erken tasarım evresi, mimari tasarım sürecinin önemli aşamalarından biri olup, bu evrede alınan kararlar ileri proje aşamalarını da etkilemektedir. Ancak geleneksel tasarım yöntemlerinde, sezgisel yaklaşımların öne çıkmasıyla bu aşamada belirsizliklerin oluşmasına yol açabilmektedir.

Benzetim araçları, tasarımcıya çevresel veriler, güneş ışığı ve rüzgar analizleri, yoğunluk çalışmaları ve erişilebilirlik değerlendirmeleri gibi önemli bilgiler sunarak, erken aşama karar süreçlerini analitik ve veri odaklı bir hale getirebilmektedir.

Bu çalışma, Autodesk Forma ve Spacio’nun erken tasarım sürecine sunduğu verileri değerlendirerek, benzetim araçlarının tasarım kararlarını nasıl yönlendirdiğini ve bu araçların avantajları ile sınırlılıklarını ortaya koyacaktır. Çalışmanın bulguları, toplu konut projelerinde veri temelli tasarım kararlarının alınmasını destekleyerek, daha sürdürülebilir ve optimize çözümler geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

- Erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının sunduğu verilerin tasarımcıyı nasıl yönlendirdiğini ortaya koymak,
- Farklı benzetim araçlarının sağladığı veri ve analizlerin değerlendirilmesini yaparak, hangisinin hangi aşamada daha etkin kullanılabileceğine dair bir çerçeve sunmak,

- Toplu konut projelerinde veri temelli tasarım kararlarının alınmasını teşvik etmesi ve bu sayede daha sürdürülebilir ve optimize çözümler geliştirilmesine katkı sağlamak,
- Benzetim araçlarının avantajları ve sınırlılıklarını belirleyerek, gelecekteki geliştirmeler için yol göstermek,

Bu bağlamda çalışma, hem mimarlık ve şehircilik disiplinlerinde benzetim araçların kullanımına yönelik akademik araştırmalara katkıda bulunmayı hem de tasarım profesyonellerinin bu araçları daha bilinçli kullanmasına yardımcı olmayı hedeflemektedir.

Varsayımlar ve sınırlılıklar

Çalışmada kullanılan benzetim araçlarının verdiği sonuçların doğru olduğu varsayılmıştır. Bu çalışma, erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının kullanılması ve sunduğu veriler ile tasarım kararlarına etkisini değerlendirmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan ve karşılaştırılan benzetim araçları iki ile sınırlandırılmıştır. Diğer benzetim araçları kapsam dışı bırakılmıştır çünkü bu çalışma, erken tasarım sürecine uygun, erişilebilir araçları incelemeyi hedeflemektedir. Autodesk Forma ve Spacio, erken tasarım evresine uygun olarak geliştirilmiş araçlardır. Bulut tabanlı olmaları, tasarımcılar tarafından kolay erişilebilir olup, hızlı analiz yetenekleri ve kullanıcı arayüzleri sayesinde erken aşama evresinde kullanıma uygundur. Sunduğu çevresel, performans analiz yetkinlikleri ile karar verme sürecine analitik ve veri odaklı bir yönlendirme sunmaktadır.

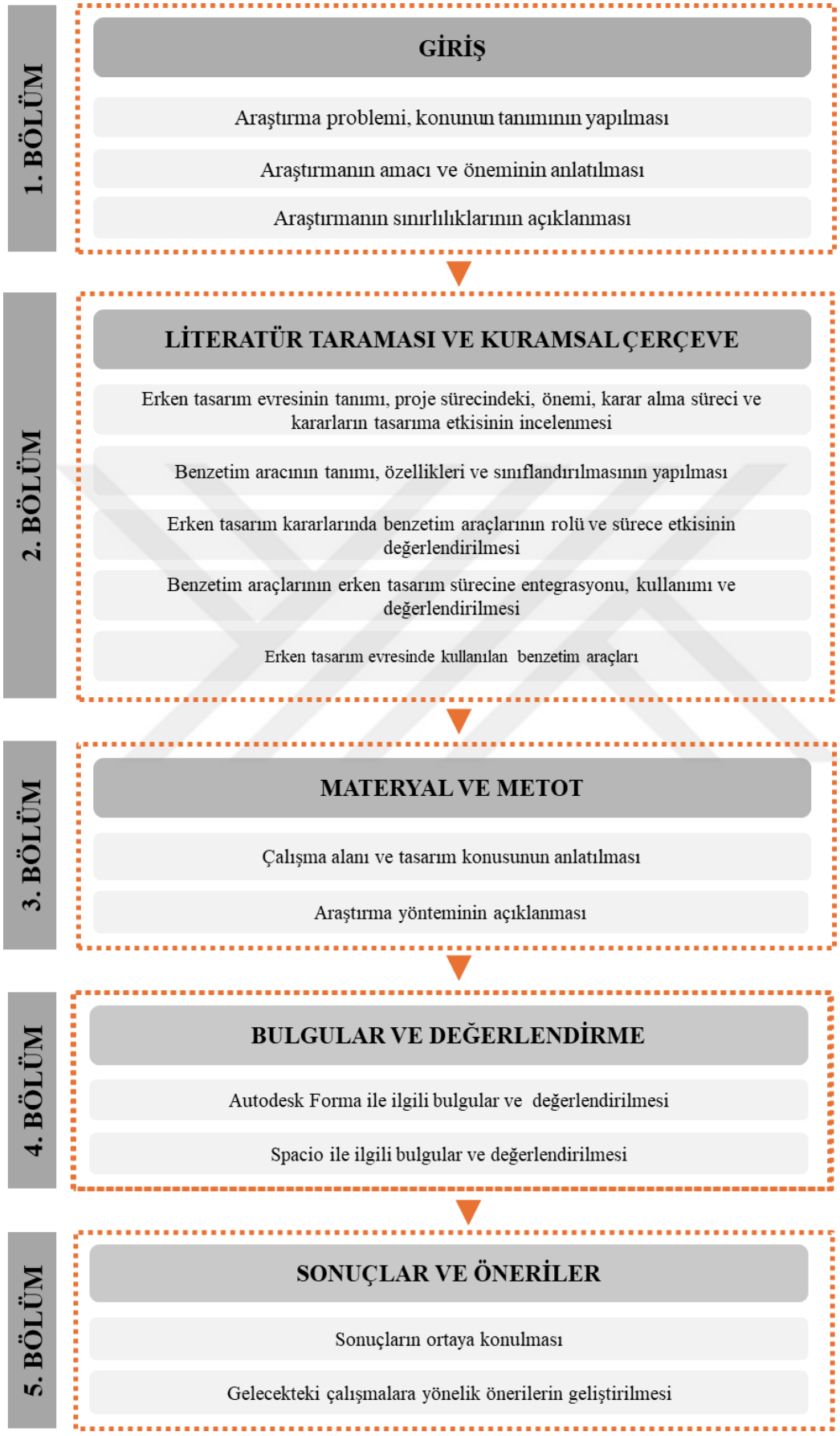
Benzetim araçlarının sunduğu analizler ve veri çıktıları doğrudan incelenmiş olup, bu verilerin doğruluğu veya başka kaynaklarla kıyaslanması çalışmanın kapsamına dahil edilmemiştir. Bu durumun arkasında yatan etmen ise çalışmanın benzetim araçlarının sağladığı verilerin tasarım kararlarını nasıl yönlendirdiğini incelemeye odaklanmasıdır.

Çalışmanın kapsamı, toplu konut projeleri vaziyet planı ölçeği ile sınırlandırılmıştır. Bina ölçeğinde detaylı iç mekân, yapı sistemleri veya malzeme analizleri yapılmamıştır. Bu olgunun kaynağı, erken tasarım evresinde öncelikli olarak yerleşim kararlarının belirleyici olmasıdır. Toplu konut projelerinde tip proje kullanımının yaygın olması nedeniyle, bina tasarım detayları yerine yerleşim düzeni ve vaziyet planı ölçeğinde yapılan analizler esas alınmıştır. Çalışmada, toplu konut projesine ait aynı vaziyet planı üzerinden benzetim araçlarının karar verme sürecini yönlendirme şekli, sundukları analiz türleri ve veri çıktıları,

tasarımcıya sağladıkları avantajlar ve sınırlılıklar üzerinden değerlendirilmiştir. Alternatif tasarım senaryoları veya farklı arazi tipleri kapsam dışı bırakılmıştır.

Tezin Strüktürü

Bu tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. “Giriş” başlıklı 1. bölümde, araştırma problemi tanımlanmakta; çalışma konusu çerçevelendirilerek araştırmanın amacı ve sınırlılıkları açıklanmaktadır. 2. bölüm olan “Literatür Taraması ve Kuramsal Çerçeve” de, erken tasarım aşaması ile benzetim araçlarının tanımı, sınıflandırılması, karar verme süreçlerine etkileri ve entegrasyonuna ilişkin kuramsal altyapı sunulmaktadır. 3. bölüm “Materyal ve Metot”, araştırma alanı ve tasarım konusunun tanıtımının yanı sıra, kullanılan yöntem ve araştırma sürecinin ayrıntılarını içermektedir. “Bulgular ve Değerlendirme” başlıklı 4. bölümde ise, Autodesk Forma ile Spacio araçlarıyla gerçekleştirilen analizler ayrı ayrı sunularak karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmaktadır. Son bölüm olan “Sonuçlar ve Öneriler” e, araştırmanın genel bulguları özetlenmekte ve gelecekte gerçekleştirilebilecek çalışmalara yönelik önerilere yer verilmektedir. Tez strüktürü Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Tezin strüktürü

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

21. yüzyılda tasarım ve üretim teknolojilerinde yaşanan gelişim, bütün tasarım disiplinlerinde olduğu gibi mimari tasarım alanında da etkisini göstermiştir. Mimari tasarım sürecindeki gelişim, sürecin yeniden biçimlenmesine olanak tanımış ve yenilikçi bir tasarım anlayışı kazandırmıştır (Sabur ve Selçuk, 2018). Teknolojinin hızlı gelişmesiyle birlikte, birçok yeni sayısal tasarım aracı da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu teknolojilerin gelişimi, yeni tasarım ve çalışma yaklaşımlarını beraberinde getirmiş; mimarların düşünme, karar alma, tasarlama ve çalışma biçimlerinde önemli değişikliklere yol açmıştır (Çavuşoğlu ve Çağdaş, 2020). Mimari tasarım ve üretim süreçleri, biçimden biçimlenmeye (*from form to formation*) anlayışının genişlemesi ile üretim, inşa ve yapının yaşam döngülerini kapsayan bütüncül bir yaklaşıma dönüşmüştür.

Dijital tasarımın sunduğu biçimsel özgürlük, büyük veri, bulut teknolojileri, sayısal ikizler, yapay zeka ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerle birleşerek; hızlı prototipleme ve model üretimi tasarım süreçlerinin bir parçası haline gelmiştir (Sorguç ve Yemişcioğlu, 2020). Dijital tasarım araçları, çalışma yöntemleri ve ifade biçimlerini dönüştürerek, mimari tasarım ve üretim süreçlerini kolaylaştıran çeşitli yeniliklerin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Teknolojinin sunduğu olanaklar doğrultusunda tasarım araçları ve yöntemlerinde yaşanan dönüşüm, mimari tasarım süreçlerinin de yeniden ele alınmasına neden olmuştur. Bu süreçlerin temel bir parçası olan erken tasarım evresi, probleme yönelik farklı bakış açılarının sentezlenip değerlendirildiği çok boyutlu bir tasarım ağı olarak tanımlanmaktadır (Wurzer, Popov ve Lorenz, 2012). Problem tanımının yapılması, çözüm arayışlarının geliştirilmesi ve ana tasarım kararlarının şekillenmesi gibi kritik süreçlerin bu evrede gerçekleşmesi, erken tasarımı mimarlık disiplininde önemli bir çalışma alanı haline getirmiştir.

Bu bağlamda, literatür incelemesinde öncelikle mimari tasarım süreci kavramsal olarak ele alınmakta; erken evre tasarımın kapsamı ile bu sürecin mimarlık disiplini içerisindeki yeri değerlendirilmiştir. Bunun ardından, benzetim araçlarının tanımı ve işlevsel özelliklerine ilişkin açıklamalara yer verilmiştir. Literatürdeki çalışmalar doğrultusunda, erken tasarım aşamasında bu araçların üstlendikleri roller, tasarım sürecine etkileri, entegrasyon biçimleri, kullanım stratejileri ve değerlendirme yaklaşımları incelenmektedir. Son olarak, bu aşamada

kullanılan benzetim araçlarına yönelik bilgilere yer verilerek çalışmanın kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur.

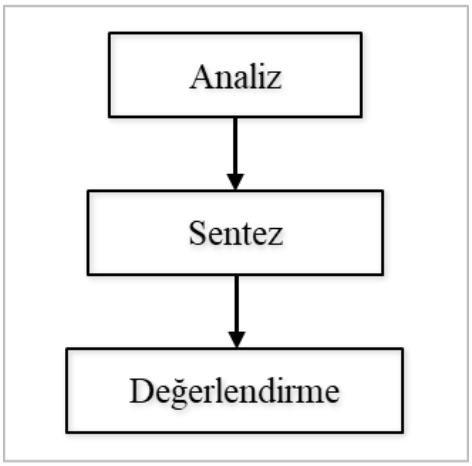
2.1. Erken Evre Mimari Tasarım Süreci

Mimari tasarım süreci, yalnızca yapının fiziksel olarak inşa edilmesini kapsamamakta; bunun ötesinde, sorunun tanımlanması, analiz edilmesi, fikirlerin geliştirilmesi ve çözüm önerilerinin ortaya konulması gibi çok katmanlı ve karar odaklı yaratıcı bir süreci içermektedir. Bu sürecin temelini oluşturan tasarımın erken aşaması ise; fikirlerin şekillendiği, verilerin toplandığı, ilk kararların alındığı ve kavramsal çerçevenin oluşturulduğu kritik bir dönemdir. Bu bölümde, çeşitli araştırmacılar ile meslek kuruluşlarının tanımlarına dayalı olarak tasarım süreci ele alınmaktadır.

Tasarım süreci; problemin tanımlanması, bu probleme uygun çözümlerin araştırılması ve bulunması süreçlerini içeren bir akış olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç; tasarım probleminin kavranması, ilgili verilerin toplanıp analiz edilmesi, küçük ölçekli çözüm önerilerinin geliştirilmesi ve tasarım fikrinin oluşturulması gibi çeşitli eylemleri kapsamaktadır (Casakin, 2008; Cross, 2006). Onat (2006) ise bu süreci, mekânsal organizasyon ve biçimlendirme elde etmeye yönelik zihinsel bir arayış olarak değerlendirmektedir. Çok katmanlı ve disiplinler arası bir yapıya sahip olan bu süreçte, tasarımcılar devamlı iletişim ve etkileşim hâlinde olmaktadır.

Tasarım süreci dâhilinde; problemi tanımlayan bireyler, kullanılan yöntemler, araçlar, zaman gibi pek çok değişken her tasarımda farklılık gösterebilmektedir. Aynı problem ele alınsa dahi; tasarımcıların deneyimleri, tercih ettikleri yöntem ve araçlar, belirledikleri kriterler, karşılaştıkları kısıtlamalar ile gereksinimlerin öncelik sıraları birbirinden farklı olabildiği için elde edilen tasarım ürünleri de birbirinden farklılık göstermektedir.

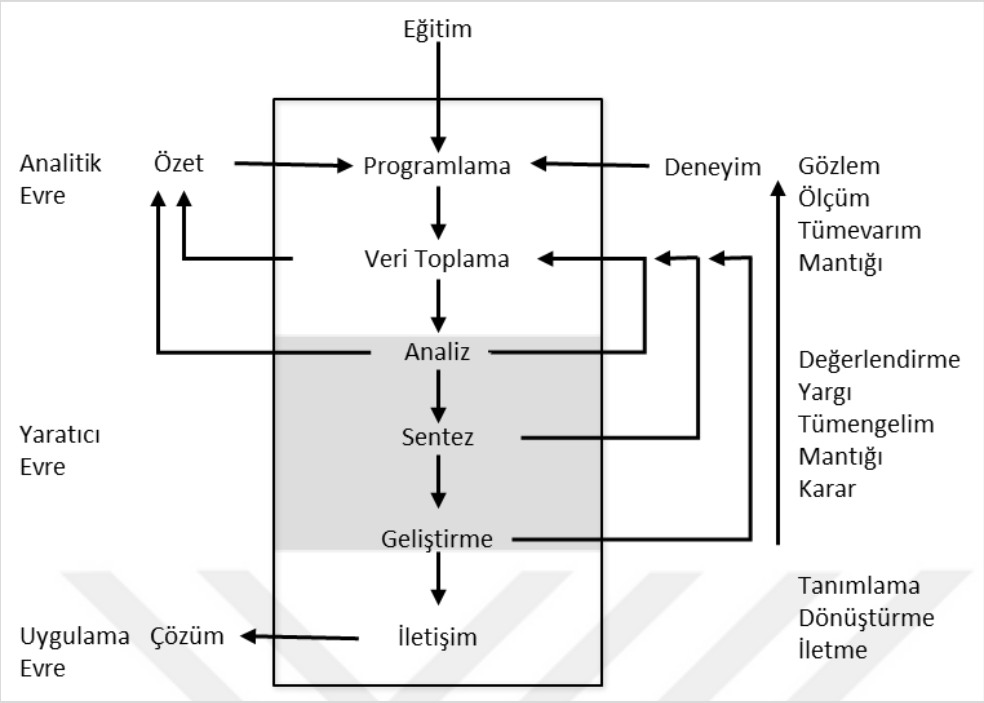
Tasarım süreci, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı modellerle açıklanmıştır. Örneğin Christopher Jones (1970), bu süreci analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç temel aşamada ele almaktadır (Şekil 2.1). Aksoy'a (1987) göre bu üç aşama; problemi bileşenlerine ayırma, bu bileşenleri yeni bir bütün hâlinde yeniden düzenleme ve oluşan yeni yapının uygulanabilirliğini test etme adımlarıyla tanımlanabilmektedir.



Şekil 2.1. Christopher Jones (1970)'un açıkladığı tasarım sürecinin aşamaları (Aksoy, 1987; Bayazıt, 2000)

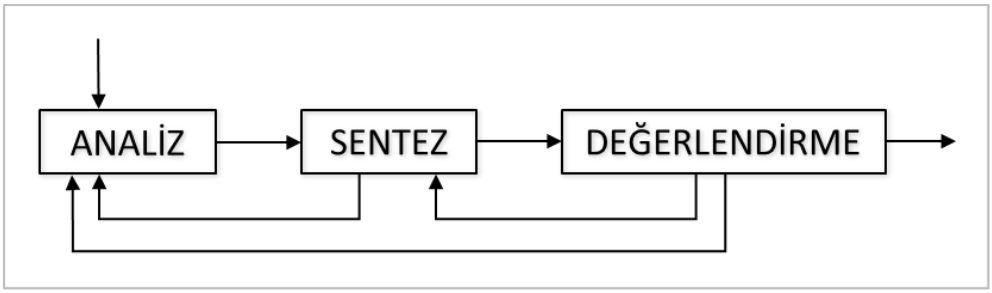
Archer (1984) tasarım sürecini, birbirinden farklı fakat zaman açısından örtüşebilen altı aşamada açıklamaktadır: programlama, veri toplama, analiz, sentez, geliştirme ve iletişim. Bu sürecin döngüsel yapısı, geri besleme mekanizmalarının varlığına imkân tanımaktadır. Programlama aşamasında problem tanımlanırken, veri toplama sürecinde çevresel, teknik ve kullanıcıya ilişkin bilgiler derlenmektedir. Sentez ve geliştirme evrelerinde, analiz sonuçlarına dayalı olarak tasarım fikirleri oluşturulmakta; eksiklikler giderilmekte ve iletişim aşamasında üretim sürecine yönelik belgeler tamamlanmaktadır (Şekil 2.2).

Archer (1984) modelinde süreç, geri besleme döngüsünü içeren bir yapıya sahiptir. Sürecin detaylı incelenmesi, problemin programlama aşamasında tanımlandığını ve bu aşamada çalışma planı, önemli noktalar, zamanlama ile maliyet gibi unsurların belirlendiğini göstermektedir. Veri toplama aşamasında ise ihtiyaç duyulan bilgiler toplanmakta ve düzenlenmektedir. Analiz aşamasında; ürünle ilgili ihtiyaçlar, üretimle ilgili problemler ve bunların öncelikleri ortaya konulmaktadır. Sentez aşamasında, analiz sürecinden elde edilen bulgular doğrultusunda tasarım önerileri geliştirilmektedir. Bu önerilerin, problemin çözümüne uygunluğu ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği değerlendirilmektedir. Geliştirme evresinde, seçilen tasarım düşüncesi üzerindeki eksiklikler giderilmekte ve boşluklar tamamlanmaktadır. Sürecin son aşaması olan iletişim aşamasında ise üretim süreci için gerekli olan dokümanlar hazırlanarak süreç sonlandırılmaktadır (Archer, 1984).



Şekil 2.2. Archer'e göre tasarım süreci (Archer, 1964)

Lawson (2005), tasarım sürecine ilişkin birçok çalışmanın bu süreci analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç temel aşama üzerinden tanımladığını ifade etmektedir. Süreç bir bütün olarak ele alındığında, bu üç ana evrenin tasarımın başlangıcından tamamlanmasına kadar birbirini takip etmesi gerektiği belirtilmektedir. Ancak Lawson (2005), uygulamada bu sıralı yapının nadiren sağlanabildiğine dikkat çekmekte; pratikte tasarım aşamalarının daha çok esnek, dinamik ve ardışık olmayan bir biçimde ilerlediğini vurgulamaktadır (Şekil 2.3). Mimari tasarım sürecini ise genel anlamda yaratıcı süreçler bağlamında değerlendirmekte; bu sürecin, çok disiplinli tasarım ve yapım süreçleriyle zenginleşerek farklılık kazandığını belirtmektedir (Lawson, 2004).



Şekil 2.3. Lawson (2004)'un tasarım süreci (Lawson, 2004)

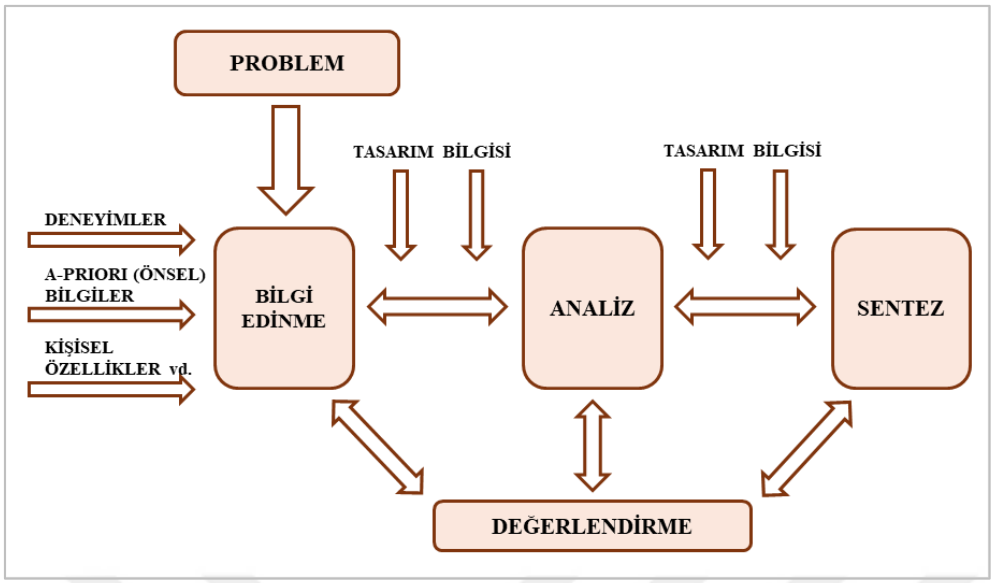
Armstrong'a (2008) göre tasarım süreci; ihtiyaçların belirlenmesi, bu ihtiyaçlara yönelik yaratıcı çözüm önerilerinin geliştirilmesi ve geliştirilen çözümlerin sunulması olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bu yapısal çerçevede:

- Tüm tasarımlar, açık biçimde tanımlanmış gereksinimlerin belirlenmesiyle başlar.
- Tüm tasarımlar, bu gereksinimlere karşılık gelen yaratıcı çözüm önerilerini içerir.
- Tüm tasarımlar, gereksinimlere yanıt veren bir ürün ya da projeyle (örneğin taslak çizimler, yapım sürecine ilişkin görsel modeller veya çizimlerle) sonuçlanır (Armstrong, 2008).



Şekil 2.4. Armstrong (2008) tasarım sürecinin tanımlanması (Arar, 2024)

Erken tasarım evresi, ilk tasarım fikirlerinin ortaya çıktığı, bilgilerin araştırılarak bir araya getirildiği ve farklı seçeneklerin oluştuğu bir aşamadır. Literatürde kavramsal tasarım olarak da adlandırılan bu aşama, tasarım sürecinin dinamik ve heyecan verici bir parçası olup; bilgi toplama, analiz, sentez ve değerlendirme ile geri bildirimli bir sürece dönüşmektedir (Türkyılmaz, 2010). İlk fikirlerin ortaya çıktığı ve ön tahminlerin yürütüldüğü bu evrede, fikirler henüz detaylandırılmadan taslak düzeyinde bırakılabilir; bu durum, yoğun bir çalışma gerektirmeksizin farklı alternatiflerin denenmesine olanak tanımaktadır. Tasarım evrelerinin keskin sınırlarla birbirinden ayrılması zor olmaktadır. Erken evrede başlayan eylem, ileri proje aşamalarında da devam edebilmekte veya alınan kararlar diğer aşamaları etkilemektedir. Bu nedenle erken evre tasarım sürecinde ana tasarım kararlarının doğru bir şekilde belirlenip geliştirilmesi, sürecin sağlıklı ilerlemesini sağlamaktadır (Arar, 2024).



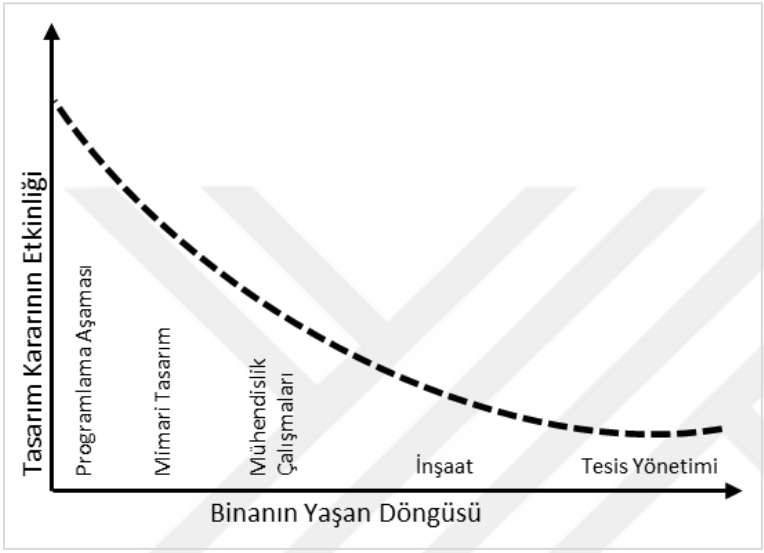
Şekil 2.5. Erken tasarım süreci (Türkyılmaz, (2010)'den uyarlanarak oluşturulmuştur.)

Macmillan, Steele, Austin, Kirby ve Spence (2001) herhangi bir tasarım sürecinde erken aşamanın, tüm tasarım sürecinin en canlı, en etkileşimli ve en yaratıcı bölümü olduğunu belirtmektedir. Bu ilk aşama, tasarım süreci içerisinde en kritik dönem olarak kabul edilmektedir. Bu dönemde, farklı disiplinlerden gelen tasarımcıların bir araya gelerek en uygun tasarım çözümlerine ulaşabilmeleri için etkileşim içinde olmaları gereklidir. Böyle bir iş birliği, ilerleyen aşamalarda yapılması muhtemel olan tasarım değişikliklerinin azaltılmasına yardımcı olur. Erken tasarım sürecine özgü temel faaliyetler arasında; ihtiyaçların tanımlanması, gereksinimlerin analiz edilmesi, temel problemlerin ortaya konması, proje niteliklerinin belirlenmesi, ilk fikirlerin geliştirilmesi ve önerilerin değerlendirilmesi yer almaktadır (Macmillan ve diğerleri, 2001).

Erken tasarım veya kavramsal tasarım, projenin hacimsel yapısını, genel mekânsal düzenini, çevresel koşullara yaklaşımını ve araziye ya da yerel özelliklere verdiği tepkiyi belirleyerek, daha sonraki tasarım aşamaları için bir çerçeve oluşturmaktadır. Bu aşama, projenin işlevsel özellikleri, maliyeti, yapım yöntemleri ve kullanılacak malzemeler gibi teknik unsurların yanı sıra, çevresel etkiler, inşa süreçleri, kültürel boyutlar ve estetik değerleri de kapsamına almaktadır. Aynı zamanda, tasarım ekibinin sahip olduğu tüm uzmanlık alanlarının dikkate alınmasını ve sürece dâhil edilmesini gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

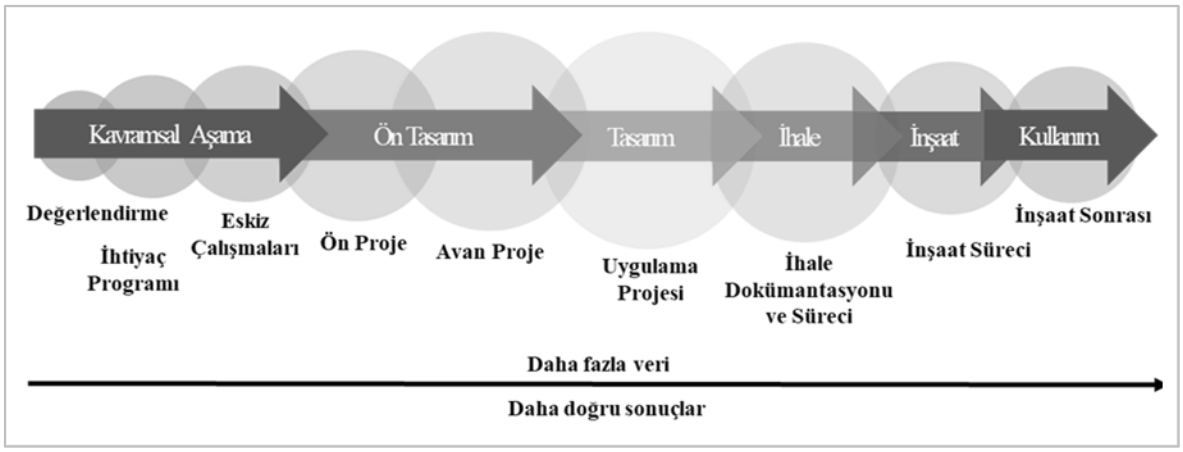
Eastman (2009), tasarım sürecinde alınan kararların sonraki aşamalardaki etkisine dikkat çekmektedir. Şekil 2.6'da yer verilen bilgiye göre, erken aşamada alınan kararların

sürdürülebilirlik, estetik ve maliyet gibi unsurlar üzerindeki etkisi, süreç ilerledikçe azalmaktadır. Bu erken aşamada alınan kararlar; yön, biçim ve form gibi temel tanımlayıcı faktörleri içermektedir. Tasarım süreci ilerledikçe ayrıntılı geliştirmeler ve bakım sürecinde yapılacak müdahaleler, ancak güçlü bir kavramsal temelin varlığı durumunda etkili olabilir; zayıf bir kavramsal temelin ise yalnızca sınırlı ölçüde iyileştirilebileceği belirtilmektedir (Eastman, 2009).



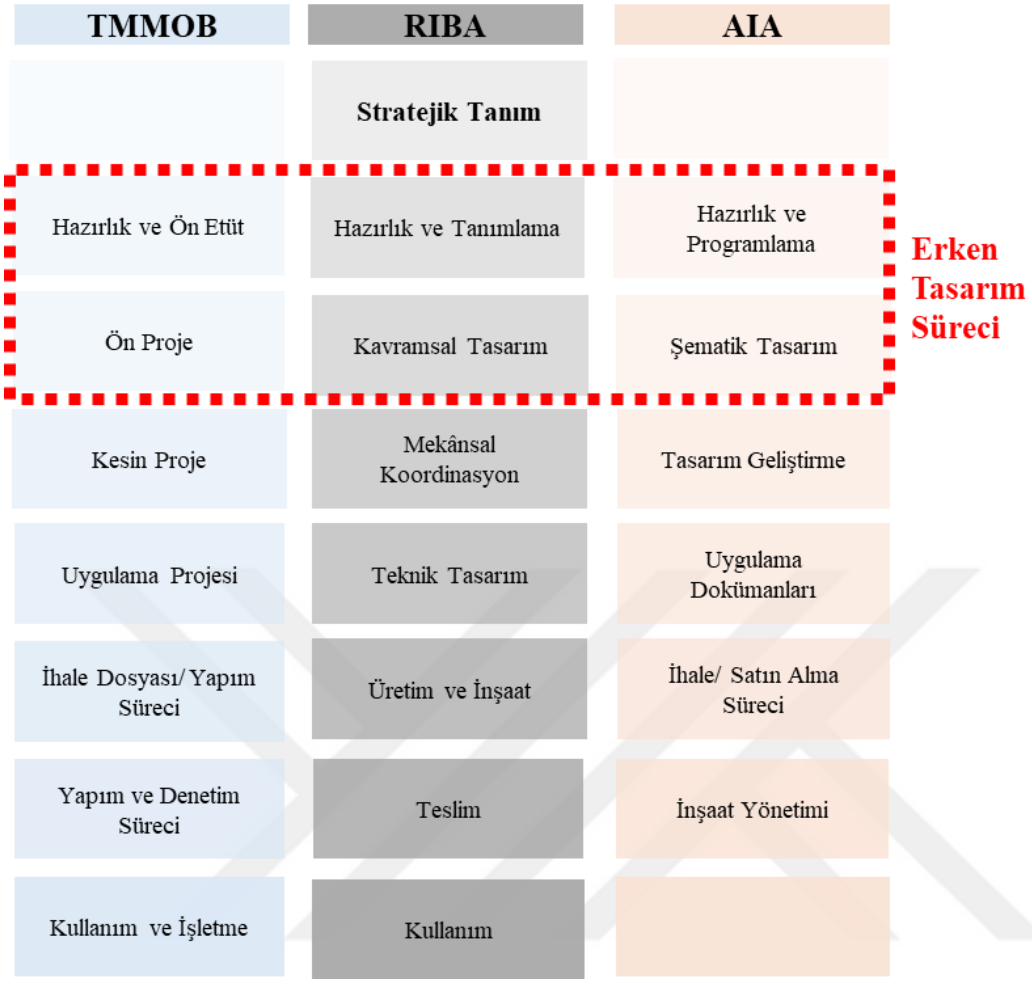
Şekil 2.6. Bina yaşam döngüsünde tasarım kararlarının zamanla değişen etkisi (Lechner, 2001)

Bragança, Vieira ve Andrade (2014), bir mimari projenin bir dizi aşamadan oluştuğunu ve tasarım sürecinin bu aşamaları yönlendiren eylemler dizisiyle geliştiğini belirtmektedir (Şekil 2.7). Bu bağlamda, mimari tasarım süreci hem ulusal hem de uluslararası mesleki kuruluşlar tarafından aşamalı bir şekilde ifade edilmektedir. Örneğin; Birleşik Krallık'ta RIBA (*Royal Instute of British Architects*) (URL-3), Amerika Birleşik Devletleri'nde AIA (*The Amerikan Instute of Architects*) (URL-4) ve Türkiye'de TMMOB Mimarlar Odası (URL-2), mimari tasarım sürecini çeşitli aşamalarla tanımlamaktadır. Türkiye'de mimarlık mesleğinin örgütlenmesinden sorumlu olan kuruluş TMMOB Mimarlar odası mimari tasarım sürecini; hazırlık ve ön etüt çalışmaları, ön proje çalışmaları, kesin proje çalışmaları, uygulama projesi çalışmaları, uygulama projesi sistem ve montaj detayları, imalat detayları, teknik şartnameler, metraj, keşif ve maliyet analizi, ihale çalışmaları, uygulama denetimi çalışmaları, teslim, geri besleme çalışmalarını kapsamaktadır (URL-2).



Şekil 2.7. Mimari tasarım süreci (Bragança ve diğerleri (2014) yazar tarafından düzenlenmiştir.)

Tanımlanan tasarım süreçlerinde erken tasarım evresi, genellikle tek bir başlık altında verilmeyip, birden fazla aşamayı kapsayacak şekilde ele alınmaktadır. RIBA tarafından tanımlanan süreçte bu evre, "Aşama 1: Hazırlık ve Tanımlama (*Preparation and Brief*), Aşama 2: Kavramsal Tasarım (*Concept Design*)" başlıkları altında yer alırken, benzer şekilde AIA'nın süreçlerinde ise " Hazırlık ve Programlama (*Pre-Design*), Şematik Tasarım (*Schematic Design*)" aşamaları erken tasarım sürecine karşılık gelmektedir (URL-3;URL-4). Türkiye'de ise TMMOB Mimarlar Odası, bu süreci "hazırlık ve ön etüt çalışmaları, ön proje aşamaları" çerçevesinde değerlendirmektedir. Bu aşamalarda, ihtiyaçlar analiz edilmekte, arsa ve çevresi ile ilgili veriler toplanmakta, işlev şeması oluşturulmakta ve projenin genel çerçevesi hazırlanmaktadır. Elde edilen verilerle doğrultusunda ilk kararlar şekillenmekte; yapının işlevselliği, çevresiyle uyumu ve teknik gereklilikleri dikkate alınarak ön çizimler tamamlanmakta ve uygulama projesi için temel oluşturulmaktadır (URL-2). TMMOB, RIBA ve AIA tarafından tanımlanan mimari tasarım süreçlerine ilişkin aşamalar Şekil 2.8'de sunulmakta; bu şekil, her üç kurumda yer alan erken tasarım sürecinin hangi aşamalara karşılık geldiğini ortak bir yapı içerisinde göstermektedir.



Şekil 2.8. TMMOB, RIBA (2020), AIA göre erken tasarım süreci (yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Mimar, bu aşamada imar koşulları ve yapı yönetmelikleri gibi gelişimi etkileyebilecek hususları da dikkate alarak arsa ve mülke ilişkin analizler gerçekleştirmektedir. Kullanıcının, binada yer almasını istediği alanlara ilişkin bir liste sunmasıyla birlikte, bireysel alan planlaması yapılmaktadır. Mimar, tüm mekânlar arasında büyüklük, konum ve işlevsel ilişkileri kurarak mekânsal organizasyonu oluşturmaktadır. Erken tasarımın temel hedefi, binanın yerleşim kararları, genel formu ve boyutlarına ek olarak bazı temel planlarının oluşturulmasıdır. Bu aşamada binanın konumuna, görünümüne ve işleyişine dair genel bir fikir edinilmeye başlanmaktadır. Gerçekleştirilen çok sayıda toplantı eşliğinde, eskizler ve modeller aracılığıyla projenin genel çerçevesi şekillendirilmektedir.

Mimari tasarım sürecinin erken aşaması; tasarım probleminin tanımlanması, bilgi toplama, ilk fikirlerin üretilmesi ve kavramsal çerçevenin oluşturulması gibi yaratıcı ve çok katmanlı adımları içeren önemli bir evredir. Bu süreç; analiz, sentez ve değerlendirme gibi bileşenler

temelinde çeşitli araştırmacılar tarafından modellenmiş, aynı zamanda programlama, veri derleme, fikir geliştirme ve iletişim gibi döngüsel süreçlerle açıklanmıştır. Kavramsal tasarım olarak da adlandırılan bu evre; disiplinler arası etkileşim, esnek yaklaşım ve alternatif çözüm arayışları ile öne çıkmaktadır. Eastman gibi araştırmacılar, bu aşamada alınan kararların sürdürülebilirlik, estetik ve maliyet gibi unsurlar üzerindeki belirleyici etkisine dikkat çekerken; TMMOB, RIBA ve AIA gibi meslek kuruluşları süreci çeşitli aşamalar üzerinden sistematik biçimde tanımlamaktadır. Bu bağlamda mimar, yerel bağlamı, kullanıcı gereksinimlerini ve teknik koşulları analiz ederek mekânın ilk organizasyonel kararlarını geliştirmekte; müşteri ile etkileşim içinde projenin temel yapısını şekillendirmektedir. Söz konusu aşama hem yaratıcı keşiflere olanak tanımakta hem de ilerleyen tasarım evrelerini doğrudan etkileyen temel kararların zeminini hazırlamaktadır.

2.1.1. Erken tasarım evresinde karar alma ve kararların etkisi

Tasarım sürecinin ilk aşamalarında, yapının şekli, kabuğu, işlevsel özellikleri, enerji verimliliği, iklim koşulları ve çevresel etmenlerle ilişkisi gibi birçok önemli karar; genellikle yeterli bilgiye sahip olmadan alınmaktadır. Singh, Deb ve Geyer (2022), de erken aşamalardaki tasarım kararlarının öncelikle pratik kurallar veya tasarımcı deneyimleri kullanılarak verildiğini ifade etmektedir. Bu durum, tasarımın çevresel, iklimsel veya coğrafi koşullara uyumsuz olmasına ve ekolojik açıdan zararlı sonuçlar doğurmasına neden olmaktadır (Çavuşoğlu ve Çağdaş, 2020). Bu nedenle, her bir eylemin/hedefin/amacın değerini göz önünde bulundurmak, bunların performansı ve maliyeti üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve her birinin uygun zamanda uygulanmasını sağlamak büyük önem taşımaktadır. Erken aşamada alınan kararlar, yapının sürdürebilirliği ve yaşam döngüsü maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir (Bragança ve diğerleri, 2014).

Tasarım sürecinde karar verme, alternatiflerin oluşturulması ve bunlar arasından seçim yapılmasını içeren döngüsel ya da tekrar eden bir işleyişi tanımlamaktadır. Bu sürecin temel hedefi, sürecin sonunda çok sayıda özgün, yaratıcı ve yenilikçi tasarım fikrinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu hedefe ulaşabilmek için; mekân, işlev, biçim, estetik, maliyet, zaman, malzeme ve çevresel etkiler gibi çeşitli tasarım ölçütleri dikkate alınmakta, tasarım probleminin yeniden yapılandırılması ve özgün çözümlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Li, Chen, Lin ve Zhu (2018), erken tasarım aşamasında alınan karaların bina performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Bu aşamada ana hatlarıyla oluşan bina formu ve diğer tasarım unsurları, mimarlar için yalnızca estetik değer açısından değil, performans açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Farklı tasarım kararlarının performans ve çevresel sürdürebilirlik üzerine etkilerini tahmin etmek için sağlam yaklaşımlar geliştirmek ve böylece bilinçli kararlar için güçlü bir temel oluşturmak önemlidir (Li, Qi, Ma, Gao ve Wei, 2024). Bununla birlikte, tasarım süreci işlevsel, estetik ve mali kaygılar dikkate alınarak yürütülürken; bu kriterlerle enerji etkinliği ve çevresel faktörlerin eş zamanlı değerlendirilmesinin tasarımcılar için zorluk oluşturduğu belirlenmiştir (Çavuşoğlu ve Çağdaş, 2020). Bu doğrultuda, projeye ilişkin kararların, görece düşük çaba gerektiren erken aşamalarda verilebilmesi için tasarımcılara hangi karar desteklerinin sunulması gerektiği belirlenmelidir (Mueller ve Iordanova, 2011).

Gercek ve Arsan (2019), mimari tasarımın yalnızca estetik kargılardan oluşmadığını, fiziksel, çevresel ve kullanıcı odaklı gereksinimlerin dikkate alındığı karmaşık süreç olduğunu belirtmektedir. Tasarım ve inşaat süreçleri, doğası gereği belirsizlik içerdiğinden, uygulamada çoğunlukla tüm bilgilere eksiksiz erişim sağlanamamakta ya da mevcut tüm parametrelerin aynı anda kavranması mümkün olamamaktadır. Bu sebeple, tasarım sürecinde karar desteğinin önemi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Mimar için tasarım kararı desteği; geçmiş çalışmalardan elde edilen mesleki deneyimler ve benzetim araçlarının sağladığı karar destek bilgilerinden oluşmaktadır. Attia, El-Degwy ve Attia (2024), bina performansına yönelik benzetim araçlarının kullanabilirliğini değerlendirerek, erken tasarım evresindeki sezgisel karar verme süreçlerinde bu araçların destekleyici rolünü tartışmaktadır. Çalışmada, benzetim araçlarının yalnızca performans analizleri amacıyla değil, aynı zamanda tasarımcıların kararlarını yönlendiren destekleyici araçlar olarak da kullanılabileceği ifade etmektedir.

Sonuç olarak erken tasarım aşamasındaki kararlar, yapının performansı, sürdürebilirliği ve çevresel etkileri üzerinde uzun vadeli etkiler yaratmaktadır. Li ve diğerleri (2024), erken tasarım aşamasında verilen kararların bina performansı (enerji tüketimi, gün ışığı, yaşam döngüsü maliyeti, doğal havalandırma, güneş ışığı saatleri, vb.) üzerinde büyük etkileri olduğunu vurgulamıştır. Bu aşamada alınan kararların genellikle sınırlı bilgi ve sezgisel yaklaşımlar üzerinden şekillenmesi, yapıların çevresel, estetik ve işlevsel gereksinimlerle uyumsuz hale gelmesi mümkündür. Ancak benzetim araçları, tasarımcıların belirsizlikleri

aşmalarına ve bilinçli, veri destekli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır. Erken aşamalarda benzetim araçlarının sağladığı performans analizleri ve karar destek sistemleri, tasarım sürecinin daha çevresel, enerji verimli ve maliyet etkin hale gelmesini sağlamak için potansiyel sunmaktadır.

2.2. Benzetim Araçları

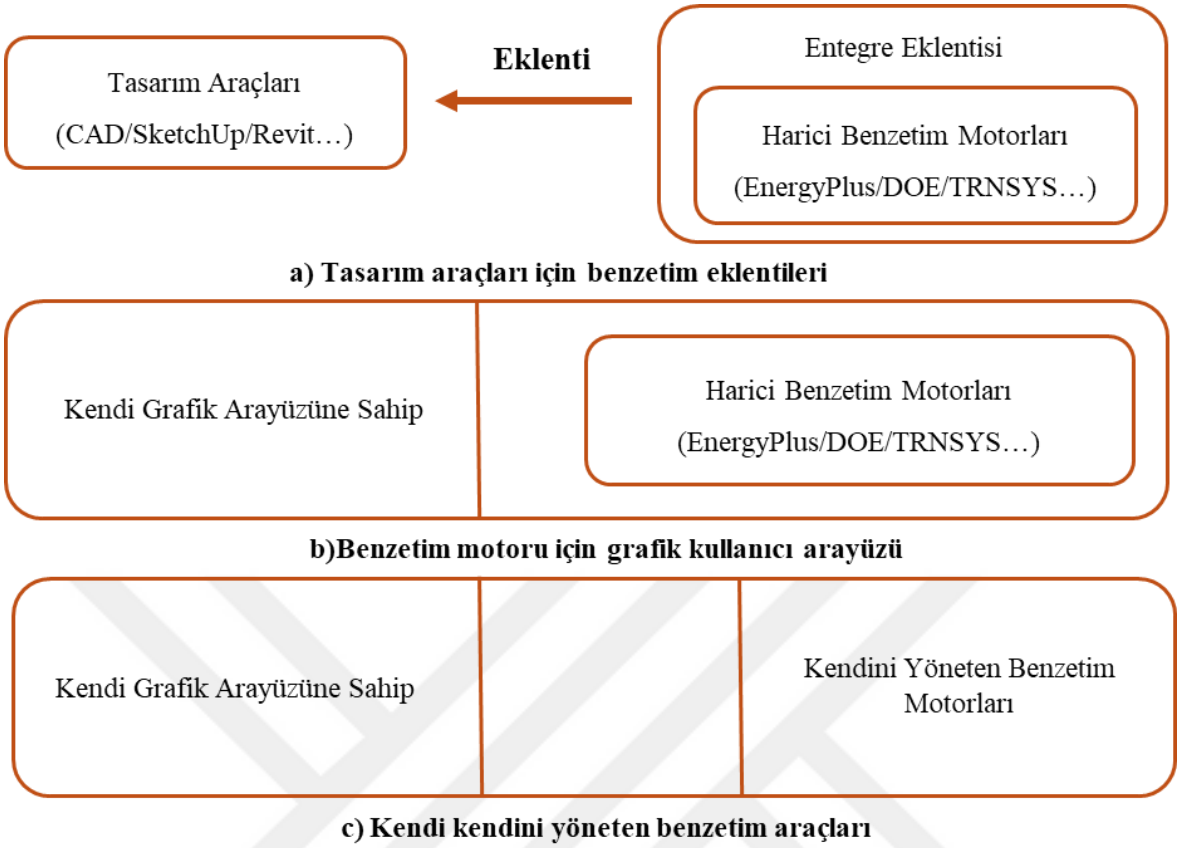
Benzetim, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş modelini oluşturan, bu model üzerinden gerçek sistemin davranışlarını tahmin etme ve analiz etme süreci olarak da tanımlanabilir; TDK'ye göre ise "taklit etme, benzerini yapma" anlamına gelmektedir (Harputlugil, 2007;URL-1). Günümüzde gelişen teknoloji ile dijital benzetim araçları, sunduğu kolaylıklar, performans ve çevresel analiz imkanları ve üç boyutlu görsel arayüzleri sayesinde mimari tasarımda kullanılan bir araç haline gelmiştir (Tunali, 2012). Benzetim, tasarım sürecinde mimari, mekanik ve mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan bir araç olmanın yanı sıra; sürdürebilirlik, maliyet, yapılabilirlik gibi konularda multidisipliner çalışma olanağı sağlamaktadır (Orhon ve Altin, 2017).

Mueller ve Iordanova (2011), tasarımın erken evresinde kullanılan benzetim araçlarının biçim üretme değil, aynı zamanda tasarımcıyı yönlendirme kapasitesine sahip olması gerektiğini ifade etmektedir. Bu araçların esneklik, görselleştirme kabiliyeti, keşfe açık yapı ve tasarım sürecini gözlemleme gibi gereksinimleri karşılaması gerektiğini belirtmektedir. Petersen (2011), benzetim ortamlarının yalnızca mevcut tasarım kararlarını değerlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda tasarım sürecinin erken evrelerinde veri odaklı tavsiyeler sunarak daha proaktif bir rol üstlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda destek ortamının, herhangi bir gerçek tasarım kararından önce genel bina tasarım sürecine yön verecek girdiler sağlamasına odaklanmaktadır. Bu bağlamda enerji tüketimi, hava kalitesi, gün ışığı ve termal konfor kriterlerini oda ölçeğinde parametrik olarak analiz edebilen bir benzetim aracı geliştirmiştir. Bu aracın erken tasarım aşamasında karar alma sürecini nasıl destekleyeceğini ortaya koymuştur (Petersen, 2011). Benzer şekilde Li, Chen, Lin ve Zhu (2018), de benzetim araçlarının yalnızca analiz yapmanın ilerisinde, tasarım sürecine aktif bicimde yön veren ve optimizasyonu destekleyen araçlar olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Günümüzde benzetim araçları, mimari tasarım sürecinde gerçekleştirdikleri analizlerle birlikte, tasarımcıyı yönlendiren ve karar alma sürecinde etkili olan araçlara dönüşmektedir. Bu gelişim doğrultusunda, benzetim araçlarının kullanım biçimleri, işlevleri çeşitlenmiş; farklı dönemlerde sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

Hendricx (2000), benzetim araçlarını, tasarım sırasında boyut, biçim, vb. bilgilerinin değerlendirilebildiği modelleme araçları, tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine yardımcı tasarım araçları ve bina performansını değerlendiren analiz araçları olarak üçe ayırmıştır. Loh, Crosbie, Dawood ve Dean (2010), tasarım sürecini destekleyen araçlar olarak ifade etmiş; yazılım kategorisinde değerlendirmiştir. Bu kategoriyi, Bina Bilgi Modellemesi (BIM), enerji simülasyon araçları, bina çevresel değerlendirme araçları (BEA), yaşam döngüsü değerlendirme araçları (LCA), yaşam döngüsü maliyet değerlendirme araçları (LCCA) olarak alt başlıklara ayırmıştır. Han ve diğerleri (2018), benzetim araçlarını çalışma koşullarına göre; CAD araçları için geliştirilen eklentiler, benzetim motorlarına dayalı GUI'ler (*graphical user interface*) ve kendini yöneten benzetim araçları şeklinde sınıflandırmıştır (Şekil 2.9). Örneğin, Sketchup için geliştirilen OpenStudio ve Sefaira gibi eklentiler bu sınıflandırmanın ilk grubuna örnek verilmektedir. EnergyPlus gibi benzetim araçlarını kullanırken sıradan kullanıcıların karşılaşabileceği zorluklar nedeniyle, araştırmacılar geometriye dayalı bir dizi kullanıcı arayüzü geliştirmiştir. Bu doğrultuda DesignBuilder ve N++ gibi araçlar ortaya çıkmıştır.

AIA tarafından yayımlanan "Mimarın Bina Performansına İlişkin Rehberi", performansa yönelik benzetim araçlarını tekil ve bütüncül olarak iki kategoriye ayırmıştır. Rehberde tekil araçların erken tasarım aşamasında hızlı geri bildirim sağladığı, bütüncül araçları ise kapsamlı veri gerektiren, tasarımın ileri aşamalarında kullanıldığı belirtilmektedir (URL-5). Çok amaçlı çalışmalarda birden fazla aracın ve yöntemin birlikte kullanılması, bina performans analizlerini daha etkin hale getirmektedir. Bu bağlamda, benzetim araçlarının parametrik modelleme araçları ve optimizasyon algoritmalarıyla entegre edilmesi, bina performansı üzerinde birden fazla değişkenin hızlı ve otomatik olarak değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır (Pan ve diğerleri, 2023).



Şekil 2.9. Han ve diğerleri (2018)'ne göre benzetim araçlarının sınıflandırılması (yazar tarafından düzenlenmiştir.)

Kang ve Kim (2021), günışığı analizine yönelik benzetim araçlarını, mimari CAD yazılımları ile entegrasyon düzeylerine göre incelemiştir. Bu incelemeye araçların analiz kapasitelerini dahil etmiş; Radiance, DIVA, Velux Daylight Visualizer ve Autodesk Insight gibi çeşitli araçları değerlendirmiştir. Değerlendirmede, analiz yetkinliği, kullanıcı dostu arayüz (*user friendly interface*) ve CAD yazılımları ile uyumluluk gibi kriterleri esas almıştır. Bu yaklaşım, benzetim araçlarının yalnızca teknik analiz çıktıları ile değil, aynı zamanda tasarım sürecine ne ölçüde entegre olabildiği açısından da ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Farklı araştırmacılar ve kurumlar tarafından çeşitli şekillerde sınıflandırılan benzetim araçları; kullanım amaçları, analiz yetenekleri, entegrasyon düzeyleri ve kullanıcı arayüzlerinin erişilebilirliği doğrultusunda, mimari tasarım sürecinin farklı aşamalarında önemli roller üstlenmektedir. Özellikle erken tasarım evresinde sundukları hızlı geri bildirim ve parametrik analiz imkânları sayesinde, tasarımcının sezgisel yaklaşımını veri temelli kararlarla desteklemektedir.

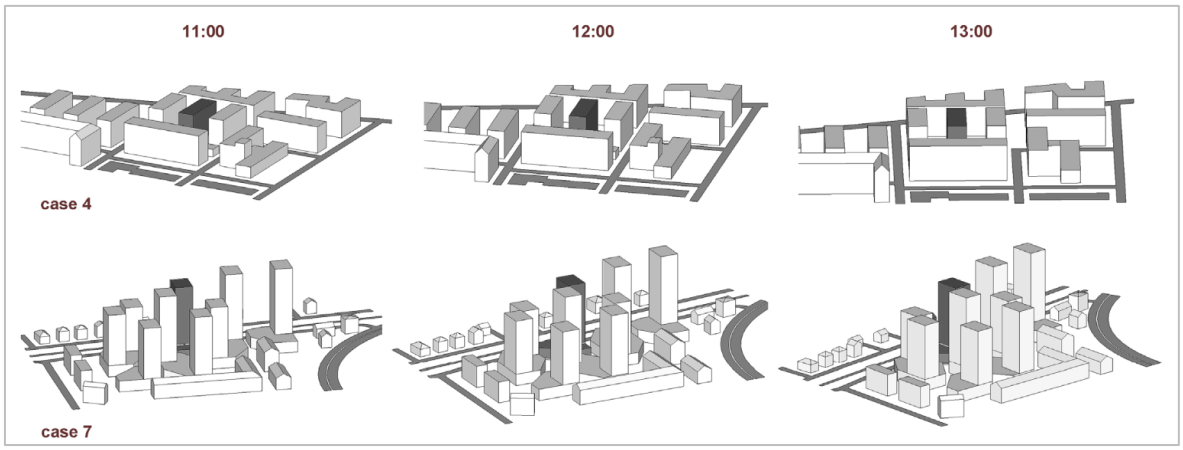
2.3. Erken Tasarım Evresinde Benzetim Araçları

Erken tasarım sürecinde karşılaşılan belirsizliklerin yönetilmesi ve karar verme mekanizmalarının desteklenmesi açısından, benzetim araçlarının sağladığı analiz ve değerlendirme imkanları önemli bir işlev üstlenmektedir. Günümüzde, değişen iklimsel, mekânsal ve ekonomik koşullar nedeniyle erken tasarım evresi çok boyutlu ve döngüsel bir yapıya evrilmiştir. Bu süreçte, form ve kütleye yönelik çalışmalar çevresel ve ekonomik analizlerle eş zamanlı biçimde yürütülmekte olup, ortaya çıkan çok sayıda alternatifin analiz edilmesi ve karşılaştırılması, karar verme sürecinin bir parçası haline gelmiştir. Tasarım sürecine özgü belirsizliklerin ifade edebilmesi için, farklı ölçekteki ve çeşitli kriterlere sahip seçeneklerin birbirleriyle kıyaslanabilmesine olanak sağlayan alternatiflerin tanımlanması gereklidir. Bu alternatifler arasında yürütülen değerlendirme süreci sayesinde, en uygun tasarım kararına ulaşılması hedeflenmektedir (Yıldız ve Aktaş, 2017). Do (2002)'ye göre ise, tasarım sürecini desteklemek amacıyla, standart yöntemlere ek olarak çok sayıda veri setine erişebilen, bu verileri düzenleyip analiz edebilen bilgi tabanlı benzetim araçlarının kullanılması gerekmektedir.

2.3.1. Erken tasarım kararlarında benzetim araçlarının rolü ve sürece etkisi

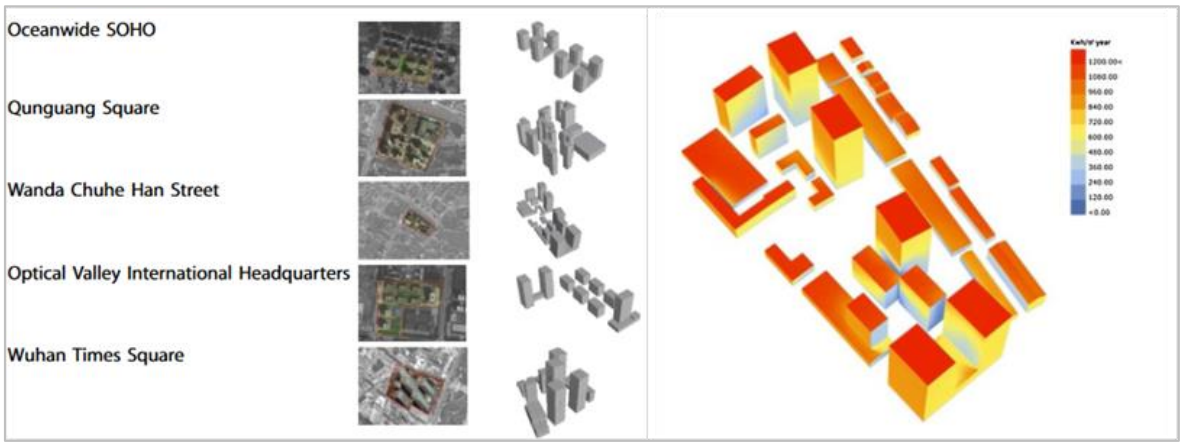
Erken tasarım sürecinde benzetim araçları, farklı ölçeklerde karar alma süreçlerini destekleyecek şekilde kullanılabilmekte; bu doğrultuda verilen kararlar, kentsel ölçekteki planlamalardan yapı ölçeğindeki detaylara kadar çeşitlilik göstermektedir. Özellikle yapı yerleşimi, yönelimi, güneşlenme süresi, rüzgar etkisi gibi çevresel parametrelerin analizleri, tasarımın genel yerleşim kararları üzerinde belirleyici bir etki yaratmaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen araştırmalar, benzetim araçlarının kentsel formun çevresel performans üzerindeki etkisini değerlendirmede etkin birer araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Košir, Capeluto, Krainer ve Kristl (2014), Slovenya'daki kentsel yerleşim dokusunu güneş potansiyeli açısından inceleyerek, yerleşim yoğunluğu ile bina yönelimi ve geometrisinin güneşlenme süresinde üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur (Resim 2.1). Benzer şekilde, Morganti, Salvati, Coch ve Cecere (2017), Akdeniz iklimine sahip 14 farklı kentsel dokusunda, bina cephelerine ulaşan güneş ışınımı ile brüt alan endeksi, cephe-alan oranı ve gökyüzü faktörü gibi kentsel form parametreleri arasındaki ilişkileri analiz etmiştir.



Resim 2.1. Košir ve diğerleri (2014) çalışmasında yerleşim dokularında farklı saatlerdeki güneşten yansıtılan konumları (Košir ve diğerleri, 2014)

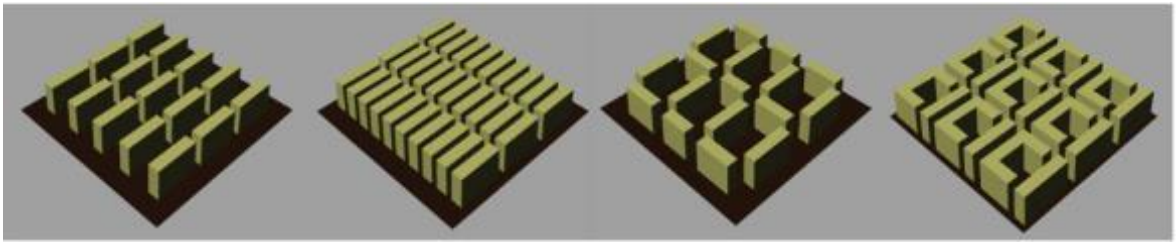
Tian ve Xu (2021), konut bloklarının düzenlenmesinde yapı yüksekliği, bloklar arası mesafe, bina sayısı ve blok biçimlerinin belirleyici olduğunu vurgulamış; bununla birlikte, güneş potansiyeli analizlerinde coğrafi konum, yapılı çevre ve mimari form gibi çeşitli etmenlerin dikkate alınması gerektiğini ifade etmiştir. Xu, Huang, Wang, Mendis ve Huang (2019), farklı yapı türlerinin güneş ışınımı üzerindeki etkisini karşılaştırarak, düşük yoğunluklu ve düzenli biçimlenmiş konut blokların daha yüksek güneş potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Resim 2.2).



Resim 2.2. Xu ve diğerleri (2019) çalışmasında ticari yerleşimler ve güneş radyasyonu analizi (Xu ve diğerleri, 2019)

Lee, Lee ve Lee (2016), önerdiği dört farklı yerleşim üzerinden aktif ve pasif güneş enerjisi potansiyellerini analiz ederek, güneş radyasyonu erişiminin bina yoğunluğu ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde Li ve diğerleri (2020), konut ve kamu binalarını içeren bir kentsel bina veri seti üzerinden gerçekleştirdikleri analizlerde; yönelim, biçim, kat

sayısı ve bina çevre oranı gibi değişkenlerin enerji tüketimi üzerinde belirleyici rol oynadığını belirtmişlerdir.



Resim 2.3. Lee ve diğerleri (2016) çalışmasında kullanılan farklı yerleşim modelleri (Lee ve diğerleri, 2016)

Kentsel ölçekte güneş radyasyonu, yalnızca enerji verimliliği açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma bağlamında da önemli bir değerlendirme ölçütü olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, Mavahebi Tabatabai, Tahsildoost, Ardekani ve Zomorodian (2025), mahalle ölçeğinde yürüttükleri çalışmada, erken aşama tasarım kararlarının termal konfor, gün ışığı erişim ve genel sürdürülebilirlik üzerinde kayda değer etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Ayrıca, birçok yerleşimin enerji verimliliği ya da iklim verileri dikkate alınmaksızın inşa edildiğine dikkat çekmiştir.

Natanian, Kastner, Dogan ve Auer (2020), kentsel morfolojinin konut bloklarındaki enerji dengesi üzerindeki etkilerini analiz ederek, erken tasarım aşamasında alınan morfolojik kararların çevresel etmenlerle (örneğin gün ışığı ve dış mekân konforu) birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğine dikkat çekmiştir. Benzer şekilde, Sanaieian, Tenpierik, Linden, Mehdizadeh Seraj ve Mofidi Shemrani (2014), kentsel blok formlarının ve yerleşim planlarının güneş erişimi, termal performans ve havalandırma gibi unsurlar aracılığıyla yapıların çevresel performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Elde ettikleri bulgular, tasarımın erken aşamasında yoğunluk, cephe yönelimi ve yükseklik–sokak genişliği oranının güneş erişimini etkilediğini; ayrıca yoğun yerleşimin gölgelenme alanlarını artırdığını ve bina yöneliminin güneş potansiyelini belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

Yapıların konumu ve biçimi yalnızca güneş radyasyonu açısından değil, aynı zamanda hava akımı ve rüzgâr etkileri bakımından da doğrudan belirleyici faktörlerdir. Site içi yerleşim düzeni ile kentsel blokların mikro iklim üzerindeki etkileri, yalnızca termal konfor

koşullarını değil; aynı zamanda pasif ısıtma, soğutma ve gün ışığı stratejilerinin planlanmasını da şekillendirmektedir (Sanaieian ve diğerleri, 2014). Ratti, Raydan ve Steemers (2003), ise sıcak ve kuru iklim bölgesinde yürüttükleri çalışmalarında, farklı yerleşim düzenlerinin yüzey–hacim oranı, gölge yoğunluğu, gün ışığı dağılımı ve gökyüzü görüş faktörü gibi çevresel parametreler üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu doğrultuda en uygun yerleşim tipolojilerini tanımlamışlardır.

Erken tasarım sürecinde gün ışığı, hem iç hem de dış mekân konforunun sağlanmasında kritik bir rol üstlenmekte ve sağlıklı yaşam çevrelerinin oluşturulmasına doğrudan katkı sunmaktadır (Wirz-Justice, Skene ve Münch, 2021). Bu nedenle, mimari planlama kararlarının belirlendiği ilk aşamalardan itibaren, gün ışığı potansiyelini değerlendirmeye yönelik benzetim araçlarının kullanımı giderek artan bir öneme sahip olmaktadır. Dervishaj ve Gudmundsson (2025), binaların gün ışığı performansının değerlendirilmesinde yeni yöntemsel yaklaşımlarına olan gereksinimi vurgularken, söz konusu analizlerin planlama sürecine erken evrede entegre edilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir. Bu bağlamda, gün ışığı analizini destekleyen benzetim araçları; tasarımcının yapı yönelimi, kütle yerleşimi ve açıklık düzeni gibi temel tasarım kararlarını bilinçli bir biçimde verilebilmesine olanak tanımaktadır.

Açık kentsel alanlarda deneyimlenen mikro iklim koşulları, yapı kütlelerinin biçimi, malzeme kullanımı ve yerleşimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu durum, erken tasarım kararlarının yalnızca bina iç mekânları değil, aynı zamanda avlular, sokaklar ve yarı açık alanlar gibi kamusal açık mekânlarda da kullanıcı konforunu ciddi biçimde etkilediğini ortaya koymaktadır (Graham, Berardi, Turnbull ve McKaye, 2020). Benzetim araçlarının sunduğu mikro iklim analizleri, tasarımın rüzgar yönelimi, güneş ışınımı ve yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkilerini yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklerle değerlendirme olanağı sunmaktadır. Bu tür analizlerin tasarım sürecinin erken aşamasında ele alınması, termal konforu artırmaya yönelik mekânsal stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bernett ve Dogan (2019), tarafından erken tasarım aşamasında enerji performansı, karbon ayak izi ve maliyet gibi kriterler doğrultusunda tasarım seçeneklerini değerlendirebilen bir karar verme çerçevesi geliştirmiştir (Resim 2.4). Bu çerçeve, erken evre tasarım süreçlerinde benzetim araçlarının sağlayabileceği olanakları ortaya koymaktadır. Erken tasarım

kararlarının, binaların enerji verimliliği, karbon salınımı ve maliyet üzerinde kayda değer etkileri göz önünde bulundurulduğunda, önerilen bu destek sistemi; tasarım ekiplerinin yüksek performanslı bina çözümlerini erken safhalarda belirlenmesine olanak tanımakta, böylece hem maliyet hem de zaman açısından tasarruf sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu durum, tasarımcıların performans ve iklim değişikliği gerekliliklerini karşılama kapasitelerini artırmaktadır. Petersen (2011), Attia ve diğerleri (2012), Gerber ve Lin (2014) gibi araştırmacılar, erken tasarım aşamasında benzetim araçlarının proaktif performans tahmini amacıyla daha verimli kullanması için öneriler geliştirmeye çalışmaktadır.

Płoszaj-Mazurek ve Ryńska (2024), düşük karbonlu tasarım yaklaşımlarını desteklemek amacıyla sürdürebilir çevresel analizlerin mimari tasarımın erken aşamalarına entegre edilmesini önermektedir. Çalışmalarında; makine öğrenimi (ML), büyük dil modelleri (LLM) ve yapı bilgi modelleme (BIM) teknolojilerini bir araya getirerek, tasarımcıların karbon ayak izini hem erken dönemde hem değerlendirebileceklerini hem de optimize edebilecekleri bir çerçeve geliştirmişlerdir. Yapay zeka destekli bu dijital araçların, tasarım sürecinin başlangıç aşamalarında nasıl kullanılabileceği ve karbon salımını azaltmaya ne şekilde katkı sağladığı detaylı biçimde ele alınmaktadır.

Erken tasarım süreci, tasarımcıların çoğunlukla sezgisel ve belirsizlik içeren kararlarla yönlendirildiği bir aşamadır. Bu süreçte kullanılan benzetim ve optimizasyon araçları, tasarımcılara veri temelli alternatifler sunarak tasarımın performans odaklı ilerlemesini destekleyebilmektedir. Lu, Luo, Gao ve Lin (2024), gerçekleştirdiği tasarım deneyi, bu araçların erken tasarım kararlarını nasıl şekillendirdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada, performans odaklı araçlarla çalışan tasarımcılar, bilinçli ve ölçülebilir kararlar verebildiği; enerji performansı gibi kriterler açısından çözüler üretebildiğini belirtmektedir. Bu araçların sezgisel sürecin yerini almadığını, bu süreci destekleyici ve yönlendirici bir rol üstlendiğini vurgulamaktadır.

2.3.2. Benzetim araçlarının erken tasarım sürecine entegrasyonu

Erken tasarım evresi, mimari kararların yüksek düzeyde belirsizlik içerdiği ve aynı zamanda projenin genel performansı üzerinde en fazla etki yaratma potansiyeline sahip olduğu kritik bir süreçtir. Bu nedenle, tasarımcıların çoğunlukla sezgisel yaklaşımlarla yön verdiği bu aşamada, karar verme süreçlerini destekleyecek araçlara olan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Benzetim araçlarının yalnızca detaylı teknik analizler sunan çözümler olmanın ötesine geçerek, tasarım sürecinin doğal ve bütünleşik bir bileşeni hâline gelmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, benzetim araçlarının erken tasarım sürecine entegrasyonu; yalnızca teknolojik açıdan değil, aynı zamanda yöntemsel ve kuramsal düzeyde de yeniden ele alınması gereken bir konudur.

Shahin, Babar ve Chauhan (2020), Modelleme ve Simülasyon Hizmeti (M&SaaS) kavramına yönelik çalışması, erken tasarım süreçlerinde benzetim araçlarının konumlandırılmasına dair önemli bir çerçeve sunmaktadır. Yazarlar, M&S sistemlerinin etkili biçimde işleyebilmesi için sistematik ve esnek bir mimari tasarım yaklaşımına ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, erken evrede çoğunlukla sezgisel biçimde ilerleyen tasarım süreçlerinde, benzetim araçlarının yalnızca analiz çıktısı üreten araçlar olmaktan çıkarılıp, doğrudan tasarım kararlarını yönlendirecek şekilde yapılandırılması gerektiğine işaret etmektedir (Shahin ve diğerleri, 2020). Benzer biçimde, Cheung, Rihan, Tah, Duce ve Kurul (2012), erken tasarım aşamasında eş zamanlı tasarım değerlendirmesi yapabilen, tasarımcı odaklı sistemlerin geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamıştır. Mueller (2009), ise erken tasarım sürecinde kullanılan araçların yalnızca biçim üretmekle kalmayıp, aynı zamanda tasarımcıların düşünme süreçlerini yönlendiren sistemler olması gerektiğini ifade etmiştir. Bu tür araçların, problem tanımlama, alternatif üretme ve karar alma gibi temel tasarım aşamalarında aktif bir rol üstlenebileceği ileri sürmektedir.

Østergård ve diğerleri (2016), erken tasarım aşamalarında tasarımcıların sıklıkla tercih ettiği CAD tabanlı yazılımlar ile benzetim araçlarının uyumlu ve entegre biçimde çalışmasının gerekliliğine dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, Autodesk Revit'in için geliştirilen Green Building Studio ve ArchiCAD için sunulan EcoDesigner Star gibi araçlar, söz konusu entegrasyonu destekleyen örnekler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, zaman alıcı benzetim süreçleri ile modelleme sürecinin karmaşıklığı, benzetim araçlarının erken tasarım evresinde etkin biçimde kullanılmasını zorlaştıran etmenlerdendir. Bu nedenle, erken tasarım aşamasının ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte yeni araçların geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Purup ve Petersen (2020), erken tasarım aşamasındaki belirsizlikler ile sınırlı veri kaynağından dolayı, mevcut performans odaklı benzetim araçlarının bu evre için yeterince uygun olmadığını savunmaktadır. Yazarlar, kullanıcı odaklı, sezgisel ve belirsizlikle başa

çıkabilen yeni araçlara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır. Uygun tasarım kombinasyonunun belirlenmesi, çok sayıda bilgi ve performans verisinin yönetilmesini gerektirmektedir. ESP-r, EnergyPlus ve Radiance gibi bina performans simülasyonu (BPS) araçları bu açıdan etkili olmakla birlikte, yüksek düzeyde uzmanlık gerektirmeleri ve yoğun veri ihtiyacı nedeniyle erken tasarım sürecinde kullanım alanları sınırlı kalmaktadır (Purup ve Petersen, 2020). Öte yandan, Han ve diğerleri (2018), erken tasarım aşamasına yönelik geliştirilen Sefaira ve Green Building Studio (GBS) gibi benzetim eklentilerinin; hızlı hesaplama, az sayıda girdi ve kaba tahmin yetenekleriyle, karar verme sürecine zamanında ve yeterli düzeyde katkı sunduğunu belirtmektedir.

Pan ve diğerleri (2023), benzetim araçlarının erken tasarım aşamasına entegrasyonuyla birlikte, tasarımcıların karar alma sürecinin ilk safhalarında enerji performansını dikkate alan çözümler üretebilmelerini mümkün kılan çeşitli yöntem ve araçları incelemiştir. Çalışmada, yapay zekâ temelli optimizasyon teknikleri ile hızlı geri bildirim sunan benzetim sistemlerinin, erken evrede alınan kararları destekleyici bir araç olarak nasıl kullanılabileceği vaka analizi üzerinden açıklanmakta; böylelikle, benzetim araçlarının yalnızca analiz amacıyla değil, aynı zamanda tasarım sürecini yönlendiren etkin bir bileşen olarak konumlandırılabileceği ortaya konulmaktadır.

Tüm bu çalışmalar, benzetim araçlarının erken tasarım sürecinde yalnızca bilgi sunan teknik sistemler olmaktan çıkarak; sezgisel, kullanıcı dostu ve mevcut tasarım süreçleriyle entegre biçimde çalışabilen karar destek araçlarına dönüşmesi gerektiğine işaret etmektedir. Tasarım kararlarının henüz oluşmaya başladığı bu erken evrede, benzetim araçlarının hızlı geri bildirim sağlayabilmesi, sınırlı veriyle işleyebilmesi ve tasarımcıyı yönlendirebilecek nitelikte olması, etkili ve performans odaklı bir tasarım süreci için belirleyici bir etken olarak öne çıkmaktadır.

2.3.3. Erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının kullanımı ve değerlendirilmesi

Erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının kullanımı hem tasarım sürecinin yönlendirilmesi hem de performansa dayalı karar verme mekanizmalarının desteklenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçte kullanılan araçların erişilebilirliği, işlevselliği ve kullanıcı deneyimi gibi faktörler, ortaya çıkan tasarım çıktılarının niteliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar,

benzetim araçlarının erken tasarıma entegrasyonu, kullanılabilirlik düzeyleri ve mimar dostu özellikleri açısından kapsamlı biçimde ele alınarak değerlendirilmiştir.

Han ve diğerleri (2018), yürüttükleri çalışmalarında erken tasarım aşamasında kullanılan benzetim araçlarını inceleyerek, bu araçları belirli ölçütler doğrultusunda değerlendirmiştir. Çalışmada, araçların erken tasarım aşamasındaki kullanılabilirliği dört temel kriter üzerinden analiz edilmiştir: mimar dostu arayüz sunması, az sayıda veri girdisiyle benzetim ve geri bildirim sağlayabilmesi, parametrik analiz desteği sunması ve alternatif tasarım senaryolarının karşılaştırılabilir olmasıdır. Araştırmacılar bu kriterlerden ilk ikisini temel (zorunlu) nitelikler, son ikisini ise ek (extra standart) özellikler olarak sınıflandırmıştır. Erken tasarım aşamasında mimarların tasarım parametrelerine ilişkin sınırlı bilgiye sahip olması, onları daha az veriyle çalışan, kıyaslama veya meta-modellemeye dayalı benzetim araçlarını tercih etmeye yönlendirmektedir. Bu tür araçlar, sezgisel karar verme sürecini destekleyerek tasarım sürecine değerli ve zamanlı geri bildirimler sunabilmektedir. Erken tasarım sürecinin temel kullanıcıları olan mimarlar, tasarıma dair sürekli geri bildirim ve yönlendirici veri akışına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, süreci şeffaf biçimde yürüten, kullanımı kolay ve düşük bilgi eşiğiyle erişilebilen araçların mimarlar tarafından daha kolay kabul gördüğü ifade edilmektedir.

Attia ve diğerleri (2024), erken tasarım aşamasında kullanılan performansa yönelik benzetim araçlarının kullanılabilirlik testleri ve kullanıcı deneyimi doğrultusunda değerlendirilmesine imkân tanıyan bütüncül bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen USER-FIT çerçevesi, altı temel kritere dayanmaktadır: karar destek ihtiyaçlarını belirleme, kullanıcı gereksinimlerini tanımlama, test senaryoları ve tasarım görevleri üzerinden kullanılabilirliği değerlendirme, karar destek sisteminin genel kullanılabilirliğini test etme, bilgilendirici ve yönlendirici görselleştirmeler sunma ve sistemin tamamen geliştirilmesinin ardından bina performans simülasyonu (BPS) için kullanılabilirlik kılavuzları ile standartlarının oluşturulmasına yönelik karar desteğinin değerlendirilmesidir. USER-FIT çerçevesi, BPS araçlarının tasarım süreci içindeki iş akışlarına entegrasyonunu kolaylaştırarak, proje teslim sürecine uyarlanabilirliğini ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışma, kullanılabilirliğin sistematik ve bütüncül bir yapı aracılığıyla bilimsel ve nesnel biçimde değerlendirilebileceğini vurgulamaktadır.

Kang ve Kim (2021), gerçekleştirdikleri çalışmada, gün ışığını değerlendirmeye yönelik benzetim araçlarını mimari bakış açısıyla incelemiştir. Literatürdeki kaynaklar doğrultusunda, belirlenen ölçütler çerçevesinde bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme; araçların işlevselliği, kullanım kolaylığı ve görselleştirme yeteneklerine odaklanmakta; ayrıca CAD yazılımlarıyla entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik gibi unsurları da kapsamaktadır. Mimari tasarım araçlarıyla olan uyumluluğunu göstermek amacıyla bir entegrasyon matrisi oluşturulmuştur. Söz konusu matris, mimari tasarım pratiğinde gün ışığının uygulanması sürecinde, tasarımcıların karşılaştığı başlıca sorunlardan biri olan uygun gün ışığı benzetim aracının seçimi konusunda, mimar ve tasarımcılara önemli ölçüde yol gösterici bilgiler sunmaktadır.

Østergård ve diğerleri (2016), yürüttükleri incelemede, tasarım kararlarının nihai performans ve maliyetler üzerindeki etkisinin büyük olmasına rağmen, bu kararların tasarımın erken evrelerinde uygulanmasının sınırlı kaldığını belirtmektedir. Erken aşamalarda benzetim araçlarının entegrasyonu; zaman alıcı modelleme süreçleri, tasarımın hızla değişmesi, çelişen gereksinimler, girdi belirsizlikleri ve yüksek düzeyde tasarım değişkenliği gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Belirlenen araştırma başlıkları arasında; istatistiksel yöntemler, optimizasyon teknikleri, proaktif simülasyonlar, bilgi tabanlı girdi üretimi ve CAD yazılımları ile bina performans analiz yazılımları arasındaki birlikte çalışabilirlik yer almaktadır. Yazarlar, erken tasarım aşamasında karar verme sürecini desteklemeye yönelik olarak, proaktif, akıllı ve deneyim temelli bina simülasyonunu mümkün kılan bir simülasyon çerçevesi önermektedir. Bu çerçeveye uygun yazılımları belirleyebilmek amacıyla mevcut yazılımlar; kullanım amaçları, birlikte çalışabilirlik düzeyleri, karmaşıklıkları, hedeflenen çıktılar ve çok sayıda parametrik simülasyonu gerçekleştirme yetenekleri açısından karşılaştırılmaktadır.

Erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının mimarlar tarafından etkili bir biçimde kullanabilirliği, giderek önem kazanan bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Bu bağlamda, Attia, Beltrán, Herde ve Hensen (2012), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, on farklı benzetim aracı "mimar dostu" (*architect-friendly*) olma ölçütleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmayı izleyen Weytjens ve diğerleri (2011) ise, mimarların ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikteki araçları belirleyerek kapsamlı bir inceleme sunmuştur. İncelenen araçlar arasında ECOTECT, IES/VE, SketchUp, Energy10, eQuest, HEED ve Design Builder yer almakta olup, bu yazılımlar; veri girişi, çıktı kalitesi,

kullanıcı arayüzü, mimari tasarım sürecine entegrasyon kolaylığı ve genel performans gibi ölçütler doğrultusunda analiz edilmiştir. Çalışma, net sıfır enerjili bina tasarımında mimarların erken aşamada desteklenmesi gereğine dikkat çekmekte; bu doğrultuda, benzetim araçlarının tasarım sürecinin ilk evrelerine entegre edilmesinin anlamlı katkılar sağlayabileceğini ifade etmektedir. Bununla birlikte, çalışmada bu araçların enerji performansına dayalı karar verme süreçlerinde çeşitli sınırlılıklara sahip olduğu da vurgulanmaktadır. Bu sınırlılıklardan en önemlisi, araçların mimari karar süreçlerini destekleyecek nitelikte çıktılar sunamaması ve görselleştirme kapasitesinin yetersiz kalmasıdır.

Solmaz (2019), bina performans simülasyon araçlarını çok ölçütlü bir yaklaşımla değerlendirerek, bu araçların erken tasarım aşamasındaki kullanım potansiyeline dair kapsamlı bir perspektif sunar. Enerji verimliliği, konfor ve çevresel etki gibi parametreler temelinde yapılan karşılaştırmalar, tasarımcıların erken dönemde uygun benzetim aracını seçmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca çalışmada; kullanıcı dostu arayüz, simülasyon süresi ve araçların birlikte çalışabilirliği gibi kriterlerin vurgulanması, sezgisel nitelik taşıyan erken tasarım sürecinde bu araçların etkinliğini sorgulamak açısından önem arz etmektedir.

Erken tasarım sürecinde kullanılan benzetim araçlarının değerlendirilmesi, yalnızca teknik performans verileriyle sınırlı kalmamalı; aynı zamanda bu araçların kullanıcı deneyimine, tasarım sürecine entegrasyon düzeyine ve karar alma süreçlerine katkısına göre de ele alınmalıdır. Säwén, Sasic Kalagasidis ve Hollberg (2024), yaşam döngüsü bina performansı değerlendirme araçlarını irdeledikleri çalışmada, mevcut değerlendirme incelemelerinin büyük ölçüde teknik kriterlere odaklandığını, ancak tasarım pratiği ve kullanıcı perspektiflerinin büyük oranda göz ardı edildiğini ortaya koymaktadır (Şekil 2.10). Yazarlar, bu eksikliklere dikkat çekerek, daha bütüncül ve kullanıcı odaklı bir değerlendirme çerçevesinin gerekliliğini vurgulamaktadır.



Şekil 2.10. Yazılım geliştirme sırasında olası perspektifler (Säwén ve diğerleri (2024)'den uyarlanmıştır.)

Bu çalışmalar, erken tasarım sürecinde kullanılan benzetim araçlarının yalnızca teknik performans ölçütlerine göre değil; aynı zamanda kullanıcı deneyimi, görselleştirme yeterliliği ve karar verme süreçlerine sunduğu katkı temelinde de değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Mimarlar açısından sürecin sezgisel, hızlı ve anlaşılır biçimde ilerlemesi büyük önem taşımakta; bu da düşük öğrenme eşiğine sahip, görsel olarak destekleyici ve tasarım sürecine entegre edilebilir araçların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Sonuç olarak, erken tasarım aşamasında etkili biçimde kullanılabilecek benzetim araçlarının geliştirilmesinde yalnızca yazılımsal performans değil, aynı zamanda mimarın tasarım pratiğine doğrudan yanıt verebilen işlevsel nitelikler de dikkate alınmalıdır.

2.4. Erken Tasarım Evresinde Kullanılan Benzetim Araçları

Erken tasarım evresi, mimari tasarım sürecinin hem en belirsiz hem de en etkili kararlarının alındığı aşama olup, yapıların biçimlenmesinden çok önce çevresel, işlevsel ve konfor odaklı kararların alınmasını gerektiren kritik bir dönemdir. Bu aşamada, yapı yönelimi, kütle yerleşimi, açık alan kullanımı, güneşlenme süresi, rüzgâr etkisi ve gün ışığı erişimi gibi temel tasarım girdileri belirlenmektedir. Ancak söz konusu kararlar çoğunlukla sezgisel biçimde verilmekte; performans analizleri ise genellikle ilerleyen aşamalara bırakılmaktadır. Bu noktada, erken evreye entegre edilebilen benzetim araçları, sezgisel yaklaşımları analitik verilere dayandırarak daha bütüncül ve sürdürülebilir tasarımların ortaya konmasına olanak tanımaktadır.

Literatürde, tasarım sürecine yönelik olarak geliştirilen çok sayıda benzetim aracı mevcuttur. Bu araçların büyük çoğunluğu, mimarların erişimine açık, sezgisel arayüzlere sahip ve tasarım süreciyle entegre çalışabilecek biçimde tasarlanmaktadır. Benzetim araçlarında

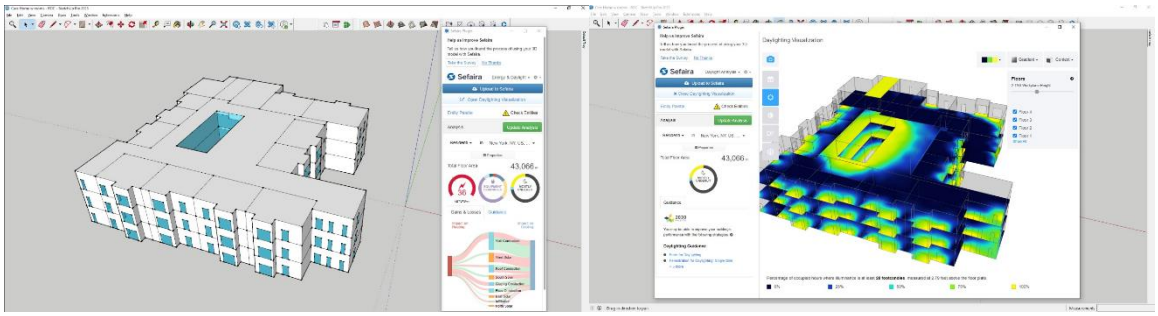
yaşanan dönüşüm, tasarımcıyı yalnızca bilgilendiren değil; aynı zamanda yönlendiren ve öneri sunan sistemlere doğru bir evrimi yansıtmaktadır. Bu bağlamda, erken tasarım sürecine çevresel analizleri entegre edebilen ve aynı zamanda yapay zekâ destekli yönlendirmeler sunan yeni nesil araçlar arasında Autodesk Forma ile Spacio öne çıkmaktadır.

Bu bölümde, erken tasarım aşamasında kullanılan bazı benzetim araçlarına genel bir bakış sunulacak; ardından çalışmanın odak noktasını oluşturan Autodesk Forma ve Spacio araçları ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.

2.4.1. Sefaira

Literatürde, tasarım sürecine yönelik olarak geliştirilen çok sayıda benzetim aracı mevcuttur. Bu araçların büyük çoğunluğu, mimarların erişimine açık, sezgisel arayüzlere sahip ve tasarım süreciyle entegre çalışabilecek biçimde tasarlanmaktadır.

Bu bağlamda Sefaira, SketchUp ve Revit ile entegre çalışabilen, bulut tabanlı bir araç olarak, enerji performansı ve gün ışığı analizlerini tasarımın erken aşamalarında gerçekleştirebilmektedir (Resim 2.4). Hacimsel modeller üzerinden tasarımcıya anlık geri bildirim sunmakta ve farklı tasarım seçeneklerinin performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirme olanağı sağlamaktadır (URL-5). Tasarımın erken evresinde alınan yönlenme, kütle yerleşimi ve cephe oranları gibi kararların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini analiz edebilmesi, aracı öne çıkaran temel özellikler arasındadır (Aksamija, 2015; Singh ve Kensek, 2014). Attia ve diğerleri (2012), söz konusu aracı “mimar dostu” kategorisinde değerlendirmekte; kullanım kolaylığına ve karar verme sürecine entegre olabilme kapasitesine dikkat çekmektedir.

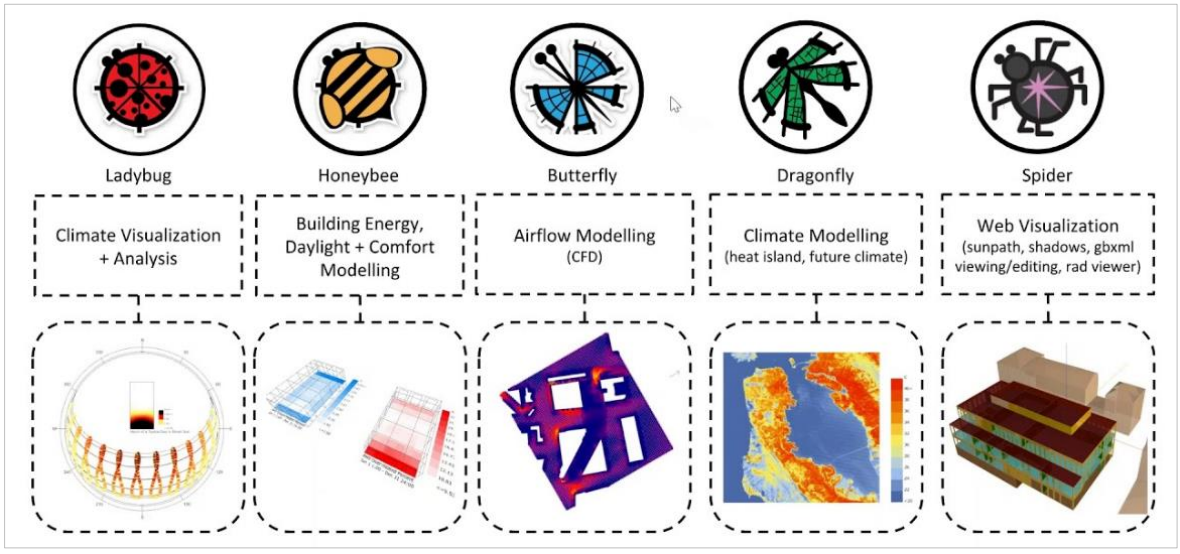


Resim 2.4. SketchUp’a entegre Sefaira aracında gün ışığı analizi (URL-6)

2.4.2. Ladybug Tools

Parametrik tasarım araçları, erken tasarım evresinde mimarlara daha fazla alternatif geliştirme ve çeşitli senaryoları hızlı bir şekilde değerlendirme olanağı sunmaktadır. Bu bağlamda Grasshopper, Rhino aracına entegre şekilde çalışan parametrik bir tasarım eklentisidir. Elbeltagi, Wefki, Abdrabou, Dawood ve Ramzy (2017), erken tasarım sürecinde parametrik analizlerin görsel stratejilerle desteklenmesinin hem tasarım seçeneklerinin çeşitliliğini hem de karar alma sürecinin etkinliğini artırdığını vurgulamaktadır.

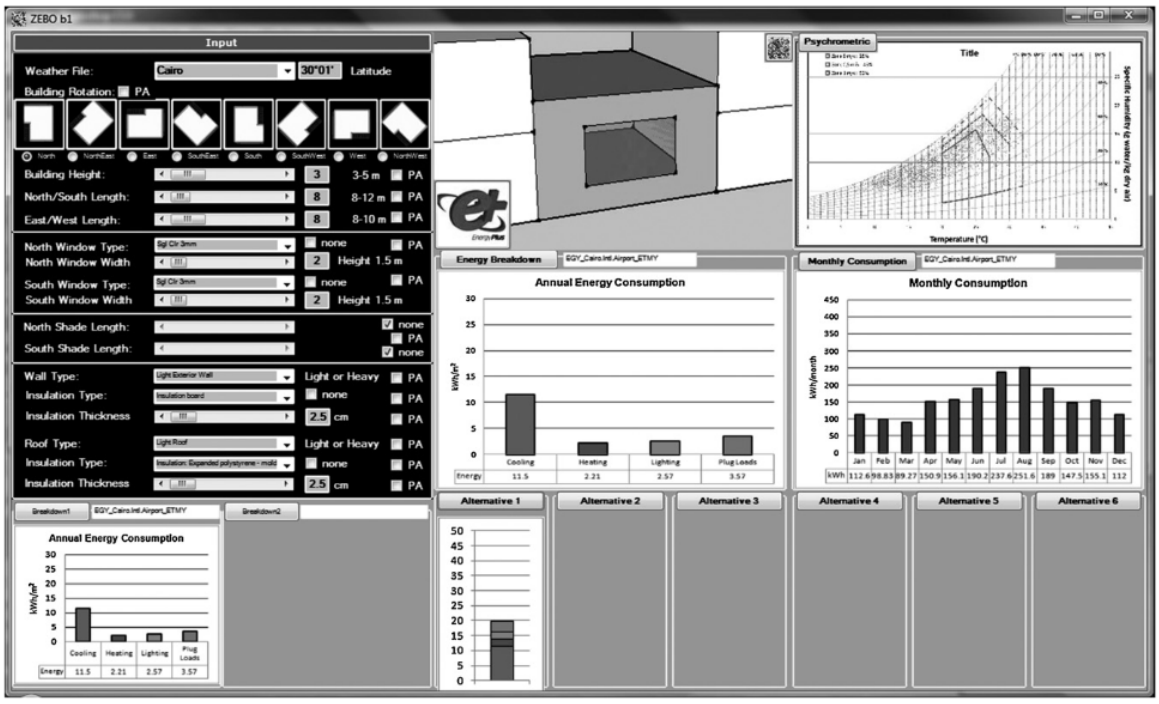
Bu doğrultuda Ladybug Tools, Grasshopper'a yönelik geliştirilmiş açık kaynaklı ve parametrik bir eklentidir. Ladybug ve Honeybee gibi çeşitli bileşenlerden oluşan bu araç takımı, tasarımcılara iklim verileri, güneş ışınımı, yönlenme ve gölgeleme gibi çevresel faktörleri görsel olarak analiz etme imkânı tanımaktadır (Resim 2.5) (URL-7). Han ve diğerleri (2018), bu aracı özellikle erken tasarım aşamasında iklim verilerinin görselleştirilmesi ve çevresel analizler açısından etkili bir ön analiz aracı olarak değerlendirmekte; açık kaynak yapısı ile parametrik tasarımla entegre çalışma yeteneğinin, tasarımcıların karar verme süreçlerine önemli katkılar sunduğunu belirtmektedir.



Resim 2.5. Laydbug Tools araçları ve işlevleri (URL-8)

2.4.3. ZEBO

Araştırma temelli olarak geliştirilen benzetim araçları da erken tasarım sürecine önemli katkılar sunmaktadır. Attia ve diğerleri (2012), tarafından geliştirilen bir araç, sıcak iklim koşullarına sahip bölgelerde enerji verimliliğine odaklı tasarım kararlarını test etmeyi amaçlamaktadır. Tasarımcının yapı bileşenleri ile sistem senaryoları arasında seçim yapmasına olanak tanıyan bu araç, performans verisi ile karar alma süreci arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır. ZEBO, birden fazla tasarım alternatifine ait simülasyon sonuçlarını tek bir kullanıcı arayüzünde görselleştirebilmekte; bu görsel karşılaştırma ise, kullanıcıların karar verme sürecini etkin biçimde desteklemektedir.



Resim 2.6. ZEBO aracının arayüzü, referans model ve çıktı grafikleri (Attia ve diğerleri, 2012)

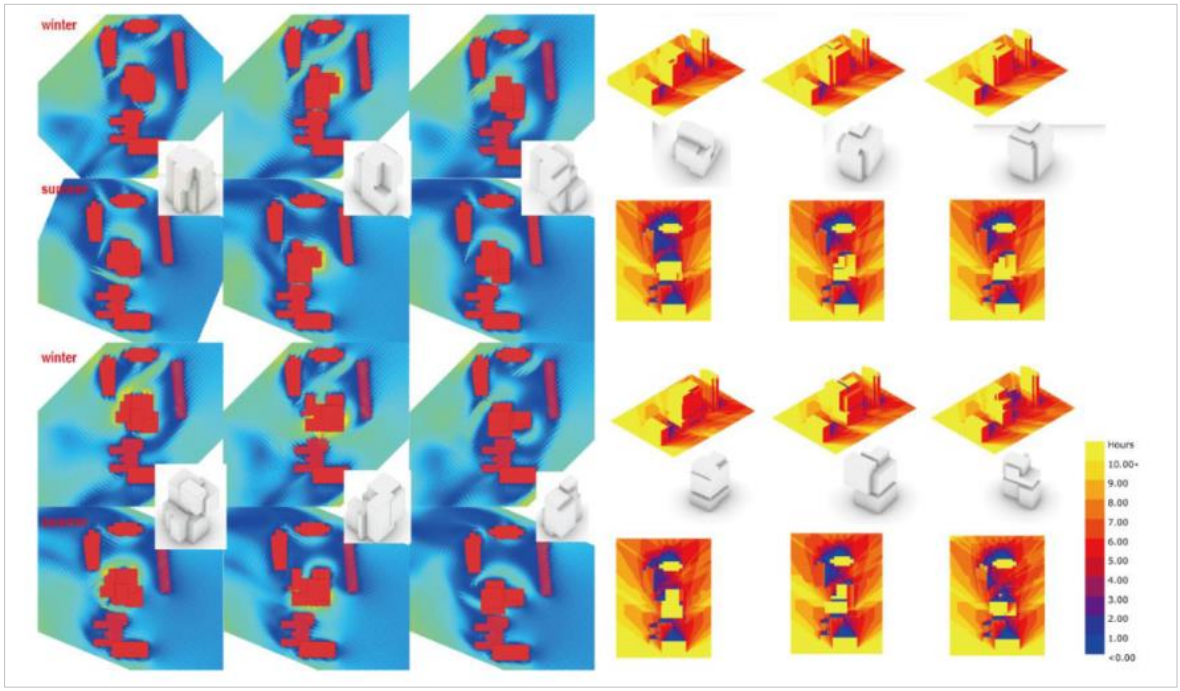
2.4.4. iDbuild

Araştırmalara dayalı olarak geliştirilen benzetim araçlarından biri olan iDbuild, özellikle düşük enerjili ofis yapılarının tasarım sürecine yönelik olarak erken evrelerde kullanılmak üzere yapılandırılmıştır. Bu araç, farklı tasarım senaryolarını çok ölçütlü biçimde analiz edebilme olanağı sunarak, bina ölçeğinde enerji kullanımı, iç mekân konforu, gün ışığı düzeyi ve iklimsel veriler gibi parametreleri birlikte değerlendirmeye odaklanmaktadır.

Petersen ve Svendsen (2010), iDbuild tabanlı bir yaklaşım çerçevesinde, yapı tasarımının erken aşamalarında daha bilinçli kararlar alınmasına olanak sağlayacak iki aşamalı bir yöntem önermiştir. Bu süreçte ilk aşama, "parametre varyasyonları" olarak tanımlanmakta; burada yapı elemanları ve iklimsel değişkenler değiştirilerek simülasyon sonuçları karşılaştırılmaktadır. İkinci aşama ise, bu çıktılar doğrultusunda geliştirilen "bilgilendirilmiş tasarım önerileri"nden oluşmaktadır.

2.4.5. EvoMass

Wang ve diğerleri (2024), tarafından geliştirilen EvoMass, tipoloji temelli bir tasarım aracı olarak, bina kütlelerinin performans kriterlerine göre erken tasarım aşamasında optimize edilmesine olanak tanımaktadır. Evrimsel algoritmalar aracılığıyla, güneş ışınımı ve gölgeleme gibi çevresel faktörler doğrultusunda kütleler karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmektedir (Resim 2.7). Bu sayede, tasarım sürecinde sezgilere dayalı kararlar, analitik yaklaşımlarla desteklenmektedir. Bu yönüyle EvoMass, erken tasarım sürecinde benzetim araçlarının stratejik birer destek mekanizması olarak kullanılabileceğini ortaya koyan güncel bir çalışmadır.



Resim 2.7. EvoMass'da oluşturulan rüzgar geçirgenliği (solda) ve güneş ışığı saatleri (sağda) üzerine saha analizi örnekleri (Wang ve diğerleri, 2024)

2.4.6. Autodesk Forma

Autodesk Forma, erken evre mimari tasarım süreci için geliştirilmiş, bulut tabanlı bir benzetim aracıdır. Konsept tasarım ve fizibilite analizlerini desteklemek amacıyla geliştirilen, tasarımcılara kısa sürede 3 boyutlu kütle modelleri oluşturma, coğrafi veriye dayalı yerleşim kararları alma ve gerçek zamanlı çevresel analizler gerçekleştirme imkânı sunmaktadır (URL-9). Autodesk Forma sunduğu analiz ve veriler ile erken tasarım evresi için hızlı geri bildirim sağlamaktadır. Gerçek zamanlı çalışan analizler ile çevresel etki değerlendirme imkanı sunmaktadır.

Autodesk Forma, bulut tabanlı yapısı sayesinde herhangi bir kurulum gerektirmeksizin doğrudan internet tarayıcısı üzerinden erişilebilen bir araçtır. Bu sistemde, hesaplama ve veri işleme süreçleri, kullanıcı bilgisayarı yerine çevrim içi sunucular aracılığıyla yürütülmektedir. Autodesk Forma'nın işlevselliğini sürdürebilmesi için belirli asgari sistem gereksinimlerinin karşılanması gerekmektedir. Resmî destek sayfasında bildirildiği üzere, Google Chrome'un 87 ve üzeri sürümleriyle uyumlu çalıştığı ifade edilmektedir. Ayrıca, en az 512 MB video belleğe sahip, WebGL destekli ekran kartı gerekli olup, ekran çözünürlüğü için de minimum 2048 x 1280 piksel çözünürlük önerilmektedir. İnternet bağlantısı için ise en az 10 Mbit hızında kararlı bir bağlantı gerekmektedir. Bu teknik koşullar, Autodesk Forma'nın verimli çalışabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Autodesk Forma, kullanıcılarına analiz şablonları, kütle modelleme araçları ve harita tabanlı veri entegrasyonu gibi çeşitli işlevler sunmaktadır. Bununla birlikte, yeni kullanıcılar için çevrim içi eğitim materyalleri, kapsamlı dokümantasyonlar ve Autodesk'in destek forumları aracılığıyla rehberlik imkânı da sağlanmaktadır. Sistem, topografik harita verileri ve iklimsel bilgi kaynaklarıyla entegre şekilde çalışabilmekte; arsa konumu belirlendiğinde, bölgenin topografik yapısını, mevcut yapılaşma durumunu ve iklimsel verilerini otomatik olarak tanımlayarak analizler için hazır bir ortam oluşturmaktadır.

Autodesk Forma, tasarım sürecine yön verebilecek nitelikte, gerçek zamanlı çalışan çeşitli analiz olanakları sunmaktadır. Bunlar arasında güneş saatleri, günışığı potansiyeli, rüzgar, mikro iklim, gürültü, gömülü karbon ve güneş enerjisi analizleri yer almaktadır.

Güneş saatleri analizi, zemin veya bina cephesindeki belirli noktalarda güneş ışığı saatlerini değerlendirerek alanın güneşe maruz kalma oranını ortaya koymaktadır. Bu analiz ile cephe veya yüzeyin kaç saat güneş ışığı aldığını göstermektedir (Resim 2.8). Böylece, tasarım sürecinde iç ve dış mekân kalitesinin incelenmesine imkân tanınmaktadır. Güneşlenme süresi verileri; kütlenin konumunun ve yöneliminin optimize edilmesinde, enerji verimliliği ile ısıl konforun sağlanmasında ve dış mekânda ortak kullanım alanlarının güneş ışığı alma durumunun değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir.



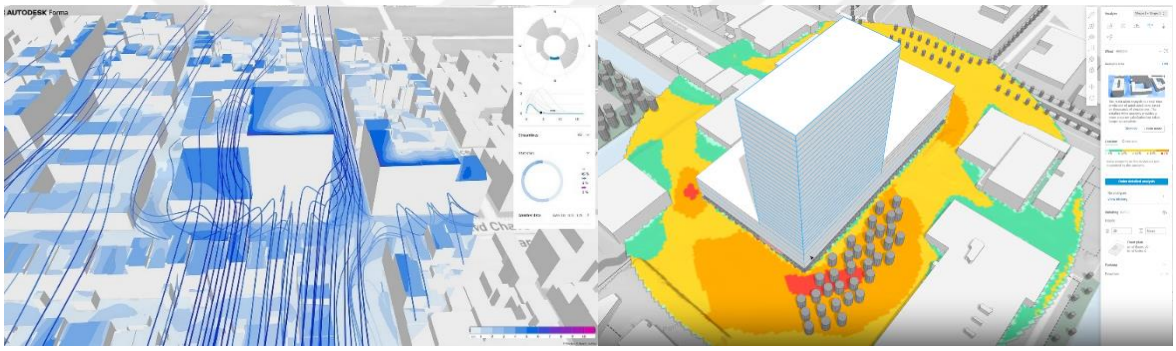
a) Güneş saatleri analizi b) Günışığı potansiyeli analizi

Resim 2.8. Autodesk Forma güneş saatleri ve günışığı potansiyeli analizleri (URL-10)

Günışığı potansiyeli analizi, erken aşamada gün ışığı performansına ilişkin hızlı ve öngörücü veriler sağlayarak gün ışığı gereksinimlerinin karşılanmasını kolaylaştırmaktadır (Resim 2.8). Bu analiz, gökyüzü bileşeni puanı aracılığıyla, gün ışığı düzeyi optimumun altında kalan bölgeleri ve uygun aydınlatma koşullarının sağlanmasının mümkün olmayabileceği alanları tespit etmeye yardımcı olmaktadır.

CIE standart kapalı gökyüzü modelini kullanan analiz, eylül ayında yoğun bulutlu bir günü temsil etmektedir. Analiz sonucunda elde edilen gökyüzü bileşeni puanı, bir binanın farklı noktalarına yerleştirilen bir pencereden ne kadar gün ışığı geçeceğini göstermektedir. Dikey cephelere düşen gün ışığı için gökyüzü bileşenine dikey gökyüzü bileşeni (VSC) adı verilmektedir. Bu bağlamda ulaşılan VSC puanları, erken tasarımda güneş potansiyeline göre uygun olmayan cephelerin belirlenmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu analiz sayesinde, gün ışığına erişim olanakları doğrultusunda cephe açıklıkları, pencere boyutları ve düzeni uygun biçimde tasarlanabilir ya da yeniden şekillendirilebilir; ayrıca gün ışığının ulaşamadığı alanlar da belirlenebilmektedir (URL-10).

Autodesk Forma'nın rüzgar analizi özelliği, mevcut rüzgar koşullarını anlık olarak tahmin etmektedir. Binanın kütlesinin rüzgar akışı üzerindeki etkisini görselleştirmekte ve erken tasarıma yönelik göstergeler sağlamaktadır. Tasarım aşamasında beklenen rüzgar iklimini değerlendirmek için birçok kriter ve standart, elverişli koşulları sağlamak için gerekli parametreleri ortaya koymaktadır. Bu bağlamda değerlendirilen konfor ölçeği, yayaların oturma, ayakta durma veya yürüme gibi farklı aktivitelerde bulunurken en rahat edebilecekleri alanları belirlemeye yardımcı olmaktadır (Resim 2.9). Lawson, Darenport, NEN 8100 gibi rüzgar kriterleri bu değerlendirmelerde kullanılmaktadır. Ayrıca yapı kütlelerinin yerleşim planı, yüksekliği ve yapılar arasındaki boşluklar gibi etkenler rüzgâr akışını doğrudan etkilediğinden, söz konusu parametreler rüzgâr analizine bağlı olarak yeniden gözden geçirilebilmektedir (URL-11).

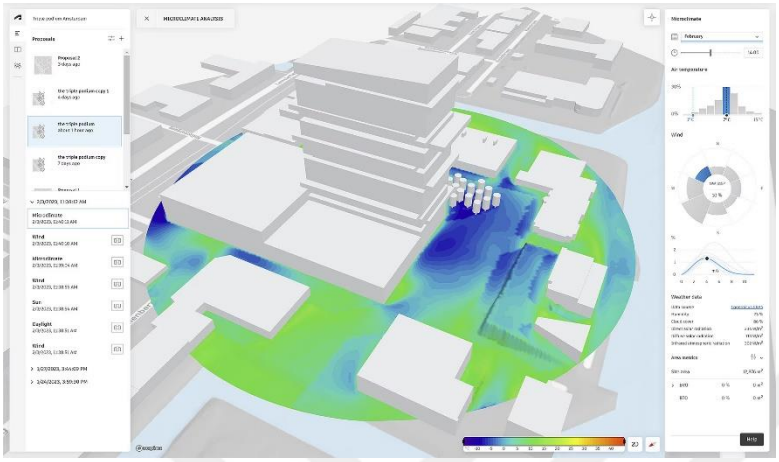


Resim 2.9. Autodesk Forma ile rüzgâr analizleri (URL-11)

Mikro iklim analizi, dış mekân alanlarının erken tasarım aşamasında termal konfora ilişkin bilinçli kararların alınmasına yardımcı olmaktadır. Bu analiz; güneş, gün ışığı ve rüzgâr verilerini yerel iklim koşullarıyla birleştirerek, alanın algılanan sıcaklığını hesaplamaktadır (Resim 2.10). Evrensel termal iklim endeksi (UTCI) kullanan sistem, kullanıcıların çevresel koşulları değerlendirmesine olanak tanıyarak, uygun tasarım kararları almalarında yol gösterici rol üstlenmektedir. Tasarımcılara açık ve kapalı alanların oluşturulmasında veri temelli kararlar verme imkânı sunarak, sürdürülebilir yapıların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Autodesk Forma'nın sunduğu gürültü analizi, çevresel gürültü ile ilgili potansiyel sorunların erken aşamada belirlenmesine olanak tanıyan önemli bir analizdir. Bu analizin gerçekleştirilebilmesi için, alana ilişkin trafik verilerini içeren bir altlık gerekmektedir. İlgili veriler, kütle modeline entegre edilerek alanın gürültü seviyelerine yönelik tahminler elde

edilmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda hem yapı kütlelerinin yerleşimi hem de açık alan düzenlemeleri yeniden değerlendirilerek, daha yaşanabilir çevrelerin oluşturulmasına katkı sağlanmaktadır.



Resim 2.10. Autodesk Forma ile mikro iklim analizi (URL-12)

Gömülü karbon analizi ile yapıların çevresel etkilerini değerlendirerek kütle formu, yapım tekniği, malzeme seçimi gibi tasarım kararlarının karbon salınımı açısından değerlendirme imkanı sunmaktadır. Somut karbon ve operasyonel karbon olarak iki tür karbon emisyonu bulunmaktadır. AEC endüstrisi bağlamında somut karbon, binaları ve altyapıyı inşa etmek veya yenilemek için gerekli olan ön faaliyetler sırasında atmosfere salınan sera gazı emisyonunu ifade etmektedir. Operasyonel karbon ise ısıtma, soğutma, aydınlatma dahil olmak üzere binanın operasyon aşamasıyla ilişkili karbon eşdeğeri emisyonlardır. Bina formu, taşıyıcı sistemi ve birincil yapı malzemeleri gibi kararlar genellikle erken aşamada verilmekte; bu kararlar öngörülen inşaat faaliyetleriyle ilişkili somut karbon miktarı üzerinde etkiye sahiptir (URL-13).

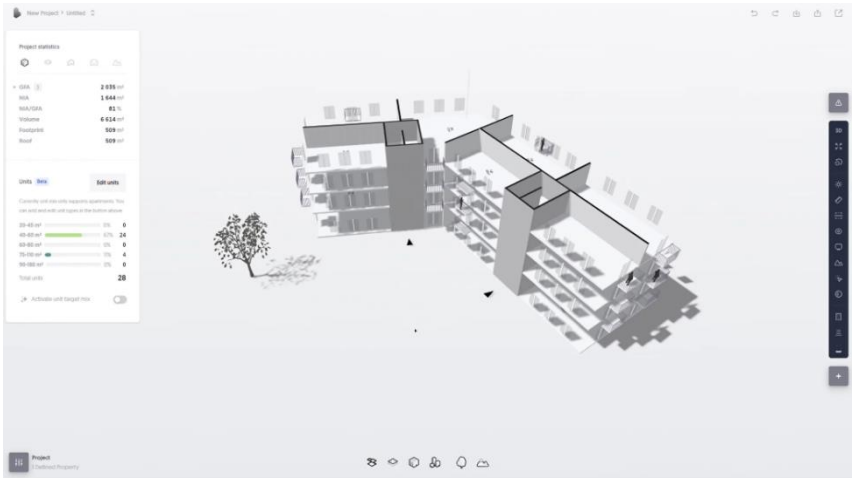
Autodesk Forma, mimari tasarımın erken evrelerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş; çevresel analizler ve veri temelli değerlendirmeler sağlayan bir benzetim aracıdır. Gerçek zamanlı analiz yetenekleri sayesinde güneş saatleri, günışığı potansiyeli, rüzgâr etkileri, mikro iklim koşulları, gürültü düzeyleri ve gömülü karbon hesaplamaları gibi çeşitli başlıklarda analizler sunmaktadır. Bu analizler, tasarım sürecine ilişkin kararların verilmesinde yol gösterici olarak değerlendirilebilmektedir. Bulut tabanlı bir sistem oluşu, herhangi bir kurulum gerektirmeden erişim imkânı sağlayarak teknik anlamda kullanıcıya kolaylık sunmaktadır. Bu çerçevede Autodesk Forma, tasarım sürecinin ilk aşamalarında

veri odaklı geri bildirimler sağlayarak kütle yerleşimi, yönelimi ve cephe açıklıkları gibi tasarım kararlarının çevresel performans ile sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda ön değerlendirme yapmaya olanak tanıyan bir araç olarak işlev görmektedir.

2.4.7.Spacio

Spacio, tasarımcılara mevcut bina bilgisi, mimari uzmanlık ve yerleşim verilerinden yararlanarak bina performansını tasarlama, yineleme ve optimize etme olanağı sağlayan bulut tabanlı bir benzetim aracıdır. Bulut tabanlı yapısı sayesinde herhangi bir yazılım kurulumu gerektirmeksizin, yalnızca bir internet tarayıcısı üzerinden erişilebilmektedir. Bu yapı, veri işleme süreçlerinin kullanıcı bilgisayarında değil çevrimiçi sunucularda gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Spacio'nun kullanımı için güncel bir tarayıcı, kararlı internet bağlantısı ve hesap oluşturularak giriş yapılması yeterli olmaktadır (URL-14).

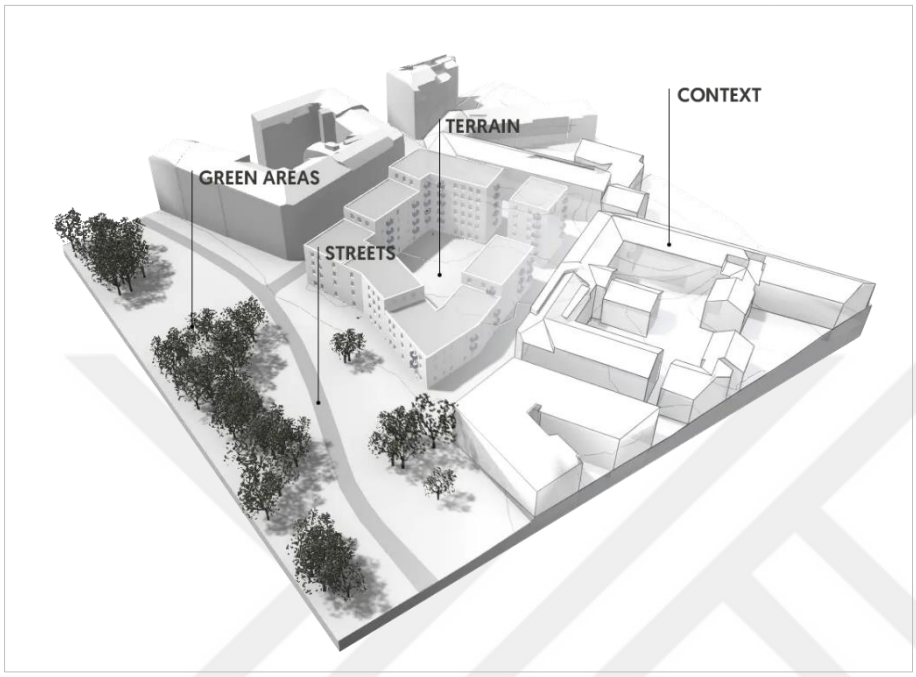
Spacio, binaları manuel olarak çizme, şekillendirme ve düzenleme seçenekleri sunmakta; kat planı bölme, cephe tasarımı ve açıklıklar ile ilgili öneriler sunan akıllı bir algoritmaya sahiptir (URL-14). Yeni başlayan kullanıcılar için erişilebilirliği artıran rehberli arayüz öğeleri, otomatik öneriler ve hızlı görsel geri bildirimlerle öğrenme süreci kolaylaştırılmıştır. Özellikle tasarım kararlarıyla entegre çalışan analiz modülleri, tasarım sürecinin iç içe geçmiş ve tekrarlı doğasına uygun bir biçimde kullanıcıyı yönlendirmektedir.



Resim 2.11. Spacio ile genel bir görünüm (URL-15)

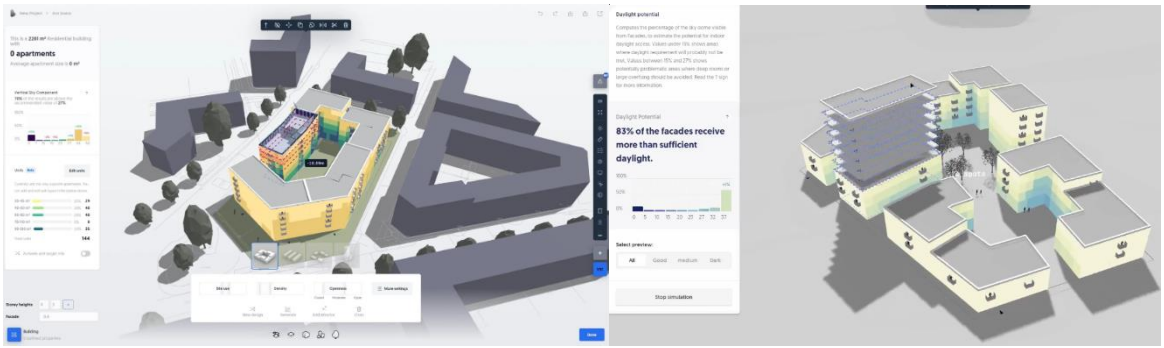
Arazinin projeye uygun biçimde şekillendirilmesini sağlarken, kütleler ile doğal manzara arasında uyumlu bir etkileşim de kurmaktadır. Araziye uygun kütle yerleşim seçenekleri,

kütlelerin biçimlenmesine olanak sunarken; güneş ışığı saatleri, güneş ışığı potansiyeli, güneş radyasyonu, görüş açısı (manzara) gibi analizlerle hem performansa hem de tasarıma yönelik veriler sağlamaktadır (URL-14).



Resim 2.12. Spacio ile çevresel bağlam (URL-16)

Spacio, gün ışığı potansiyelini analiz ederek erken tasarım aşamasına gün ışığı performansına yönelik veri sağlamaktadır. Bu analiz ile cephelerde gün ışığı potansiyeli, dikey gökyüzü bileşeni (VSC) üzerinden değerlendirmektedir. Tasarım ile eş zamanlı çalışan bu araç, hızlı geri bildirim sağlamakta; kütlenin formu, yerleşimi, yönelimi, açıklık boyutları gibi tasarım kararlarının verilmesinde yardımcı olmaktadır.



Resim 2.13. Spacio ile gün ışığı potansiyel analizi (URL-16)

Güneş saatleri analizi ile arazi, çatı, balkon veya bina cepheleri üzerindeki güneş saatlerini hesaplanmaktadır. Güneş saatleri, belirli bir zaman aralığında belirli bir sayıda doğrudan güneş alan bir alanın yüzdesini ölçmektedir. Analiz sonucunda güneşe maruz kalma saatleri doğrultusunda kütlelerin yönelimi, açıklıkların belirlenmesi ve dış mekanda sosyal alanların konfor koşulları açısından rehberlik sağlayan veriler sunmaktadır.

Spacio, dış mekan konforunu, iç mekanlardaki güneş kazançlarının fayda veya riskini ve güneş enerjisi üretim potansiyelini tahmin etmek için güneş radyasyonunu analizi de yapmaktadır. Bu analizde, güneş radyasyonu arsa, cephe ve çatı yüzeyleri olarak ayrı ayrı hesaplanmakta; mevsimlere göre gün, ay ve yıl bazında yüzdelik veya kWh/m² olarak değerlendirilmektedir. Güneş radyasyonu analizi, enerji verimliliği, kullanıcı konforu ve yerleşim kararları açısından tasarım sürecine önemli katkı sunmaktadır. Cephe ve yüzeylerin maruz kaldığı güneş enerjisine göre pasif ısıtma, soğutma stratejileri geliştirmekte; enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir. Aynı zamanda, yenilebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesine imkan sunmakta, enerji durumuna göre fotovoltaik paneller için uygun alanların keşfedilmesini sağlamaktadır.

Spacio'daki bir diğer analiz ise görüş (manzara) analizidir. Bu analiz, yapılar arasındaki veya deniz, arazi ve gökyüzü gibi doğal unsurlara yönelik görüş alanlarını değerlendirerek, tasarıma farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Tasarım aşamasında, görsel konfor, mahremiyet, mekânsal kalite ve manzara gibi birçok kriterin incelenmesine fırsat sunan; yaşanabilirlik ve kullanıcı deneyimine yönelik bir tasarım yaklaşımı da sunmaktadır.

Spacio, erken tasarım sürecinde çevresel, işlevsel ve mekânsal kararların birlikte ele alınmasına olanak tanıyan, bulut tabanlı bir benzetim aracıdır. Kullanıcı dostu arayüzü, üretken tasarım destekli araçları ve gerçek zamanlı analiz modülleriyle, tasarım sürecinin çeşitli aşamalarında bilgi temelli geri bildirimler sağlamaktadır. Güneş ışığı, güneş radyasyonu, manzara ve gün ışığı potansiyeli gibi analizler aracılığıyla, tasarımcıların çevresel performansı gözeten kararlar almasına olanak tanımaktadır.

Benzetim araçlarının kullanımında, yalnızca sağladıkları analiz ve teknik kapasiteler değil, aynı zamanda erişilebilirlik düzeyi ile kullanıcı deneyimi de belirleyici rol oynamaktadır. Bu çerçevede, bir benzetim aracının kurulum gerektirmemesi, çeşitli cihazlardan erişime olanak tanıması, temel tasarım girdilerine hızlı biçimde yanıt verebilmesi ve yaygın olarak

kullanılan diğer yazılımlarla entegre çalışabilmesi, erken tasarım sürecinde tercih edilmesini etkileyen önemli etkenler arasında yer almaktadır. Buna ek olarak, düşük donanım ihtiyacı ile web tabanlı altyapı, zaman ve kaynak yönetimi açısından kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında Autodesk Forma ve Spacio'nun tercih edilmesinde; erken analiz yapabilme olanaklarının yanı sıra, kurulum gerektirmeyen web tabanlı yapıları, tarayıcı üzerinden erişim kolaylığı sunmaları ve tasarım verilerine anlık yanıt verebilmeleri etkili olmuştur. Ayrıca, bu araçların öğrencilere yönelik lisans seçenekleri sunması da erişim ve kullanım açısından seçim sürecini desteklemiştir. Bununla birlikte, yeni nesil dijital benzetim araçları arasında yer almaları, erken tasarım aşamasında veri temelli karar destek süreçlerinin incelenmesine olanak tanımış ve bu araştırma için uygun bir zemin oluşturmuştur. Araç seçimi sürecinde; işlevsel özellikler, erişilebilirlik koşulları ve sundukları analiz çeşitliliği gibi ölçütler temelinde değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, araştırma kapsamında yürütülen çalışmaya ilişkin olarak benimsenen araştırma yaklaşımı, kullanılan veri toplama araçları ve analiz sürecine dair bilgiler açıklanmaktadır. Çalışma kapsamında bir toplu konut tasarımı senaryosu üzerinden Autodesk Forma ve Spacio benzetim araçları kullanılarak modelleme yapılmış; bu süreçte araçların sunduğu veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri, tasarımcı deneyimi üzerinden sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir.

3.1. Çalışmada Analiz Edilen Toplu Konut Projesi

Türkiye'de son yıllarda artan kentleşme hızı, nüfus artışı ve göç hareketliliği, konut ihtiyacının sürekli gündemde kalmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda konut üretimi, özellikle çok haneli yapılaşmayı esas alan toplu konut projeleri üzerinden şekillenmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2024 yılı yapı ruhsatı verilerine göre, belediyeler tarafından yapı ruhsatı verilen binaların toplam yüzölçümünün %54,7'si konut alanı olarak planlanmıştır. Konut sayısı bakımından ise iki ve daha fazla daireli projelerin baskın olduğu görülmektedir (TÜİK, 2024).

Kamu eliyle gerçekleştirilen konut üretiminde ise Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) önemli bir rol üstlenmektedir. TOKİ'nin 2024 yılında yayımladığı resmî açıklamaya göre, 2003 yılından itibaren Türkiye genelinde tamamlanan konut sayısı 1 milyon 365 bin 610'dur. Ayrıca, bu süreçte inşa edilen toplam bağımsız bölüm (konut, iş yeri, sosyal donatı vb.) sayısı ise 2 milyon 90 bine ulaşmıştır (URL-17).

Türkiye'nin mevcut konut stokuna ve üretim modeline bakıldığında, toplu konut projeleri yalnızca barınma ihtiyacına yönelik değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, kentsel yoğunluk, sosyal donatı ihtiyacı gibi çok boyutlu kriterlerin tasarım sürecine dâhil edilmesini gerektiren yapılardır. Bu yönüyle, erken tasarım evresinde benzetim araçlarıyla analiz edilebilecek çevresel, işlevsel ve fiziksel verilerin en yoğun biçimde değerlendirilebileceği alanlardan birini temsil etmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada toplu konut projesinin seçilmesi, hem Türkiye'nin güncel yapı üretim gerçekliğini yansıtmak hem de benzetim araçlarının yönlendirici rolünün etkili biçimde test edilebileceği bir bağlam oluşturmak amacıyla tercih edilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan toplu konut projesi, Manisa İli Şehzadeler İlçesi sınırları içerinde yer alan yaklaşık 59.218,700 m² bir arsa üzerinde tasarlanmıştır. Proje, farklı kullanıcı profillerine hitap eden 2+1 ve 3+1 daire tiplerinden oluşan Z+4 katlı konut blokları ile ortak kullanım alanlarını içermektedir (Resim 3.1). Yerleşim planında blok yönlenmeleri, açık-yeşil alan organizasyonu ve sosyal donatıların dağılımına ilişkin kararlar, erken tasarım aşamasında şekillendirilmiştir.



Resim 3.1. Proje taslağına ilişkin vaziyet planı

Bu proje, çalışmada kullanılan benzetim araçlarının (Autodesk Forma ve Spacio) erken tasarım sürecine katkılarını değerlendirmek amacıyla örnek senaryo olarak seçilmiştir. Projenin farklı kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt veren tipolojik çeşitliliği, kentsel ölçekteki karmaşıklığı, çeşitli analiz senaryolarının uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda, dijital ortama sadeleştirilmiş biçimde uyarlanabilir olması, iki farklı aracı çeşitli senaryolarla test edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellikler sayesinde, her iki aracın sunduğu veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri incelenebilmiş; araçların tasarım sürecine sunduğu yönlendirici katkılar, tasarımcı deneyimi bağlamında değerlendirilmiştir.



Resim 3.2. Proje alanını gösteren Google Earth görüntüsü (URL-18)

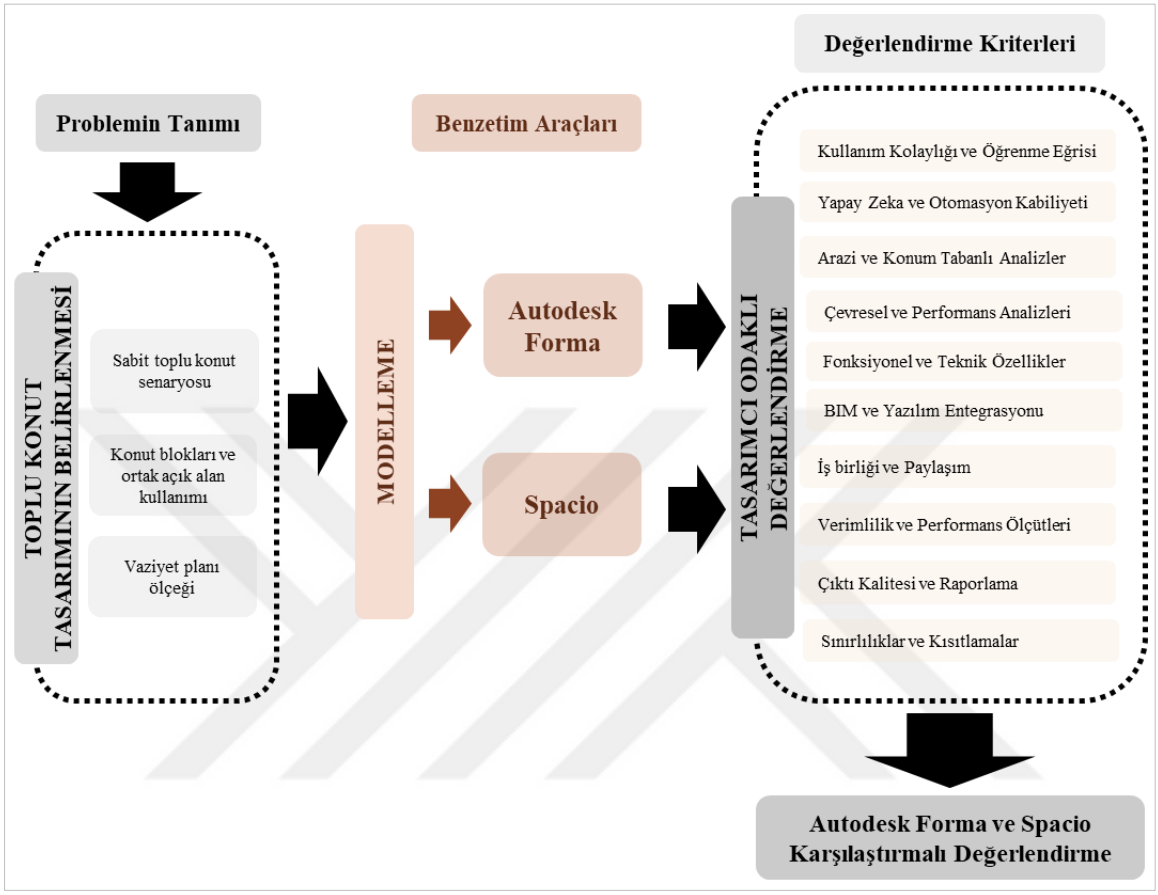
3.2. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma, erken tasarım evresinde kullanılan benzetim araçlarının karar verme süreçlerine katkısını, tasarımcı deneyimi üzerinden değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Bu doğrultuda, Autodesk Forma ve Spacio araçları, aynı toplu konut tasarımı senaryosu üzerinden incelenmiştir. Her iki aracın erken tasarım sürecine sunduğu veri, analiz ve yönlendirme potansiyelleri değerlendirilmiş; elde edilen bulgular, araçların tasarım sürecine katkılarını ortaya koymak üzere sistematik bir çerçevede ele alınmıştır (Şekil 3.1).

Veri toplama süreci, her iki benzetim aracının kullanıcı arayüzü, modelleme süreci, analiz araçları ve çıktı üretme olanakları dikkate alınarak yürütülmüş; her iki yazılım ile aynı toplu konut tasarım senaryosu modellenmiştir. Deneyim süreci boyunca elde edilen gözlemler, analiz çıktıları, sistemin sunduğu yönlendirmeler ve kullanım verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Literatürde benzetim araçlarına dair yapılan çalışmalar incelenerek, değerlendirme sürecinde kullanılacak alt kriterler belirlenmiş ve bu kriterler doğrultusunda iki araç değerlendirilmiştir.

Her araç için elde edilen veriler, belirlenen alt kriterler doğrultusunda değerlendirilmiş ve çizelge formatında sunulmuştur. Bu analiz sürecinde araçların sunduğu görsel ve sayısal çıktılar, tasarımcı kararları üzerindeki etkileriyle birlikte değerlendirilmiş; böylece yalnızca

araçların teknik kapasitesi değil, aynı zamanda tasarımcının araçları kullanım deneyimi bağlamında yönlendirici etkileri de ortaya konmuştur.



Şekil 3.1. Araştırmanın yöntemi

3.3. Değerlendirme Kriterleri ve Alt Kriterler

Bu çalışma, Autodesk Forma ve Spacio araçlarının erken tasarım sürecindeki katkıları açısından belirli kriterlere göre değerlendirilmiştir. Kriterler, literatür taraması, araştırmacının ilgili araçların kullanımına dayalı deneyimi doğrultusunda belirlenmiştir. Her bir kriter, kendi içinde alt kriterlere ayrılarak detaylandırılmış ve bu doğrultuda araçlar değerlendirilmiştir. Çizelge 3.1' de değerlendirme kriterleri ve alt kriterler sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Değerlendirme kriterleri ve alt kriterler

	Değerlendirme Kriterleri	Alt Kriterler
1	Kullanım Kolaylığı ve Öğrenme Eğrisi	Arayüz Kullanımı (*User Friendly Interface*), Dokümantasyon ve Rehberlik, Kullanıcı Etkileşimi
2	Yapay Zekâ ve Otomasyon Kabiliyeti	Üretken Tasarım Önerisi, Analiz Desteği ile Yönlendirme, Optimizasyon Yeteneği
3	Arazi ve Konum Tabanlı Analizler	Gerçek Konum Bilgisi, Çevresel Bağlam Bilgisi, İmar Kurallarına Erişim
4	Çevresel ve Performans Analizleri	Güneş Saatleri Analizi, Güneşlenme Potansiyeli Analizi, Rüzgar Analizi, Mikro İklim Analizi, Gömülü Karbon Analizi, Gürültü Analizi, Güneş Enerjisi Analizi, Güneş Radyasyonu Analizi, Görüş Açısı (Manzara) Analizi
5	Fonksiyonel ve Teknik Özellikler	Kat Planı Üretimi, Kat Yüksekliği ve Kat Sayısı Kontrolü, Fonksiyon Dağılımı, Zonlama ve Parsel Alt Bölümlendirme, Mimari Elemanların Tanımlanması, Kütle Modelleme
6	BIM ve Yazılım Entegrasyonu	Dosya Formatı Desteği, BIM Araçları ile Uyumu, Modelin Parametrikliği
7	İş Birliği ve Paylaşım	Eş Zamanlı Çalışma İmkanı, Versiyon/Sürüm Uyumu, Yorum Yapma ve Not Alma
8	Verimlilik ve Performans Ölçütleri	Tasarım Süresi, İşlem Hızı, Hata Toleransı / Stabilite
9	Çıktı Kalitesi ve Raporlama	Analiz Raporları, Görselleştirme Kalitesi, Sunuma Uygun Dokümanlar
10	Sınırlılıklar ve Kısıtlamalar	Tasarım Özgürlüğü, Yerelleştirme (Türkçe, İmar), Ücretsiz kullanım/Lisans

Belirlenen değerlendirme kriterleri, Autodesk Forma ile Spacio'nun erken tasarım sürecine katkılarını ortaya koymak amacıyla, aynı toplu konut projesi üzerinde sistematik biçimde uygulanmıştır. Her iki araçta da proje, ortak tasarım girdileri ile modellenmiş ve süreç, tanımlanan kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu kriterler ve alt başlıkları kapsamında, tasarımcının deneyimi temelinde kriterleri sağlayıp sağlamadığı, sahip olduğu

eksikler ve sınırlılıklar incelenmiştir. Elde edilen bulgular ise, her alt kriter için ayrı ayrı açıklama ve değerlendirme başlıkları altında çizelgeler halinde sunulmuştur.

3.3.1. Kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi

Dijital benzetim araçlarının erken aşama tasarım sürecinde etkin şekilde kullanılabilmesi, büyük ölçüde kullanıcı arayüzlerinin erişilebilirliği ve sezgisel olmasına bağlı olmaktadır. Bu bağlamda, Attia ve diğerleri (2012), Weytjens ve diğerleri (2011) ile Solmaz (2019) gibi araştırmacılar, araçların mimarlar tarafından etkili bir şekilde kullanılabilmesi için kullanıcı dostu arayüzlerin gerekliliğini vurgulamış; çalışmalarında kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi konularını ele almışlardır. İlk olarak, arayüz kullanımına ilişkin değerlendirmeler; araçların genel kullanıcı dostluğu, menülerin sezgisel yerleşimi, görsel açıklık ve işlevsellik gibi unsurları kapsamaktadır. Arayüzün ne derece karmaşık olduğu, özellikle yeni kullanıcıların yazılıma ne kadar sürede uyum sağlayabileceğini belirleyen önemli bir etkendir. Dokümantasyon ve rehberlik başlığı altında; sunulan yardım içerikleri, destek kılavuzları, çevrim içi kaynaklar ile varsa eğitim videoları gibi bileşenler değerlendirilmiştir. Kullanıcı etkileşimine dair incelemelerde ise tasarım sürecindeki işlemlerin ne derece görsel ve sezgisel olduğu, kullanıcıdan metin tabanlı komut beklenip beklenmediği ve verilen işlem geri bildirimleri göz önünde bulundurulmuştur.

3.3.2. Yapay zekâ ve otomasyon kabiliyeti

Bu kriter kapsamında, araçların üretken tasarım, analiz tabanlı yönlendirme ve optimizasyon yetenekleri değerlendirilmiştir. Alt kriterlerden biri olan üretken tasarım önerisi, kullanıcının belirlediği parametrelere bağlı olarak araçların bina formları ve yerleşim alternatiflerini otomatik olarak oluşturabilme yetisini tanımlamaktadır. Bu yetenek, özellikle tasarım sürecinin erken ve belirsizlik içeren aşamalarında alternatif geliştirme hızını artırmakta ve yaratıcı süreci teşvik etmektedir. Analiz temelli yönlendirme ise, analiz çıktılarının tasarım sürecine doğrudan entegre edilerek karar verme süreçlerini destekleme becerisine odaklanmaktadır. Son olarak, optimizasyon yetisi başlığı altında; araçların mekânsal parametreler olan alan kullanımı, yoğunluk ve yapı yerleşimi gibi unsurları dikkate alarak en uygun tasarım çözümlerini sunabilme kapasiteleri incelenmiştir.

3.3.3. Arazi ve konum tabanlı analizler

Bu bölümde, benzetim araçlarının proje arsasını gerçek dünya verileriyle tanımlayabilme, çevresel bağlamla ilişkilendirebilme ve yerel yönetmelik verilerine erişebilme yetkinlikleri değerlendirilmektedir. İlk alt kriter olan gerçek konum bilgisi, arsa yerinin harita üzerinden doğrudan seçilmesi ya da coğrafi koordinatlar (enlem ve boylam) aracılığıyla tanımlanabilmesi yetisini kapsamaktadır. Bu özellik sayesinde, tasarım süreci yalnızca soyut bir düzlemde değil, somut bir konumsal bağlamda ele alınarak çevresel etkenlerle bütünleşik biçimde yürütülebilmektedir. İkinci alt kriter olan çevresel bağlam bilgisi, arsanın yakın çevresinde yer alan yollar, mevcut yapılar, topografik özellikler ve doğal alanların modele entegre edilmesini ve bu verilerin tasarım kararlarını yönlendirecek biçimde sunulmasını ifade etmektedir. Söz konusu veriler; yapı yönelimi, erişim, manzara ve güneşlenme gibi tasarım kararlarının alınmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Tian ve Xu (2021), konut bloklarının düzenlenmesinde yapı yüksekliği, bloklar arası mesafe, bina sayısı ve blok biçimlerinin temel belirleyiciler olduğunu vurgulamış; ayrıca güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde coğrafi konum, yapılı çevre ve mimari form gibi çeşitli unsurların dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Üçüncü alt kriter olan imar kurallarına erişim ise, tasarım alanına ilişkin çekme mesafeleri, emsal (KAKS), yapı yoğunluğu ve kat adedi gibi bölgesel planlama verilerinin dijital araçlar aracılığıyla sağlanıp sağlanamadığını incelemektedir. Bu yetenek, tasarım sürecinin yerel mevzuatla ne derece uyumlu ilerlediğini ve yasal kısıtlamaların erken evrede tanımlanabilmesini mümkün kılmaktadır.

3.3.4. Çevresel ve performans analizleri

Benzetim araçları, erken tasarım aşamasında çevresel etmenleri değerlendirme ve bina performansına ilişkin geri bildirim sağlama kapasitelerini kapsamaktadır. Güneş ışınımı, rüzgar yönü, mikro iklim koşulları, karbon salımı, gürültü düzeyi ve manzara gibi çok boyutlu veriler üzerinden gerçekleştirilen analizler; kütle yerleşimi, yönlenme, açıklıkların konumlandırılması ve yapı yoğunluğu gibi temel tasarım kararlarının belirlenmesinde etkili olabilmektedir.

Güneş potansiyeli analizleri; kentsel yoğunluk, bina yönelimi ve blok biçiminin güneşlenme süresi üzerindeki etkilerini ortaya koymakta olup, bu analizler enerji verimliliği ile pasif iklimlendirme stratejileri açısından önemli girdiler sağlamaktadır (Košir ve diğerleri, 2014; Xu ve diğerleri, 2019). Rüzgâr ve mikro iklim analizleri ise yapıların konumunu, doğal havalandırma olanaklarını ve termal konfor düzeylerini değerlendirmekte; özellikle yapı yoğunluğu ve bina aralıkları gibi morfolojik kararların etkilerini görünür hâle getirmektedir (Sanaieian ve diğerleri, 2014; Ratti ve diğerleri, 2003). Gün ışığına ilişkin analizler yalnızca iç mekân konforuna değil, aynı zamanda sağlıklı yaşam çevrelerinin oluşturulmasına ve sürdürülebilirlik ilkelerine de katkı sunmakta; bu nedenle planlama sürecine erken aşamada entegre edilmesi önerilmektedir (Dervishaj ve Gudmundsson, 2025; Wirz-Justice ve diğerleri, 2021). Enerji tüketimi, karbon ayak izi ve maliyet gibi ölçütlerin erken evrede değerlendirilmesi, sürdürebilir ve ölçülebilir tasarım kararlarının alınmasını desteklemektedir. Bu bağlamda, çevresel ve performans analizleri, benzetin araçlarının veri temelli karar verme ve tasarım sürecine sağladıkları katkıyı değerlendirmeye yönelik bir kriter olarak tanımlanmıştır.

3.3.5. Fonksiyonel ve teknik özellikler

Bu kriter, benzetim araçlarının temel mimari modelleme işlevlerini hangi düzeyde sunduğunu ve bu işlevlerin kullanıcı tarafından ne derece müdahale edilebilir olduğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Kat planı oluşturma, kütle modelleme, fonksiyonların dağıtımı, kat adedi ve yükseklik kontrolü gibi tasarımın erken evresinde kullanılan araçların varlığı ve esnekliği bu kapsamda ele alınmıştır. Ayrıca parsel ve zonlama işlemleri ile mimari elemanların (duvar, çekirdek, dolaşım) tanımlanabilmesi de değerlendirme kriterlerine dahil edilmiştir. Bu doğrultuda, fonksiyonel ve teknik özellikler; araçların fikir üretmeye olanak tanıma, tasarımı detaylandırma ve biçimsel olarak kontrol edebilme kapasitelerini değerlendirmeye yönelik bir kriter olarak ele alınmıştır.

3.3.6. BIM ve yazılım entegrasyonu

Bu kriter, benzetim araçlarının BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) sistemleri ve diğer yazılımlarla ne ölçüde entegre çalışabildiğini değerlendirmeye yöneliktir. Dosya formatı desteği, modelin IFC, OBJ, DXF gibi formatlarda dışa aktarılabilmesini ve diğer platformlarla veri alışverişi yapılabilmesini ifade etmektedir. BIM araçları ile uyum,

yazılımın Revit gibi BIM tabanlı programlarla birlikte çalışabilme kapasitesini kapsamaktadır. Ayrıca, modelin parametrik yapıda olması; mimari elemanların sabit değerlerle değil, ölçülebilir ve değiştirilebilir parametreler aracılığıyla tanımlanıp tanımlanmadığını sorgulamaktadır. Østergård ve diğerleri (2016), erken evrede yaygın olarak kullanılan CAD tabanlı yazılımlar ile benzetim araçlarının entegre biçimde çalışmasının önemini vurgularken; Purup ve Petersen (2020), Han ve diğerleri (2018) ile Pan ve diğerleri (2023), entegrasyon konusunu ele alan çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir.

3.3.7. İş birliği ve paylaşım

Bu kriter, benzetim araçlarının ekip temelli çalışma ve paylaşıma uygunluk düzeyini değerlendirmektedir. Eş zamanlı çalışma olanağı, aynı proje üzerinde birden fazla kullanıcının aynı anda müdahalede bulunabilmesini ve gerçek zamanlı değişiklik gerçekleştirebilmesini ifade etmektedir. Versiyon ve sürüm uyumluluğu ise proje geçmişinin izlenebilirliğini, yapılan değişikliklerin kaydedilmesini ve önceki sürümlere geri dönülebilmesini sağlayan işlevleri kapsamaktadır. Yorum ekleme ve not alma özellikleri, kullanıcıların tasarımlar üzerine açıklamalar ekleyerek bu bilgileri ekip üyeleriyle paylaşabilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, benzetim araçlarının sunduğu iletişim, eş zamanlı düzenleme ve sürüm yönetimi gibi olanaklar; çok disiplinli tasarım süreçlerinin etkinliğini belirleyen temel değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır.

3.3.8. Verimlilik ve performans ölçütleri

Bu kriter, benzetim araçlarının işlem hızı, sistem kararlılığı ve tasarım sürecine sağladığı katkı düzeyi üzerinden değerlendirilmiştir. İlk alt kriter olan tasarım süresi, bir öneri modelinin ne kadar sürede oluşturulabildiğini ve alternatif üretim hızını ifade etmektedir. İşlem hızı, özellikle analiz süreçlerinde yazılımın kullanıcı girdilerine ne kadar hızlı tepki verdiğini; hata toleransı ve stabilite ise sistemin donma, çökme ya da veri kaybı gibi risklere karşı ne derece dayanıklı olduğunu kapsamaktadır. Araçların hızlı, güvenilir ve sorunsuz çalışması hem kullanıcı deneyimi hem de tasarım sürecinin verimliliğini belirleyen bir değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır.

3.3.9. Çıktı kalitesi ve raporlama

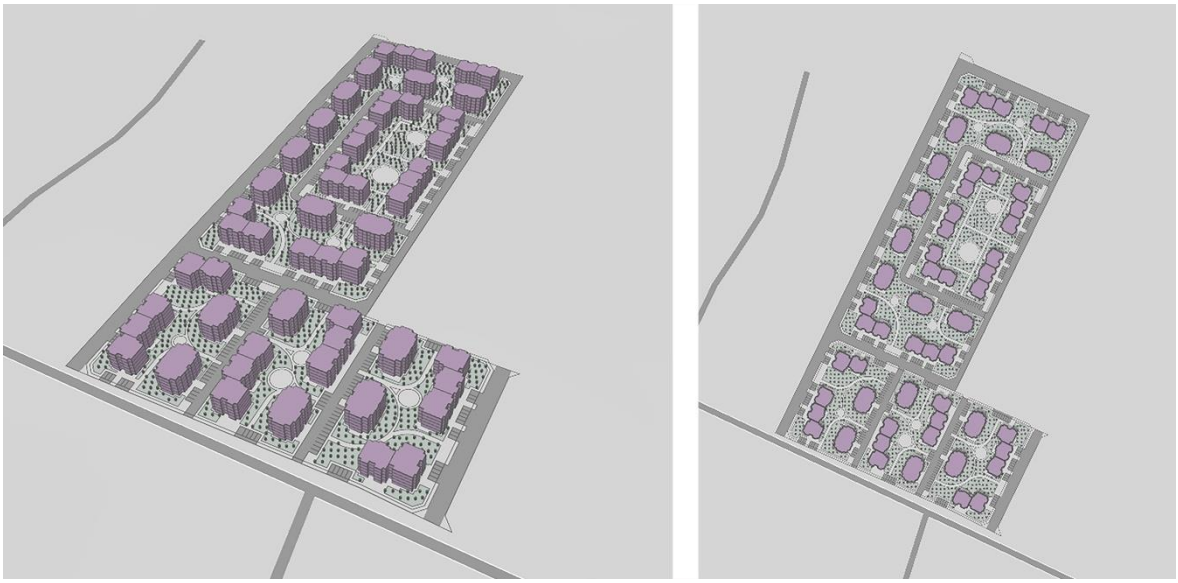
Bu kriter, benzetim araçlarının ürettiği görsel ve analitik çıktının kalitesini, sunuma uygunluğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Tasarım sürecinde elde edilen analiz verilerinin ne kadar açıklayıcı olduğu, grafik veya tablo biçiminde sunulup sunulmadığı ve karar verme süreçlerine katkı sağlayacak içerik yapısına sahip olup olmadığı bu kapsamda incelenmiştir.

3.3.10. Sınırlılıklar ve kısıtlamalar

Bu kriter, araçların kullanım esnekliği, yerel bağlama uyum düzeyi ve erişim koşulları açısından taşıdığı sınırlılıkları değerlendirmektedir. Yazılımın kullanıcıya sunduğu müdahale alanının genişliği, özelleştirme olanaklarının varlığı, yerelleştirme desteği (örneğin, Türkçe dil seçeneği ya da yerel imar verilerine erişim imkânı) ve lisanslama modeli (ücretsiz kullanım hakkı ya da kısıtlamalar) bu kapsamda incelenmiştir. Her aracın, kendi geliştirme vizyonu ve teknik altyapısı doğrultusunda belirli sınırlamalara sahip olması olasıdır; bu sınırlılıklar, tasarım sürecinin yönünü ve derinliğini etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, araçların sunduğu serbestlik düzeyi ile erişim politikaları, yazılımın pratikteki kullanılabilirliğini belirleyen kritik değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır.

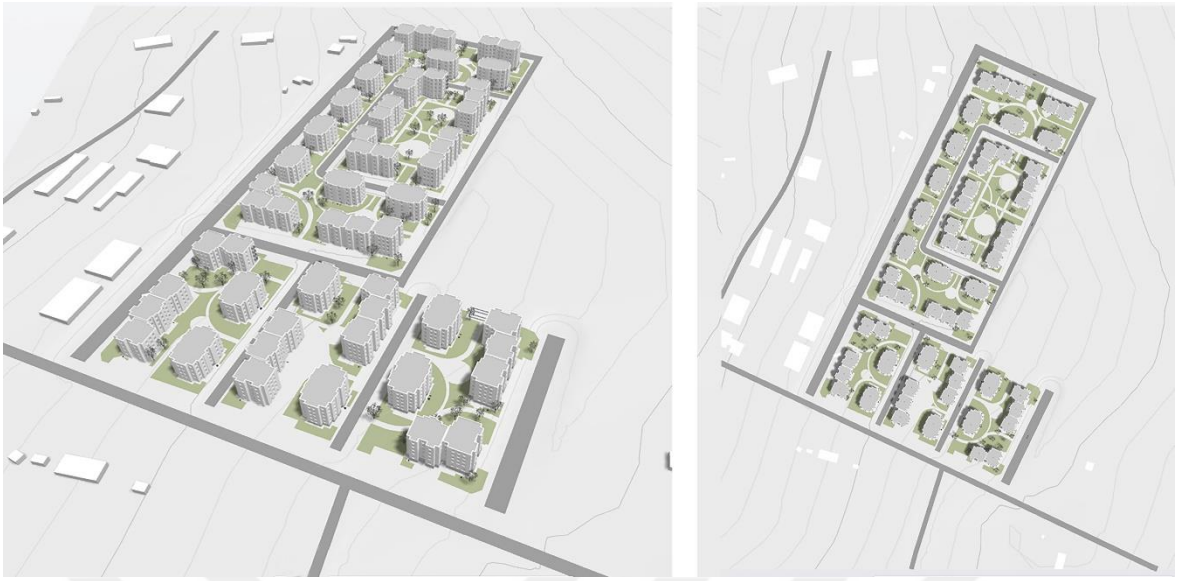
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, Materyal ve Metot bölümünde tanımlanan yöntem doğrultusunda, Autodesk Forma ve Spacio benzetim araçları kullanılarak oluşturulan modellerden elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Modelleme sürecinde, belirlenen tasarım senaryosu doğrultusunda yapı kütleleri oluşturulmuş, parsel içi bağlantı yolları tanımlanmış ve açık-yeşil alanlar modellenmiştir.



Şekil 4.1. Autodesk Forma'da modellenen toplu konut tasarımı

Sabit bir tasarım senaryosu üzerinden, her iki aracın erken tasarım aşamasında sunduğu veri çıktıları, analiz araçları ve tasarımcıya sağladığı yönlendirme potansiyelleri değerlendirilecektir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de çalışmada kullanılan toplu konut tasarımının her iki benzetim aracında modellenmiş görselleri yer almaktadır.



Şekil 4.2. Spacio'da modellenen toplu konut tasarımı

Bu bölümde öncelikle Autodesk Forma aracılığıyla elde edilen bulgular, belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilecek ve elde edilen veriler çizelgelerle birlikte sunulacaktır. Ardından, aynı yöntem izlenerek Spacio aracından elde edilen bulgular değerlendirilecektir. Son aşamada ise, her iki araca ilişkin değerlendirme kriterleri ve alt başlıklar karşılaştırmalı bir çizelge üzerinde ele alınacak, benzerlik ve farklılıklar ortaya konularak bölüm tamamlanacaktır.

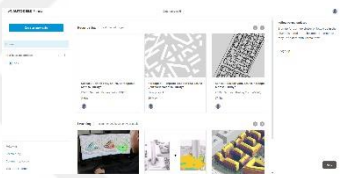
4.1. Autodesk Forma ile İlgili Bulgular

Autodesk Forma, erken tasarım sürecinde kullanıcıların sezgisel karar alma süreçlerini destekleyen, bulut tabanlı dijital benzetim aracıdır. Sade, modern arayüzü sayesinde, tasarımcıların yazılım ile kolayca bütünleşmesini sağlamaktadır. Menü ve araçların iyi yapılandırılmış olması, kullanıcıların uzmanlık gerektirmeden temel işlemleri gerçekleştirmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, kullanabilirlik (*usability*) açısından önemlidir. Aracın kolay öğrenilebilir olması hem kullanıcı deneyimiyle hem de tasarım sürecinin verimliliğiyle doğrudan bağlantı kurmaktadır.

Autodesk Forma sunduğu çevrimiçi dokümantasyon, destek merkezi, video anlatımlar ile kullanıcıya kapsamlı bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Özellikle YouTube üzerinden paylaşılan resmi içerikler sayesinde öğrenme süreci desteklenmekte ve bilgiye erişim kolaylaşmaktadır. Erken tasarım sürecinde, kullanıcıların sezgisel ve görsel yaklaşımlarına

hitap eden bu araç, kavramsal düşüncelerin dijital ortama doğrudan aktarılması sağlamaktadır. Karmaşık komut dizileri yerine görsel odaklı bir yapıya sahip olması, kullanıcıları daha etkin ve hızlı karar alma süreçlerine yönlendirmektedir. Autodesk Forma'nın kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Autodesk forma kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme	
Arayüz Kullanımı (*User Friendly Interface*)	Arayüz kullanıcı dostu mu, karmaşık mı? Yeni başlayanlar kolayca uyum sağlayabiliyor mu?	Sade ve modern bir arayüze sahiptir. Yeni kullanıcılar için kolay, kullanıcı dostu bir arayüz sunmaktadır. Menü ve araçlar iyi yapılandırılmıştır.	
Dokümantasyon ve Rehberlik	Yazılım için yardım kılavuzu var mı? Eğitim videoları, destek var mı?	Çevrimiçi belge ve destek merkezi vardır. Sık sorulan sorular ve detaylı anlatımlar içerir. YouTube ve Autodesk resmi sitesi üzerinden eğitim video ve webinarına erişilebilmektedir.	
Kullanıcı Etkileşimi	İşlemler görsel mi? Metin komutları gerekiyor mu? Sezgisel mi?	Görsel ve sezgisel arayüze sahiptir. Metin komutlarına ihtiyaç olmadan bütün işlemler menü ve görsel araçlarla yapılmaktadır.	

Autodesk Forma, erken tasarım sürecinde yapay zeka desteği ile tasarımcının yönlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Kullanıcı tarafından tanımlanan arsa sınırları ve parametreler doğrultusunda, üretken tasarım (*generative design*) yaklaşımıyla çeşitli bina kütleleri önermektedir. Bu bağlamda avlulu, I şeklinde kütle alternatifleri sunabilmektedir (Resim 4.1).



Resim 4.1. Autodesk Forma' da "*site automation*" seçeneği ile üretilen yerleşim planı

Bu tür biçimsel önerilerde bulunabilme yetisi sayesinde, erken aşamada tasarım kararlarının hızlanmasına katkı sağlamaktadır. Sadece form üretmekle sınırlı kalmayan araç, sunduğu analiz desteğiyle eş zamanlı olarak çevresel ve performansa ilişkin veri sağlamayı amaçlamaktadır. Güneşlenme süresi, rüzgar yönü, mikro iklim etkileri gibi analizler aracılığıyla, tasarım girdilerinin çevresel etkileşimi değerlendirilebilmektedir. Böylelikle erken tasarım sürecinde sağladığı bilgilerle belirsizliği azaltmakta ve sürdürebilir çözümler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Autodesk Forma, doğrudan "en iyi çözümü" optimize etmekten çok, kullanıcıya alternatif çözümleri sayısal veriler ve görsel çıktılar aracılığıyla sunarak bir değerlendirme çerçevesi oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, tasarımcının sezgisel kararları ile nicel verileri bir araya getirmesine olanak tanımaktadır. Autodesk Forma'nın yapay zeka ve otomasyon kabiliyetine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Autodesk Forma yapay zeka ve otomasyon kabiliyeti

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Üretken Tasarım Önerisi	Kullanıcı girdilerine göre otomatik bina formları üretebiliyor mu?	Belirli sınırlar dahilinde bina formları üretilmektedir. Belirlenen alan sınırı için, kütle en-boy oranlarında avlulu, I ve diğer formlarda kütleler sunmaktadır.
Analiz Desteği ile Yönlendirme	Tasarım yaparken sistem aktif olarak karar desteği sağlıyor mu?	Güneşlenme, rüzgar, mikro iklim gibi analizler sunarak tasarımın değerlendirilmesi için çeşitli veriler sağlamaktadır.
Optimizasyon Yeteneği	Alan kullanımı, yoğunluk, yerleşim gibi konularda en iyi çözümü öneriyor mu?	Farklı alternatifler için analizler sunmakta; ilgili sayısal ve görsel çıktılar vermektedir. Fakat en iyi çözümün bu verilerin değerlendirilmesi ile kullanıcının belirlemesi gerekmektedir.

Autodesk Forma ile kullanıcılar, proje alanını harita üzerinden doğrudan seçebilmekte veya adres yazarak konuma ulaşabilmektedir (Resim 4.2). Ancak sistemde doğrudan koordinat bilgisi girerek konum belirleme özelliği bulunmamaktadır.



Resim 4.2. Autodesk Forma'da proje alanının seçilmesi

Araç, sunduğu çevresel bağlam verileriyle yol altyapısı, mevcut yapılar, topoğrafya ve doğal özellikler gibi çeşitli katmanları içermekte; böylelikle tasarım sürecinin fiziksel çevreyle bütüncül olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Belirlenen proje alanına, kullanıcı tercihine bağlı olarak yollar, mevcut yapılar dahil edilebilmekte, böylelikle yerel bağlamla uyumlu bir tasarım yapılabilmektedir. Ancak, aracın kullandığı harita altyapısının güncellik düzeyine bağlı olarak çevresel bağlamda sağladığı veriler değişiklik gösterebilmektedir. Mevcut sistemin harita altyapısı, her zaman güncel veriler sunmayabilmektedir.

Bu kapsamlı çevresel veri seti, tasarımın bulunduğu bağlamla uyumlu bir şekilde kurgulanmasına olanak tanırken; yapılaşma kurallarına ilişkin otomatik veri aktarımı sağlanmamaktadır. Yapılaşma sınırları, çekme mesafeleri, TAKS (Taban Alanı Katlar Sayısı)-KAKS (Katlar Arası Kat Sayısı) gibi verilerin manuel olarak tanımlanması ve tasarımcı tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Autodesk Forma'nın arazi ve konum tabanlı analizlere ilişkin değerlendirme Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Arazi ve konum tabanlı analizler

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Gerçek Konum Bilgisi	Arsa konumu doğrudan harita seçimi veya koordinat ile tanımlanabiliyor mu?	Harita üzerinden doğrudan seçme imkanı veya arama çubuğuna adres girilerek arsa konumuna ulaşılmaktadır. Doğrudan koordinat girerek konum bulma özelliği bulunmamaktadır.
Çevresel Bağlam Bilgisi	Arsa çevresel bağlamı yollar, yapılar, topoğrafya gibi bilgiler sağlıyor mu?	Konum üzerinden seçilen alanın çevresel bağlamı da sunulmaktadır. Alan belirlendikten sonra açılan arayüzde, kullanıcı tercihine bağlı olarak topoğrafya, yollar, binalar vb. modele eklenmektedir.
İmar Kurallarına Erişim	Arsaya ve bölgeye ait çekme mesafeleri, emsal bilgisi, yapı yoğunluğu gibi veriler sağlıyor mu?	Arsa ile ilgili imar verileri, tüm ülkeler için otomatik olarak sağlanamamaktadır. ABD ve Kanada'daki bazı şehirler için imar kuralları sisteme entegre edilmiştir. Diğer bölgeler için bu veriler kullanıcı tarafından manuel olarak tanımlanabilmektedir.

Erken tasarım sürecinde çevresel ve performans analizlerinin tasarıma entegre edilmesi, yerleşim planlarında çevresel konforun artırılması ve enerji verimli tasarımların oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda Autodesk Forma, çeşitli temel analiz araçları sunmaktadır. Güneş saatleri analizi, yıl boyunca güneşlenme sürelerini saatlik bazda göstererek, kütle yerleşimi ve yönlendirme kararlarında tasarımcıya destek sağlamaktadır. Güneşlenme potansiyeli analizi ise yüzeylerin yıllık biriken güneş ışınım değerlerini sayısal ve görsel bir biçimde sunmakta; bu veriler pasif güneş stratejilerinin değerlendirilmesi, cephe tasarımı ve fotovoltaik sistemlerin uygulanabilirliği gibi kararlar açısından önemli bir altlık sunmaktadır.

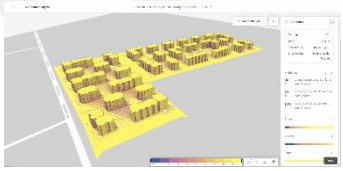
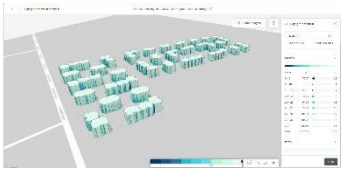
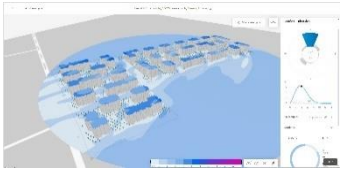
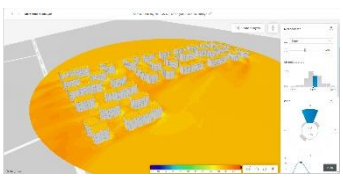
Rüzgar analizi yıl boyu hakim rüzgar yönü ve şiddetine ilişkin veriler sunmakta; veriler genel bir iklimsel perspektif sağlamaktadır. Sunulan veriler kütlelerin yerleşimi, yönelimi ile ilgili yönlendirme sağlarken, yerleşim planlarında da açık alan kullanımı dair yönlendirme de sağlamaktadır. Analizlerde seçilen seçeneğe göre alanların yürüyüşe ya da kullanıma uygun olup olmadığına dair veriler sunmaktadır. Mikro iklim analiz kapsamında ise nem, sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgar verileri bir araya getirilerek konfor zonları oluşturulmakta; bu sayede ısı adası etkisinin azaltılması ve peyzaj tasarımının yönlendirilmesi gibi konularda kullanıcıya rehberlik edilmektedir.

Gürültü analizi bakımından Autodesk Forma’nın sunduğu olanaklar daha sınırlıdır. Çevresel gürültü kaynaklarına dair doğrudan analiz yapamamakta, tasarımcı tarafından sağlanan veri setleri üzerinden analiz yapabilmektedir. Türkiye özelinde bu tür veri setlerine erişim

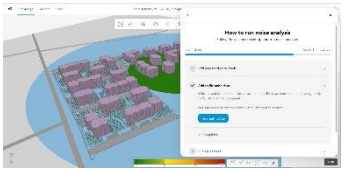
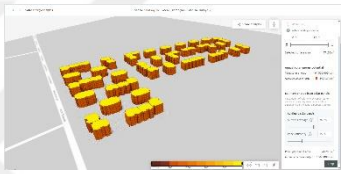
sağlanamadığından, aktif olarak kullanılamamaktadır. Gömülü karbon analizi sayesinde, bina kütlelerinin varsayılan malzeme tiplerine göre birim metrekare başına potansiyel karbon emisyonlarını hesaplanmakta, çevresel sürdürebilirlik kriterlerini erken evreye taşımakta, karbon ayak izi duyarlılığını tasarıma kazandırılmasıdır. Ancak analizin, detay düzeyinde özelleştirme sunmaması nedeniyle ilerleyen aşamalarda daha gelişmiş karbon analiz platformlarıyla entegrasyonu gerektirmektedir.

Bu bağlamda Autodesk Forma, erken tasarım evresinde çevresel verilerin hızlı ve görsel biçimde değerlendirilmesine olanak tanıyarak, tasarım sürecinde veri temelli kararların alınmasını desteklemektedir. Ancak bazı analizlerin sınırlı olması veya gerekli veri setlerinin harici kaynaklardan manuel olarak entegre edilmesi, daha kapsamlı ve ayrıntılı değerlendirmeler için ek platformların kullanımını gerekli kılmaktadır. Çizelge 4.4'te Autodesk Forma'nın çevresel ve performans analizlerine ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Çevresel ve performans analizleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme	
Güneş Saatleri Analizi	Gün ve yıl boyunca güneşlenme süresini nasıl gösteriyor?	Yıl boyunca, saatlik bazda 3 boyutlu analiz sunmaktadır. Gölgeleme detaylı olarak ifade edilmektedir.	
Güneşlenme Potansiyeli Analizi	Yapıların yıl içinde aldığı güneş ışığı miktarını analiz edebiliyor mu?	Güneş ışığına maruz kalan yüzey alanları üzerinden sayısal ve grafiksel olarak güneş ışığı potansiyelini sunmaktadır.	
Rüzgar **A**nalizi	Rüzgar yönü ve şiddetine dair veri sunabiliyor mu?	Yıl boyunca hâkim rüzgârın yönü ve şiddeti analiz edilebilmektedir; ancak bina özelinde rüzgâr akışı görselleştirilememekte, yoğunluk ve yön bilgisi sunulmaktadır. Ayrıca yaya konforuna yönelik de veriler sunmaktadır.	
Mikro İklim Analizi	Yerel iklim verilerine dayalı analiz yapılabiliyor mu?	Nem, sıcaklık, radyasyon ve rüzgar verilerine dayalı konfor zonları sunmaktadır. Gölge etkisi, rüzgar, ısı adası analizi gibi mikro iklim faktörlerini dikkate almaktadır.	

Çizelge 4.4. (devam) Çevresel ve performans analizleri

Gömülü Karbon Analizi	Potansiyel gömülü karbon miktarı hesaplanabiliyor mu?	Kütleler, programlara özgü malzeme varsayımlarına dayanarak metrekare başına gömülü karbon hesaplaması yapmakta ve her bir kütle için ayrı ayrı analiz sunmaktadır.	
Gürültü Analizi	Ulaşım ya da çevresel gürültü kaynaklarının etkisi analiz edilebiliyor mu?	Autodesk Forma'da doğrudan bir gürültü analiz aracı yer almamaktadır. Dış kaynaklı verilere ihtiyaç duyulabilmektedir.	
Güneş Enerjisi Analizi	Bina kütlelerinin gün ve yıl boyunca maruz kaldığı güneş radyasyonu miktarını görsel ve sayısal olarak analiz edebiliyor mu?	Belirli bir tarih ve saat aralığını seçerek saatlik, günlük veya yıllık toplam güneşlenme süresi ve enerji yoğunluğu (kWh/m²) verisini elde edebilmektedir.	

Autodesk Forma, erken tasarım evresine odaklanan bir araç olarak, işlevsel yerleşimden çok çevresel ve biçimsel analizlere yönelik bir yapıya sahiptir. Aracın sunduğu teknik olanaklar, kütle temelli tasarım kararlarının değerlendirilmesinde etkili olurken; ayrıntılı mimari çözümler ve fonksiyonel yerleşim gibi ölçeklerde sınırlı kalmaktadır.

Tasarım süreci, soyut ve temsili bir kütle modeli üzerinden yürütülmekte; otomatik ya da dinamik kat planı üretimi gibi olanaklar sunmamaktadır. Mimari elemanların (duvar, çekirdek, dolaşım alanı vb.) tanımlanmasına yönelik bir altyapı bulunmadığından, plan ölçeğinde detaylı çözümler geliştirilememektedir. Kullanıcıya, kütlelere ilişkin kat sayısı ve kat yüksekliği gibi parametreleri manuel olarak kontrol etme imkanı sağlamaktadır. Buna göre güneşlenme, rüzgar, mikro iklim gibi çevresel analizlerde veri olarak kullanılmaktadır. Bu durumda kütle-performans ilişkisine odaklanan bir analiz süreci sunmaktadır.

Autodesk Forma, konut ve ticari gibi temel kullanım fonksiyonlarının kütlelere atanmasına imkan vermektedir. Ancak bu atama, etiketleme düzeyinde kalmakta; söz konusu fonksiyonlara özgü biçimsel uyarlamalar ya da iç yerleşim senaryoları üretilememektedir. Bu sebeple, karma kullanım veya sosyal donatı içeren kompleks konut senaryolarında aracın yönlendirici rolü sınırlı kalabilmektedir. Parselin belirli bölgelere ayrılması(zonlama)

mümkün olmakla birlikte, bu zonlara özel gelişmiş işlevler mevcut değildir. Zonlama, daha çok kullanıcı girişine bağlı olarak şekillenmektedir.

Buna karşın, Autodesk Forma esnek bir kütle modelleme süreci sunmakta; kullanıcılar kütleleri düzenleyebilmekte, farklı tasarım alternatiflerini test edebilmektedir. Genel olarak, erken tasarım evresinde biçim-çevre ilişkisini değerlendirmek isteyen kullanıcılar için güçlü bir analiz altyapısı sunan Autodesk Forma, iç mekân organizasyonu, fonksiyonel dağılım gibi tasarımın kullanıcı odaklı tasarım bileşenlerini üretme kapasitesi sınırlıdır. Çizelge 4.5'te Autodesk Forma'nın fonksiyonel ve teknik özelliklerine ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Autodesk Forma'nın fonksiyonel ve teknik özellikleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Kat Planı Üretimi	Otomatik/dinamik kat planı önerileri mevcut mu?	Otomatik kat planı üretimi yok, kütle temelli bir çalışma yürütülmektedir.
Kat Yüksekliği ve Kat Sayısı Kontrolü	Kat sayısı ve yükseklik sınırları manuel ya da otomatik tanımlanabiliyor mu?	Otomatik kat planı üretimi yok, kütle temelli bir çalışma yürütülmektedir.
Fonksiyon Dağılımı	Kullanıcı, bina fonksiyonlarını (konut, ticaret, otopark vb.) belirleyip farklı alanlara atayabiliyor mu?	Temel fonksiyon tipleri (konut, ticari vb.) atanabilmekte; ama detaylı zonlama kısıtlıdır.
Zonlama ve Parsel Alt Bölümlendirme	Parsel, blok veya fonksiyon zonlarına ayrılabiliyor mu? Her zon için ayrı analiz yapılabiliyor mu?	Temel seviye bölgelendirme yapılabilmektedir.
Mimari Elemanların Tanımlanması	Kat planı veya kütle modeli içinde duvar, çekirdek, sirkülasyon gibi elemanlar tanımlanabiliyor mu?	Kütle ölçeğinde kalmakta; mimari elemanlar tanımlanmamaktadır.
Kütle Modelleme	Kütle modeli serbestçe düzenlenebilir mi?	Serbestçe parametrik kütle düzenlemesi yapılabilmektedir.

Autodesk Forma, erken tasarım aşamasında kütle modelleme ve çevresel analizlere odaklanmasının yanı sıra, BIM (*Building Information Modeling*) temelli yazılımlarla entegrasyon imkanı da sunmaktadır. Böylelikle tasarım sürecinin kavramsal aşamadan uygulama projelerine geçişini destekleyen bütüncül bir iş akışı sağlamaktadır. Revit ile entegre çalışabilmesi, Autodesk ekosistemi içerisindeki yazılımlar arasında süreklilik oluşturmakta; "Sent to Revit" eklentisi aracılığıyla oluşturulan kütle modellerinin Revit

ortamına aktarılması mümkün olmaktadır. Böylece erken evrede yürütülen analizlerin ve kararların, detaylı BIM modellerine dönüştürülerek proje genelinde sürdürülmesi sağlanmaktadır.

Autodesk Forma, model verilerinin ".obj" formatında dışa aktarılmasına (*export*) olanak tanımaktadır. Bu format, üç boyutlu model transferi ve görselleştirme açısından yaygın olarak kullanılmakta; parametrik veri ya da BIM nesne bilgisi içermemesi nedeniyle bilgi kaybı olmadan aktarım sağlama açısından sınırlıdır. Dolayısıyla, bu format ile yalnızca modelin görsel-geometrik temsili diğer platformlara taşınabilmektedir.

Buna karşın, Autodesk Forma'da oluşturulan kütle modelleri, parametrik yapılar üzerinden tanımlanmakta; kat sayısı, kat yüksekliği, toplam bina yüksekliği gibi veriler sayısal girdilerle kontrol edilebilmektedir. Bu parametrik yapı, modelin erken evrede esnek biçimde oluşturulmasını ve gerektiğinde diğer platformlara aktarılmak üzere optimize edilmesini mümkün kılmaktadır.

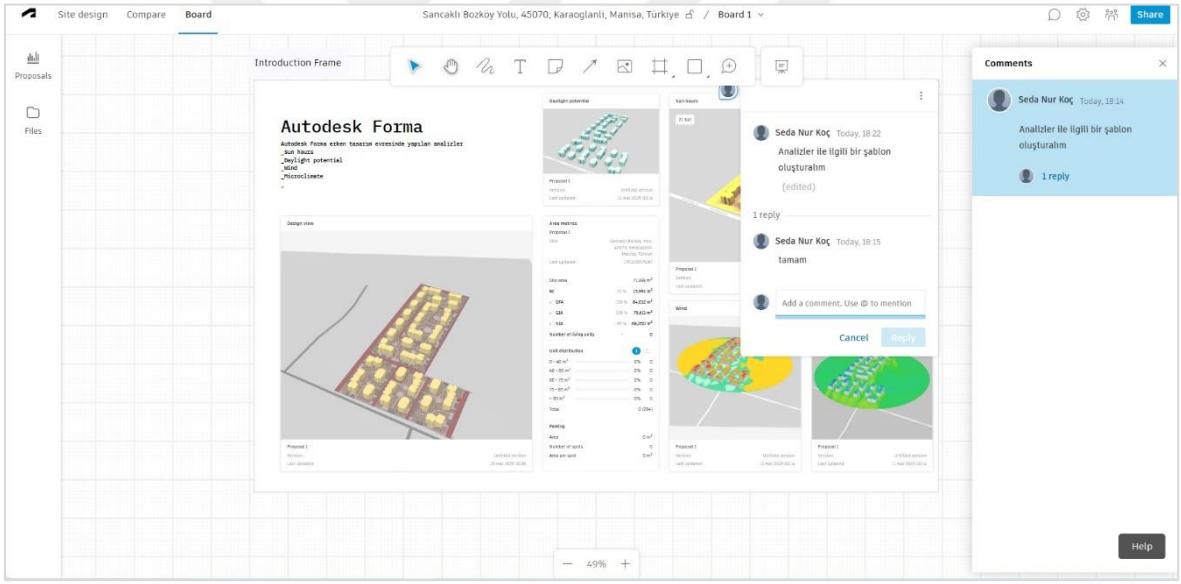
Autodesk Forma, BIM tabanlı yazılımlarla özellikle Revit üzerinden sağladığı uyum sayesinde, erken tasarım sürecinde elde edilen model ve analiz verilerinin proje geliştirme sürecinin ileri aşamalarına izlenebilir, tutarlı ve anlamlı biçimde aktarılmasına olanak tanımaktadır. Çizelge 4.6'da Autodesk Forma'nın BIM ve yazılım entegrasyonuna ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Autodesk Forma'nın BIM ve yazılım entegrasyonu

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Dosya Formatı Desteği	Model dışa aktarımı (*export*) hangi formatlarda yapılabiliyor?	".obj" formatında dışa aktarım(export) işlemi yapılmaktadır.
BIM Araçları ile Uyumu	Yazılım BIM araçları ile uyumlu çalışabiliyor mu?	"send to Revit add-in" seçeneği ile dosyayı kaydedilerek, Revitte çalışma imkanı bulunmaktadır.
Modelin Parametrikliği	Model elemanları parametrik mi, yoksa sabit nesneler mi?	Formada oluşturulan elemanlar kütle (*mass*) temelli ve parametrik olarak tanımlıdır. Bina yüksekliği, kat sayısı ve yüksekliği gibi veriler sayısal parametrelerle kontrol edilebilmektedir.

Autodesk Forma, erken tasarım evresine yönelik olarak çoklu kullanıcı desteği ve iş birliği olanakları sunan bir altyapıya sahiptir. Araç, proje paylaşımını kolaylaştıran "*members*" sekmesi ile, birden fazla kullanıcının aynı proje üzerinde eş zamanlı olarak çalışmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda kullanıcılar, e-posta aracılığıyla iletilen davet bağlantısı projeye erişim sağlayabilmekte; ortak modelleme ve analiz sürecine dahil olabilmektedir.

Ayrıca, Forma'nın sürüm yönetimi ve güncelleme politikası, ekip çalışmasını destekleyecek biçimde güçlü bir entegrasyon yapısına sahiptir. Her kullanıcı, en güncel sürümle çalışma olanağına sahip olmakta; yeni özellikler tüm kullanıcılar tarafından eş zamanlı olarak kullanabilir hale gelmektedir. Buna ek olarak, aracın "*board*" sekmesi aracılığıyla tasarıma doğrudan yorum ekleme, not bırakma ve açıklama paylaşma gibi etkileşimli özellikleri mevcuttur (Resim 4.3).



Resim 4.3. Autodesk Forma'da "*board*" sekmesi tasarım ekranı

Bu özellikler, özellikle ekip tabanlı erken tasarım süreçlerinde fikir alışverişini ve tasarım kararlarının gerekçelendirilmesini kolaylaştırarak, yazılımın iş birliğine dayalı kullanımını desteklemektedir. Çizelge 4.7'de Autodesk Forma iş birliği ve paylaşıma ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Autodesk Forma iş birliği ve paylaşım

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Eş Zamanlı Çalışma İmkanı	Aynı projede birden çok kişi eş zamanlı çalışabiliyor mu?	Oluşturulan proje üyeler (*members*) seçeneği ile farklı kullanıcılara e-posta ile link olarak iletilmektedir. Gönderilen link ile projeye ulaşılıp, eş zamanlı olarak analiz ve model üzerinde değişiklik yapma imkanı sağlamaktadır.
Versiyon/Sürüm Uyumu	Versiyon/Sürüm ile ilgili yapılan değişiklikler takip edilebiliyor mu?	Her kullanımda otomatik olarak güncel sürümle çalışılır; tüm kullanıcılar aynı anda en yeni özelliklere erişebilmektedir.
Yorum Yapma ve Not Alma	Tasarıma açıklama ekleyip paylaşılabiliyor mu?	Autodesk Forma'nın "Board" sekmesinde çalışırken tasarım üzerine doğrudan not alma, açıklama ekleme ve paylaşılan projeler üzerinde yorum yapma imkânı sunmaktadır.

Autodesk Forma, bulut tabanlı ve kütle temelli yapısıyla, erken tasarım evresinde hızlı model oluşturma, çevresel analiz gerçekleştirme ve kullanıcı etkileşimine dayalı bir çalışma akışı sunmaktadır. Bu akışın etkinliği, kullanıcı deneyimi, proje ölçeği ve mevcut teknik altyapı gibi değişkenlere göre şekillenmektedir.

Tasarım sürecinin kullanıcı kontrolünde ilerlediği Autodesk Forma'da, kullanıcının yazılım bilgisi, proje ölçeği ve karar alma biçimi tasarımın yönünü doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, aracın verimliliği ve tasarım sürecine olan katkısı sabit bir ölçütte değerlendirilememekte; farklı senaryolarda değişkenlik göstermektedir.

Autodesk Forma'nın bulut tabanlı altyapısı, analizlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Otomatik kayıt sistemi sayesinde veri kaybı riski minimuma indirilmekte; bu özellik, uzun süreli ve kompleks projelerde kullanıcıyı ani bağlantı kesintilerine karşı koruyabilmektedir. Ancak, bulut tabanlı yapısının bir gereği olarak internet bağlantısının zayıf olduğu durumlarda işlem süresi uzayabilmekte, gecikmeler yaşanabilmektedir. Bu durum, tasarım süreci ve işlem hızını doğrudan etkileyeceğinden, bağlantı kalitesi gibi teknik altyapı şartları da önemli bir değişken olarak değerlendirilmektedir. Autodeks Forma'nın verimlilik ve performans ölçütlerine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Autodesk Forma verimlilik ve performans ölçütleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Tasarım Süresi	Bir öneri modeli oluşturma süresi ne kadar?	Kullanıcı tasarımı manuel olarak oluşturur. Kütle oluşturma, yerleşim, analiz başlatma gibi işlemler kullanıcı kontrolündedir. Bu, esneklik sağlasa da öneri üretme süresi kullanıcının deneyimine ve proje kapsamına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
İşlem Hızı	Analiz süreçlerinin hızı nasıldır?	Proje kapsamı ve detayı arttıkça modelleme ve analiz süresi değişkenlik göstermektedir. Oluşturulan tasarımda analiz süresi ortalama 2 – 3 dakika sürmektedir.
Hata Toleransı / Stabilite	Yazılımın kilitlenme veya veri kaybı riski nedir? Renkler, ışık/gölge	Otomatik kayıt sistemi mevcuttur, veri kaybı riski düşüktür. Ancak internet bağlantısına bağımlılık zaman zaman işlem sürecini etkileyebilmektedir.

Autodesk Forma, erken tasarım sürecine entegre edilmiş çevresel analiz kabiliyeti ve teknik odaklı görselleştirme yaklaşımıyla, tasarım kararlarını veri temelli ve ölçülebilir parametrelerle desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu çıktı yapısı, daha çok analitik değerlendirmeye yöneltmekte; ancak görsel iletişim ve sunuma yönelik ihtiyaçlar açısından belirli sınırlılıklar barındırmaktadır.

Güneşlenme süresi, rüzgar, mikro iklim ve benzeri çevresel analizleri kapsamlı biçimde sunabilmekte; fonksiyonlara göre dağılım yapabilmesi, tasarım alternatiflerinin karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak Türkiye özelinde, yerel yönetmeliklere, imar planlarına ya da plan notlarına yönelik bir yasal uygunluk kontrolü bulunmamaktadır. Bu nedenle analiz çıktıları erken evre karar destek aracı olarak güçlü olsa da mevzuata dayalı uygulama kararları için tasarımcı müdahalesi ve tamamlayıcı araçlar gerektirmektedir.

Üç boyutlu görselleştirme altyapısı, teknik temsil odaklıdır; sade bir renk kullanımı, ışık/gölge ilişkisi ve okunabilir analiz katmanları ile işlevsel bir görsel yaklaşım sunmaktadır. Bu özellik, teknik ekiplerin karar süreçlerine fayda sağlarken, estetik sunum gereksinimlerini karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Autodesk Forma, doğrudan pdf veya sunum formatında çıktı üretme yeteneğine sahip değildir. Üretilen veriler, resim, grafik veya CSV formatında dışa aktarılabilmekte; bu veriler tasarımcı tarafından başka yazılımlar aracılığıyla sunum formatına dönüştürülmektedir. Bu yönüyle Autodesk Forma, doğrudan bir sunum aracı değil, sunum içeriklerini besleyen, veri sağlayan tamamlayıcı bir araç olarak

konumlanmaktadır. Autodeks Forma'nın çıktı kalitesi ve raporlama ölçütlerine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Autodesk Forma çıktı kalitesi ve raporlama

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Analiz Raporları	Otomatik çevresel, fonksiyonel, yasal analiz çıktıları sunuluyor mu?	Çeşitli çevresel analizler sunmakta, fonksiyona göre gruplandırma yapılabilmektedir. Fakat imar durumu ya da imar planlarına görelik bir çıktı sunmamaktadır.
Görselleştirme Kalitesi	3 Boyutlu modelin görsel kalitesi, ışık/gölge detayları nasıldır?	Üç boyutlu görselleştirme altyapısı sade ve teknik odaklıdır. Gölgelendirme, ışık simülasyonu ve genel estetik detaylar sınırlıdır. Analiz odaklı görselleştirme sunmaktadır.
Sunuma Uygun Dokümanlar	Slayt, PDF veya teknik çizim formatında çıktı alınabiliyor mu?	Doğrudan sunum veya teknik çizim formatında çıktı sunmasa da pdf, resim veya uygun formatlarda veriler dışa aktarılarak kullanılabilmektedir. "*Board*" sekmesi sunum için verilerin düzenlenmesine imkan sağlamaktadır.

Autodesk Forma, kullanıcıya parametrik düzenleme ve serbest kütle modelleme imkanı sunarak, erken tasarım sürecinde farklı tasarım alternatiflerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Yükseklik, kat sayısı, bina fonksiyonu gibi parametrelerin sayılar girdilerle kontrol edilebilmesi; kullanıcıya ölçeklenebilir, sistematik ve esnek bir tasarım ortamı sağlamaktadır. Kütle temelli ve kavramsal düzeyde tasarım özgürlüğü sunan araç, mimari elemanların (duvar, çekirdek, dolaşım alanı vb.) tanımlanması konusunda ise sınırlı kalmaktadır.

Autodesk Forma'nın mevcut sürümünde, Türkiye özelinde yerel yönetmelikler, imar planları, plan notları ya da yapılaşma koşullarına ilişkin entegre bir veri seti bulunmamaktadır. Ayrıca arayüz ve raporlama dili açısından Türkçe dil desteği sunulmamaktadır. Kullanıcıların, imar verilerini manuel olarak tanımlama gerektiği için, analizlerin yerel doğruluğu büyük ölçüde kullanıcı deneyimine bağladır. Dolayısıyla, yerelleşme düzeyi düşük; uluslararası bağlamda geliştirilen standartlara dayalı bir yaklaşım sergilemektedir.

Autodesk Forma, öğrenciler için ücretsiz eğitim lisansı sunarak, akademik kullanım açısından erişilebilir bir araç olmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, profesyonel kullanıcılar için 30 günlük bir deneme süresi sunulmakta; ardından ücretli lisans sistemine geçilmesi gerekmektedir. Bu politika, özellikle kısa süreli projeler veya deneme odaklı

kullanımlar için makul bir esneklik sağlarken, uzun vadeli ve sürekli kullanım için ekonomik bir yatırım gerektirmektedir. Bu durum, özellikle bağımsız araştırmacılar veya küçük ölçekli tasarım ekipleri açısından erişim sınırlılığı yaratabilmektedir. Autodesk Forma'nın sınırlılıklar ve kısıtlamalara ilişkin değerlendirme Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

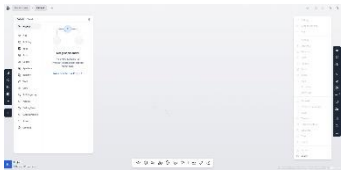
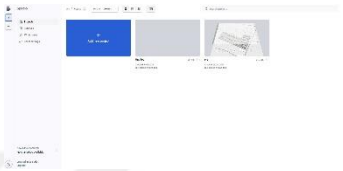
Çizelge 4.10. Autodesk Forma sınırlılıklar ve kısıtlamalar

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Tasarım Özgürlüğü	Yaratıcı özgürlük sağlıyor mu, yoksa çok kısıtlı mı?	Tasarımcıya serbest biçimli modelleme ve parametrik kontrol sunmaktadır.
Yerelleştirme (Türkçe, İmar)	Türkiye özelindeki yönetmeliklere uygun çalışıyor mu?	Güncel sürümünde bununla ilgili bir gelişme bulunmamaktadır.
Ücretsiz kullanım/Lisans	Öğrenciler için yeterli deneme süresi var mı?	Öğrenciler için ücretsiz lisans ile kullanım mevcuttur. Diğer kullanıcılar 30 günlük deneme sürümü vardır. Sonrasındaki kullanım için ücretli lisans alınması gerekmektedir.

4.2. Spacio ile İlgili Bulgular

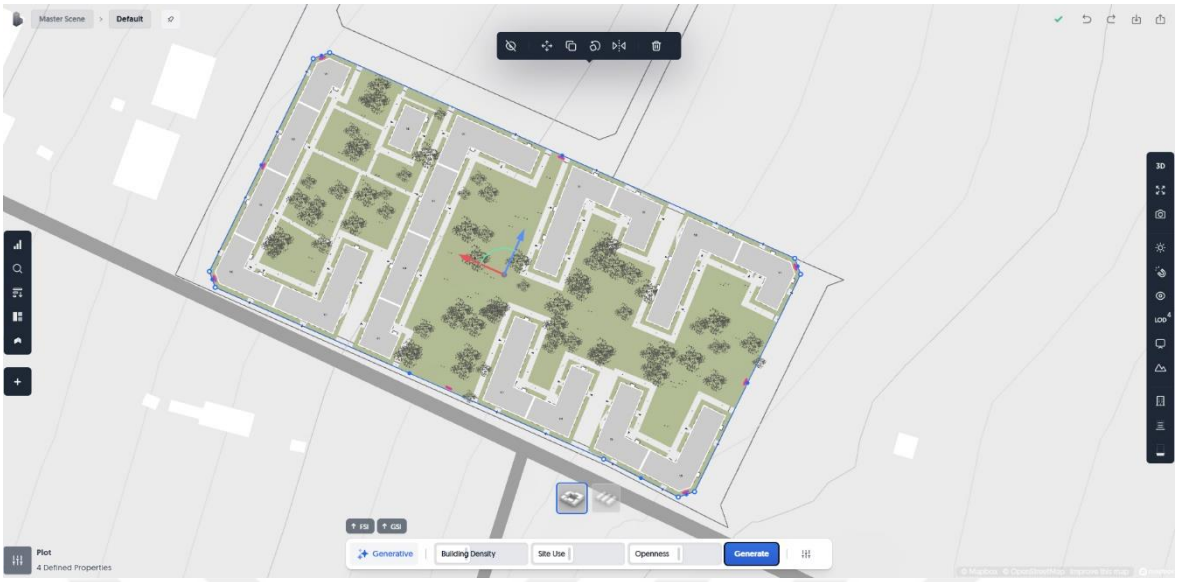
Spacio, erken tasarım sürecinde kullanıcıların kararlarını destekleyen bulut tabanlı bir dijital benzetim aracıdır. Sunduğu sezgisel ve minimalist arayüzü sayesinde, kullanıcıların araca uyum sağlamasını kolaylaşmaktadır. Menü ve aracın sade, düzenli yapısı, kullanıcıların kapsamlı teknik bilgiye ihtiyaç duymadan temel işlemleri gerçekleştirmesini mümkün kılmaktadır. Kullanıcılara temel düzeyde rehberlik sunan Spacio, kısa kılavuzlar ve araç içi açıklamalar ile destek sağlamaktadır. Youtube platformu üzerinden eğitim videoları ve web seminerlerine (webinar) erişim sağlanabilmektedir. Eğitim kaynaklarının erişilebilirliği ve çeşitliliği, öğrenme sürecine olumlu yönde desteklemektedir. Sezgisel kullanıma yönelik olan araç, kullanıcıların karmaşık komut dizileri yerine görsel odaklı iletişim kurmalarına olanak sağlamaktadır. Komut temelli yapısının bulunmaması, erken tasarım sürecinde hızlı tasarım yapılmasını desteklemektedir. Spacio'nun kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Spacio'nun kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme	
Arayüz Kullanımı (*User Friendly Interface*)	Arayüz kullanıcı dostu mu, karmaşık mı? Yeni başlayanlar kolayca uyum sağlayabiliyor mu?	Minimalist ve sezgisel arayüze sahiptir. Menü ve araçlar iyi yapılandırılmıştır. Birden fazla menü seçeneği bulunmaktadır. Yeni kullanıcılar için yönlendirici açıklamalar ve akışlar mevcuttur. Böylelikle programa uyum sağlamak kolaylaşmaktadır.	
Dokümantasyon ve Rehberlik	Yazılım için yardım kılavuzu var mı? Eğitim videoları, destek var mı?	Temel özellikleri açıklayan kısa kılavuzlar ve araç içi yönlendirmeler mevcuttur. Detaylı teknik dokümantasyonu sınırlıdır. YouTube üzerinden eğitim videosu ve webinara erişilebilmektedir.	
Kullanıcı Etkileşimi	İşlemler görsel mi? Metin komutları gerekiyor mu? Sezgisel mi?	Görsel ve sade arayüze sahiptir. Sezgisel kullanıma yönelik olan programda metin komutlarına ihtiyaç yoktur. Sezgisel kullanıma yönelik olup, karmaşık komutlar bulunmamaktadır. Araç içindeki öneri ve otomasyonlarla tasarımcıyı yönlendirilmektedir.	

Spacio, erken tasarım aşamasında üretken tasarım (*generative design*) çıktıları sunan, tasarımı analizler ile destekleyen yapay zeka tabanlı bir benzetim aracıdır. Belirlenen arsa sınırları içerisinde; bina yoğunluğu (*building density*), arsa kullanımı (*site use*), açıklık (*openness*) gibi parametreler kullanıcı tercihlerine göre tanımlanarak, hızlı bir şekilde bina kütleleri ve yerleşim alternatifleri oluşturulmaktadır (Resim 4.4). Bu sayede tasarımın ilk evrelerinde kısa sürede çeşitli varyasyonlarının üretilmesi ve karşılaştırılması mümkün hale gelmektedir.

Spacio'nun sunduğu analiz desteği, özellikle güneşlenme ve gün ışığı verileri üzerinden yapı performansı ve çevresine ilişkin bilgiler sağlamaktadır. Bu yönüyle araç, tasarım sürecini eş zamanlı analizlerle besleyerek kullanıcıya veri temelli karar alma imkanı sunmaktadır.



Resim 4.4. Spacio'da "*generative*" seçeneğiyle üretilen yerleşim planı

Optimizasyon bağlamında ise Spacio, kullanıcıya analizlerle desteklenen bir dizi alternatif varyasyon sunmakta; bu varyasyonları hem görsel hem de sayısal değerlendirmeye sunmaktadır. Ancak en iyi çözümün belirlenmesi, tasarımcının kararına bırakılmakta, Spacio karar destek sistemine yardımcı olacak verileri sağlamaktadır. Spacio'nun yapay zeka ve otomasyon kabiliyetine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Spacio yapay zeka ve otomasyon kabiliyeti

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Üretken Tasarım Önerisi	Kullanıcı girdilerine göre otomatik bina formları üretebiliyor mu?	Kullanıcı verilerine göre hızlı bir şekilde bina kütleleri oluşturmakta, belirlenen alan için yerleşim alternatifleri üretmektedir.
Analiz Desteği ile Yönlendirme	Tasarım yaparken sistem aktif olarak karar desteği sağlıyor mu?	Güneşlenme, günışığı gibi enerji performansı ile ilgili analizle tasarımın değerlendirilmesi için veriler sağlamaktadır.
Optimizasyon Yeteneği	Alan kullanımı, yoğunluk, yerleşim gibi konularda en iyi çözümü öneriyor mu?	Alternatif varyasyonlar üretebilmekte ve analizlerle sayısal ve görsel veri sağlayabilmektedir. Fakat en iyi çözümün bu verilerin değerlendirilmesi ile yerleşim kararlarını kullanıcıların belirlemesi gerekmektedir.

Spacio ile tasarımcılar, proje alanını harita üzerinden seçebilmekte ya da doğrudan koordinat bilgisi girerek konuma ulaşabilmektedir (Resim 4.5). Bu özellik, özellikle yerel bağlamın doğrudan tasarıma etkili olduğu durumlarda belirleyici rol oynamaktadır. Bu bağlamda, gerçek ve hassas konum verisinin sağlanabilmesi, yalnızca coğrafi koordinat doğruluğu

açısından değil, aynı zamanda arsa topoğrafyası, çevresel yapılaşma durumu, imar sınırları ve mikro iklim etmenlerinin doğru modellenebilmesi açısından da önemlidir.



Resim 4.5. Spacio'da proje alanının seçilmesi

Spacio'nun çevresel bağlamla etkileşimi kullanıcı odaklı ve esnektir. Alan seçimi sırasında, çevresel bağlamın araziye entegre edilip, edilmeyeceği kullanıcı tercihine bağlı olarak belirlenebilmektedir (Resim 4.6).



Resim 4.6. Spacio'da proje alanının çevresel bağlam ile oluşturulması

Erken tasarım evresinde tasarımın çevresel bağlam ile değerlendirilmesini, alınan kararların çevre ile uyumlu olmasına katkı sağlamaktadır. Ancak, aracın kullandığı harita altyapısının güncellik düzeyine bağlı olarak çevresel bağlamda sağladığı veriler değişiklik gösterebilmektedir. Mevcut sistemin harita altyapısı, her zaman güncel veriler sunmamaktadır.

İmar kuralları açısından ise Spacio, küresel ölçekte doğrudan veri sunmamakta, bu durum aracın yerel mevzuatlarla uyum içinde çalışmasını sınırlandırmaktadır. Yapılaşma kuralları, çekme mesafeleri, emsal hesapları ve yapı yoğunluğu gibi veriler sistem tarafından otomatik olarak tanımlanmamakta; kullanıcı tarafından manuel olarak girilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Spacio'nun arazi ve konum tabanlı analizlere ilişkin değerlendirme çizelge 4.13'te sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Arazi ve konum tabanlı analizler

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Gerçek Konum Bilgisi	Arsa konumu doğrudan harita seçimi veya koordinat ile tanımlanabiliyor mu?	Harita üzerinden doğrudan seçme imkanı veya arama çubuğuna adres girilerek arsa konumuna ulaşılmaktadır. Doğrudan koordinat girme özelliği sayesinde de arsa konumuna ulaşılmaktadır.
Çevresel Bağlam Bilgisi	Arsa çevresel bağlamı yollar, yapılar, topoğrafya gibi bilgiler sağlıyor mu?	Alan seçimi sırasında, çevresel bağlamın modele dahil edilip, edilmeyeceği kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Bu doğrultuda topoğrafya ile çevredeki mevcut yollar, binalar vb. otomatik olarak sunulmaktadır.
İmar Kurallarına Erişim	Arsaya ve bölgeye ait çekme mesafeleri, emsal bilgisi, yapı yoğunluğu gibi veriler sağlıyor mu?	Arsa ile ilgili imar verileri otomatik olarak sağlanamamaktadır. Ancak kullanıcı tarafından ilgili veriler manuel olarak alana tanımlanabilmektedir.

Spacio, erken tasarım evresine yönelik sunduğu hızlı görselleştirme yetenekleri ve çeşitli analiz araçları ile tasarım kararlarını desteklemektedir. Bu yönüyle hem nicel hem nitel verilere dayalı karar destek sistemleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Güneş saatleri analizi, tasarımcılara gün ve yıl boyunca güneşlenme sürelerini saat bazında değerlendirme imkan sağlamaktadır. Belirli zaman aralıklarına göre dinamik görseller sunmakta; bu da açık alan planlaması, kütle yönelimi ve yerleşim kararlarının verilmesinde yol göstermektedir. Güneşlenme potansiyeli analizi, yıl boyunca kütlelerin aldığı toplam güneş ışığı süresini ve bu ışığın yüzeylere dağılımını değerlendirme imkanı sunmaktadır. Bu görsel veriler, cephe tasarımı veya fotovoltaik potansiyelin belirlenmesi gibi kararlarda

veriye dayalı destek sağlamaktadır. Güneş radyasyon analizi ise yıllık ve günlük bazda güneş radyasyonu değerlerini (kWh/m²) hesaplayarak hem grafiksel hem de yüzey renk haritaları olarak sunmakta, böylece görsel ve sayısal bilgileri uyum içinde aktarmaktadır. Bu özellikleriyle Spacio, yalnızca görselleştirme odaklı araçların ötesine geçerek performans temelli kararlarını desteklemektedir.

Görüş açısı (manzara) analizi ise mekanın görsel niteliğini ölçülebilir bir hale getirmeye yönelik farklı bir araç olarak öne çıkmaktadır. Kat bazında manzara erişimi, açıklık oranları ve yönlenme gibi kriterler doğrultusunda cephelerin değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu yönüyle kullanıcı konforu, sosyal sürdürebilirlik ve konut değerlendirmesi gibi mekânsal niteliklere ilişkin kararlarda önemli bir veri kaynağı sunmaktadır.

Bu bağlamda Spacio, erken tasarım sürecine sezgisel kullanım kolaylığı, görsel odaklı yaklaşım ve sayısal veri desteği sunan analiz araçları entegre etmektedir. Tasarım sürecinin henüz başında şekillenmemiş kararları yönlendirmesinde kullanıcıya önemli bir rehberlik sağlamaktadır. Özellikle güneşlenme ve manzara analizlerinde sunduğu katmanlı çıktılar ile, erken evrede veri destekli tasarımı teşvik etmektedir. Spacio'nun çevresel ve performans analizlerine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Çevresel ve performans analizleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme	
Güneş Saatleri Analizi	Gün ve yıl boyunca güneşlenme süresini nasıl gösteriyor?	Güneşlenme süresi saat bazında görsel olarak analiz edilebilmektedir. Gölgeleme etkileriyle birlikte zaman aralığı seçilerek detaylı analiz yapılabilmektedir.	
Güneşlenme Potansiyeli Analizi	Yapıların yıl içinde aldığı güneş ışığı miktarını analiz edebiliyor mu?	Kütlelerin yıl içinde aldığı toplam güneş ışığı süresi ve yüzeysel dağılımı analiz edilebilmektedir. Yüzey renkleriyle görsel ısı haritası sunulmaktadır.	
Güneş Radyasyonu Analizi	Bina kütlelerinin gün ve yıl boyunca maruz kaldığı güneş radyasyonu miktarını görsel ve sayısal olarak analiz edebiliyor mu?	Yıllık ve günlük radyasyon miktarı (kWh/m²) olarak hesaplanabiliyor. Veriler görsel harita ve grafiksel çıktı olarak alınabilmektedir.	

Çizelge 4.14. (devam) Çevresel ve performans analizleri

Görüş Açısı (Manzara) Analizi	Bina kütlelerinin çevredeki açık alanlara, yollara veya manzara öğelerine olan görsel erişimini analiz edebiliyor mu?	Kat bazında görsel erişim ve manzara kalitesi analizi yapılabilmektedir. Açıklık oranı ve yönlenme verisiyle birlikte cephe değerlendirmesi yapılabilmektedir.	

Spacio, yapay zekâ destekli tasarım öneri sistemiyle erken tasarım sürecinde işlevsel organizasyonu da dikkate alan, kat planı ve fonksiyonel kurgular arasında ilişki kurabilen bir benzetim aracıdır. Mekânsal hiyerarşi ve işlev dağılımına dair sunduğu yönlendirici veriler, kullanıcıların yalnızca biçimsel değil, işlevsel düzeyde de kararlar alabilmesine olanak tanımaktadır.

Otomatik kat planı üretme desteği bulunan Spacio, erken evrede iç mekan organizasyonunun şekillenmesini mümkün kılmaktadır. Araç, kullanıcıdan gelen fonksiyonel girdiler doğrultusunda kat planları üreterek, mekânsal organizasyonun temsili düzeyde analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu yönüyle, yalnızca kütle temelli yaklaşımlara kıyasla daha gelişmiş senaryo üretme kapasitesine sahip olmaktadır.

Kat yüksekliği ve kat sayısı kullanıcı tarafından manuel olarak girilebilmekte; ayrıca mimari elemanlar düzeyinde (örneğin çekirdek yerleşimi, koridor yapısı, daire konfigürasyonu) öneriler sunabilmektedir. Bu sayede iç mekân senaryoları temsilî düzeyde şekillendirilebilmekte, özellikle dolaşım, yönlenme, verimlilik gibi kararlar erken evrede test edilebilmektedir.

Spacio, yapay zeka destekli öneriler doğrultusunda bina kütleleri üretmekte, aynı zamanda kullanıcıların bu kütleler üzerinde manuel düzenlemeler yapmasına da olanak tanımaktadır. Bu çift yönlü müdahale imkânı hem yapay zekânın yönlendirici kapasitesini hem de tasarımcının sezgisel kararlarını sürece dahil etme açısından avantaj sağlamaktadır. Kütle modelleme süreci, biçimsel esneklik ile algoritmik yönlendirme dengeli biçimde çalışmaktadır.

Fonksiyonların (konut, ticaret, otopark, yeşil alan vb.) hem kullanıcı tanımlı hem de yapay zekâ destekli olarak kütlelere atanabilmesi, tasarımın karma kullanımlı senaryolara uyum sağlayabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, sadece geometrik biçim üretimiyle sınırlı olmayan, aynı zamanda kentsel yaşam kurgusunu destekleyen bir tasarım altyapı sunmaktadır.

Spacio, fonksiyonel ve teknik özellikleriyle erken tasarım sürecine yalnızca biçimsel değil, mekânsal düzeyde de veri sunarak bütüncül bir katkı sağlamaktadır. Otomatik kat planı üretimi, yapay zeka destekli fonksiyon dağılımı ve zonlama analizi gibi özellikleri sayesinde, kompleks toplu konut projelerinde fonksiyon-mekân ilişkisini test edebilme imkanı sunmakta; böylece yalnızca analiz değil, tasarım üretimi ve senaryo testine dayalı yaratıcı süreci de etkin biçimde desteklemektedir. Çizelge 4.15'te Spacio'nun fonksiyonel ve teknik özelliklerine ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Spacio'nun fonksiyonel ve teknik özellikleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Kat Planı Üretimi	Otomatik/dinamik kat planı önerileri mevcut mu?	Yapay zeka destekli otomatik kat planı üretimi vardır. Fonksiyonlara göre alan dağılımı önermektedir.
Kat Yüksekliği ve Kat Sayısı Kontrolü	Kat sayısı ve yükseklik sınırları manuel ya da otomatik tanımlanabiliyor mu?	Kat sayısı ve yüksekliği kullanıcı tarafından manuel olarak belirlenebilmektedir.
Fonksiyon Dağılımı	Kullanıcı, bina fonksiyonlarını (konut, ticaret, otopark vb.) belirleyip farklı alanlara atayabiliyor mu?	Fonksiyon zonları (konut, ticaret, yeşil alan) hem kullanıcı tanımlı hem yapay zeka önerisiyle atanabilmektedir.
Zonlama ve Parsel Alt Bölümlendirme	Parsel, blok veya fonksiyon zonlarına ayrılabiliyor mu? Her zon için ayrı analiz yapılabiliyor mu?	Zonlama analizi gelişmiştir. Bir arsa içerisinde farklı fonksiyonel bölgeler zonlara ayrılabilmektedir.
Mimari Elemanların Tanımlanması	Kat planı veya kütle modeli içinde duvar, çekirdek, sirkülasyon gibi elemanlar tanımlanabiliyor mu?	Plan ölçeğinde (çekirdek, daire yerleşimi, sirkülasyon) taslak olarak tanımlanmaktadır.
Kütle Modelleme	Kütle modeli serbestçe düzenlenebilir mi?	Üretilen bina kütleleri düzenlenebilmektedir. Hem yapay zeka destekli hem de manuel düzenlemeler yapılabilmektedir.

Spacio, BIM ve diğer tasarım yazılımlarıyla entegrasyon kabiliyeti bakımından değerlendirildiğinde, sınırlı fakat çeşitli dışa aktarım seçenekleri sunmaktadır. Revit veya

Rhino gibi BIM tabanlı yazılımlarla doğrudan entegre çalışmayı sağlayan bir modül bulunmamakta; bu tür platformlara aktarım ".obj", ".dxf", ".ifc", ".bim",".rhino" gibi formatlar aracılığıyla dolaylı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum, tasarım sürecinde manuel müdahale gereksinimi doğurmakta ve yazılımlar arası iş akışında süreksizliklere neden olabilmektedir.

Spacio'nun sunduğu. screenshot, .dxf, .ifc, .bim, .obj, .rhino ve .xlsx gibi çeşitli formatlarda dışa aktarım desteği, tasarım verilerinin farklı platformlara taşınabilirliğini artırmakta ve kullanıcıya esneklik sağlamaktadır. Özellikle .ifc formatının desteklenmesi, Spacio'nun çıktılarını standart bir BIM ortamına taşıyama açısından önemli olanak sunmaktadır. Bu yönüyle, mimari verilerin analitik ve görsel boyutlarının farklı disiplinlerde değerlendirilmesi mümkün hale gelmektedir. Spacio, farklı dosya formatlarında dışa aktarım desteği ile çoklu yazılım ortamlarına geçişi mümkün kılsa da BIM ile doğrudan ve çift yönlü entegrasyon yetenekleri açısından sınırlı bir altyapıya sahiptir. Çizelge 4.16'da Spacio'nun BIM ve yazılım entegrasyonuna ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Spacio'nun BIM ve yazılım entegrasyonu

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Dosya Formatı Desteği	Model dışa aktarımı (export) hangi formatlarda yapılabiliyor?	Evet, screenshot, dxf, ifc, bim, obj, rhino ve excell olarak dışa aktarım(export) işlemi yapılmaktadır.
BIM Araçları ile Uyumu	Yazılım BIM araçları ile uyumlu çalışabiliyor mu?	Doğrudan revit ile entegre bir şekilde çalışmamaktadır. Fakat uygun formatta kaydedilen çalışmalar revitte içe aktarılabilmektedir.
Modelin Parametrikliği	Model elemanları parametrik mi, yoksa sabit nesneler mi?	Spacio da üretilen modeller yapay zeka destekli algoritmalara sahip olmasından dolayı çoğunlukla sabit temelli nesnelere sahiptir. Kat yüksekliği, kat sayısı gibi veriler tasarım öncesi tanımlanabilmekte, sonrasında parametrik biçimde değiştirilememektedir.

Spacio, erken tasarım sürecinde hızlı geri bildirim sağlama potansiyeline sahip olsa da, iş birliği ve eş zamanlı çalışma olanakları bakımından bazı sınırlılıklar taşımaktadır. Mevcut çalışmada kullanılan öğrenci sürümü, yalnızca bireysel kullanım olanağı sunduğundan, çoklu kullanıcılarla eş zamanlı proje üzerinde çalışma deneyimi gerçekleştirilememiştir. Ancak, aracın geliştiricileri tarafından "Pro" sürümünün takım çalışması odaklı kullanımı desteklediğini belirtilmektedir.

Spacio, sürüm güncellemeleri açısından güçlü bir yapıya sahiptir. Web tabanlı yapısı sayesinde kullanıcılar her oturumda en güncel yapay zekâ modeli ile çalışma fırsatına sahiptir. Her kullanıcı, en güncel sürümle çalışma olanağına sahip olmakta; yeni özellikler tüm kullanıcılar tarafından eş zamanlı olarak kullanabilir hale gelmektedir. Öte yandan, yazılımda doğrudan yorum yapma veya not alma işlevi yer almamaktadır. Tasarım çıktıları yalnızca görsel ve veri tabanlı içerikler olarak dışa aktarılabilmekte; bu durum, tasarım sürecinde fikir alışverişine dayalı etkileşimi sınırlayabilmektedir. Bu bağlamda Spacio, erken tasarım kararlarını bireysel düzeyde desteklerken, ekip tabanlı etkileşim ve paylaşıma dayalı süreçler için daha sınırlı bir deneyim sunmaktadır. Çizelge 4.17'de Spacio iş birliği ve paylaşıma ilişkin değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 4.17. Spacio iş birliği ve paylaşım

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Eş Zamanlı Çalışma İmkanı	Aynı projede birden çok kişi eş zamanlı çalışabiliyor mu?	Spacio'nun öğrenci sürümü bireysel kullanım için erişim sunmakta; "Pro" sürümünde takım halinde çalışma imkanı sağlanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında eş zamanlı olarak çalışma imkanı deneyimlenememiştir.
Versiyon/Sürüm Uyumu	Versiyon/Sürüm ile ilgili yapılan değişiklikler takip edilebiliyor mu?	Web tabanlı altyapısıyla her kullanımda güncel yapay zekâ modeli sunulur; kullanıcılar aynı anda en yeni özelliklere erişebilmektedir.
Yorum Yapma ve Not Alma	Tasarıma açıklama ekleyip paylaşılabiliyor mu?	Yorum yapma ve doğrudan not ekleme özelliği bulunmaz; tasarımlar sadece görsel ve veri çıktısı olarak paylaşılabilmektedir.

Spacio, yapay zeka tabanlı sistemi sayesinde kullanıcıya hem manuel hem otomatik tasarım üretme imkanı sunmakta; bu iki yönlü tasarım yaklaşımı, sürece esneklik kazandırmakta ve farklı kullanıcı profillerine hitap edebilmektedir. İlk yerleşim kararlarının yapay zeka arayıcılığıyla hızlı biçimde alınabilmesi zaman kazancı sağlarken; manuel çalışma, kullanıcı deneyimi, proje ölçeği ve revizyon gereksinimi gibi faktörler tasarım sürecinin dinamikliğini ve süresini doğrudan etkileyebilmektedir.

Yapay zeka ve bulut tabanlı altyapısı üzerinden çalışan analiz sistemi, kullanıcılara hızlı geri bildirim sağlamaktadır. Ancak çoklu yapı blokları, karmaşık fonksiyonel dağılımlar ve geniş ölçekli projeler söz konusu olduğunda işlem hızı değişkenlik gösterebilmektedir.

Spacio'nun bulut tabanlı altyapısı, otomatik kayıt özelliğiyle veri kaybı riskini en aza indirmektedir. Ancak bu yapı, güçlü ve kesintisiz internet bağlantısı gerektirmekte; zayıf bağlantı koşullarında işlem süresi uzamasına ve analizlerin tamamlanmasında gecikmelere neden olabilmektedir. Bu durum, tasarım sürecinin sürekliliğini etkileyerek kullanıcı deneyimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca yazılımın halen gelişim sürecinde olması, zaman zaman sistemsel aksaklıkların yaşanmasına yol açabilmektedir. Spacio'nun verimlilik ve performans ölçütlerine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.18'de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Spacio verimlilik ve performans ölçütleri

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Tasarım Süresi	Bir öneri modeli oluşturma süresi ne kadar?	Kullanıcı tasarımı manuel olarak oluşturabilir veya yapay zeka desteği sayesinde otomatik yerleşim ve öneri modeller üretebilmektedir. Bu, esneklik sağlasa da öneri üretme süresi kullanıcının deneyimine ve proje kapsamına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
İşlem Hızı	Analiz süreçlerinin hızı nasıldır?	Proje kapsamı ve detayı arttıkça modelleme ve analiz süresi değişkenlik göstermektedir. Oluşturulan tasarımda analiz süresi ortalama 1 – 2 dakika sürmektedir.
Hata Toleransı / Stabilite	Yazılımın kilitlenme veya veri kaybı riski nedir?	Otomatik kayıt sistemi mevcuttur, veri kaybı riski düşüktür. Ancak internet bağlantısına bağımlılık zaman zaman işlem sürecini etkileyebilmektedir. Yeni ve sürekli gelişmekte olan bir platform olduğu için zaman zaman sistem yanıtında gecikmeler, takılmalar veya yeniden yükleme ihtiyacı yaşanabilmektedir.

Spacio, erken tasarı sürecinde yapay zeka destekli üretim ve analiz aracı olarak çeşitli çıktı türleri sunmakta; ancak bu çıktılar ağırlıklı olarak görsel ve kavramsal nitelikte olup, teknik detay ve mevzuata uyumluluğu açısından sınırlı kalmaktadır.

Araç, güneşleme, günışığı ve kütlelerin çevresel etkilerine ilişkin analizler gerçekleştirebilmekte; bu verileri belirli fonksiyonlara göre gruplandırılarak görsel olarak sunulabilmektedir. Ancak Türkiye özelinde yerel imar planları, plan notları ya da yapılaşma yönetmelikleriyle uyumlu düzenleyici analiz raporları sunmamaktadır. Bu durum, Spacio'nun çıktı sistemini daha çok tasarım önerisi ve kavramsal değerlendirme aracı olarak konumlandırmakta; hukuki uygunluk ve teknik doğruluk gibi konularda kullanıcı müdahalesi ve tamamlayıcı araçlara ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır.

Spacio'nun sunduğu üç boyutlu modelleme çıktıları, sade ve estetik bir görsel dile sahiptir. Renkli kütle kullanımı, ışık-gölge detayları ve yalın görsel dili sayesinde tasarımlar kavramsal düzeyde anlaşılır bir biçimde temsil edilebilmektedir. Ancak bu görselleştirmeler, detaylı render veya yüksek çözünürlükte malzeme bazlı görselleştirmeler düzeyinde değildir; daha çok bilgilendirici-yorumlayıcı nitelikteki görsel veriler üzerinden ilerlemektedir. Doğrudan PDF, teknik çizim (.dwg) veya CAD tabanlı çıktı üretim altyapısı sunmamakta; görsel içerikler (resim, grafik) ve veri tabanlı formatlarda (Excel, obj, vb.) dışa aktarım yapılabilmektedir. Bu veriler kullanıcı tarafından başka yazılımlar aracılığıyla sunum formatına dönüştürülmektedir. Spacio, özellikle görsel temsil ve temel çevresel analiz çıktıları üretimi konusunda etkili ve sezgisel bir platform olarak değerlendirilebilir. Ancak, yasal uygunluk analizleri, doğrudan sunum formatları ve teknik dokümantasyon üretimi gibi profesyonel çıktılar konusunda sınırlı kalmakta ve bu yönüyle erken tasarım aşamasının kavramsal kısmına hitap eden bir araç olarak öne çıkmaktadır. Spacio'nun çıktı kalitesi ve raporlama ölçütlerine ilişkin değerlendirme Çizelge 4.19'da sunulmuştur.

Çizelge 4.19. Spacio çıktı kalitesi ve raporlama

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Analiz Raporları	Otomatik çevresel, fonksiyonel, yasal analiz çıktıları sunuluyor mu?	Güneş ve günışığı ile ilgili analizler sunmakta, fonksiyona göre gruplandırma yapılabilmektedir. Fakat imar durumu ya da imar planlarına görelik bir çıktı sunmamaktadır.
Görselleştirme Kalitesi	3 Boyutlu modelin görsel kalitesi, ışık/gölge detayları nasıldır?	Görselleştirme altyapısı render benzeri sade ama estetik bir üç boyutlu modelleme sunmaktadır. Renkli kütleler, ışık/gölge farkları gibi detaylar daha kullanıcı dostu ve sunum odaklıdır.
Sunuma Uygun Dokümanlar	Slayt, PDF veya teknik çizim formatında çıktı alınabiliyor mu?	Doğrudan sunum veya teknik çizim formatında çıktı sunmasa da resim veya uygun formatlarda veriler dışa aktarılarak kullanılabilmektedir.

Spacio, kullanıcıya yapay zeka destekli otomatik yerleşim öneri ve plan üretimi gibi olanaklar sunarak, erken tasarım sürecinde hızlı tasarım alternatiflerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Bu yapay zeka destekli öneriler, özellikle tasarımcı müdahalesinin sınırlı olduğu durumlarda önemli bir zaman avantajı sağlamakta; ancak aynı zamanda tasarımcının sezgisel ve özgün karar alma sürecini de sınırlayıcı etkiler oluşturabilmektedir. Spacio'nun mevcut sürümünde, Türkiye'ye özgü imar yönetmelikleri, yapılaşma koşulları ve plan kararlarına entegre bir veri seti bulunmamaktadır. Arayüz dili İngilizce olup Türkçe dil desteği sunulmamaktadır. Bu bağlamda yerelleşme eksikliği, sadece dil bazlı değil, aynı

zamanda tasarım verilerinin yasal doğruluğu açısından da önemlidir. Kullanıcının, bu verileri manuel olarak tanımlaması gerekmekte; bu da analiz çıktılarının güvenilirliğinin kullanıcı deneyimine bağımlı hale getirmektedir.

Spacio, öğrenciler için form doldurma ve e-posta onayı yoluyla erişilebilen ücretsiz lisans alternatifi sunmakta; bu yönüyle, akademik kullanım açısından olumlu bir esneklik sağlamaktadır. Herkese açık olan temel kullanım modeli, tek proje ve sınırlı özelliklerle sınırlı olup; daha kapsamlı işlevler ve çoklu proje deneyimleri için ücretli versiyona geçiş yapılması gerekmektedir. Bu durum, profesyonel kullanıcılar açısından yazılımın deneme ve keşif aşamasında avantajlı olmasını sağlarken, sürekli ve ileri düzey kullanım gerektiren projelerde kısıtlayıcı bir unsur hâline gelebilmektedir. Spacio'nun sınırlılıklar ve kısıtlamalara ilişkin değerlendirme Çizelge 4.20'de sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Spacio sınırlılıklar ve kısıtlamalar

Alt Kriterler	Açıklama	Değerlendirme
Tasarım Özgürlüğü	Yaratıcı özgürlük sağlıyor mu, yoksa çok kısıtlı mı?	Yapay zeka destekli otomatik çözümler sunmakta, tasarımcının katkısı, müdahalesi kısıtlanabilmektedir.
Yerelleştirme (Türkçe, İmar)	Türkiye özelindeki yönetmeliklere uygun çalışıyor mu?	Güncel sürümünde bununla ilgili bir gelişme bulunmamaktadır.
Ücretsiz kullanım/Lisans	Öğrenciler için yeterli deneme süresi var mı?	Öğrenciler için form ve e-posta yoluyla öğrenci lisansı alınabilmektedir. Diğer kullanıcılar için programa doğrudan ulaşma imkanı vardır. Fakat bir proje ile sınırlı bir kullanım sunmaktadır.

4.3. Autodeks Forma ve Spacio'nun Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Tasarımcının araçlara ilişkin deneyimine dayalı olarak gerçekleştirilen karşılaştırmalı değerlendirme, Autodeks Forma ve Spacio'nun tasarım sürecine katkılarını Çizelge 4.21' de ortaya koymaktadır. Değerlendirme sürecinde her bir aracın belirlenen kriterleri karşılama düzeyi "+" (sağlamaktadır), "-" (sağlamamaktadır), "K" (kısmen sağlamaktadır) ve "NA" (kriterle ilgili bilgi ya da altyapı bulunmadığından değerlendirilmemektedir) şeklinde simgelerle belirtilmiştir. Bu karşılaştırma, her iki benzetim aracının erken evre tasarım sürecine olan katkılarını, tasarımcı deneyimi çerçevesinde sistematik biçimde incelenmesine imkan tanımaktadır.

Kullanım kolaylığı ve öğrenme eğrisi açısından değerlendirildiğinde, her iki benzetim aracı da kullanıcı arayüzleri, temel düzeyde rehberlik olanakları ve kullanıcı erişimleri bakımından benzer özellikler sergilemektedir. Bu ortak özellikler, araçların benzer bir öğrenme eğrisi sunmasına olanak tanımaktadır. Ancak daha karmaşık işlevlerde rehberliğin yetersiz kalabildiği ve öğrenme sürecinin tasarımcının deneyimine bağlı olarak farklılık gösterebildiği gözlemlenmiştir.

Yapay zekâ ve otomasyon kabiliyeti bağlamında, her iki benzetim aracı da üretken tasarım önerileri ile analiz temelli yönlendirme olanakları sunmaktadır. Autodesk Forma, "*site automation*" seçeneği aracılığıyla yerleşim planları üretirken; Spacio'da ise "*generative*" seçeneğiyle benzer işlev gerçekleştirilmekte, bu süreç üretim odaklı yapay zekâ algoritmalarıyla desteklenmektedir. Ancak, her iki araçta da üretilen tasarım ya da analiz sonuçları doğrultusunda en uygun çıktıyı sağlayan bir optimizasyon süreci desteklenmemektedir. Bu nedenle, tasarım sürecinde kullanıcı müdahalesi büyük ölçüde gereklilik arz etmektedir.

Arazi ve konum tabanlı analizler, her iki benzetim aracında da arsanın coğrafi olarak tanımlanmasına ve çevresel verilerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Ancak bu analizlerin doğruluğu, araçların kullandığı harita altyapısının güncelliğine bağlıdır. Bu bağlamda, çevresel bağlamın sağlıklı değerlendirilebilmesi için harita verilerinin geçerliliği tasarımcı tarafından kontrol edilmelidir. İnceleme sonucunda, her iki aracın da güncel ve güvenilir bir harita altyapısı sunmadığı görülmektedir. Ayrıca, imar kuralları gibi yerel düzenlemelere doğrudan erişim imkânı bulunmamakta; bu nedenle ilgili verilerin tasarımcı tarafından manuel olarak tanımlanması gerekmektedir.

Çevresel ve performans analizleri açısından değerlendirildiğinde, Autodesk Forma'nın sunduğu analiz çeşitliliği daha kapsamlıdır. Ancak, bazı analiz türlerinde gerekli veri setlerinin ve altyapının sağlanamaması, bu işlevlerin etkinliğini sınırlamaktadır. Örneğin, Forma'nın gürültü analizi özelliği, Türkiye özelinde gerekli veri altlığı bulunmadığı için uygulanamamıştır. Öte yandan, Spacio yalnızca aracın sunduğu sınırlı sayıda analizle yetinmekte, bu da çevresel değerlendirme kapasitesini daraltmaktadır.

Fonksiyonel ve teknik özellikler bakımından değerlendirildiğinde, Spacio; kat planı üretimi, mimari eleman tanımlama gibi işlevlerle Autodesk Forma'dan farklılaşmaktadır. Autodesk Forma kütle temelli bir çalışma yapısına sahipken, Spacio daha işlevsel ve özelleşmiş bir kullanıcı arayüzü sunmaktadır. Her iki araç da fonksiyon tanımlama, zonlama açısından temel işlevleri yerine getirebilmektedir.

BIM ve yazılım entegrasyonu bağlamında, her iki araç da belirli dosya formatlarında dışa aktarım imkânı sunmaktadır. Ancak Autodesk Forma, "Send to Revit add-in" özelliği sayesinde Revit ile doğrudan entegrasyon kurabilmektedir. Buna karşın Spacio, doğrudan bir yazılımla entegre çalışmamakta; ancak tasarım verilerinin .ifc, .obj, .dxf ve .bim gibi yaygın formatlarda dışa aktarılmasına olanak tanıyarak, bu verilerin diğer yazılımlarda kullanılmasına imkân vermektedir. Bu nedenle, Spacio'nun entegrasyon kabiliyeti dolaylı bir biçimde ve sınırlı düzeyde gerçekleşmektedir.

İş birliği ve paylaşım olanakları açısından değerlendirildiğinde, Autodesk Forma; eş zamanlı çalışma, yorum yapma ve not alma gibi iş birliğini destekleyen çeşitli araçlar sunmaktadır. Bu sayede, birden fazla tasarımcının aynı proje üzerinde eş zamanlı olarak çalışması, yorum eklemesi ve not bırakması mümkün hâle gelmektedir. Öte yandan, Spacio'nun eş zamanlı çalışma özelliği, kullanılan sürümün bu işlevi desteklememesi nedeniyle bu çalışma kapsamında deneyimlenememiştir. Bu durum değerlendirme tablosunda "NA" (kriterler için altyapı veya gerekli bilgi sağlanamamaktadır) olarak belirtilmiştir.

Verimlilik ve performans ölçütleri açısından değerlendirildiğinde, her iki araç da erken evre tasarım süreçlerine uygun olup hızlı geribildirim sağlayarak tasarım ve işlem süresini azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak, proje karmaşıklığı veya büyüklüğünün artması durumunda işlem hızında belirli değişkenlikler gözlemlenebilmektedir. Her iki aracın da bulut tabanlı yapıya sahip olması, zaman zaman benzer hata durumlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Çıktı kalitesi ve raporlama bağlamında Spacio'nun sunduğu görsel arayüz, Autodesk Forma'ya göre farklılık göstermektedir. Görselleştirme açısından Spacio daha güçlü sunumlar üretmektedir. Autodesk Forma ise "*board*" seçeneği ile analiz ve verileri sunum formatına dönüştürebilmektedir.

Sınırlılıklar ve kısıtlamalar bağlamında her iki platform da tasarım özgürlüğü açısından belirli düzeyde esneklik sunmaktadır. Ancak yerelleştirme konusunda, özellikle Türkçe dil desteği ve yerel mevzuatla uyumluluk gibi alanlarda çeşitli sınırlılıklar mevcuttur. Her iki araç için de ücretsiz kullanım seçenekleri bulunmakla birlikte, bu olanakların kapsamı farklılık göstermektedir. Autodesk Forma, kullanıcılarına 30 günlük bir deneme süresi sunarken; Spacio yalnızca tek bir proje üzerinde çalışmaya imkân tanımakta ve bu kapsamda sınırlı sayıda özelliği kullanıma açmaktadır. Bununla birlikte, her iki platform da öğrencilere yönelik ücretsiz erişim olanakları sağlamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Autodesk Forma ve Spacio, erken tasarım sürecinde tasarımcılara çeşitli analiz ve karar destek olanakları sunan benzetim araçlarıdır. Her iki platform da temel düzeyde kullanım kolaylığı, çevresel veri girişi, üretken tasarım önerileri ve sınırlı analiz yetkinlikleri sağlamaktadır. Ancak, detay düzeyi, kapsam genişliği ve yazılım entegrasyonu gibi yönlerden belirgin farklılıklar göstermektedir. Autodesk Forma; kütle temelli analiz çeşitliliği ve Revit ile sağladığı entegrasyon olanaklarıyla öne çıkarken, Spacio fonksiyon tanımlama, kat planı üretimi ve görselleştirme açısından daha özelleşmiş çözümler sunmaktadır. Her iki araç da yerel mevzuat erişimi, Türkçe dil desteği ve güncel harita altyapısı gibi konularda çeşitli sınırlılıklar içermektedir. Tasarımcının kullanım deneyimine dayanan bu karşılaştırmalı değerlendirme, araçların erken evre tasarıma sundukları katkı ve sınırlılıkları sistematik biçimde ortaya koymakta; böylece tasarımcıların gereksinimlerine uygun araç seçimi yapmalarına yönelik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bununla birlikte, araçların etkililiği ve kullanım sürecindeki verimlilik, tasarımcının önceki deneyimleri ve teknik yetkinliği gibi bireysel faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Çizelge 4.21. Autodesk Forma ve Spacio'nun karşılaştırılması

Kriterler	Autodesk Forma	Spacio
Kullanım Kolaylığı ve Öğrenme Eğrisi		
Arayüz Kullanımı (*User Friendly Interface*)	+	+
Dokümantasyon ve Rehberlik	+	+
Kullanıcı Etkileşimi	+	+
Yapay Zeka ve Otomasyon Kabiliyeti		
Üretken Tasarım Önerisi	+	+

Çizelge 4.21. (devam) Autodesk Forma ve Spacio'nun karşılaştırılması

Analiz Desteği ile Yönlendirme	+	+
Optimizasyon Yeteneği	-	-
Arazi ve Konum Tabanlı Analizler		
Gerçek Konum Bilgisi	+	+
Çevresel Bağlam Bilgisi	+	+
İmar Kurallarına Erişim	-	-
Çevresel ve Performans Analizleri		
Güneş Saatleri Analizi	+	+
Güneşlenme Potansiyeli Analizi	+	+
Rüzgar Analizi	+	-
Mikro İklim Analizi	+	-
Gömülü Karbon Analizi	+	-
Gürültü Analizi	NA	-
Güneş Enerjisi Analizi	+	-
Güneş Radyasyonu Analizi	-	+
Görüş Açısı (Manzara) Analizi	-	+
Fonksiyonel ve Teknik Özellikler		
Kat Planı Üretimi	-	+
Kat Yüksekliği ve Kat Sayısı Kontrolü	+	+
Fonksiyon Dağılımı	+	+
Zonlama ve Parsel Alt Bölümlendirme	+	+
Mimari Elemanların Tanımlanması	-	+
Kütle Modelleme	+	+
BIM ve Yazılım Entegrasyonu		
Dosya Formatı Desteği	+	+
BIM Araçları ile Uyumu	+	K
Modelin Parametrikliği	K	-
İş birliği ve Paylaşım		
Eş Zamanlı Çalışma İmkanı	+	NA
Versiyon/Sürüm Uyumu	+	+
Yorum Yapma ve Not Alma	+	-
Verimlilik ve Performans Ölçütleri		
Tasarım Süresi	+	+
İşlem Hızı	+	+
Hata Toleransı / Stabilite	+	+

Çizelge 4.21. (devam) Autodesk Forma ve Spacio'nun karşılaştırılması

Çıktı Kalitesi ve Raporlama		
Analiz Raporları	K	K
Görselleştirme Kalitesi	K	+
Sunuma Uygun Dokümanlar	+	+
Sınırlılıklar ve Kısıtlamalar		
Tasarım Özgürlüğü	+	+
Yerelleştirme (Türkçe, İmar)	-	-
Ücretsiz kullanım/Lisans	+	+
+: kriterleri sağlamaktadır	-: kriterleri sağlamamaktadır	
K: kriterleri kısmen sağlamaktadır	NA: kriterler için altyapı veya gerekli bilgi sağlanamamaktadır.	

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Erken tasarım evresi, mimari sürecin henüz netleşmediği; çok sayıda olasılığın eş zamanlı olarak değerlendirildiği dinamik bir süreçtir. Bu süreçte verilen kararların yalnızca yapı formunu değil; çevresel uyumu, işlevsel organizasyonu ve gelecekteki inşaat sürecini de etkilemektedir. Dolayısıyla, bu evre estetik ve mekânsal tercihlere olduğu kadar, sürdürebilirlik, yerel iklim koşulları ve kullanıcı ihtiyaçları gibi çoklu kriterlere de duyarlı bir tasarım yaklaşımını gerektirmektedir.

Bu bağlamda erken tasarım süreci, yalnızca bir tasarım üretimi değil; aynı zamanda çok kriterli bir karar verme süreci olarak değerlendirilmelidir. Bu süreçte kullanılan araçların, yalnızca modelleme değil; farklı senaryolar arasında kıyaslama yapabilme, çevresel ve fonksiyonel sonuçları öngörebilme ve tasarımcıyı yönlendirebilme yeteneklerine sahip olması beklenmektedir. Dolayısıyla benzetim araçları, sadece hız ve verimlilik değil, aynı zamanda stratejik ve bilinçli karar üretimi açısından da kritik bir rol üstlenmektedir.

Günümüzde benzetim araçlarının gelişimi, mimari tasarım sürecini teknik analizlerin ötesine taşıyarak, veri-temelli bir karar destek mekanizması haline dönüştürmüştür. Güneşlenme, gölgeleme, enerji kullanımı, rüzgar etkisi gibi çevresel faktörleri görselleştirebilen bu araçlar, sezgisel tasarım kararlarını nicel verilerle destekleyerek tasarım sürecine daha bilinçli ve bütüncül bir yaklaşım kazandırmaktadır. Öte yandan her benzetim aracının sunduğu olanaklar; algoritmaları, kullanıcı arayüzü, yapay zeka desteği ve görselleştirme kabiliyeti bakımından farklılık göstermektedir. Bu durum, araçların tasarıma sunduğu katkının yalnızca teknolojik yeterlilikten değil, aynı zamanda tasarımcıyla kurduğu etkileşim biçiminden de etkilendiğini göstermektedir. Dolayısıyla benzetim araçları, yalnıza analiz yapan sistemler değil, aynı zamanda tasarım sürecinin yönünü, temposunu ve niteliğini etkilemektedir.

Bu tez çalışması, mimari tasarımın sürecinin en üretken hem de en belirsiz aşaması olan erken tasarım evresinde benzetim araçlarının sunduğu imkanları incelemeyi ve bu araçların tasarım kararlarını şekillendirme sürecindeki etkilerini tasarımcı merkezli bir bakış açısıyla ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışmada, aynı toplu konut tasarımı senaryosu temel alınarak tasarımcının Autodesk Forma ile Spacio araçlarını kullanım deneyimine dayalı

olarak değerlendirme yapılmıştır. Her iki araç belirlenen kriterler doğrultusunda, tasarımcı deneyimine göre değerlendirilmiştir.

İki araç arasında veri sunum biçimi, detay düzeyi ve analiz kapsamı açısından farklılıklar bulunmaktadır. Autodesk Forma, güneş, gölge, rüzgar, mikro iklim ve gömülü karbon gibi çevresel ve performans odaklı analizlerde kapsamlı veri sağlayarak; parametrik modelleme ile BIM uyumluluğu aracılığıyla teknik ve analitik bir tasarım yaklaşımını desteklemektedir. Bu özellikleri sayesinde tasarımcıya veri temelli, rasyonel ve ölçülebilir tasarım kararları alma olanağı sunmaktadır. Ancak, mimari detaylara inememesi, kat planı üretme yetisinin bulunmaması ve yerelleştirme eksikliği gibi sınırlılıkları da söz konusudur. Öte yandan, Spacio; yapay zeka destekli öneri sistemleri, hızlı alternatif üretme kapasitesi, görselleştirme yetkinliği ve kullanıcı dostu arayüzüyle, erken tasarım evresinde üretici düşünceyi teşvik eden bir yapı sergilemektedir. Fonksiyonel zonlama ve otomatik kat planı üretme özellikleri aracılığıyla süreci hızlandırmakta; sezgisel karar verme süreçlerini desteklemektedir. Bununla birlikte, çevresel analiz derinliği, parametrik müdahale olanakları ve BIM entegrasyonu bakımından daha sınırlı kalabilmektedir. Bu araçlar arasındaki farklar, tasarımcının analizleri nasıl yorumladığını, hangi veri setlerine öncelik verdiğini ve karar alma hızını doğrudan etkilemektedir. Bazı araçlar daha ayrıntılı analiz ve özelleştirme imkânı sunarken, bazıları hızlı ve sezgisel kararlar alınmasını teşvik etmektedir. Bu durum, tasarımcının profiline ve yaklaşım biçimine bağlı olarak farklı sonuçlar doğurabilmektedir.

Her iki benzetim aracı da toplu konut projelerinde vaziyet planı kararlarını etkileyebilecek çok boyutlu veri çıktıları üretmektedir. Güneşlenme süresi, gölge oluşumu, rüzgar yönü ve ısı konforu gibi çevresel analizler; yapı kütlelerinin konumlandırılması ve yönlendirilmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu tür veriler, toplu konut projelerinde kütleler arası mesafelerin belirlenmesi, bina yönlenmeleri ile ortak kullanım alanlarının yerleşimi gibi vaziyet planı kararlarına hem nicel hem de nitel temeller sunmaktadır. Bu tür veri temelli geri bildirimler, özellikle arsa kullanımı ve yoğunluk dengesi gibi toplu konut projelerinde kritik olan parametrelerin daha rasyonel temellere dayandırılmasını mümkün kılmıştır. Böylece karar alma süreci, sezgilere dayalı olmaktan çıkmakta; ölçülebilir performans verileri doğrultusunda şekillenmektedir.

Bununla birlikte, her iki aracın da toplu konut üretiminde karşılaşılabilecek bazı sınırlılıklar barındırdığı da tespit edilmiştir. Örneğin, analiz kapsamının projeye özgü bağlamsal

gereklilikleri tam olarak karşılayamaması, mimari detaylara inememesi, kat planı üretiminde esnekliğin sınırlı olması ya da yerel mevzuatlarla doğrudan bütünleşememesi gibi durumlar, araçların sunduğu katkının proje ölçeğine ve bağlamına göre değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye bağlamında değerlendirildiğinde, toplu konut üretiminin çoğunlukla standart tip projelere ve maliyet odaklı yaklaşımlara dayanması, bu araçların sunduğu analiz-temelli karar destek potansiyelinin uygulamada sınırlı kalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilirlik ve iklim duyarlılığı gibi kriterlerin giderek önem kazandığı güncel planlama ve tasarım yaklaşımları, bu araçların gelecekte daha bütüncül biçimde entegre edilebilmesi için bir zemin sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma dijital benzetim araçlarının toplu konut projelerinde erken tasarım sürecine hem yapısal hem de işlevsel düzeyde katkı sağlayabileceğini ortaya koyarken; bu katkının araçların teknik kapasitesine olduğu kadar, tasarım sürecinin organizasyon biçimine, proje bağlamına ve uygulama pratiğine de bağlı olduğunu göstermektedir.

Benzetim araçlarının hangi tasarım senaryolarında etkili biçimde kullanılabileceği ve hangi durumlarda sınırlı kalabileceği üzerine de genel bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen benzetim araçlarının tasarım sürecine katkıları, belirli kullanım senaryoları ve bağlamsal koşullarla doğrudan ilişkilidir. Autodesk Forma ve Spacio gibi araçlar, özellikle erken tasarım evresinde kavramsal düzeyde yönlendirme sağlamak, çevresel veriye dayalı yerleşim kararlarını değerlendirmek, görselleştirilmiş geri bildirimler üretmek ve senaryo karşılaştırmaları yapmak açısından işlevsel araçlardır. Bu bağlamda; kentsel yerleşim, toplu konut, karma kullanımlı projeler, master plan önerileri ve çevresel etki analizlerinin kritik olduğu tasarımlar için bu tür araçlar anlamlı katkılar sunabilmektedir. Ayrıca, zaman kısıtının olduğu, hızlı alternatif üretiminin beklendiği ya da tasarım kararlarının farklı disiplinlerle ortak yürütüldüğü işbirlikçi süreçlerde, bu araçların sağladığı anlık veri erişimi ve görselleştirme kabiliyeti avantajlı olmaktadır.

Buna karşın, bu araçların mimari detay düzeyine inememesi, kat planı üretme ve özelleştirme esnekliğinin sınırlı olması, yerel mevzuat ve yönetmeliklerle doğrudan bütünleşememesi gibi teknik sınırlılıklar; bu araçların, uygulama projesi aşamasında, detay çözümlemelerinin ön planda olduğu projelerde, karmaşık programlama gerektiren yapı sistemlerinde veya mimari estetik üzerinden şekillenen özgün konsept çalışmalarında yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, üretken tasarım önerilerinin çoğu zaman genel algoritmalara dayanması, bağlamdan kopuk veya gerçek proje gereksinimlerine tam

olarak cevap vermeyen öneriler üretme riskini barındırmaktadır. Bu durum, tasarımcının sezgisel ve bağlamsal değerlendirmesini ön plana çıkaran projelerde daha dikkatli bir kullanım gerektirmektedir.

Dolayısıyla, benzetim araçlarının etkili biçimde kullanılabilmesi için, tasarım sürecinin ihtiyaçlarının doğru analiz edilmesi; projenin ölçeği, bağlamsal gereklilikleri, karar aşamasının niteliği ve tasarımcının yöntemsel yaklaşımı gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu araçlar, tüm süreçleri kapsayan çok amaçlı platformlar olmaktan ziyade, erken karar alma süreçlerine odaklı yönlendirici ve destekleyici sistemler olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışma doğrultusunda hem uygulayıcı profesyonellere hem de akademik araştırmacılara yönelik çeşitli ileriye dönük çıkarımlar yapılabilmektedir. Özellikle, benzetim araçlarının erken tasarım aşamasında sağladığı katkıların; yapı türü, bağlamsal özellikler ve iklim koşulları gibi değişkenler çerçevesinde yeniden ele alınması, bu araçların potansiyelini daha açık biçimde ortaya koyacaktır. Bu kapsamda, kamusal yapılar, eğitim yapıları veya karma kullanımlı kompleksler gibi farklı yapı tiplerine yönelik karşılaştırmalı analizlerin gerçekleştirilmesi hem akademik araştırmalar hem de profesyonel uygulamalar açısından anlamlı ve uygulanabilir sonuçlar doğurabilmektedir.

Bunun yanı sıra, tasarım süreciyle araçların etkileşimini daha derinlemesine anlayabilmek için, kullanıcı arayüzlerinin sezgisel yönlendirici etkisini ve tasarımcının karar alma biçimiyle kurduğu ilişkiyi merkeze alan niteliksel araştırmalara gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca, benzetim araçlarının yerel mevzuat, planlama ilkeleri ve ruhsat süreçleriyle entegre olabilecek şekilde geliştirilmesi, bu teknolojilerin gerçek proje ortamlarında daha etkin ve pratik biçimde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Buna ek olarak, bu araçların profesyonel mimarlık ofislerinde kullanımının, yani gerçek tasarım süreci içerisinde ne düzeyde işlevsel olduklarının, iş akışına entegrasyonlarının ve karar üretme süreçlerine etkilerinin uygulamalı araştırmalarla değerlendirilmesi önemli olmaktadır. Bu çalışmalar, yazılımların yalnızca akademik bir araç değil, aynı zamanda sektörel düzeyde uygulanabilir ve sürdürülebilir tasarım kararlarını destekleyen sistemler olarak değerlendirilmesini mümkün kılacaktır.

Gelecekte benzetim araçlarının yapay zekâ, büyük veri, coğrafi bilgi sistemleri ve artırılmış gerçeklik gibi gelişen teknolojilerle bütünleştirilmesi, erken tasarım süreçlerinin daha çok boyutlu, etkileşimli ve dinamik bir yapıya evrilmesini mümkün kılacaktır. Bu doğrultuda geliştirilecek esnek, kullanıcı dostu ve eğitsel özellikler taşıyan platformlar hem profesyonellerin hem de mimarlık öğrencilerinin erişimine olanak tanıyarak dijital tasarım kültürünün daha geniş ölçekte benimsenmesini ve yaygınlaşmasını teşvik edecektir.

KAYNAKLAR

Aksamija, A. (2015). A strategy for energy performance analysis at the early design stage: predicted vs. Actual building energy performance. *Journal of Green Building*, *10*(3), 161-176.

Aksoy, E. (1987). *Mimarlıkta tasarım bilgisi* (1. baskı), Ankara: Hatiboğlu Yayınevi.

Arar, Ü. *Yapı bilişi modellemesinde erken evre mimari tasarım ve yerel veri ilişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Archer, B. (1984). Systematic method for designers. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 57-82.

Armstrong, J. (2008). *Design matters: the organisation and principles of engineering design.* London: Springer Verlag London Limited, 12-13.

Attia, S., El-Degwy, A. ve Attia, M. (2024). Usability and fitness testing for building performance simulation tools. *Journal of Building Performance Simulation*, 17(4), 460-479.

Attia, S., Gratia, E., De Herde, A. ve Hensen, J. L. (2012). Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and buildings*, 49(1), 2-15.

Attia, S., Hensen, J. L., Beltrán, L. ve De Herde, A. (2012). Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 155-169.

Attia, S. G., Beltrán, L., De Herde, A. ve Hensen, J. L. M. (2009, July 27-30). *Architect friendly: a comparison of ten different building performance simulation tools.* 11th International IBPSA Building Simulation Conference (BS 2009), Glasgow, UK.

Bernett, A. ve Dogan, T. (2019, September 2-4). *Early design decision-making framework based on multi-objective building performance simulation incorporating energy, carbon footprint and cost*. Proceedings of Building Simulation 2019, Rome, Italy.

Bragança, L., Vieira, S. M. ve Andrade, J. B. (2014). Early stage design decisions: the way to achieve sustainable buildings at lower costs. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 1-8.

Canbay Türkyılmaz, Ç. (2010). *Mimari tasarım eğitiminde erken tasarım evresinde bilginin dönüşümünün irdelenmesi ve bir model önerisi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Casakin, H. (2008). Factors of design problem-solving and their contribution to creativity. *Open House International*, 33(1), 46-60.

Cheung, F. K., Rihan, J., Tah, J., Duce, D. ve Kurul, E. (2012). Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models. *Automation in Construction*, 27(1), 67-77.

Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. London: Springer Verlag London Limited.

Çavuşoğlu, Ö. H. ve Çağdaş, G. (2020). Bina bilgi modelleme ile erken tasarım aşamasında karar verme süreçlerinin sürdürebilirlik bağlamında değerlendirilmesi. *Journal of Computational Design*, 1(2), 1-26.

Dervishaj, A. ve Gudmundsson, K. (2025). Sunlight autonomy for buildings: a new methodology for evaluating sunlight performance in urban and architectural design. *Leukos*, 21(1), 34-64.

Do, E. Y. L. (2002). Drawing marks, acts, and reacts: toward a computational sketching interface for architectural design. *AI EDAM*, 16(3), 149-171.

Eastman, C. (2009). Automated assessment of early concept designs. *Architectural Design*, 79(2), 52-57.

Elbeltagi, E., Wefki, H., Abdrabou, S., Dawood, M. ve Ramzy, A. (2017). Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis. *Journal of Building Engineering*, 13(1), 127-136.

Gerber, D. J. ve Lin, S. H. E. (2014). Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture. *Simulation*, 90(8), 936-959.

Gercek, M. ve Arsan, Z. D. (2019). Energy and environmental performance based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 48(1), 101580.

Graham, J., Berardi, U., Turnbull, G. ve McKaye, R. (2020). Microclimate analysis as a design driver of architecture. *Climate*, 8(6), 72.

Han, T., Huang, Q., Zhang, A. ve Zhang, Q. (2018). Simulation-based decision support tools in the early design stages of a green building—A review. *Sustainability*, 10(10), 3696.

Harputlugil, G. U. (2007). Mimari tasarım süreci içinde bina enerji simülasyon programı uygulamalarının yeri. *Teknoloji Dergisi*,10(4), 249-265.

İnternet: TDK. URL-1: https://sozluk.gov.tr/. Erişim Tarihi: 24.04.2025.

İnternet: Mimarlar Odası. URL-2: http://mo.org.tr/. Erişim Tarihi: 25.04.2025.

İnternet: Royal Instute of British Architects. URL-3: https: //www. architecture.com/ knowledge-and-resources/resources-landing-page/riba-plan-of-work. Erişim Tarihi: 25.04.2025.

İnternet: The Amerikan Instute of Architects. URL-4: https://www.aia.org/resource-center/schematic-design-phase-quality-management. Erişim Tarihi: 25.04.2025.

İnternet: Sketchup Sefaira. URL-5: https://www.sketchup.com/en/products/sefaira. Erişim Tarihi: 5.07.2025.

İnternet: Sketchup Sefaira. URL-6: https://extensions.sketchup.com/extension/6a0c7410-10ed-4bdd-bb68-6b43c3e36a9a/sefaira-extension-for-sketch-up. Erişim Tarihi: 5.07.2025.

İnternet: Laydbug Tools. URL-7: https://www.ladybug.tools/. Erişim Tarihi: 5.07.2025.

İnternet: Laydbug Tools. URL-8: https://www.youtube.com/. Erişim Tarihi: 5.07.2025.

İnternet: Autodeks Forma. URL-9: https://help.autodeskforma.com/en/articles/6995661-introduction-to-area-metrics. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Autodesk Forma. URL-10: https://www.autodesk.com/tr/products/forma/environmental-impact-analysis. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Autodeks Forma. URL-11: https://blogs.autodesk.com/forma/2023/06/06/formas-rapid-wind-analysis-offers-instant-insights-into-wind-conditions/. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Autodesk Forma. URL-12: https://blogs.autodesk.com/forma/2023/05/08/updated-microclimate-analysis-allows-intuitive-insights-perceived-temperature/. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Autodeks Forma. URL-13: https://blogs.autodesk.com/forma/2024/04/02/embodied-carbon-analysis/. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Autodeks Forma. URL-14: https://blogs.autodesk.com/forma/2023/09/18/detailed-noise-analysis-helps-architects-do-groundwork-for-noise-assessments/. Erişim Tarihi: 17.04.2025.

İnternet: Spacio. URL-15: https://www.test.spacio.ai/blog/spacio-ai-design-platform-for-architects-reuse-data-reduce-waste. Erişim Tarihi: 18.04.2025.

İnternet: Spacio. URL-16: https://www.test.spacio.ai/blog. Erişim Tarihi: 18.04.2025.

İnternet: Toki. URL-17: https://www.toki.gov.tr/haber/toki-15-milyon-konuta-ulasti. Erişim Tarihi: 19.07.2025.

İnternet: Manisa, Türkiye proje alanı. URL-18: https://earth.google.com/. Erişim Tarihi: 18.05.2025.

İnternet: TÜİK, 2024 yılı yapı ruhsatı verileri . URL-19: https://data.tuik.gov.tr/. Erişim Tarihi: 19.07.2025.

Jones, C., (1970), *Design Methods* (2. Baskı). London: Wiley-Interscience Ltd.

Kang, O. ve Kim, S. (2021). Daylighting analysis and simulation tools in architectural design-review of tools and compatibility with architectural CAD platforms. *KIEAE Journal*, 21(1), 13-22.

Košir, M., Capeluto, I. G., Krainer, A. ve Kristl, Ž. (2014). Solar potential in existing urban layouts-Critical overview of the existing building stock in Slovenian context. *Energy Policy*, 69(1), 443-456.

Lawson, B., 2004. *What designers know*, Burlington: Architectural Press, 64-83.

Lawson, B., 2005. *How Designers Think*, Great Britain: Architectural Press, 121-125.

Lee, K. S., Lee, J. W. ve Lee, J. S. (2016). Feasibility study on the relation between housing density and solar accessibility and potential uses. *Renewable Energy*, 85(1), 749-758.

Lechner, N. (2001). *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*, Hoboken: John Wiley and Sons.

Li, L., Qi, Z., Ma, Q., Gao, W. ve Wei, X. (2024). Evolving multi-objective optimization framework for early-stage building design: improving energy efficiency, daylighting, view quality, and thermal comfort. *Building Simulation*, 17(11), 2097-2123.

Li, X., Ying, Y., Xu, X., Wang, Y., Hussain, S. A., Hong, T. ve Wang, W. (2020). Identifying key determinants for building energy analysis from urban building datasets. *Building and Environment*, 181(1), 107114.

Li, Z., Chen, H., Lin, B. ve Zhu, Y. (2018). Fast bidirectional building performance optimization at the early design stage. *Building Simulation*, 11(4), 647-661.

Liu, H., Rysanek, A., Frisque, A. ve Chan, J. (2020, May 25-27). *A case of high-performance building form design workflow informed by computational simulation*. Proceedings of the 11th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Vienna.

Loh, E., Crosbie, T., Dawood, N. ve Dean, J. (2010). A framework and decision support system to increase building life cycle energy performance. *Journal of Information Technology in Construction*, 15(1), 337-353.

Lu, S., Luo, Y., Gao, W. ve Lin, B. (2024). Supporting early-stage design decisions with building performance optimisation: Findings from a design experiment. *Journal of Building Engineering*, 82(1), 108298

Macmillan, S., Steele, J., Austin, S., Kirby, P. ve Spence, R. (2001). Development and verification of a generic framework for conceptual design. *Design Studies*, 22(2), 169-191.

Mavahebi Tabatabai, G., Tahsildoost, M., Ardekani, A. ve Zomorodian, Z. S. (2025). Optimizing urban block layouts and density distribution: a generative design framework for neighborhood performance. *Smart and Sustainable Built Environment*.

Morganti, M., Salvati, A., Coch, H. ve Cecere, C. (2017). Urban morphology indicators for solar energy analysis. *Energy Procedia*, 134(1), 807-814.

Mueller, V. (2009, May 11-12). *Conceptual design tools: establishing a framework for specification of concept design tools.* Proceedings of Arab Society for Computed Aided Architectural Design (ASCAAD), Manama.

Mueller, V. ve Iordanova, I. (2011). *Rethinking concept design tools: High-level requirements for concept design tools.* CAADRIA 2011 Conference Proceedings, Newcastle.

Natanian, J., Kastner, P., Dogan, T. ve Auer, T. (2020). From energy performative to livable Mediterranean cities: An annual outdoor thermal comfort and energy balance cross-climatic typological study. *Energy and Buildings*, 224(1).

Onat, E., 2006. *Mimari tasarımla yüz yüze gelmek, mimarlığa yolculuk* (1. baskı), İstanbul: Yem Yayın, 111-119-134.

Orhon, A. V. ve Altın, M. (2017). Mimari sürdürülebilirlik için bir değerlendirme aracı olarak benzetim. *Tesisat Mühendisliği*, 158(1), 5-13.

Østergård, T., Jensen, R. L. ve Maagaard, S. E. (2016). Building simulations supporting decision making in early design–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61(1), 187-201.

Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., ... ve Yuan, X. (2023). Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies. *Advances in Applied Energy*, 10(1), 100135.

Petersen, S. (2011). *Simulation-based support for integrated design of new low-energy office buildings*, Doctoral Dissertation, Technical University of Denmark, Denmark.

Petersen, S. ve Svendsen, S. (2010). Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, 42(7), 1113-1119.

Płoszaj-Mazurek, M. ve Ryńska, E. (2024). Artificial intelligence and digital tools for assisting low-carbon architectural design: merging the use of machine learning, large language models, and building information modeling for life cycle assessment tool development. *Energies,* 17(12), 2997.

Purup, P. B. ve Petersen, S. (2020). Research framework for development of building performance simulation tools for early design stages. *Automation in Construction*, 109(1), 102966.

Ratti, C., Raydan, D. ve Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1), 49-59.

Sanaieian, H., Tenpierik, M., Van Den Linden, K., Seraj, F. M. ve Shemrani, S. M. M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38(1), 551-560.

Säwén, T., Kalagasidis, A. S. ve Hollberg, A. (2024). Critical perspectives on life cycle building performance assessment tool reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 197(1), 114407.

Shahin, M., Babar, M. A. ve Chauhan, M. A. (2020). Architectural design space for modelling and simulation as a service: a review. *Journal of Systems and Software*, 170(1), 110752.

Singh, M. M., Deb, C. ve Geyer, P. (2022). Early-stage design support combining machine learning and building information modelling. *Automation in Construction*, 136(1), 104147.

Singh, S. ve Kensek, K. (2014, September 10-12). *Early design analysis using optimization techniques in design/practice*. ASHRAE Conference Proceedings, Atlanta.

Solmaz, A. S. (2019). A critical review on building performance simulation tools. *Alam Cipta: International Journal on Sustainable Tropical Design Research & Practice*, 12(2), 7-21.

Tian, J. ve Xu, S. (2021). A morphology-based evaluation on block-scale solar potential for residential area in central China. *Solar Energy*, 221(1), 332-347.

Tunalı, S. (2012). *Enerji simülasyon metodlarının bina tasarım sürecinde destek sistemi olarak kullanılması.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wang, L., Janssen, P. ve Ji, G. (2024). Optimization-based design exploration of building massing typologies—EvoMass and a typology-oriented computational design optimization method for early-stage performance-based building massing design. *Frontiers of Architectural Research*, 13(6), 1400-1422.

Weytjens, L., Attia, S., Verbeeck, G. ve De Herde, A. (2011). The 'architect-friendliness' of six building performance simulation tools: A comparative study. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2(3), 237-244.

Wirz-Justice, A., Skene, D. J. ve Münch, M. (2021). The relevance of daylight for humans. *Biochemical Pharmacology*, 191(1), 114304.

Yıldız, B. ve Aktaş, B. (2017, July 14-15). *Mimari tasarım sürecinde karar verme: Bulanık mantık tabanlı cephe modeli önerisi.* Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Ankara.

Xu, S., Huang, Z., Wang, J., Mendis, T. ve Huang, J. (2019). Evaluation of photovoltaic potential by urban block typology: A case study of Wuhan, China. *Renewable Energy Focus*, 29(1), 141-147.



Gazili olmak ayrıcalıktır