



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ERKEN TASARIM EVRESİNDE SÜRÜ
ZEKASI ALGORİTMALARI İLE ENERJİ
ETKİN BİNA OPTİMİZASYONU İÇİN BİR
ARAÇ

Dilara AYTÜRK TULUKCU

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Dilara AYTÜRK TULUKCU tarafından hazırlanan “ERKEN TASARIM EVRESİNDE SÜRÜ ZEKASI ALGORİTMALARI İLE ENERJİ ETKİN BİNA OPTİMİZASYONU İÇİN BİR ARAÇ” adlı tez çalışması 23/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç. Dr. Selçuk SAYIN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Fatih CANAN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Sema ALAÇAM
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Ayşegül TEREÇİ
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması YÖK 100/2000 Doktora Burs programı ve TÜBİTAK 2011-Yurtiçi Doktora Burs programı kapsamında desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Dilara AYTÜRK TULUKCU

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ERKEN TASARIM EVRESİNDE SÜRÜ ZEKASI ALGORİTMALARI İLE ENERJİ ETKİN BİNA OPTİMİZASYONU İÇİN BİR ARAÇ

Dilara AYTÜRK TULUKCU

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Selçuk SAYIN
2.Danışman: Prof. Dr. Mustafa Servet KIRAN**

2025, 162 Sayfa

Jüri

**Danışman Doç. Dr. Selçuk SAYIN
Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Prof. Dr. Fatih CANAN
Doç.Dr. Sema ALAÇAM
Doç. Dr. Ayşegül TEREÇİ**

Enerji kaynaklarının tükenmesi küresel bir endişe haline gelmiş olup, enerji tüketiminin azaltılmasını zorunlu kılmaktadır. İnşaat süreci, enerji tüketiminin başlıca bileşenlerinden biri olduğundan, binaların tasarım aşamasından kullanım ömrüne kadar olan süreçte enerji verimliliğini artıran yöntemlerin geliştirilmesi elzemdir. Bu çalışma, bina tasarımında enerji verimliliğini önceliklendiren bir yaklaşımı benimsemektedir.

Enerji performansını değerlendirmek üzere geliştirilen simülasyon araçları henüz yaygın biçimde kullanılmamaktadır. Bunun nedenleri arasında, geleneksel tasarım yöntemlerine devam eden bağlılık ve enerji hesaplamalarının tasarım sürecine ek bir yük getirdiği algısı yer almaktadır. Çalışmanın amacı, tasarımcılara hızlı ve etkili alternatifler sunan bir araç geliştirmektir. Bu bağlamda, algoritma destekli tasarım ve enerji optimizasyonu yöntemleri kullanılmış, özellikle konut yapıları üzerinde imar kısıtları da dikkate alınmıştır.

Çalışmada, sürü zekası algoritmaları olan Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Ağaç-Tohum Algoritması (ATA/TSA) kullanılmış; üretken tasarım, enerji performans hesaplamaları ve optimizasyonun MATLAB ortamında gerçekleştirildiği normatif bir araç üretilmiştir. Geliştirilen aracın kararlılığını ve doğruluğunu test etmek amacıyla alan çalışması yapılmıştır. Alan çalışması kapsamında, farklı ölçeklerde üç konut yapısı (iki katlı, beş katlı ve on katlı) üzerinde araştırma yapılmıştır. Mevcut yapıların enerji tüketimi, geliştirilen tasarım araçlarıyla üretilen alternatif tasarımların enerji tüketimleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, iki katlı yapının alternatif tasarımında %11,51; beş katlı yapının alternatif tasarımında %5,93; on katlı yapının alternatif tasarımında ise %15,66 oranında enerji tüketiminde azalma sağlandığını göstermiştir. Seçilen algoritmaların optimizasyon süreleri ve enerji performans iyileştirme oranları karşılaştırıldığında, iki algoritmanın birbirini doğrular nitelikte ve benzer sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. İki algoritma arasında genel olarak en iyi performans, Yapay Arı Kolonisi algoritmasında gözlenmiştir.

Geliştirilen normatif araç, bina tasarım süreçlerinde enerji verimliliğini artırmayı hedefleyerek çevresel sürdürülebilirliğe anlamlı bir katkı sağlamaktadır. Bu aracın geliştirilmesindeki temel ilke, tasarımın erken evrelerinden itibaren enerji etkinliğini dikkate alan yaklaşımların benimsenmesidir;

bununla birlikte araç, kullanıcı dostu bir arayüzle desteklenmiştir. Gelecekte, bu araç farklı iklim koşullarına ve bina tipolojilerine uyarlanabilir ve yapay zekâ teknolojileriyle entegre edilmesi durumunda tasarımcılar açısından önemli bir karar destek sistemi hâline gelmesi öngörülmektedir. Ayrıca, kentsel planlamacılar tarafından da kullanılabilir bu sistem, enerji verimliliğini teşvik ederek şehir planlamasında yol gösterici bir rol üstlenme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinliği, Erken tasarım evresi, Enerji Performansı, Optimizasyon, Sürü zekası



ABSTRACT

Ph.D THESIS

OPTIMIZATION OF BUILDING FORM AND LAYOUT BASED ON ENERGY EFFICIENCY WITH PARAMETRIC DESIGN

Dilara AYTÜRK TULUKCU

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk SAYIN

Co-Advisor: Prof. Dr. Mustafa Servet KIRAN

2025, 162 Pages

Jury

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk SAYIN

Prof. Dr. Zerrin KORKMAZ

Prof. Dr. Fatih CANAN

Assoc. Prof. Dr. Sema ALAÇAM

Assoc. Prof. Dr. Ayşegül TEREÇİ

Depletion of energy resources has become a global concern, necessitating the reduction of energy consumption. Given that the construction process is one of the main contributors to energy use, it is imperative to develop methods that enhance energy efficiency throughout the entire building lifecycle, from the design stage to occupancy. This study adopts an approach that prioritizes energy efficiency in architectural design.

Although simulation tools developed to evaluate energy performance exist, their widespread adoption remains limited. This is largely due to a continued reliance on traditional design methods and the perception that energy calculations impose an additional burden on the design process. The aim of this study is to develop a tool that provides designers with rapid and effective design alternatives. In this context, parametric/algorithmic design and energy optimization methods have been utilized, with special attention given to zoning constraints in residential buildings.

In the study, swarm intelligence algorithms—Artificial Bee Colony (ABC) and Tree-Seed Algorithm (TSA)—were implemented. A normative tool integrating generative design, energy performance calculations, and optimization was developed within the MATLAB environment. To test the reliability and accuracy of the developed tool, a case study was conducted involving three residential buildings of different scales: two-story, five-story, and ten-story structures. The energy consumption of existing buildings was compared with the energy consumption of alternative designs generated using the developed tool. The results demonstrated a reduction in energy consumption of 11.51% in the two-story building, 5.93% in the five-story building, and 15.66% in the ten-story building. When comparing the optimization durations and energy performance improvement rates of the two algorithms, it was found that they produced consistent and similar outcomes. Overall, the Artificial Bee Colony algorithm exhibited the best performance.

The developed normative tool significantly contributes to environmental sustainability by aiming to increase energy efficiency in architectural design processes. The core principle guiding its development is the adoption of approaches that consider energy efficiency from the early design phases; additionally, the tool is supported by a user-friendly interface. In the future, the tool can be adapted to various climate conditions and building typologies, and if integrated with artificial intelligence technologies, it has the potential to become an indispensable decision-support system for designers. Moreover, the system can be

utilized by urban planners and holds the potential to play a guiding role in urban planning processes by promoting energy efficiency.

Keywords: Energy efficiency, Early design phase, Energy performance, Optimization, Swarm intelligence algorithms



ÖNSÖZ

Doktora sürecim boyunca, mimarlık disiplinine olan ilgimi daha da derinleştiren ve özellikle erken tasarım kararlarının enerji verimliliği üzerindeki etkilerine odaklanan bu tez çalışması, hem akademik hem de kişisel gelişimim açısından eşsiz bir yolculuk oldu. Bu süreçte geliştirdiğimiz özgün araç, algoritma destekli tasarımı, enerji simülasyonunu ve optimizasyonu aynı yapıda birleştirerek, mimari karar süreçlerine bütüncül ve yenilikçi bir katkı sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın, sürdürülebilir mimarlık anlayışına katkı sağlamasını ve gelecekte benzer yaklaşımlara ilham vermesini gönülden dilerim.

Bu süreci bilimsel titizlikle yönlendiren, çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimiyle yolumu aydınlatan, akademik birikimini cömert bir şekilde benimle paylaşan birinci danışmanım Doç. Dr. Selçuk SAYIN'a en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Disiplinler arası bakış açısını teşvik ederek çalışmamın teknik altyapısını şekillendiren, yapıcı katkılarıyla beni yüreklendiren ikinci danışmanım, Prof. Dr. Mustafa Servet KIRAN'a katkılarından ötürü minnettarım. Araç geliştirme ve uygulama süreçlerinde bilgi birikimi, teknik desteği ve özverili katkıları ile süreci kolaylaştıran Arş. Gör. Merve YILMAZ'a gönülden teşekkür ederim. Süreç boyunca titizlikle çalışmalarımı inceleyen ve tezin geliştirilmesinde büyük emekleri ile yanımda olan tez izleme komisyonu üyesi değerli hocalarım Prof. Dr. Fatih CANAN ve Doç. Dr. Sema ALAÇAM'a teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ile Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından sağlanan burslar ile desteklenmiştir. Bu kurumlara, akademik gelişimime ve araştırma sürecime sundukları maddi katkılardan dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Elbette bu süreç, yalnızca akademik bir çabanın ürünü değil, aynı zamanda yoğun bir duygusal emeğin de yansımasıdır. Hayatım boyunca manevi desteğini üzerimden eksik etmeyen, her zaman yanımda olan sevgili annem ALİYE AYTÜRK'e, saf sevgisi ve içten varlığıyla güç bulduğum ablam RABİA KARATAŞ'a, bana hayal kurmayı ve onları gerçekleştirmeyi öğreten eşim Mehmet Ali TULUKCU'ya ve varlıklarıyla hayatımı anlamlı kılan tüm aileme teşekkür ederim. Onların koşulsuz desteği, bu sürecin en sağlam dayanağı olmuştur. Aile olduğumuz andan itibaren desteklerini her zaman hissettiğim kıymetli TULUKCU ailesine de en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ve en özel teşekkürüm, tezimi kendilerine adadığım, kalbimin en kıymetli köşesinde yer alan yavrularım Hanzade Nil Tulukcu ve Cihangir Han Tulukcu'ya... Çalışmamı tamamlarken onlarla geçirmem gereken pek çok kıymetli zamandan ödün verdim. Bu süreçte sabırla beni bekledikleri, beni sevgileriyle güçlendirdikleri, gülüşleriyle dünyama ışık saçtıkları için her ikisine de içtenlikle teşekkür ediyorum. Aynı zamanda, tezimin onlarla geçiremediğim zamanlara değecek bir anlam taşımasını dileyerek, onlardan içtenlikle özür diliyorum. Çalışmanın gelecekte onlara ilham verecek bir iz bırakabilmesini umuyorum.

Çocuklarıma...

Dilara AYTÜRK TULUKCU

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Problemi.....	5
1.2. Çalışmanın Amacı.....	5
1.3. Çalışmanın Hedefleri	6
1.4. Çalışmanın Önemi	6
1.5. Çalışmanın Kapsamı	8
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	10
2.1. Erken Tasarım Evresi.....	10
2.2. Enerji Etkin Tasarım	13
2.3. Erken Tasarım Evresi ve Binalarda Enerji Etkinliği İlişkisi.....	15
2.3.1. Dış çevreye ilişkin parametreler	15
2.3.2. Bina ölçeğindeki parametreler	15
2.3.3. Bina biçim ve yerleşmelerine etki eden yasal düzenlemeler	20
2.4. Algoritma Destekli Tasarım.....	27
2.5. Bina Enerji Optimizasyonu.....	34
2.6. Enerji Etkin Tasarım, Algoritma Destekli Tasarım ve Optimizasyon Konuları ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	40
2.6.1. Enerji etkinliği	41
2.6.2. Algoritma destekli tasarım.....	41
2.6.3. Optimizasyon	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	51
3.1. Materyal	51
3.1.1. 2 katlı çalışma alanı	53
3.1.2. 5 katlı çalışma alanı	57
3.1.3. 10 katlı çalışma alanı	60
3.2. Yöntem.....	64
3.2.1. Veri toplama ve analiz	66
3.2.2. Enerji performans hesabı	68
3.2.3. Algoritmaların probleme uyarlanması ile enerji optimizasyonunun gerçekleştirilmesi	79
3.3. Bölüm Değerlendirmesi	96

4. ALAN ÇALIŞMASI VE ARAŞTIRMA BULGULARI	98
4.1. Alan Çalışmaları	99
4.1.1. 2 katlı çalışma alanı	100
4.1.2. 5 katlı çalışma alanı	105
4.1.3. 10 katlı çalışma alanı	110
4.2. Bölüm Değerlendirmesi	116
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	122
5.1. Sonuçlar	122
5.2. Öneriler	124
KAYNAKLAR	126
EKLER	142



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Asol,k	: (camla kaplı), mat bina elemanları ve özel elemanlara uygun olarak tayin edilen metrekaire cinsinden ifade edilen değerlendirilmekte olan bölge veya mekândaki verilen bir yönlenim ve eğiklik açısı ile yüzey k'nin etkin toplama alanıdır.
B	: En iyi uygunluk değerine sahip ağaç
btr,l	: İç ısı kaynağı l ile bitişik iklimlendirilmemiş mekân için tanımlanan ayarlama faktörüdür.
D	: Problem boyutu (değişken sayısı)
Es,k	: Metrekare başına watt cinsinden ifade edilen, verilen yönlenim ve eğiklik açısı ile yüzey k'nin toplama alanının metrekaresi başına hesaplamanın zaman adımı üzerine güneş ışıınının ortalama enerjisi, güneş ışımasıdır.
Fr,k	: Bina elemanı ve gökyüzü arasında biçim faktörüdür.
Fsh,ob,k	: Yüzey k'nin güneş etkin toplama alanı için dış engellerin gölgeleme azaltma faktörüdür.
f_i	: optimizasyon problemi için spesifik amaç fonksiyonu
$f(T_i)$	: optimizasyon problemi için spesifik amaç fonksiyonu
$f(x)$	: Amaç fonksiyonu
$f(x_i)$	: x_i çözümünün uygunluk değeri
$H_{j,max}$	: ilgili boyutun üst sınırı
Htr	: Bölgenin iletimle (uygulanabilir olduğunda) iç dış sıcaklık farkına göre ayarlanmış, watt/Kelvin cinsinden ifade edilen toplam ısı aktarım katsayısıdır.
Hve,k	: İç dış sıcaklık farkı (uygulanabilir olduğunda) için ayarlanmış watt/Kelvin cinsinden ifade edilen havalandırma ile toplam ısı aktarım katsayısıdır.
L_j	: j boyutu için tanımlı alt sınır değeri
$L_{j, min}$	: j. boyut için üst sınırı
N	: Popülasyon Boyutu (ATA)
Θ	: Celcius derecesi cinsinden ifade edilen ısıtma,soğutma için bina bölgesinin ayar sıcaklığıdır.
Θ_{ek}	: Celcius derecesi cinsinden ifade edilen dış ortamın sıcaklığıdır.
Qtr	: Yayılma yoluyla toplam ısı transferi hesaplaması
Qve	: Havalandırma yoluyla toplam ısı transferi hesaplaması
p_i	: i. çözümün seçilme olasılığı (ABC)
r	: [0,1] aralığında üretilmiş rastgele sayı
$r_{i,j}$	: ilgili boyutun rastgele aralıklarda oluşturulabilmesi için [0,1] aralığında rastgele üretilen bir sayı.
$s_{i,j}$	: i. Ağaç için üretilen tohumun j. boyutu
$s_{k,j}$	: i. ağaç için oluşturulacak tohumun j. boyutu
ST	: Araştırma eğilimi parametresi
T	: Mega saniye cinsinden ifade edilen hesaplama adımının süresidir.
U_j	: j. boyut için tanımlı üst sınır değeri
t	: İterasyon sayısı ya da zaman adımı
$T_{i,j}$	: popülasyondaki i. ağacın j. boyutunu

$T_{r,j}$	: popülasyondan rastgele seçilen ağacın j. boyutu
v_i	: İşçi arı tarafından üretilen aday çözüm (ABC)
$x_{b,j}$	: En gürbüz ağacın j. boyutundaki konumu
x_i	: Mevcut çözüm (yiyecek kaynağı)
$x_{i,j}$	: Popülasyondaki i, ağacın j. boyutundaki konumu
$x_{r,j}$	: Rastgele seçilen ağacın j. boyutundaki konumu
$\alpha_{i,j}$	: [-1,1] aralığında üretilmiş ölçekleme faktörü
Φ_{int}	: İç ısı kazancı hesabı
$\Phi_{int,k}$	: Watt cinsinden ifade edilen iç ısı kaynağı k'den saatlik ısı akısıdır.
$\Phi_{int,ul}$	: Bitişik iklimlendirilmemiş mekândaki iç ısı kaynağı l'den saatlik ısı akısıdır.
Φ_r, k	: Watt cinsinden ifade edilen bina elemanı k'den gökyüzüne olan ısı ışıınımından kaynaklanan fazladan ısı akısıdır.
$\Phi_{sol, k}$	: Güneşten ısı kazancının hesabı
δ	: [-1,1] aralığında üretilmiş ölçekleme katsayısı

Kısaltmalar

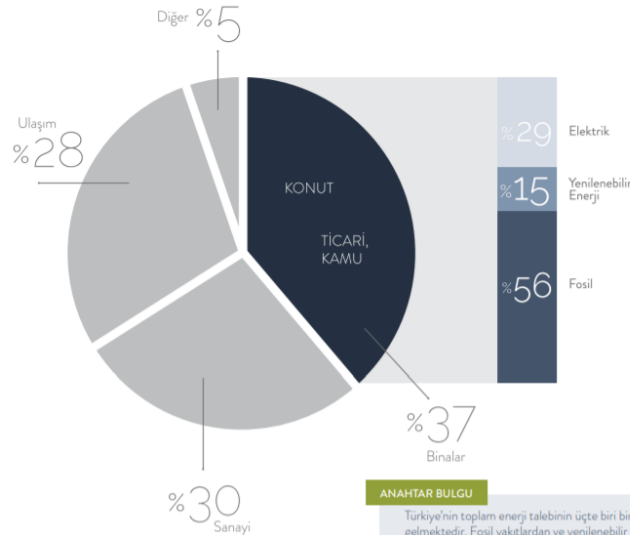
a	: Binanın Taban Oturum Alanının Kısa Kenarı
AB	:Avrupa Birliği
ABC	:Artificial Bee Colony (Yapay Arı Kolonisi)
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
AD	:Algorithmic Design (Algoritmik Tasarım)
AAD	:Algorithm Aided Design (Algoritma Destekli Tasarım)
ANN	:Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı)
ATA	:Ağaç Tohum algoritması
AYM	:Avrupa Yeşil Mutabakatı
b	: Binanın Taban Oturum Alanının Uzun Kenarı
CAD	:Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAAD	:Computer Aided Architectural Design (Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım)
CD	:Computational Design (Hesaplama Tasarım)
CEN	:International Organization for Standardization (Avrupa Standardizasyon Komitesi)
D	:Değişken
DHW	:Domestic Hot Water (Evsel Sıcak Su)
DOE	:United States Department of Energy (ABD Enerji Bakanlığı)
DWR	:Depth Width Ratio (Derinlik Genişlik Oranı)
EPC	:Energy Performance Calculator (Enerji Performans Hesaplayıcı)
EUI	:Energy Usage Density (Enerji Kullanım Yoğunluğu)
ETKB	:Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FES	:Fonksiyon Değerlendirmesi
GA	:Genetik Algoritma
GD	:Generative Design (Üretken Tasarım)
HVAC	:Heating Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
IEA	:International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
ISO	:International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
Itersyn	: İterasyon(Tekrarlama)

Lb	: Lower Bounds of the Parameters (parametrelerin alt sınırları)
Max_Fes	:Maximum Fonksiyon Değerlendirme Sayısı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MOPSO	:Multi-Objective Particle Swarm Optimization (Çok Amaçlı Parçacık Sürüsü Optimizasyonu)
NP	:Number of Food Sources (Yiyecek Kaynağı)
NPPF	:National Planning Policy Framework (Ulusal Planlama Politikası Sistemi)
o	: Binanın Yönelimi
PAİY	:Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği
PD	:Parametric Design (Parametrik Tasarım)
PGD	:Parsele Göre Değişken
RIBA	:Royal Institute of British Architects
S	:Sabit
SYGM	:Su Yönetim Genel Müdürlüğü
TSA	:Tree Seed Algorithm (Ağaç Tohum Algoritması)
U	:Isı Transfer Katsayısı
Ub	:Upper Bound of the Parameters (Parametrelerin üst sınırları)
w ₁	: Binanın 1. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
w ₂	: Binanın 2. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
w ₃	: Binanın 3. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
w ₄	: Binanın 4. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
WD	:Week Day (Hafta İçi)
WE	:Weekend (Hafta Sonu)
WHR	:Width Height Ratio (Pencere Genişlik-Yükseklik Oranı)
WWR	:Window Wall Ratio (Pencere Duvar Oranı)

1. GİRİŞ

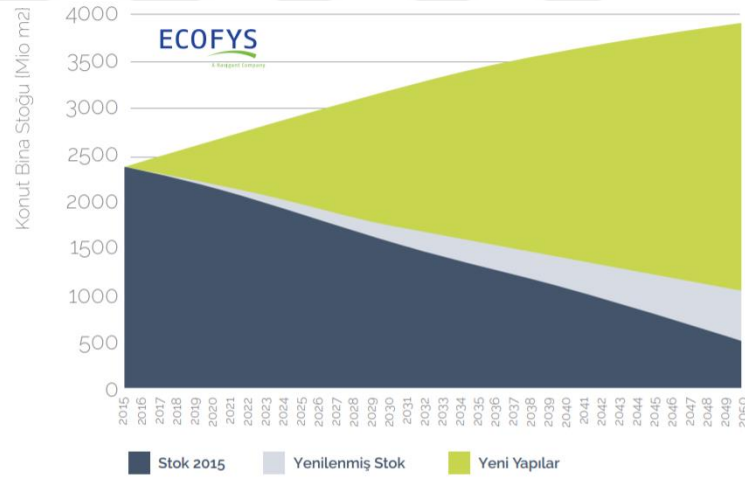
Günümüzde mimari tasarım süreci, artan karmaşıklık, çok ölçekli problem alanları ve değişen çevresel koşullar nedeniyle dönüşüm geçirmektedir. Geleneksel olarak sezgiye ve deneyime dayalı yürütülen tasarım yaklaşımlarının yerini, çok disiplinli bilgi alanlarını bir arada değerlendiren bütüncül metodolojiler almaktadır. Tasarımın erken aşamalarında edinilen ve yorumlanan bilgi, yalnızca tasarımın kavramsal çerçevesini oluşturmakla kalmamakta, aynı zamanda üretilecek mekânsal kurgunun enerji, çevre ve ekonomi eksenlerinde performansını doğrudan etkilemektedir (Canbay Türkyılmaz ve Polatoğlu, 2012). Bu bağlamda, bilgiye dayalı karar alma süreçlerinin, özellikle erken tasarım evresinde sistematik bir biçimde işletilmesi gerekliliği öne çıkmaktadır.

Bu dönüşüm, sadece tasarım eyleminin içsel dinamiklerinden değil, aynı zamanda küresel ölçekte enerji krizinin ve iklim değişikliğinin etkilerinden kaynaklanmaktadır. Günümüzde dünya genelinde artan nüfus, kentleşme hızı ve teknolojik gelişmeler, enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve enerjiye bağlı çevresel maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, binalar küresel nihai enerji tüketiminin %30'unu ve karbon emisyonlarının %26'sını oluşturmaktadır (IEA, 2023). Türkiye özelinde ise yapılaşma sektörü yıllık enerji tüketiminin yaklaşık %37'sini oluşturmaktadır (OECD/IEA, 2017). Bu oranlar, yapı sektörünün enerji verimliliği bağlamında ne denli kritik bir rol üstlendiğini açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketimi dağılımı (OECD/IEA, 2017)

Mevcut projeksiyonlar, 2050 yılına kadar dünya genelindeki bina stokunun yaklaşık %68 oranında artacağını öngörmektedir (Ecofys, 2018). 2030 yılına gelindiğinde, toplam bina stokunun yaklaşık yarısının yeni inşa edilmiş yapılardan oluşması beklenmektedir. Bu eğilim 2050 yılı itibarıyla daha da belirginleşecek; mevcut stokla kıyaslandığında, yapıların yaklaşık %80'inin yeni binalardan meydana geleceği tahmin edilmektedir (Şekil 1.2.). Bu artışın büyük bir kısmı yeni yapılaşma üzerinden gerçekleşeceği için, yeni inşa edilecek binalarda enerji verimliliğinin tasarım aşamasında güvence altına alınması, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından hayati bir zorunluluk hâline gelmektedir. Bu çerçevede, enerji verimliliği artık yalnızca teknik bir parametre değil; çevre politikaları, ekonomik planlama ve mimari tasarım pratiklerini doğrudan etkileyen çok boyutlu bir strateji alanı olarak ele alınmaktadır (Eruslu, 2022).



Şekil 1.2. Türkiye'nin konut bina stokundaki tahmini artışlar, 2015-2050 (Ecofys, 2018)

Enerji etkin yapı tasarımı için alınacak kararların en etkili biçimde yönlendirilebildiği aşama, tasarım sürecinin erken evresidir. Bu evrede yapılan seçimler –örneğin bina formu, yönlenme, boşluk-doluluk oranı, kabuk özellikleri ve açıklık yerleşimi gibi– enerji tüketimi üzerinde uzun vadeli etkiler yaratmaktadır. Ancak bu aşamada karar verme süreci genellikle sezgisel yürütülmekte ve performans verilerine dayalı geri besleme mekanizmaları yetersiz kalmaktadır. Bu noktada, sayısal simülasyonlar ve algoritma destekli optimizasyon yaklaşımları, tasarımcıya çok boyutlu çözümler yapma ve enerji açısından daha rasyonel tasarım alternatifleri oluşturma imkânı sunmaktadır (Nguyen ve diğ., 2014). Parametrik tasarım ve performans

değerlendirme araçlarının entegrasyonu, enerji verimliliği hedeflerine yönelik bilinçli karar alma süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Dünya genelinde bu farkındalık çeşitli strateji ve politikalarla desteklenmektedir. Avrupa Birliği (AB), 2030 ve 2050 hedefleri doğrultusunda yapı sektöründe sera gazı emisyonlarını sırasıyla %40 ve %80 oranında azaltmayı; yenilenebilir enerji oranını artırmayı ve enerji verimliliğini güçlendirmeyi amaçlamaktadır (European Commission, 2023). AB direktifleri binaların çevresel performansına ilişkin önemli öneriler içermektedir (Peri ve Rizzo, 2012). Avrupa Birliği'nin yapı sektöründe enerji verimliliği ve emisyonların azaltılması konusunda 2030 ve 2050 yılı hedefleri aşağıdaki Tablo 1.1'de yer almaktadır.

Tablo 1.1. Avrupa Birliği'nin Enerji İle İlgili Hedefleri (European Commission, 2023)

2030 Hedefi	• Sera gazı salınımlarında 1990 yılı seviyesine göre %40 azalma • Enerjinin %27 sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması • Enerji verimliliğini %27 arttırmak
2050 Hedefi	• Sera gazı salınımlarında 1990 yılı seviyesine göre %80 azalma

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın (DOE, 2023) açıklamasına göre, New York ve California gibi eyaletler, sıfır emisyonlu bina politikalarını benimseyerek karbon salımını radikal bir şekilde azaltmayı başarmıştır. Türkiye ise bu küresel dönüşüme paralel olarak 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne, 2009'da Kyoto Protokolü'ne taraf olmuş; 2007 tarihli Enerji Verimliliği Kanunu ve 2018 tarihli Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile yasal altyapısını güçlendirmiştir. 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylaması ile birlikte Türkiye, düşük karbon ekonomisine geçiş hedeflerini içeren reform sürecini daha da derinleştirmiştir.

Türkiye'de iklim politikaları 2000'li yıllarda gelişmeye başlamıştır. Türkiye, 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne, ardından 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Fakat herhangi bir emisyon azaltım taahhüdüne tabi olmamıştır. Türkiye'de iklim politikalarını destekleyici nitelikte olan, enerji sektörüne yönelik mevzuat altyapısı ve politikalar da 2000'li yılların başından itibaren geliştirilmeye başlanmış, bu çerçevede yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ve geliştirilmesine yönelik Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 2005 yılında kabul edilmiştir. Enerji

verimliliğinin etkin olarak uygulanması için 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu yürürlüğe girmiştir. 2012 yılında Ulusal Enerji Verimliliği Strateji Belgesi düzenlenmiştir. 2014 yılında doğrudan iklim değişikliği konulu regülasyon olan Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, takip eden yıllarda ise Yönetmeliğe ait tebliğler yayınlanmıştır. 2018 yılı başında ise Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı açıklanmıştır. Türkiye ayrıca sırası ile 2010 ve 2011 yıllarında açıklanan “İklim Değişikliği Stratejisi” ve “İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı” aracılığıyla ulusal olarak belirlenmiş gönüllü azaltım taahhütlerine katkıda bulunmaktadır. Türkiye’nin ticari ilişkisi bulunan ülkeler/bölgeler arasında AB ön sıralarda yer almaktadır. Bunun önemli bir getirisi olarak AB’nin Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), kapsamında hayata geçirdiği yeni düzenlemeler (iklim değişikliği ile mücadele, finansman, sınırda karbon düzenleme mekanizması, yeşil ve döngüsel ekonomi, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, yeşil ve sürdürülebilir tarım, ulaştırma, diplomasi ve bilgilendirme) ile birlikte Türkiye’de de önemli bir iç reform süreci başlamıştır (Şekil 1.3). 2021 yılında Paris Anlaşması’nın onaylanmasına ilişkin kanun yürürlüğe girmiştir (TSKB, 2021).

Bina enerji performansına ilişkin teknik düzenlemeler kapsamında, Türkiye’de yürürlükte olan TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı, ilk olarak 2000 yılında zorunlu hale getirilmiş; 2008, 2013 ve son olarak 2024 yılında kapsamlı biçimde güncellenmiştir. Yeni TS 825 standardı, 20 Şubat 2025 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanarak 1 Nisan 2025’te yürürlüğe girmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2025). Standartta yapılan güncellemeler, iklim bölgelerinin genişletilmesi, soğutma yüklerinin hesaplamalara dâhil edilmesi ve kabuk geçirgenlik değerlerinin yeniden tanımlanması gibi önemli değişiklikleri içermektedir.



Şekil 1.3. Türkiye’deki enerji verimliliği politikalarının tarihi gelişimi (Ecofys, 2018, den geliştirilmiştir).

Bu gelişmeler, mimari tasarım sürecinde erken tasarım kararlarının bilimsel verilere dayalı olarak yönlendirilmesinin zorunluluğunu bir kez daha ortaya koymaktadır. Binaların enerji tüketimindeki rolü göz önüne alındığında enerji etkinliği parametresinin de erken tasarım aşamasında alınan kararlara entegre edilmesi enerji tüketiminin azaltılması için büyük önem taşıyacaktır.

1.1. Çalışmanın Problemi

Erken tasarım aşamasında enerji etkinliği açısından en verimli tasarımı optimizasyon yöntemleriyle elde ederek binaların toplam enerji tüketimindeki payını azaltmak tez çalışmasının problemi olarak belirlenmiştir. Alt problemler de şu şekilde sıralanabilir.

- Yasal düzenleme ve yönetmeliklerin tasarımı kısıtlayıcı etkisi altında enerji etkinliği bağlamında en uygun çözümün bulunması.
- Yasal kısıtlamaların etkisinde üretilen ve enerji tüketiminde önemli bir rol oynayan yapıların, algoritmaya dayalı tasarım yöntemi ile alternatiflerinin üretilmesi.
- Birçok farklı alternatif tasarım arasından enerji verimliliği açısından optimum çözüme ulaşılması.

1.2. Çalışmanın Amacı

Erken tasarım aşamasında alınan kararlar; tasarımcının özgün yaklaşımı, çevresel veriler ve yasal düzenlemeler çerçevesinde şekillenmekte olup, her bir tasarımcı aynı arsa üzerinde dahi farklı yapılar ortaya koyabilmektedir. Bu bağlamda, tek bir tasarımcının bile aynı fiziksel koşullar altında birbirinden oldukça farklı tasarım alternatifleri geliştirebilmesi mümkündür ve bu tasarımların her birinin enerji etkinliği bakımından farklı sonuçlar vermesi olasıdır.

Bu çalışmada yasal düzenlemeler; mimarların yaratıcılığını sınırlayan katı kurallar olarak değil, tasarımcıların mekânsal çözümlerini yeniden keşfetmelerine olanak tanıyan, zorluk içeren ancak potansiyel barındıran tasarım girdileri olarak ele alınmıştır. Yapı biçimi ve enerji etkinliğini etkileyen yasal düzenlemelerin, yalnızca yaratıcı süreçlerin dışında kalan teknik zorunluluklar değil, iyi tasarlanmış mekânların ayrılmaz bileşenleri olduğu anlayışı benimsenmiştir.

Bu yaklaşıma göre, parseller üzerinde inşa edilecek yapıların kat sayısı, yapı kütesinin büyüklüğü, çekme mesafeleri gibi fiziksel ve yasal sınırlamalar doğrultusunda, erken tasarım evresinde algoritma destekli bir tasarım süreci

hedeflenmiştir. Söz konusu süreçte, farklı biçimsel ve yerleşim alternatifleri üretilerek, bu seçenekler arasında enerji etkinliği açısından (ısıtma-soğutma yükleri, yönelim, opak ve saydam yüzey oranları parametreleri temelinde) en uygun olan tasarımın optimizasyon yöntemleriyle belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Hedefleri

Bina tasarım sürecine algoritmik düşünceye dayanan parametrik tasarım ve optimizasyonu uygulamak, araştırmalarda yeni bir yöntem değildir. Son yirmi yılda çok sayıda çalışma, parametrik tasarım optimizasyonunun, enerji verimliliği, günışığı aydınlatması ve malzeme kullanımı gibi bina performansıyla ilişkili çeşitli bina tasarım problemlerini çözebileceğini göstermiştir. Tasarım optimizasyonu aynı zamanda geniş çapta problem çözücü bir tasarım yaklaşımı olarak kabul edilir ve bu da onu erken veya geç tasarım evrelerine daha kolay uygulanabilir kılar (Wang, 2021). Son dönemlerde, tasarım optimizasyonunun erken tasarım evresinde uygulanması araştırılmıştır. Geç aşamadaki tasarımın aksine, erken tasarım evresinde optimizasyona dayalı tasarımın rolü giderek daha fazla tanınmakta ve değer görmektedir.

Erken tasarım evresinde yasal sınırlamalar dahilinde, algoritma destekli tasarım, enerji performansı ve optimizasyon sürecini eş zamanlı olarak gerçekleştirebilen bir araç geliştirmek çalışmanın ana hedefidir. Çalışmanın diğer hedefleri ise aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Bina enerji performansını etkileyen verileri sayısallaştırarak algoritmaya dayalı tasarımda kullanmak.
2. Tasarım alternatiflerinin enerji hesaplamasını algoritma için sayısallaştırmak.
3. Bina enerji performansını etkileyen sayısallaştırılmış verilerin algoritmalarda kullanılmak üzere amaç fonksiyonlarını geliştirmek.
4. Sürü zekâsı algoritmalarıyla bir parsel üzerindeki binayı enerji-etkin olarak tasarlayarak optimum çözümü bulmak.

1.4. Çalışmanın Önemi

Türkiye’de ve dünyada yapı sektöründe enerji etkinliğinin öneminin rakamlarla anlatıldığı ve tarihsel gelişim sürecinin açıklandığı bu projeksiyonda enerji etkin bina üretimi bir tercih olmaktan çok zorunluluk haline gelmiştir. Enerji etkin bina üretimi, erken tasarım evresinde alınan kararlar ve belirlenen doğru stratejilerle mümkündür. Bu kararlar ve stratejiler yapının yaşam süresi boyunca tüketileceği enerji miktarını etkilemektedir. Bu nedenle enerji etkin tasarım anlayışıyla erken tasarım evresi kararları entegre edilmelidir (Hassan ve diğ., 2022). Binalarda enerji etkinliği, tasarım

aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması ve yaşam döngüsü boyunca binanın enerji verimliliği sağlaması olarak tanımlanabilir (Dikmen, 2011). Binaların tasarlandığı bölgenin iklim şartlarını değiştirmek mümkün olmadığı için bu iklim şartlarında en iyi enerji performansını gösterecek tasarım alternatiflerinin üretilmesi gerekmektedir (Uzun, 2022).

Tasarım alternatiflerinin üretilmesinde bilgisayar destekli tasarım araçlarından ve binaların enerji performansını ölçecek enerji simülasyon araçlarından uzun bir süredir yararlanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım araçlarıyla iki veya üç boyutlu tasarım alternatifleri üretmek kolaylaşmış ve tasarımın üretim süreci geleneksel elle tasarım üretim sürecine göre kısalmıştır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) araçlarıyla üretilen üç boyutlu modeller ve bina tasarımları enerji simülasyon araçlarına bazı eklentiler yardımıyla aktararak tasarım aşamasındaki binanın enerji hesaplamaları yapılabilmektedir. Süreç içinde tasarıma dahil edilecek çok sayıdaki parametrenin kullanılabilmesi sayısal tasarım yöntemlerinin gelişmesi söz konusu olmuştur. Bu yöntemler değişikliklerin uygulanmasının nispeten kolay ve daha az maliyetli olduğu erken tasarım aşamalarında daha geniş bir çözüm alanının keşfedilmesine olanak tanır (Taveres-Cachat ve Goia, 2020).

Sayısal tasarım yöntemlerinden biri olan parametrik tasarım güncel olarak en bilinen ve en çok çalışılan tasarım yöntemidir. Parametrik tasarım, tasarımın amacıyla tepkisi arasındaki ilişkiyi birlikte tanımlayabilen, kodlamalar yaparak parametrelerin ve kuralların ifade edilmesini sağlayan algoritmik düşünceye dayalı bir süreci ifade etmektedir (Yıldız, 2019). Başka bir deyişle parametrik tasarım, bir formun elemanları arasındaki temel ilişkileri kullanarak formun tanımlanması anlamındadır. Elemanlar birbirinden bağımsız olarak düzenlenebilirken, denklemler kümesi de nesneler arasındaki ilişkinin korunmasını sağlar (Philip ve diğ., 2006). Parametrelere dayalı tasarım anlayışında formdan ziyade girilen parametrik değerler önem kazanmaktadır. Parametrelere girilen her farklı değer, birbirinden farklı sonsuz biçimlerin oluşmasına olanak sağlar (Mendilcioğlu, 2017). Parametrik tasarım için kullanılan sayısal tasarım araçları bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak ise, Generative Components, Grasshopper, 3D ve Maya Script, Dynamo vb. gösterilebilir. Parametrik tasarım araçlarından Grasshopper ve Dynamo ilişkisel modellemenin görsel olarak tanımlandığı bir ara yüz sundukları için mimarlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Bu araçların içinde eklenti (plug-in) olarak yer alan diğer araçlar (Ladybug, Honeybee, EnergyPlus vb.)

yardımla üretilen tasarım alternatiflerinin enerji performans hesaplamaları yapılabilmektedir. Değiştirilen parametreler sonucu üretilen tasarım alternatifleri yine bu araçlar içinde eklenti (plug-in) olarak yer alan optimizasyon araçları (Octopus, Optima, Galapagos vb.) yardımla belirlenen amaç fonksiyonuna göre optimize edilmektedir.

Çalışmanın önemi, sayısal tasarım araçlarının sunduğu potansiyelin ötesine geçerek, algoritma temelli yerel bir tasarım aracının geliştirilmiş olmasında yatmaktadır. Bu araç, parametrik tasarımdan farklı olarak, tasarım alternatiflerini üretmekle kalmayıp, eşzamanlı biçimde her bir alternatifin enerji performansını analiz edebilmekte ve optimizasyon algoritmaları yardımla en uygun tasarımı seçebilmektedir. Bu bütüncül yaklaşım, özellikle tasarım sürecinin başlarında kararların daha düşük maliyetle ve esnek biçimde uygulanabildiği bir aşamada, enerji etkinliği açısından en verimli sonucun elde edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece çalışma, mimari tasarım ile enerji verimliliği arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlayarak, yasal kısıtlar ve çevresel faktörlerle entegre, veri odaklı bir tasarım süreci sunmaktadır.

1.5. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışması, erken tasarım evresinde alınan kararların binaların enerji performansı üzerindeki etkilerine dikkat çekerek algoritma destekli yaklaşımlar aracılığıyla enerji etkin tasarım sürecine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma, kuramsal bir temel, yöntemsel bir yaklaşım ve uygulamalı analizler olmak üzere beş ana bölümde yapılandırılmıştır.

Birinci bölümde, çalışmanın problemi, amacı, hedefleri, önemi ve kapsamı detaylı biçimde ortaya konulmuştur. Bu bölümde, enerji tüketiminin küresel ölçekteki çevresel etkileri ve mimari tasarım kararlarının enerji performansı üzerindeki belirleyici rolü bağlamında araştırma sorusu tanımlanmış; çalışmanın neden gerekli olduğu ve literatürde hangi boşluğu doldurmayı hedeflediği açıklanmıştır.

İkinci bölümde, çalışmanın kavramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Bu bağlamda, öncelikle erken tasarım evresi tanımlanarak bu evrede alınan kararların binanın yaşam döngüsü boyunca enerji performansı üzerindeki etkilerine değinilmiştir. Ardından, enerji etkin tasarım kavramı çok boyutlu bir şekilde ele alınmış; erken tasarım evresi ile enerji etkinlik arasındaki ilişki örneklerle açıklanmıştır. Takiben, algoritma destekli tasarım yöntemlerinin temel prensipleri ve mimari tasarım sürecine entegrasyonu incelenmiş; son olarak, bina enerji optimizasyonu başlığı altında, enerji performansını iyileştirmeye yönelik hesaplamalı stratejiler tartışılmış ve ilgili literatür

değerlendirilmiştir. Böylece, enerji etkinlik, algoritma destekli tasarım ve optimizasyon kavramları arasındaki ilişki kurularak kapsamlı bir kavramsal temel oluşturulmuştur.

Üçüncü bölüm, çalışmanın metodolojik çerçevesini içermektedir. Bu bölümde, veri toplama ve analiz süreci açıklanmış; enerji performansının hesaplanmasında kullanılan parametreler, simülasyon araçları ve değerlendirme ölçütleri ayrıntılandırılmıştır. Ayrıca, farklı algoritmaların araştırma probleminin çözümüne nasıl uyarlandığı ve bu algoritmalar aracılığıyla enerji optimizasyonunun nasıl gerçekleştirildiği açıklanmıştır. Böylece, çalışmanın analiz yöntemleri bilimsel olarak temellendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın uygulama kısmını oluşturan alan çalışmaları sunulmuştur. Farklı kat yüksekliklerine (2, 5 ve 10 katlı) sahip üç konut yapısı üzerinden geliştirilen bina modellerinin enerji performansı analizleri yapılmıştır. Her bir tipoloji için oluşturulan senaryolar, algoritmalar yardımıyla optimize edilmiş; elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde aynı zamanda uygulama sonuçları tartışılmış, algoritma destekli tasarımın enerji verimliliği üzerindeki etkileri sayısal verilerle ortaya konulmuştur.

Beşinci ve son bölümde ise çalışmanın sonuçları özetlenmiş, ulaşılan sonuçlar literatürle karşılaştırmalı olarak tartışılmış ve araştırmanın mimarlık pratiğine ve gelecekteki çalışmalara sağlayabileceği katkılar değerlendirilmiştir. Ayrıca, çalışmanın sınırlılıkları kapsamında gelecekte yapılabilecek araştırmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.

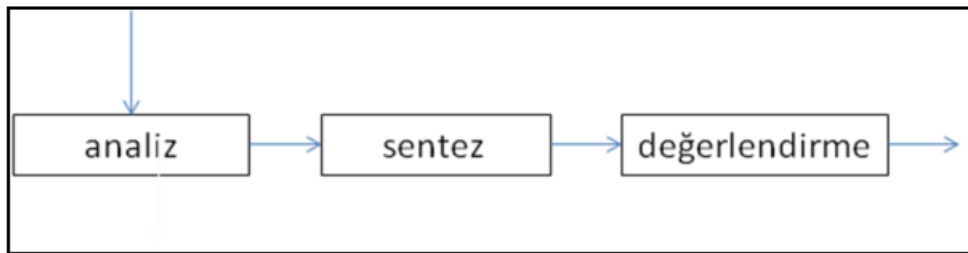
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, ‘erken tasarım evresi’, ‘enerji etkin tasarım’, ‘algoritma destekli tasarım’, ‘optimizasyon’ anahtar kelimeleri ile literatür araştırması gerçekleştirilmiş ve bu anahtar kelimelerle ilişkili kavramlar dört alt başlık altında anlatılmıştır. Belirlenen anahtar kelimelerle ilgili yapılmış literatürdeki çalışmalar ise 2.5. alt başlığında sunulmuştur.

2.1. Erken Tasarım Evresi

Tasarım süreci, tasarımcının sorunu tanımladığı ilk adımdan, çözümü ortaya çıkardığı son adıma kadar yürüttüğü bir operasyon dizisi olarak ifade edilebilir. Mimari tasarım sürecini farklı metotlarla, farklı adımlardan oluşan bir süreç olarak değerlendirmek mümkündür. Schwenck ve Sarıyıldız (2005), mimari tasarım sürecini, “kavramsal tasarım” ve “maddeleştirme (materialisation)” olarak iki ana aşamaya ayırmaktadır. Kavramsal tasarımda, tasarımın biçimlenişi gerçekleşmekte, maddeleştirme ile ise, biçime uygun bileşenler ve malzemeler belirlenmektedir.

Sayın (2014) mimari tasarım aşamasını erken dönem tasarım modelleri (1950’ler ve 1980’ler arası) ve geç dönem tasarım modelleri (1990’lar sonrası) olarak ikiye ayırmıştır ve detaylı olarak açıklamıştır. Buna göre erken dönem tasarım modelleri genel olarak analiz-sentez-değerlendirme sürecine tabidir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Klasik tasarım süreci modeli (Sayın,2014).

Geç dönem tasarım modellerinde, mimarların büyük çoğunluğu tasarım sürecini spiral bir modele benzetmişlerdir. Bu spiral geniş bir alanda başlayan ama gelişerek küçülen ve sonuca ulaşan bir spiral olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.2.).



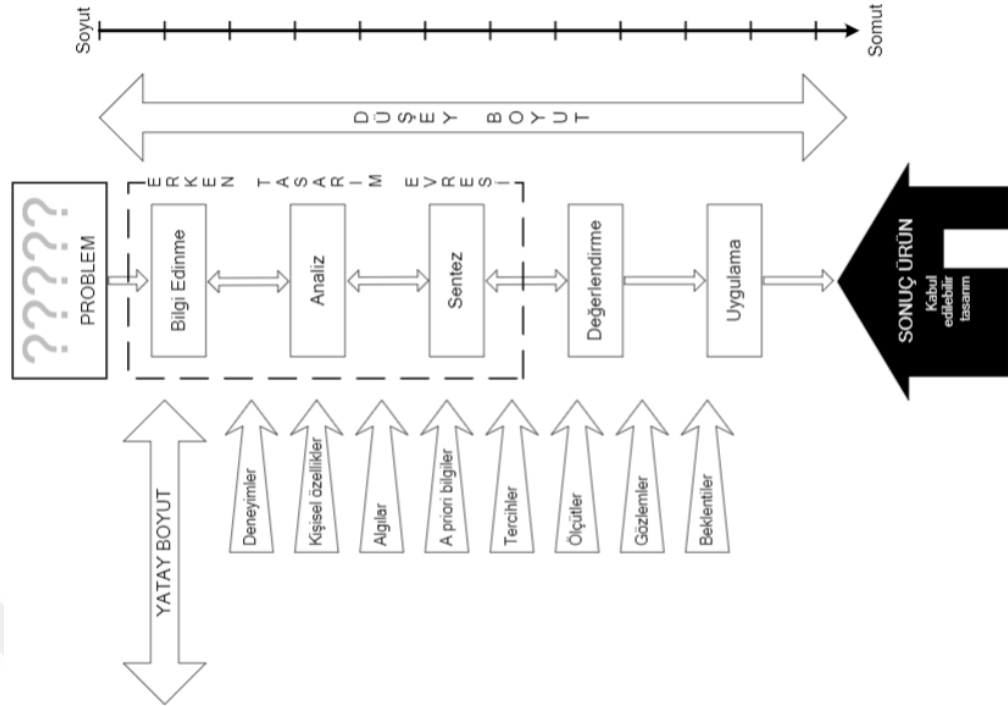
Şekil 2.2. Spiral tasarım süreci modelleri (Sayın,2014).

Bu ayrım dışında, İngiliz Mimarlar Enstitüsü, RIBA (Royal Institute of British Architects) ise mimari tasarım sürecini dört aşamaya bölmektedir (Lawson,1997):

1. Aşama-Özümseme (assimilasyon): eldeki problem ile ilişkili bilgi edinme ve birikim.
2. Aşama-Genel çalışma: problemin doğasının keşfedilmesi, olası çözümlerin araştırılması.
3. Aşama-Geliştirme: ikinci evreden ayrılan olası bir ya da birkaç çözümün geliştirilmesi, artırılması.
4. Aşama-İletişim: tasarım ekibinin içinden veya dışından kişilerle bir veya birkaç çözüm üzerinde konuşulması.

Bunun yanında RIBA, bu dört aşamalı genellemenin birbirini izleyen bir dizi oluşturamayacağını ve aşamalar arasında atlamaların ve geri dönüşlerin söz konusu olabileceğini belirtmektedir (Ulukavak Harputlugil, 2009).

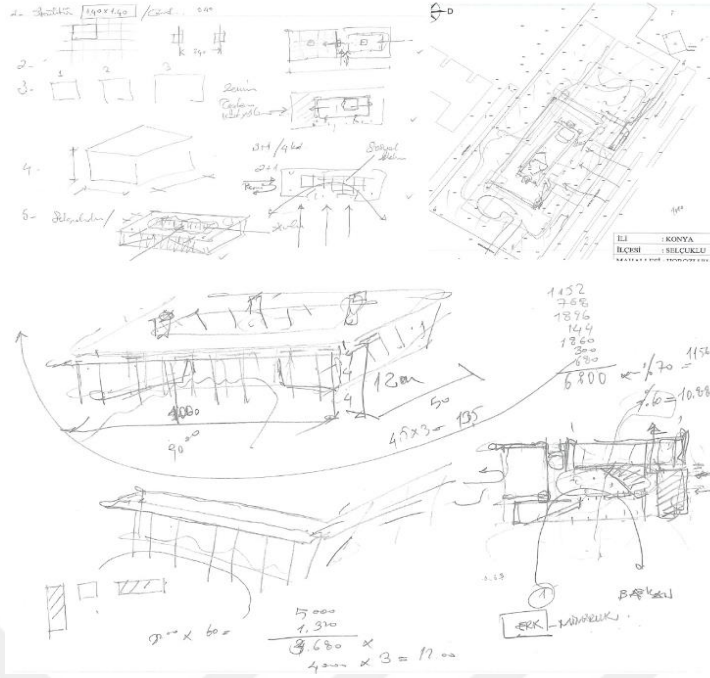
Tasarımın ilk basamağından itibaren kolay geri dönüşlerle çok daha fazla deneme gerçekleştirebilmek önemlidir. Eğer tasarıma ilişkin sorunlar, sonuç aşamasına yakın keşfedilirse, iyileştirme sınırlı bir perspektifte ve yüksek maliyetle gerçekleşecektir. Tasarım kavramının ilk basamağı olan erken tasarım evresi ise RIBA'nın mimari tasarım sürecinde 1.ve 2. Aşamalarını içermektedir. Bu evre, bilginin edinilmesi, uygun bilgilerin seçilmesi ve ilişkilendirilmesi/dönüşümü, alternatif sentezlerin üretilmesi ve yeni tasarım fikrinin/fikirlerinin olduğu evredir. Erken tasarım evresinde ilk tasarım alternatifleri üretilmekte ve denenmektedir. Eldeki bilginin fazla ve bulanık olması, üretilen fikirlerin çok düşünülmeden terkedilebilmesi, gerekli tasarım ilişkilerini kurmanın zor olması, bir fikirden tamamen farklı bir diğerine geçmeye yatkın olma tasarım alternatiflerinin oluşumunu etkilemektedir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Tasarım süreci ve erken tasarım evresi (Canbay Türkyılmaz, 2010).

Erken tasarım evresinde alternatifler aracılığıyla çalışmak, problem alanına daha geniş açıdan bakarak özel çözümlere ulaşmak ve ana tasarım hedeflerini ortaya koyarak geliştirmek için gerekli bir tasarım davranışdır. Bu evrenin düzgün bir şekilde tamamlanması, sonuç ürünün başarısını etkilemektedir. Erken tasarım evresinde, bilgiyi dönüştürmenin ilk adımları atılmakta ve dönüştürülen bilgiler ilk tasarım kararlarının oluşumunda kullanılmaktadır (Şekil 2.4.). Erken tasarım evresinde alınan kararlar;

1. Tasarım ve inşaat süreçlerini etkileyen ortam faktörlerinin tanımlanması
2. Saha seçimi ve saha özelliklerinin değerlendirilmesi
3. Sahadaki mevcut yapıların değerlendirilmesi
4. İşlevsel program ve yönetim sürecinin geliştirilmesi
5. Enerji etkinliğine yönelik öncelik ve hedeflerin geliştirilmesi
6. Tasarım ve tasarımı geliştirme ekibi üyelerinin seçilmesi
7. Ön proje (avan proje) fikir toplantılarının düzenlenmesi
8. Şematik tasarım(lar)ın (bina biçimlenişi, bina yönelişi, bina kabuğu, kat adedi, yüksekliği, taban alanı, çevre binalarla ilişkisi) geliştirilmesi
9. İleri düzeyde geliştirmek üzere şematik tasarımlardan birinin seçilmesi
10. Yerleşim planının geliştirilmesi, olarak özetlenebilir (ETKB-YEGM, 2016).



Şekil 2.4. Erken tasarım evresinde alınan kararlar doğrultusunda oluşturulan bir eskiz (Eskiz yazarın çalışmasıdır.)

Erken tasarım evresi kendi içinde tasarım sürecinin bir küçük modeli olarak çalışmaktadır. Bu evrenin, tasarım sürecinin ilerleyen evrelerine göre daha karmaşık ve bulanık olmasının en önemli nedeni, çok sayıda tasarım ilişkisinin değerlendirilmek zorunda olmasıdır. Değerlendirilen ilişkilerden uygun olanların tasarımın ana hedefleri doğrultusunda kısa sürede rafine edilebilmesi, tasarım sürecinin ilerleyişini ve sonuç ürünün oluşumunu olumlu yönde etkiler (Canbay Türkyılmaz ve Polatoğlu, 2012).

Bu ilişkilerden bir tanesi de yapının fonksiyonlarını yerine getirirken enerji etkinliği de sağlamasıdır. Enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve tüketimin önemli bir bölümünün yaşam döngüsü boyunca binalardan kaynaklandığı bilindiğinden (IEA, 2017), erken tasarım evresinde alınacak önemli kararlardan biri de enerji etkin tasarım kararı olmalıdır. IEA tarafından yapılan araştırmaya göre, binalarda %40'a varan potansiyel enerji tasarrufu, erken tasarım aşamasında elde edilebilir (Li ve diğ., 2019).

2.2. Enerji Etkin Tasarım

Binalardaki enerji tüketimi ve bunlara bağlı sera gazı emisyonları son yıllarda benzeri görülmemiş bir şekilde artmış, kentlerin karşılaştığı bu ortak sorun için inşaat uzmanları, çevre araştırmacıları ve şehir plancıları enerji verimliliğine ulaşmanın yollarını aramaya başlamıştır (Katal ve diğ., 2019). Bununla birlikte, yeni teknolojiler oluşturma, enerji standartlarını güncelleme gibi farklı yöntemler ve mevcut binalar

üzerindeki enerji yönetimi politikalarının değiştirilmesi gibi yollarla enerji etkinliği sağlanmaya çalışılmıştır.

Binalarda enerji etkinliği, tasarım aşamalarında fiziksel çevre koşullarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması ve yaşam döngüsü boyunca binanın enerji verimliliği sağlaması olarak tanımlanabilir. Binalarda enerji etkinliği yapıya entegre aktif ve pasif sistemler oluşturularak ısıtma, soğutma, havalandırma, doğal aydınlatma gibi konularda yapı etkinliğini artırmaya ve enerjiyi verimli kullanmaya dönük tasarım ölçütlerinin belirlenmesi ve bu kapsamda mimari tasarımların iyileştirilmesi ve geliştirilmesini gerektirir (Dikmen, 2011). Enerji etkin tasarım, İnancı'ya (1996) göre, yapıyı iklimsel koşullardan muhafaza eden ve/veya aktif sistemlerdeki ihtiyacı indirmek için iklimsel kuvvetleri uygulayan tasarım olarak tanımlanmaktadır.

Enerji etkin yapı tasarım süreci;

-Bütünleşik bir tasarım olması ve yapının her evresinde; tüm malzeme ve sistem seçimlerinde, kullanımı, bakımı, işletimi ve yönetiminde göz önünde bulundurulması,

-Yapının sahip olması gereken özellikler azaltılmadan enerji tüketiminin bireysel ve toplumsal fayda sağlayacak şekilde azaltılması,

-Yapının bulunduğu çevreye aidiyetinin sağlanması ve enerji korunum önlemlerinin alınması, bakımından diğer tasarım süreçlerinden farklılaşmaktadır (Pacheco-Torres ve diğ., 2012).

Enerji etkinliğinin sağlanması en başta tasarımın erken evrelerinde başlayıp, yapı yaşam döngüsü boyunca devam eden bir süreçtir. Süreç boyunca, kullanıcılar, karar mercileri, yatırımcı, tasarım ekibi, üreticiler gibi pek çok paydaş yer alır (Sayın, 2014). Binalarda enerji etkinliğini sağlamak, önemli oranda iç- dış arasındaki ısı geçişini azaltmak, ısı kazanımını artırmak ve aynı zamanda iç ortam konfor gereksinimlerini karşılamaktır (Anonim, 2016a). Enerji etkinliği aktif ve pasif stratejiler yardımıyla elde edilebilir. Enerji etkin mimari tasarım konularını içeren literatürde sıkça yer alan “pasif ısıtma”, “pasif soğutma” gibi terimler bir binanın gereksinim duyduğu soğutma veya ısıtma enerjisinin mekanik sistemlerle değil, binanın özel morfolojik yapısı sayesinde, doğal olarak güneşten ve hava akımlarından sağlanmasını ifade etmektedir (Canan, 2008; Gupta & Tiwari, 2016).

Bir sonraki bölümde pasif olarak sağlanabilecek enerji etkinliği stratejisi için; mimari tasarım sürecinde, erken tasarım evresi ve binalarda enerji etkinliği ilişkisi incelenmiştir.

2.3. Erken Tasarım Evresi ve Binalarda Enerji Etkinliği İlişkisi

Enerji etkin binaya ulaşmak için yapılması gerekenlerin en başında tasarımın bu sistematik ve performans hedefleri çerçevesinde yapılması gelmektedir. Bu anlayışın benimsenmesi; erken tasarım evresinde binanın en başta fonksiyon gereklerini yerine getirmekle birlikte, fiziksel, çevresel ve kullanıcı konfor koşullarının pasif bir strateji ile ele alınmasıyla mümkündür.

Çeşitli ölçeklerde ele alınabilecek bir yapıyı çevrede, konfor koşullarını sağlayabilmek için, doğal çevrenin iklimsel karakteristiğine bağlı olarak gereksinme duyulan enerjiyi karşılayabilmek için, yapıyı çevrenin kendisi pasif bir sistem olarak tasarlanmalıdır (Özdemir, 2005). Bunun için tasarımcıların enerji etkinliğinde önemli olan parametreleri belirlemesi gerekir. Bu parametreler 3 ana başlık altında toplanabilir.

2.3.1. Dış çevreye ilişkin parametreler

Dış çevreye ilişkin parametreler; topografya, iklimsel koşullar, bitki dokusu ve peyzaj elemanları, yakın çevredeki yapılaşma ile ilgili parametrelerdir. Bu parametreler de bina ölçeğindeki parametreler gibi o tasarıma özeldir. Enerji etkinliğine dair tasarım aşamasında önemli rol oynarlar. Fakat bu veriler belirlenen parsel için sabittir ve tasarımcının müdahale edebileceği parametreler değildir (Givoni, 1998).

Bu nedenle çalışma kapsamında, erken tasarım evresinde daha çok geleneksel ve sezgisel olarak karar verilen, bina ölçeğindeki parametreler detaylı olarak anlatılmıştır.

2.3.2. Bina ölçeğindeki parametreler

Yerleşim alanlarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirildiğinde, enerji konusu yalnızca sistem düzeyinde değil, alt ölçekleri kapsayan bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Bu bağlamda, bina ve yapı malzemelerinin iklim koşullarıyla etkileşimi ve çevresel performansları, enerji verimliliğini doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Bina ölçeğinde enerji tüketimini belirleyen temel parametreler arasında yerleşim düzeni, yapıların yönelimi, bina formu, yapılar arası konum ilişkileri ile bina kabuğunun optik ve termofiziksel nitelikleri öne çıkmaktadır (Yasan, 2011).

2.3.2.1. Yerleşim planlaması

Yerleşim planlaması, yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma gereksinimlerini pasif yöntemlerle optimize ederek, aktif enerji kullanımını en aza indirmeyi amaçlayan bir tasarım sürecidir (Olgyay, 1963). Bu süreç, iki temel bileşene dayanmaktadır: binanın konumlandırılacağı arazinin fiziksel ve iklimsel özelliklerinin analiz edilerek tasarlanması ve binanın arazi içerisindeki yerleşim noktasının

belirlenmesidir (Givoni, 1998). Böylece, mevcut mikroklima koşulları üzerinde denetim sağlanarak yapıların enerji performansı artırılabilir.

Mikroklima, geniş ölçekli iklim bölgelerinden bağımsız olarak, belirli bir alanın özgün coğrafi ve iklimsel özellikleri doğrultusunda oluşan lokal atmosferik koşulları ifade etmektedir (Santamouris, 2001). Mikroklimanın denetiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler arasında; bölgesel iklim özellikleri, güneş ışıının miktarı ve süresi, ortalama sıcaklık değerleri, hâkim rüzgar yönü ve hızı, nem oranı, bitki örtüsünün türü ve yoğunluğu ile çevresel coğrafi unsurlar (örneğin, topoğrafik yükseltiler, çukurlar, su kütleleri) yer almaktadır (Nicol ve diğ., 2012).

Bu bağlamda, yerleşim planlaması ve mikroklima kontrolü, pasif tasarım stratejileri ile desteklenerek sürdürülebilir bina tasarımına katkıda bulunmaktadır. Doğal havalandırma, güneş kontrolü ve doğal aydınlatma gibi stratejiler, yapının enerji verimliliğini artırarak kullanıcı konforunu iyileştiren önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Lechner, 2015).

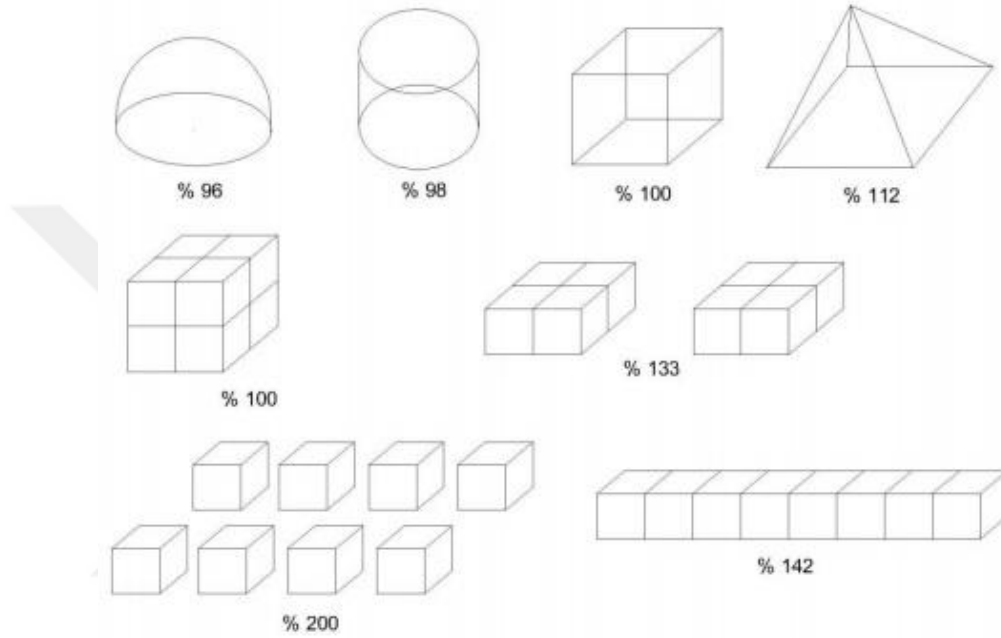
2.3.2.2. Yönlendiriliş durumu

Binaların yönlendirilmesinde, güneş ışıını ve rüzgar gibi iklimsel faktörler belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır (Koçlar Oral ve Manioğlu, 2010). Bu doğrultuda, konfor koşullarının sağlanması ve enerji tüketiminin en aza indirilmesi amacıyla, öncelikle bölgeye ait iklim verileri analiz edilmeli ve güneş ışıını kazançları ile rüzgar etkileri doğru şekilde değerlendirilerek bina yönelimi belirlenmelidir. Yapıların ana cephelerinin kuzey-güney doğrultusunda konumlandırılması, yaz mevsiminde güneş ışıının daha etkin bir biçimde denetlenmesine olanak tanırken; kış aylarında ise düşük açılarla gelen güneş ışıınlarından yararlanarak pasif ısı kazançlarının artırılmasını mümkün kılmaktadır (Rosenlund, 2000). Bina yönelim kararları, ısı kazançları ve kayıpları üzerinde doğrudan etkili olduğundan, hem bireysel yapılar hem de genel yerleşim düzeni açısından enerji verimliliği üzerinde kritik bir rol oynamaktadır.

2.3.2.3. Bina formu

Bina formu, yapı geometrisini belirleyen çeşitli parametreler aracılığıyla tanımlanabilir; bu parametreler arasında biçim faktörü (uzunluk-derinlik oranı), yapı yüksekliği, çatı tipi, çatı eğimi ve cephe yüzeyinin eğimi gibi değişkenler yer almaktadır (Berköz ve diğ., 1995). Bu faktörler, yapının güneş ışıını ve rüzgar gibi iklimsel unsurlarla etkileşimini belirleyen toplam dış yüzey alanını şekillendirdiğinden, enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Binalarda dış yüzey alanı, ısı kazanç ve

kayıplarını doğrudan etkileyen temel değişkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, farklı iklim koşullarına sahip bölgelerde, bina formunun iklimle uyumlu olarak tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Örneğin, soğuk iklim koşullarında ısı kayıplarını minimize etmek amacıyla, yüzey alanı sınırlı tutulan kompakt bina formları tercih edilmektedir. Buna karşılık, nemli iklim bölgelerinde ise rüzgârın nem dağıtıcı etkisinden yararlanmak üzere, hava akımlarına açık, uzun cepheli ve daha serbest geometrilere sahip yapı tasarımları öne çıkmaktadır (Şekil.2.5.).



Şekil 2.5. Aynı hacme sahip farklı geometrik formların yüzey alanlarının düşükten yükseğe doğru sıralanışı (Soysal, 2008).

2.3.2.4. Binaların birbirine göre konumu

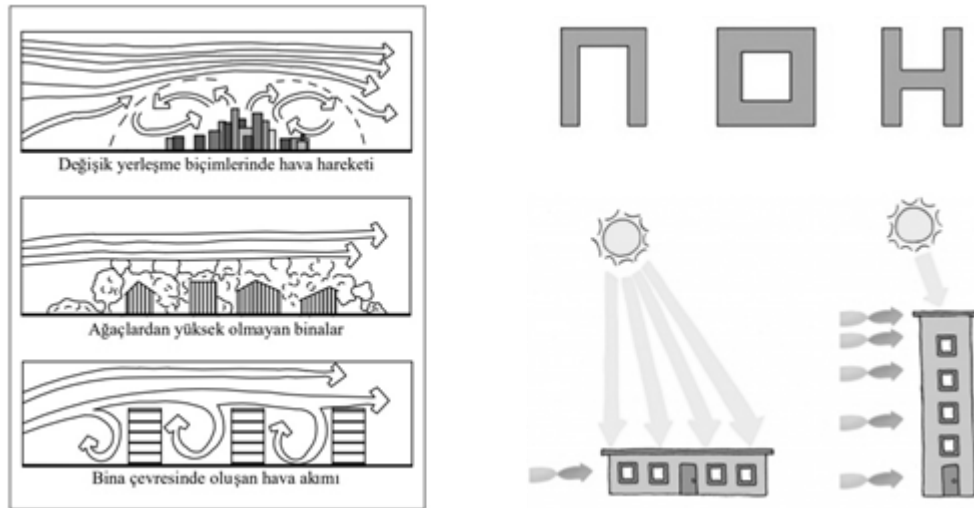
Yerleşme dokusunun temel unsurlarını, yapılar ve bu yapılar arasında konumlanan açık alanlar oluşturmaktadır. Yerleşim planlamasında yapıların birbirlerine olan mesafeleri, yükseklikleri ve mekânsal konumları; güneş ışınımının etkinliği ve doğal hava akımlarının yönlenmesi açısından belirleyici faktörlerdir. Özellikle yapıların karşılıklı konumları, hem gölgeleme etkisi hem de rüzgâr sirkülasyonu üzerinde doğrudan etki yaratarak mikroklimatik koşulları şekillendirebilmektedir (Berköz ve diğ., 1995).

Güneş ışınımından maksimum düzeyde yararlanabilmek için bina aralıkları ve konumlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Bir binanın güneş ışınımı kazanımlarını artırabilmesi için, gün boyunca cephelerinin doğrudan güneş ışınımına maruz kalması önemlidir. Ancak yerleşim alanlarında binaların gölge yapıları gün içinde sürekli

değişiklik gösterdiğinden, özellikle ısıtma ihtiyacının yüksek olduğu dönemlerde güneş ışınlarının bina cephelerine maksimum düzeyde ulaşabilmesi adına, yapılar arasındaki mesafelerin komşu binaların oluşturabileceği en uzun gölge mesafesine eşit ya da ondan daha büyük olacak şekilde planlanması gereklidir (Mangan ve Koçlar Oral, 2013; Yannas, 1994).

Bina aralıklarının etkilediği bir diğer iklimsel unsur ise rüzgârdır. Yerleşim düzeninde rüzgârın hareket yönü ve hızı, açık mekânların boyutlarına ve binaların konumlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İç mekânlardaki istenen hava akış hızının sağlanabilmesi için, dış mekândaki tasarım rüzgâr hızının dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bina aralıklarının azalması, dış mekânda rüzgâr hızını da düşürmekte ve hava sirkülasyonunu sınırlamaktadır. Bu nedenle rüzgâr ve güneşten yararlanma veya korunma gereksinimlerine bağlı olarak, yerleşim yoğunluğu iklim bölgelerine göre farklılık göstermektedir (Koçlar Oral ve Manioğlu, 2010; Givoni, 1998).

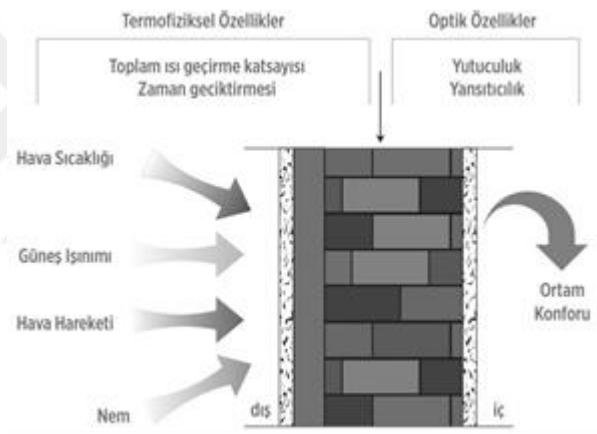
Ayrıca, binaların birbirlerine olan mesafeleri, güneş ışımasını kazançlarını ve yararlı rüzgâr etkilerini engellemeyecek şekilde, yapı boyutlarına göre belirlenmelidir. Özellikle yüksek yapılar, artan yüzey alanları nedeniyle daha fazla rüzgâr etkisine ve ısı kaybına maruz kalmaktadır. Bu nedenle, yüksek yapılar hâkim rüzgâr yönü göz önünde bulundurularak konumlandırılmalı ve rüzgârın doğal havalandırma ve iklimlendirme üzerindeki olumlu etkilerinden yararlanılmalıdır. Aynı zamanda, rüzgâr enerjisini kullanarak elektrik üretimine yönelik çözümler geliştirmek, sürdürülebilir tasarım stratejileri açısından önemli bir yöntem olabilir (Santamouris, 2001; Oke ve diğ., 2017) (Şekil.2.6.).



Şekil 2.6. Değişik yerleşim biçimlerinde hava hareketi, yapı form ve yüzey alanına bağlı ısı kaybı (Soysal, 2008)

2.3.2.5. Bina kabuğu

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınlamına maruz kaldığında birim yüzey alanı üzerinden gerçekleşen ısı kayıp ve kazançlarını belirleyen temel etkenlerden biridir (Berköz ve diğ., 1995). Bu ısı alışverişinin miktarı, binaların ısıtma ve soğutma gereksinimlerini doğrudan etkileyerek iç ortam konforunun sağlanmasında kritik bir rol üstlenir. Isıtma ve soğutma sistemlerinin enerji harcamaları, büyük ölçüde bina kabuğu aracılığıyla gerçekleşen ısı geçişine bağlıdır. Dış çevre koşulları genellikle kontrol edilemezken, optik ve termofiziksel nitelikler mimari tasarım sürecinde doğrudan müdahale edilebilecek parametreler arasında yer alır. Bu bağlamda, söz konusu özelliklerin tasarım aşamasında optimize edilmesiyle oluşturulan bina kabukları, hem yapı bazında hem de kentsel ölçekte enerji tüketiminin azaltılmasına kayda değer katkı sunar (Pérez-Lombard ve diğ., 2008; Pacheco ve diğ., 2012) (Şekil.2.7.).



Şekil 2.7. Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri (Anonim, 2016b)

Bina kabuğu, ısı geçişine karşı farklı fiziksel özellikler sergileyen opak ve saydam bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler, yapısal niteliklerine bağlı olarak farklı ısı iletim katsayılarına sahiptir. Gelişmiş ısı yalıtım teknolojileri sayesinde düşük ısı geçirgenliğine sahip saydam yüzeyler üretilmiş olsa da, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan saydam yüzeyler, yalıtımlı opak yüzeylere kıyasla daha yüksek toplam ısı geçirme katsayısına sahiptir. Bu nedenle, binalarda meydana gelen toplam ısı kayıplarının büyük bir bölümü saydam yüzeylerden kaynaklanmaktadır (Koyun, Koç & Akçay, 2024). Enerji verimliliğini artırmayı hedefleyen tasarımlarda, bina kabuğundaki toplam saydam yüzey alanının, bina yüzey alanına oranı olarak tanımlanan saydamlık oranı, Window-Wall Ratio (WWR) büyük önem taşımaktadır. Saydamlık oranının

Şekil 2.8. de belirtildiği üzere tüm projenin gereklilikleri göz önüne alındığında da enerji etkinliği ihmal edilen bir konu haline gelmektedir. Fakat tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de enerjinin en önemli gündem maddelerinden biri olduğu düşünüldüğünde, enerjinin etkin kullanımı için yasal düzenlemelerin oluşturduğu tasarım girdileri dahilinde sağlanacak duyarlılık son derece kritiktir.

Bölüm kapsamında, Türkiye ve dünyadaki imar faaliyetlerini etkileyen yasal düzenlemeler genel olarak incelenmiş sonrasında yasal düzenlemelerin mimari tasarıma etkileri ve enerji verimliliği ile olan ilişkileri açıklanmıştır.

Çoğu ülke, arazinin gelişimini ve kullanımını düzenlemek, kalkınma haklarını tahsis etmek ve kalkınmanın çevresel etkilerini öngörmek ve azaltmak için bir tür sistem veya sistemler geliştirmiştir. Yine de bu görevleri üstlenmek için kullanılan araçlar çeşitlidir ve genellikle isteğe bağlı ve düzenleyici yaklaşımlar arasında bir spektrum olarak karşılaştırılır (Newman ve Thornley, 1996). Kentsel çevrenin biçimlenmesinde ve mimarlık hizmetlerinin yürütülmesinde önemli bir etkisi olan yasal düzenlemeler, artan nüfus ve yapı ihtiyacı sonrasında yapılaşmanın kontrollü gelişebilmesi için zorunlu hale gelmiştir (Ünal, 2010).

Yasal düzenlemeler hemen hemen her alanda toplumsal hayatı biçimlendirdiği gibi kentsel çevrede yürütülen mimari uygulamalarda da oluşturulan yasal mevzuat çerçevesinde gerçekleşmektedir. Bu mevzuat, yapılaşmaya ve yerleşmeye konu olan yerlerin belirli bir plan (imar planları) çerçevesinde bayındır hale gelmesini düzenleyen kuralların bütünüdür ifade etmektedir (Akkaş Çağlar, 2016). Yasal düzenlemelerin mimari tasarımdan uygulamaya kadarki süreçte önemli bir girdi olduğu bilinmekte ve bu nedenle farklı ülke ve kültürlerde ne şekilde değerlendirildiği ve düzenlendiğinin tespiti de çalışma kapsamında çıkacak sonuçların evrenselliği açısından önem arz etmektedir

Çalışmada farklı ülkelere yasal düzenleme örneklerinde; tez çalışmasının yapıldığı ülke olması nedeniyle Türkiye'ye, imar planı sisteminin birçok ülke tarafından örnek kabul edilmesi sebebiyle Almanya'ya; kendine has sistemleri olması sebebiyle İngiltere'ye, imar hukukuna ise imar sisteminin bütünüyle bambaşka bir anlayış geliştirmesi sebebiyle ABD'ne yer verilmiştir.

2.3.3.1. Türkiye

Türkiye'de planlama hiyerarşisi genel düzeyde olan ulusal planlardan başlayarak somut ve yerel düzeyde yer alan planlara kadar kademelenmektedir. Kalkınma planları ile başlayan kademelenme; bölge planları, mekânsal strateji planları, çevre düzeni

planları, nazım ve uygulama imar planları şeklinde devam etmektedir. Planlama kademelenmesinin alt kararlarını ise yazılı hükümleri içeren imar plan notları, imar yönetmelikleri, imar komisyonu ve kent estetik kurulu raporları oluşturmaktadır. Bu kararlar imar mevzuatı hiyerarşisinin en alt kademesinde yer almasına rağmen; kararların yüksek yaptırım gücüne sahip oldukları, yerel yönetimlerce alınan kararlar olmalarıyla da hazırlık ve onay süreçlerinin hızlı ilerlediği görülmektedir (Dede ve Şekeroğlu, 2020).

Günümüzdeki mimari tasarım ve projelendirmeye yönelik işlemler, yürürlükte bulunan 03.05.1985 tarihli ve 3194 sayılı imar kanunu ile imar mevzuatı kapsamındaki diğer kanunlara göre Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı başta olmak üzere diğer Bakanlıklar tarafından hazırlanıp düzenlenmiş olan yönetmelik hükümlerine göre Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğince yapılmaktadır. İmar parselinin kullanım şeklini ve yapılması istenen yapının özelliklerini, yolları ve uygulamaya esas olacak diğer bilgileri belirten kadastral durumu da işlenen belge olan imar durum belgesinde belirlenen kısıtlar kapsamında Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde (PAİY) belirlenen düzenlemelere göre tasarım gerçekleştirilmektedir (Şekil.2.9.).

İMAR DURUMU (Ç A P) BELGESİ

T.C. DULKADIROĞLU BELEDİYESİ İMAR VE ŞEHİRCİLİK MÜDÜRLÜĞÜ		BAŞVURU YAPANIN ADI SOYADI : MUSTAFA KAYA ADRESİ : YENİŞEHİR MAH. AZERİBAYCAN BULV. NO:33/10 K.MARŞ 33.12.2015 Tarihli dilekçesine karşılık.	
BELİRTİLMİYEN HURUSLARDA 3194 SAYILI İMAR KANUNU/PLANLI ALANLAR, TİP İMAR YÖNETMELİĞİ VE İMAR PLAN NOTLARI GEÇERLİDİR.			
Bina yüksekliği	PROJESİNDE	İnşaat nizamı	TAKS : - (E : 1.50)
Kat sayısı	PROJESİNDE	Cephe	PROJESİNDE
Bina derinliği	PROJESİNDE	Bina sahəsi	PROJESİNDE
Ön bahçe mesafesi	5.00 M	İnşaat alanı	PROJESİNDE
Kompu mesafe	PROJESİNDE	Emsal	E:1.50'E GÖRE=641.97 M2
Arka bahçe mesafesi	PROJESİNDE	ONANLI İMAR PLANININ	
Kırmızı kotu	PARS. ÇEPL. ALD. YOL	Ölçeği	1/1000
ORTA NOKTA HIZ. BORDÜR ÜST SEV.		Tasdik tarihi	10.02.2013
		Tasdik tarihi	10.02.2014
TASINMAZA AİT BİLGİLER			
KADASTRO	ADA	PARSEL	TAPU ALANI
	3183	10	427.98 M2
		CİNSİ	MAHALLESİ
		ARSA	YENİŞEHİR

KARMA KULLANIM ALANLARI
E=1.50
Max.Kat= 4

DİJİTAL ARŞİVE İŞLENMİŞTİR.

Şekil 2.9. Türkiye’de Kahramanmaraş’ın Dulkadiroğlu ilçesinde bulunan bir parsel için imar durum belgesi (URL-1)

Yönetmeliklerde yapılaşmaya dair yer alan hükümler, özellikle taban alanı katsayısı, emsal (katlar alanı katsayısı), bahçe (çekme) mesafeleri ve yapı yaklaşma

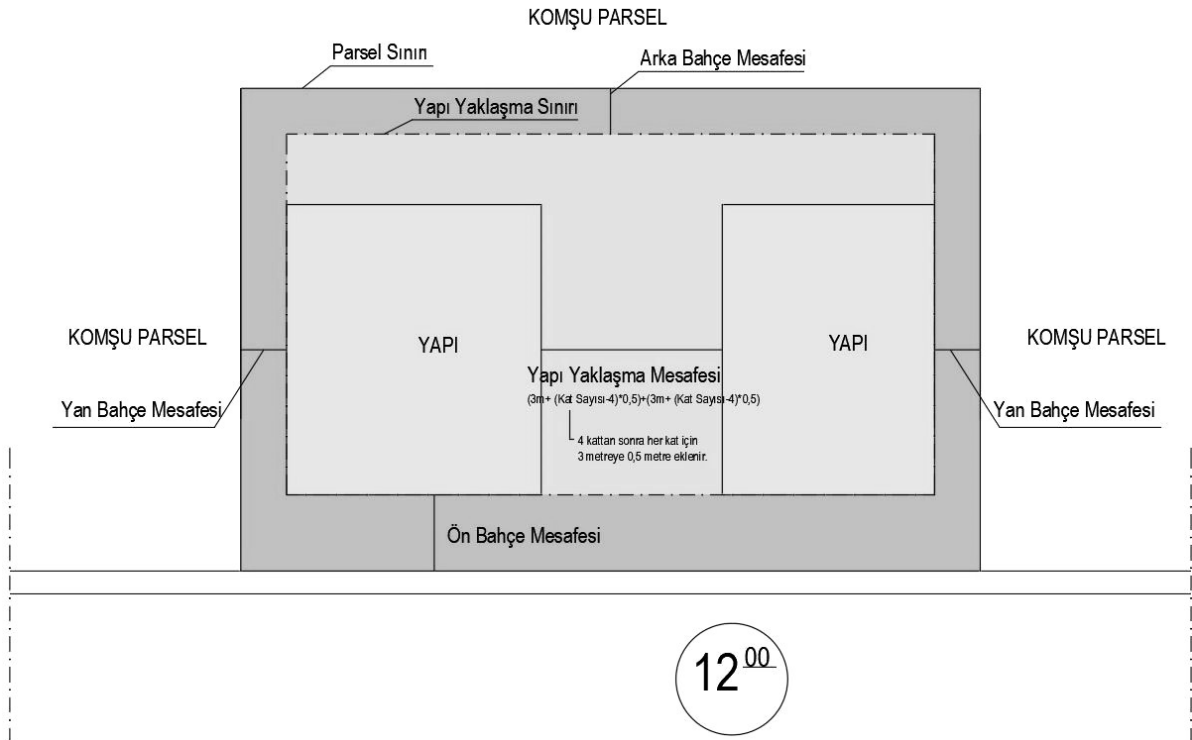
mesafeleri gibi kriterler, tasarımın erken aşamalarında alınan kararları doğrudan etkileyerek, yapının enerji performansına da yansıyan önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Bu düzenlemelerin kısa açıklamaları aşağıda sunulmuştur (Şekil 2.10).

Taban alanı katsayısı; yapının zeminle temas eden en dış kolon yüzeylerinin, en kısa doğru çizgilerle birleştirilmesi sonucu elde edilen alanın, imar parselinin toplam yüzey alanına oranıdır. Bu katsayı, her bir parsel için imar durum belgesinde sabit bir değer olarak tanımlanmıştır.

Katlar alanı katsayısı; bir arsa üzerinde inşa edilebilecek toplam net inşaat alanını belirler. Bu değer, tüm kullanılabilir katların, kat alanına dahil edilmeyen bölümleri çıkarıldıktan sonra kalan toplam alanın, imar parsel alanına oranı şeklinde tanımlanır ve yine her parsel özelinde sabit bir değer olarak belirlenmiştir.

Bahçe mesafeleri; yapıların parsel sınırlarına olan en yakın konumlarını belirler ve ön, arka ve yan bahçe sınırları olmak üzere üçe ayrılır. Bu mesafeler, binanın doğal ya da tesviye edilmiş zemin üzerindeki konumuna göre hesaplanır.

Yapı yaklaşma mesafesi; bir parsel üzerinde birden fazla yapı bulunduğunda bu yapılar arasındaki mesafeyi ifade eder. Her bir yapının ayrı ayrı hesaplanan yaklaşma mesafeleri toplanarak binalar arası mesafe belirlenir.



Şekil 2.10. Yönetmeliğin yapılaşmaya yönelik hükümlerinin parsel üzerinde gösterimi (PAİY’ den üretilmiştir.)

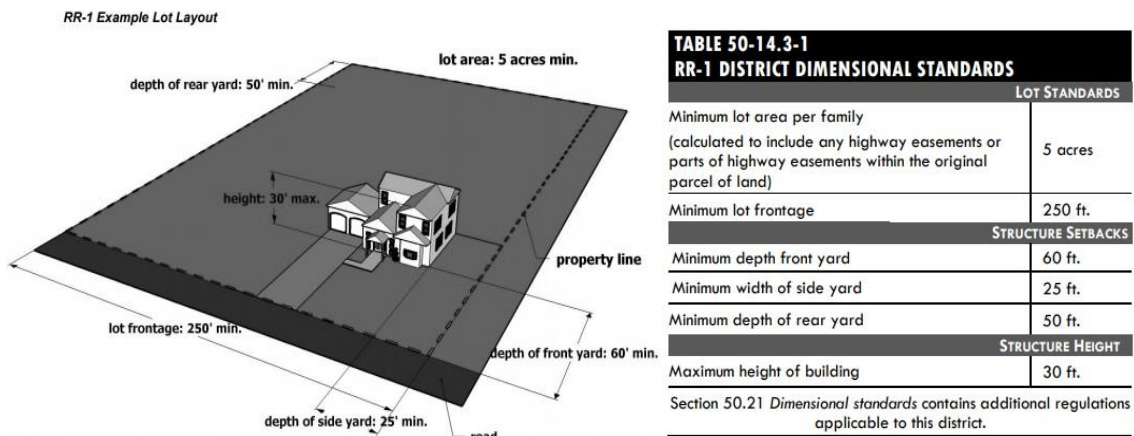
2.3.3.2. Amerika

Amerika’da merkezi bir planlama sistemi bulunmamakta, bu konu eyaletlerin yetki alanı içinde çözümlenmektedir. Federal düzeyde sadece 1926 tarihli “Tip Eyalet İmar Yetki Kanunu” (Standard State Zoning Enabling Act- SSZEA) bulunmakta ve bu tip kanun eyaletlere “yol gösterici” niteliği bulunmaktadır. Bu sistemde, imar planlarına devletin müdahalesi ile ilgili temel olarak dört çeşit yaklaşım bulunduğu görülmektedir:

1. Yerel otoritelere planlama yapma yetkisi veren eyaletler,
2. Özel toprak parçaları ve imar aktivitelerinin eyalet düzenlemesi olarak ele alındığı eyaletler,
3. Eyalet düzeyinde tatbik edilmeyen ancak, eyaletin denetiminde yerel otoriteler tarafından hazırlanan planların bulunduğu eyaletler,
4. Eyalet düzeyinde tatbik edilen ve eyaletin denetiminde hazırlanan planların bulunduğu eyaletler.

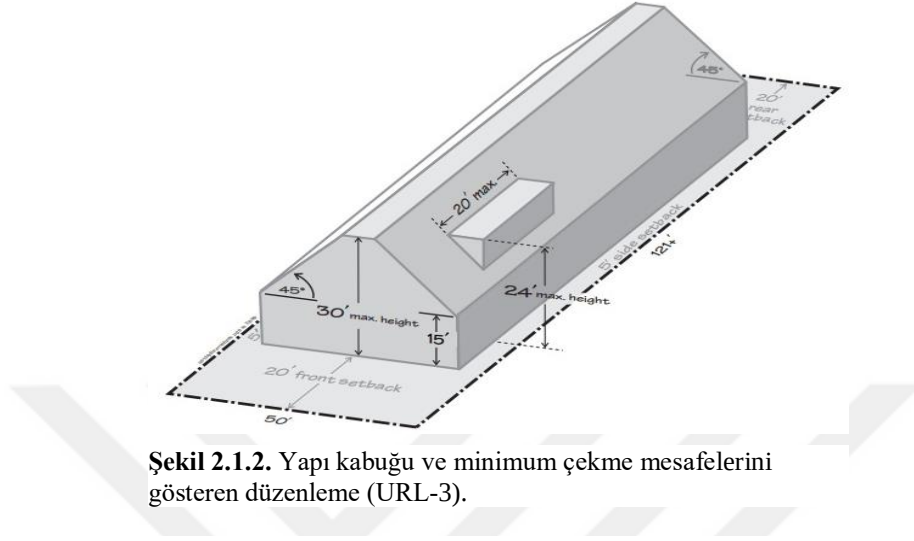
Genel olarak ifade etmek gerekirse, ABD’de yerel yönetimlerin aldığı kararlar federal devlet ve eyaletlerin aldığı merkezi kararların önüne geçmekte, adeta onların yerini almaktadır (Akkaş Çağlar, 2016).

Örneğin, Amerika’nın Minnesota eyaletindeki Duluth şehrinde yasal düzenlemeler, Zoning Regulations (Bölge Düzenlemeleri) olarak geçmektedir. Birleşik Kalkınma Bölümü, Duluth Şehrindeki arazi kullanımı ve gelişimine rehberlik eden resmi kurallar ve düzenlemeler organıdır. Şehrin imar ve alt bölüm düzenlemelerini içerir. Her bölgeye özel düzenlemeler söz konusudur (Şekil.2.11., Şekil.2.12., Şekil.2.13., Şekil.2.14.).



Şekil 2.11. Amerika’nın Minnesota eyaletindeki Duluth şehrinde bir parselde yapılacak binanın imar durumunu gösteren belge (URL-2).

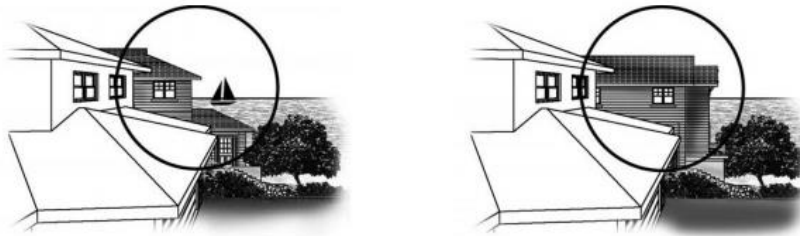
Kaliforniya eyaletindeki San Mateo kentinde geçerli olan yaklaşık 886 sayfalık bir Zoning Regulations (Bölge Düzenlemeleri) bulunmaktadır.



Şekil 2.1.2. Yapı kabuğu ve minimum çekme mesafelerini gösteren düzenleme (URL-3).



Şekil 2.13. Çitler, duvarlar ve benzeri elemanlarının tasarımının ana binaların mimarisi ve çevreleyen mahalle ile uyumlu olmasını belirten standart (URL-3).



Şekil 2.14. Yeni bir ev veya eklenti tasarlarken komşu evin manzarasını kapatmamak için çaba sarf edilmesi gerektiğini belirten standart (URL-3).

2.3.3.3. İngiltere

İngiltere'deki yasal planlama sistemi üç temel yapı üzerinden şekillenmektedir: İlk olarak, yerel yönetimlerin aldığı imar kararları ve hazırladığı planlar; ikinci olarak, bu yerel düzeydeki karar ve planların merkezi hükümet tarafından denetlenmesi; üçüncü

olarak ise bazı özel konularda doğrudan karar alma yetkisine sahip merkezi kuruluşların varlığıdır. Bu sistemin işleyişinde, detaylı ve bağlayıcı kurallardan ziyade, merkezi yönetim tarafından hazırlanan ve yerel otoritelere hangi hususların dikkate alınması gerektiğini gösteren rehber nitelikli ilkeler esas alınır.

2011 sonrasında İngiltere’de mekânsal planlama yaklaşımlarında ölçek küçültülmüş, daha geniş alanları kapsayan planlar yerine mahalle düzeyine kadar inen, yerel özelliklere odaklı politikaların geliştirilmesine ağırlık verilmiştir. Aynı yıl yürürlüğe giren yasa sonrası, 2012’de yayımlanan Ulusal Planlama Politikası Çerçevesi (National Planning Policy Framework – NPPF), planlama sistemine yön veren temel prensipleri ortaya koymuştur.

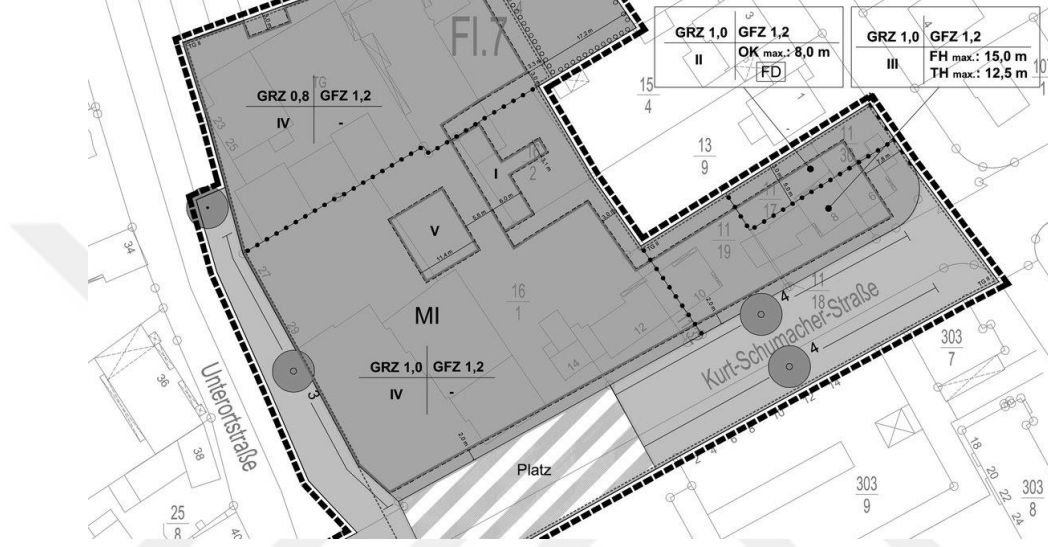
İngiliz planlama sistemi genel olarak esnek bir yapıya sahiptir ve “olabilir”, “olmalı” ve “dikkate alınmalı” gibi ifadeler etrafında şekillenen politikalarla tanımlanır. Bu yaklaşım, karar vericinin yalnızca mevcut kurallara değil, aynı zamanda öngörülemeyen durumları da dikkate alarak mesleki değerlendirme yetisini kullanmasının önemine işaret eder (Hirt, 2014).

Türkiye’deki gibi ayrı bir imar durumu belgesi bulunmamaktadır; arsaya ilişkin bilgiler, yalnızca mülkiyet durumunu gösteren tapu belgelerinde yer alır (URL-4). Tasarım sürecine başlanmadan önce yerel yönetimden tam planlama izni alınmalıdır. Ardından, NPPF kapsamında belirlenen ve A’dan P’ye kadar toplam 13 başlık altında toplanmış yönetmeliklere uygun olarak tasarım gerçekleştirilmelidir. A: Yapı, B: Yangın güvenliği, C: Kirletici maddelere ve neme karşı direnç, D: Zehirli maddeler, E: Ses, F: Havalandırma, H: Atık bertarafı, J: Yakıt sistemi, K: Çarpışma, L: Enerji verimliliği, M: Bina kullanımı ve erişim, N: Cam ve pencereler, P: Elektrik güvenliği. Örneğin, A bölümü yapısal güvenliği ele alırken, tasarımın çevredeki yapılarla olan ilişkisi, yapı yoğunluğu gibi kriterleri de kapsar. Yönetmelikte belirtilen hükümlere sıkı şekilde uyulması gerekirken, detaylı kontroller yerel yönetim tarafından yetkilendirilmiş bina denetim müfettişleri tarafından yürütülür.

2.3.3.4. Almanya

Almanya’da kamu inşaat hukuku sorumluluğu federal ve eyalet hükümetleri arasında bölünmüştür. İmar yasası (Bauplanungsrecht) federal yasadır. Bir mülkün hangi amaçla kullanılabileceğini ve bir bina projesinin çevresine uyup uymadığını belirler (Şekil.2.15.).

Federal eyaletler, planlama yasası gereksinimlerini karşılamak için binaların nasıl tasarlanıp inşa edilebileceğini belirleyen bina yönetmeliği yasasından (Bauordnungsrecht) sorumludur. Her eyalet kendi bina yönetmeliğini çıkarır. Bununla birlikte, eyaletlerin çoğu, devlet bakanlıkları tarafından çıkarılan ve aynı zamanda bu alanda belirli standardizasyon için hüküm sağlayan örnek bir yönetmeliği kabul etmiştir (URL-5).



Şekil 2.15. Almanya'nın Hesse Eyaletinde bir parselde yapılacak binanın taban alanı, kat alanı ve maksimum yükseklik değerlerini belirten plan (URL-6)

Örneklerden görüldüğü üzere imar planlarının yapılması ve parsel bazında uygulanması aşamaları her ülkede farklı şekillerde görülmektedir. Fakat hepsinde parsel üzerinde mimari tasarımı kısıtlayıcı müdahaleler bulunmaktadır. Bu durum da erken tasarım evresinde alınan tasarım kararlarını ve bina enerji performansını etkilemektedir.

2.4. Algoritma Destekli Tasarım

Algoritmalar, belirli bir amaca ulaşmak üzere girdileri sistematik hesaplama süreçleriyle işleyerek istenen çıktıları üreten, adım adım tanımlanmış işlem dizileri olarak tanımlanır (Gillespie, 2013). Bir problemi çözmeye yönelik sıralı işlemler bütünü olan algoritmalar; tümevarım, tümdengelim, soyutlama, genelleme ve yapısal mantığı içeren, karmaşık süreçleri sonlu adımlara indirgeme çabasını temsil eder (Terzidis, 2003). Değişkenler, sabit değerler, parametreler ile bunlar arasındaki ilişkiler, tekrarlar ve döngüler içeren algoritmalar yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda kendine özgü düşünsel bir yaklaşım biçimidir. Algoritmaların tasarımıyla olan ilişkisi, tarihsel olarak Vitruvius'a kadar uzanan bir tartışma alanı oluşturmakla birlikte (Cache, 2014), günümüzde bu yapılar, yapay sistemler ile doğal diller arasında bir köprü işlevi

görmekte ve tasarım sürecinde anlamlı bir yer edinmektedir. Mimarlıkta algoritmalar; tasarımcı ile tasarım modeli arasındaki etkileşimi, sürecin işleyişini, biçim ile bağlam arasındaki ilişkiyi ve biçimin oluşumunu doğrudan etkileyen ve dönüştüren araçlardır (Alaçam ve diğ., 2019).

Algoritmalar, başlangıçta bilgisayar bilimlerinin temel bileşeni olarak ortaya çıkmış olsa da, teknolojik gelişmelerin etkisiyle artık pek çok disiplinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalı tasarım yaklaşımı, algoritmalar ve algoritmik düşünce yapısını temel alarak, tasarımın parçalarının değişken niteliklerine göre esnek biçimde yeniden üretilmesini ve çeşitlenmesini mümkün kılar (Karabaş, 2015). Bu bağlamda algoritma temelli tasarımı kavrayabilmek için, bilgisayar destekli tasarımdan hesaplamalı tasarım anlayışına geçiş süreci kısaca değerlendirilmektedir.

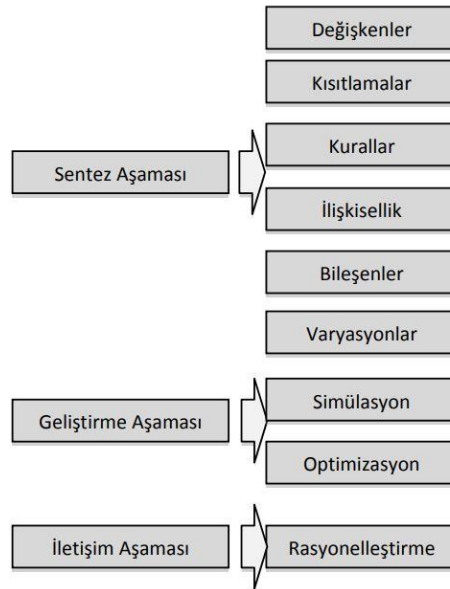
Bilgisayar teknolojilerinin 1960'lardan itibaren tasarım sürecine entegre edilmesiyle birlikte, bilgisayarlar mimarlık pratiğinin bir parçası haline gelmiştir. "Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım" (Computer Aided Architectural Design – CAAD) kavramı ilk olarak 1970'li yıllarda William Mitchell tarafından gündeme getirilmiştir (Çağdaş, 2002). Bu dönemde bilgisayar destekli tasarım, akademik araştırmaların konusu haline gelmiş; Carnegie Mellon ve Ohio State gibi üniversitelerde, bilgisayar bilimleri ile mimarlık alanlarının kesiştiği araştırmalar Charles Eastman gibi öncüler tarafından yürütülmüştür. 1980'li yıllarda William Mitchell (University of California, Los Angeles), Chris Yessios (Ohio State), Yehuda Kalay (SUNY Buffalo), Harold Borkin (University of Michigan) ve Donald Greenberg (Cornell Üniversitesi) gibi isimler öncülüğünde araştırmalar yaygınlaşmıştır (Akipek, 2004). 1990'lı yıllardan itibaren ise bilgisayarlar yalnızca çizim aracı olarak değil, tasarım sürecinin erken aşamalarında karar verme aracı olarak da kullanılmaya başlanmıştır (Mutlu Avinç, 2020).

Günümüzde dijital teknolojiler, hem tasarımcıları hem de akademisyenleri yeni yöntemler geliştirmeye, farklı tasarım problemlerini formüle edip özgün çözümler üretmeye yönlendirmiştir. Bu çerçevede ortaya çıkan hesaplamalı tasarım, “tanımlı çevresel faktörler ile tasarım bileşenleri arasındaki etkileşim ve bilginin işlenmesi süreci” olarak tanımlanmaktadır (Menges ve Ahlquist, 2011). Bu yaklaşımla, tasarımcı; algoritmalar, kurallar, parametrik sistemler, matematiksel ilişkiler ve veri yapıları aracılığıyla tasarım mantığını hesaplanabilir hale getirmektedir. Bu durum, geleneksel tasarım süreçlerinden önemli bir kırılmayı ve dönüşümü ifade etmektedir.

1990’lardan günümüze kadar olan dönemde, hesaplamalı tasarımın kuramsal ve düşünsel yönleri çok sayıda araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Örneğin, Kalay (2004) ve Szalapaj (2001), CAD (computer aided design) sistemlerinin teorik temelleri ve yöntemleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Kolarevic (2003) ve Oxman (2006) ise hesaplamalı tasarım yöntemlerini sistematik olarak sınıflandırmaya çalışmışlardır (Turan, 2009).

Oxman (2006), hesaplamalı tasarımı yedi farklı başlık altında incelemiştir: topolojik tasarım, parametrik tasarım, animasyon temelli tasarım, biçim diline dayalı tasarım, performans odaklı tasarım, evrimsel tasarım ve üretken performans tasarımı. Kolarevic ise benzer bir sınıflamada topolojik mimarlık, izomorfik mimarlık, animasyona dayalı mimarlık, biçim değiştiren (metamorfik) mimarlık, parametrik mimarlık, performans dayalı mimarlık, gelişim odaklı algoritmalar ve evrimsel mimarlık gibi kategoriler önermiştir (Kolarevic, 2000).

Bu yöntemlerin her biri, geleneksel tasarım yaklaşımlarından farklı kavramsal araçlar ve süreçler içermektedir. Hesaplamalı tasarımda kullanılan özgün terimler ve yaklaşımlar, tasarım sürecinin parametrik ve algoritmik olarak biçimlenmesine olanak sağlayan temel yapı taşlarını oluşturmaktadır (Oxman, 2006; Terzidis, 2006).



Şekil 2.16. Hesaplamalı tasarımda kullanılan genel kavram ve teknikler şeması

Şekil 2.16. da verilen kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- **Değişkenler:** Geometrik çeşitliliğin oluşturulmasında kullanılan temel parametrelerdir. Değişken olarak tanımlanan kriterlerin artırılıp azaltılmasıyla yeni tasarım alternatifleri elde edilebilmektedir (Burry & Burry, 2010).
- **Kısıtlamalar:** Tasarım süreci boyunca sabit kalan ve çözüm aralığını belirleyen sınırlayıcı değerlerdir. Geometrik, matematiksel veya sayısal olabilen bu kısıtlamalar, konvansiyonel tasarım süreçlerinde de kullanılan temel öğeler arasında yer almaktadır (Shea ve diğ., 2005).
- **Kurallar:** Geometrik tanımlama sürecinde stratejik bir öneme sahiptir. Değişkenlerin ve kısıtlamaların nasıl kullanılacağını belirleyen bu kurallar; döndürme, artırma, eksiltme veya yükseltme gibi eylemleri içerebilir. Genetik algoritmalar (GA) kullanılan yöntemlerde ise mutasyon ve çaprazlama gibi doğal süreçler bu kurallar kapsamında değerlendirilmektedir (Frazer, 1995; Kolarevic, 2003).
- **İlişkiselik:** Tasarım sürecinde birbirini etkileyen bileşenler arasındaki bağlantıyı ifade etmektedir. Tanımlanan bileşenler arasındaki ilişkisel bağ sayesinde, değişimler dinamik olarak ve kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir (Oxman, 2006).
- **Bileşenler:** Değişkenler ve kısıtlamalarla şekillenen geometrik elemanlardır. Kavramsal veya fiziksel olabilen bileşenler, performans kriterleri, kurallar ve diğer tasarım unsurlarıyla etkileşim içinde olup, sistemin bütünü oluşturmaktadır (Menges, 2012).
- **Varyasyonlar:** Tasarıma dair tanımlanmış kısıtlar ve değişkenler doğrultusunda ortaya çıkan alternatif çözümlerdir. Parametrik olarak tanımlanan veriler üzerinden türetilen varyasyonlar genellikle öngörülebilir nitelikte olurken, algoritmik tanımlamaların kullanıldığı senaryolarda daha öngörülemeyen, sürprizli tasarım seçenekleri oluşabilmektedir (Terzidis, 2006).
- **Animasyon:** Bir formun ve bu formu etkileyen dışsal faktörlerin zaman içindeki değişimini yansıtan bir süreçtir. Burada yalnızca görsel karelerin hareketi değil; aynı zamanda yapıların çevresel etkenlerle, örneğin ışık, rüzgar, yağmur veya ses ile etkileşimi de modellenmektedir. Bu etkileşimlerin simülasyonu sayesinde tasarım kararları daha gerçekçi biçimde değerlendirilebilir (Lynn, 1999).
- **Simülasyon:** Gerçek bir sistemin işleyişini tahmin etmek üzere, dijital ortamda oluşturulan modelleme sürecidir. Zamana bağlı parametre değişimleriyle

oluşturulan bu modeller, sistemin fiziksel koşullar altında nasıl davranacağını önceden görebilmeyi amaçlar (Schodek ve diğ., 2004).

- **Optimizasyon:** Belirlenen sınır koşulları içinde en etkili ve verimli sonucu elde etmeye yönelik çözümlerin araştırıldığı süreçtir. Hesaplamalı tasarım kapsamında, türetilen varyasyonlar arasından en uygun çözümün belirlenmesi, genellikle optimizasyon algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilir (Peters, 2013).
- **Dökümantasyon / Rasyonelleştirme:** Tasarımın uygulamaya geçirilmesine olanak tanıyacak detayların ve yapım tekniklerinin açıklandığı, teknik çıktıları içeren aşamadır. Bu süreç, tasarımın üretim aşamasına sorunsuz bir şekilde aktarılmasını sağlarken, aynı zamanda olası hataların en aza indirgenmesini hedefler.

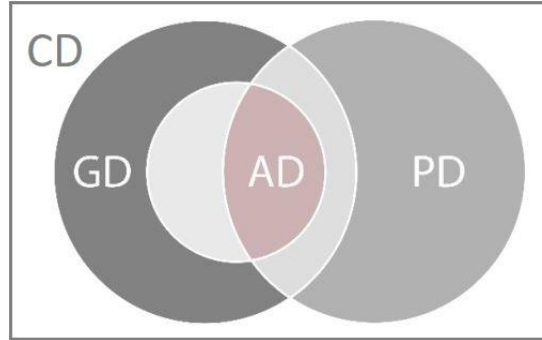
Bu kavramlar, hesaplamalı tasarımın temel bileşenleri olarak süreçlerin daha verimli ve parametrik bir yaklaşımla yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte hesaplamalı tasarım yöntemleri, mimari üretimde yenilikçi çözümler sunarak tasarım süreçlerini dönüştürmektedir (Oxman, 2017)

Tasarım sürecine dahil edilen kavramsal ve teknik bileşenler, genellikle tasarıma başlanmadan önce tanımlanmakta, süreç ilerledikçe ise yeniden yapılandırılarak geliştirilmektedir. Tasarımcı, oluşturduğu bu verileri dijital ortamda sayısal formlara dönüştürerek tasarımı üretir. Bu bağlamda, analiz edilen kavramlar doğrultusunda şu değerlendirmelere ulaşılmıştır (Caetano ve diğ., 2020):

- Tasarımcı, sürecin başında konsept geliştirme, hedeflerin belirlenmesi, geometrik kararlar, kullanılacak teknik ve yöntemler gibi kriterleri tanımlamaktadır. Ardından, kısıtlamalar, değişkenler, kurallar, bileşenler ve ilişkiler gibi unsurlar, geometrik tanımın sentez aşamasında aktif olarak kullanılmaktadır.
- Hesaplamalı tasarım süreci, sabit ve doğrusal bir yapı sunmaz. Fiziksel ve dijital deneyimler sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, süreç içerisinde çeşitli revizyonlar ve eklemeler yapılabilir. Özellikle bu aşamada animasyon, simülasyon ve optimizasyon teknikleri devreye girerek geometrik tanımlamanın ayrılmaz parçaları haline gelir.
- Geometrik tanımlama için gerekli olan bu içerikler, farklı modelleme süreçlerinin tümünde geçerliliğini korur. Sürecin başında değişkenler ve kısıtlamalar belirlenir, ardından bu bileşenler arasında ilişkiler tanımlanarak sürecin temel stratejik kuralları kurgulanır.

- Varyasyon oluşturma süreci farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Tasarımcı; değişkenler, kısıtlamalar, kurallar ve ilişkileri tanımlayarak biçim gramerleri, parametrik sistemler veya performansa dayalı tasarım teknikleriyle varyasyonlar geliştirebilir. Alternatif olarak, bu unsurlar tanımlandıktan sonra performans odaklı teknikler kullanılarak daha öngörülemeyen varyasyonlar üretilebilir (örneğin, evrimsel tasarım, üretken tasarım veya animasyona dayalı modeller gibi).
- Geometrik tanımlama verileri oluşturulduktan sonra, tasarımcı süreç çıktısını varyasyonlar üzerinden analiz eder. Bu değerlendirme doğrultusunda gerektiğinde geriye dönerek parametreleri yeniden düzenleyebilir. Böylece kısa sürede yeni alternatifler üretilebilir.
- Süreçte kullanılan performans teknikleri, her tasarım yönteminde zorunlu değildir. Tasarımcı, geometrik tanımlamayı gerçekleştirdikten sonra ihtiyaca göre animasyon, simülasyon veya optimizasyon tekniklerinden birini ya da birkaçını seçerek uygulayabilir.
- Hesaplamalı tasarım süreçleri içerisinde yaratıcı evrede yer alan sentez aşamasının karşılığı geometrik tanımlama olarak kullanılmaktadır. Bu aşamada, verilerin yazılıma, sayısal olarak (değişkenler için özel değerler), grafiksel olarak (noktalar, çizgiler, eğrisel çizgiler, üç boyutlu eğri şekillerin matematiksel temsilleri) ya da üç boyutlu geometrik elemanlar (kare, dikdörtgen gibi şekiller) olarak girildiği görülmektedir. Analizi gerçekleştirilen tüm projelerde, tasarımcı tarafından yazılıma girilen veri-enformasyon -bilgi ile tasarımcının fikirleri ve belirlediği konsept, üç boyutlu bir geometriye dönüşmektedir. Tasarımcı ve bilgisayar, işbirliği içerisinde ortak gibi çalışmakta; tasarımcı, veri olarak tanımlanan kısıtlamaları, değişkenleri, kuralları, bileşenleri, ilişkiselliği bilgisayara girmektedir. Tanımlanan bu veriler ve uygulanan yöntem sonucunda tasarımcı, varyasyonları oluşturabilir, varyasyonların oluşumunda bilgisayarla birlikte hareket edebilir ya da sadece bilgisayar varyasyon üretebilir (üretken modeller).
- Geliştirme aşamasında değerlendirmesi yapılan form, iletişim aşaması içerisinde uygulamaya hazır duruma getirilmektedir. Tasarımcı, üretim aşaması için uygulama çizimlerini hazırlamaktadır. Kompleks geometrilerin rasyonelleştirilmesi de bu aşamada olmaktadır (Oxman, 2006; Peters, 2013).

Günümüzde hesaplamalı tasarım bağlamında Parametrik, Üretken, Algoritmik Tasarım terimleri incelendiğinde karşımıza bazı tanımlar çıkmaktadır. Parametrik tasarım kavramı tanımlamalarında ölçülebilen değişkenlere bağlı olarak tanımlanmasının yanında Zarei (2012) tanımı iki kategoriye ayırmaktadır, birincisi konsept modelleme için bir yöntem, diğeri ise mimari yapı için fikirdir. Bir tasarım süreci veya ürünün parametreler ve ilişkiler yoluyla tanımlanması ve kontrol edilmesi anlamına gelir. Bu yöntem, CAD ve diğer dijital tasarım araçlarıyla birlikte kullanılır ve tasarım sürecini daha esnek, ölçeklenebilir ve değişken hale getirir. Abdelmohsen'e (2013) göre üretken tasarım tanımı hücresel özdevinim, evrimsel yöntemler, üretken ve biçim gramerleri, L sistemleri, kendi kendine organize etme, etken tabanlı modeller ve sürü sistemlerini kapsamaktadır. Bunların yanında performansa dayalı sistemlerin üretken tasarım tanımını kapsadığı belirtilmektedir. Algoritmik tasarım ise Cambridge sözlüğüne göre *“bir soruna cevap veren matematiksel bir dizi ögesinin hesaplanmasına yardımcı olacak talimatlar veya kuralların bütünü”* olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda tanımlar karşılaştırıldığında Şekil.2.17 ortaya çıkmıştır. Algoritmik tasarım üretken ve parametrik tasarımın kesişim alanında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu tür yaklaşımlar ile yazılım araçları, tanımlamalar ve yaklaşımlar süreç içerisinde güncellenmektedir (İşbitiren, 2021).



Şekil 2.17. Caetano Santos, Leitão (2020)'den türetilmiştir. CD: Computational Design (Hesaplamalı Tasarım); GD: Generative Design (Üretken Tasarım); AD: Algorithmic Design (Algoritmik Tasarım); PD: Parametric Design (Parametrik Tasarım) ilişkisi.

Algoritma destekli tasarım, toplanan verilerle henüz keşfedilmemiş olanı bulma ve özellikle matematiksel ve mantıksal ilişkilerde insan beyninin kapasitesini artırma yeteneği sağlamak için ve karmaşık problemlerin çözümü için kullanılmaktadır (Koçak, 2019). Algoritma destekli tasarım, tasarımdan önce toplanan verilerin nasıl işleyeceğini bilmektir (Tedeschi ve Lombardi, 2017). Algoritma destekli tasarımda ana odak geometrinin de algoritmalar ile tasarlanmasıdır (Humppi, 2015).

Algoritma destekli tasarımın temel özellikleri şunlardır:

1. Problemin Algoritma ile Analizi: Karmaşık problemler genellikle daha küçük ve yönetilebilir alt problemlere bölünür. Her bir alt problem için uygun bir algoritma seçilir ve bu alt problemleri çözmek için adımlar tanımlanır (Caldas ve Norford, 2002).
2. Algoritmaların Seçimi ve Tasarımı: Her alt problemin çözümü için uygun algoritmalar seçilir veya yeni algoritmalar tasarlanır. Bu algoritmaların verimliliği, doğruluğu ve uygulanabilirliği dikkate alınarak seçim yapılır (Mitchell, 1998).
3. Bileşenler Arası Etkileşimlerin Belirlenmesi: Tasarlanan algoritmalar ve çözümler arasındaki bağlantılar ve etkileşimler analiz edilir. Bu, bileşenlerin nasıl bir araya geleceğini ve bir sistem veya süreç içinde nasıl çalışacaklarını belirlemek için önemlidir (Terzidis, 2006).
4. Optimizasyon ve Performans Analizi: Algoritma destekli tasarım sürecinde, tasarlanan çözümlerin performansı sürekli olarak değerlendirilir ve iyileştirme fırsatları aranır. Bu genellikle algoritmaların zaman karmaşıklığı (ne kadar sürede çalıştığı), hafıza karmaşıklığı (ne kadar bellek kullandığı) gibi metrikler üzerinden yapılır.
5. Uygulama ve Doğrulama: Tasarlanan algoritmalar ve çözümler gerçek dünya uygulamalarında test edilir ve doğrulanır. Bu aşama, algoritmaların beklenen işlevselliği sağladığından emin olmak için kritik öneme sahiptir (Frazer, 1995).

2.5. Bina Enerji Optimizasyonu

Optimizasyon Türk Dil Kurumu (TDK) sözlüğünde “*en uygun duruma getirme*” olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda bir işlemin en iyi sonucu, belirli kısıtlamaları yerine getirirken sağlaması ile ilgilidir (TDK, 2025). Belli sayıda mümkün çözüm arasından en uygun olanını seçmektir. Bu bağlamda optimizasyonu yapılan tasarım ürünü, optimal nitelik ve nicelikteki tasarım parametrelerinden oluşmaktadır. Bu durum belli kriterler yardımıyla elde edilmektedir (Aksoy, 1975). Optimizasyon verilen problemle ilişkili bir şekilde problem çözme stratejisi olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, süreç içerisinde elde edilen varyasyonların çözülmek istenen problem doğrultusunda daraltılmasını kapsamaktadır. Aksoy (1975), tasarım zorunluluklarını yerine getiren ve işlemesi beklenen çözüm kombinasyonlarından birinin diğer alternatiflere göre daha iyi olduğunu, bunun da optimum çözüm olduğunu

belirtmektedir. Optimum çözüme deneme yanılma yoluyla, birbirini izleyen tasarımları değiştirerek varılabilmektedir. Bunun dışında matematik araçlar kullanılabilir. Bilgisayar benzetimi (modelleri) ile deneysel yolun soyut plandaki karşısı izlenebilir.

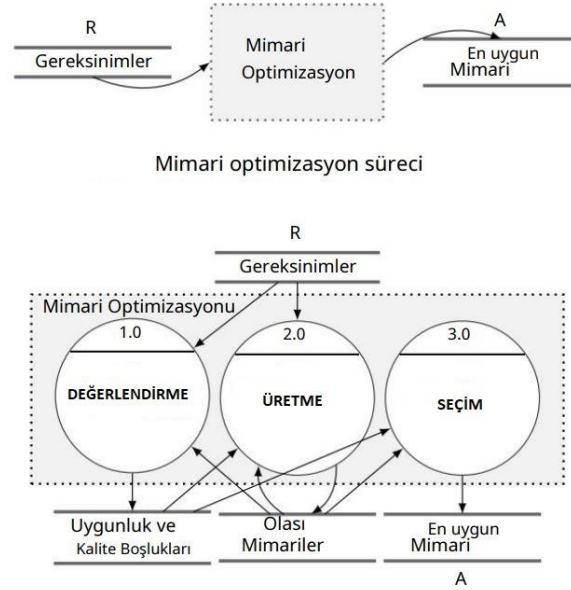
Belli bir karmaşıklık derecesindeki çoğu tasarım ve mühendislik problemi, doğaları gereği çok-amaçlı karar mekanizmalarına ihtiyaç duyar. Çok-amaçlı tasarım problemleri, birbirlerini bastırmayan (domine etmeyen) birden fazla tasarım alternatifinin aynı anda değerlendirildiği problem çözümlerini gerektirir. Bu işlem optimizasyon yöntemleri ile gerçekleştirilebilir. Optimizasyon yöntemleri, çok sayıda tasarım çözümünü verimli bir şekilde keşfetme imkanı sağlar, ancak bir problemi matematiksel olarak ifade etmek kolay değildir. Bunun için farklı disiplinler için farklı tasarım araçları ve optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Mimaride optimizasyon, genellikle bir sistem veya yapının performansını, maliyetini, güvenilirliğini veya başka belirli ölçütleri iyileştirmek için yapılan çeşitli tekniklerin ve stratejilerin uygulanması sürecidir. Bu optimizasyon çabaları genellikle aşağıdaki alanlarda yoğunlaşabilir (Li ve diğ, 2020):

1. Performans Optimizasyonu: Bir yapı veya sistemdeki işlem hızını, tepki süresini veya genel performansı artırmak için yapılan iyileştirmelerdir. Örneğin, bir bilgisayar programının daha hızlı çalışması için algoritma optimizasyonu yapılabilir.
2. Maliyet Optimizasyonu: Bir projenin veya yapının maliyetlerini düşürmek için yapılan çabaları kapsar. Bu genellikle malzeme seçimi, inşaat sürecinin planlanması veya enerji verimliliği gibi faktörler üzerinde odaklanabilir.
3. Enerji Verimliliği: Yapıların enerji tüketimini azaltmak için tasarım ve uygulama süreçlerinde yapılan iyileştirmelerdir. Bu, sürdürülebilir mimari için önemli bir faktördür.
4. Çevresel Etkilerin Azaltılması: Bir yapının çevreye olan etkilerini minimize etmek için yapılan tasarım değişiklikleri veya malzeme seçimleri gibi stratejilerdir.
5. Fonksiyonellik ve Kullanılabilirlik: Bir yapının veya sistem tasarımının, kullanıcı ihtiyaçlarına daha uygun hale getirilmesi için yapılan iyileştirmelerdir. Kullanılabilirlik testleri, ergonomi değerlendirmeleri gibi yöntemlerle bu optimizasyon sağlanabilir.

Mimari optimizasyon, genellikle karmaşık bir dengeleme işidir; çünkü bir yandan performans veya maliyet açısından iyileştirmeler yapılırken, diğer yandan

estetik ve fonksiyonellik gibi tasarımın diğer yönleri de göz önünde bulundurulmalıdır (Machairas, Tsangrassoulis ve Axarli, 2014). Mimari optimizasyon sürecinde alt süreçler ve veri akışı Şekil 2.18. de özetlenmiştir.



Şekil 2.18. Mimari optimizasyon sürecinde alt süreçler ve veri akışı (Erich and Lorenz, 2020).

Son yıllarda hesaplamalı tasarımın gelişimiyle birlikte bina performans simülasyonları ve optimizasyon tekniklerinin entegrasyonu mümkün hale gelmiştir (Fang, 2017). Bu gelişmeler, tasarım sürecinde performansa dayalı kararların alınmasını kolaylaştırarak, farklı tasarım parametreleriyle üretilen alternatif çözümlerin enerji verimliliği açısından karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Performans optimizasyonu, bu bağlamda, çok sayıda değişkenin bir araya getirilerek oluşturulan alternatifler arasında en uygun çözümün bulunmasını hedefleyen, yaygın biçimde benimsenmiş bir yaklaşımdır (Nguyen, Reiter & Rigo, 2014). Bu süreç, genellikle bina simülasyon araçları ile entegre çalışan bir optimizasyon motoru yardımıyla otomatikleştirilmekte ve değişkenler ile amaç fonksiyonlarının girdi olarak tanımlanmasını gerektirmektedir (Machairas, Tsangrassoulis & Axarli, 2014).

Bina performansının optimizasyonuna yönelik çalışmalar özellikle 2000'li yılların sonlarında yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı metasezgisel yöntemlere dayalı algoritmalar ile gerçekleştirilmiş ve özellikle sürü zekâsı yaklaşımlarının bu alandaki potansiyeli vurgulanmıştır (Nguyen, Reiter & Rigo, 2014).

Metasezgisel yöntemler, büyük ve karmaşık optimizasyon problemlerine yaklaşık optimum çözümler sunan algoritmalar olarak tanımlanır. Bu yöntemler, yerel

arama, benzetilmiş tavlama, tabu arama, GA'lar, evrimsel hesaplama ve karınca kolonisi optimizasyonu gibi çeşitli teknikleri kapsar. Metasezgisel yöntemler, farklı kriterlere göre sınıflandırılabilir:

Doğadan esinlenen ve doğadan esinlenmeyen yöntemler: Doğadan esinlenenler, doğadaki biyolojik veya fiziksel süreçleri taklit ederek çözümler üretir (örneğin, karınca kolonisi, GA, benzetilmiş tavlama). Doğadan esinlenmeyenler ise daha çok matematiksel veya yapay süreçlere dayanır (örneğin, tabu arama, yinelemeli yerel arama).

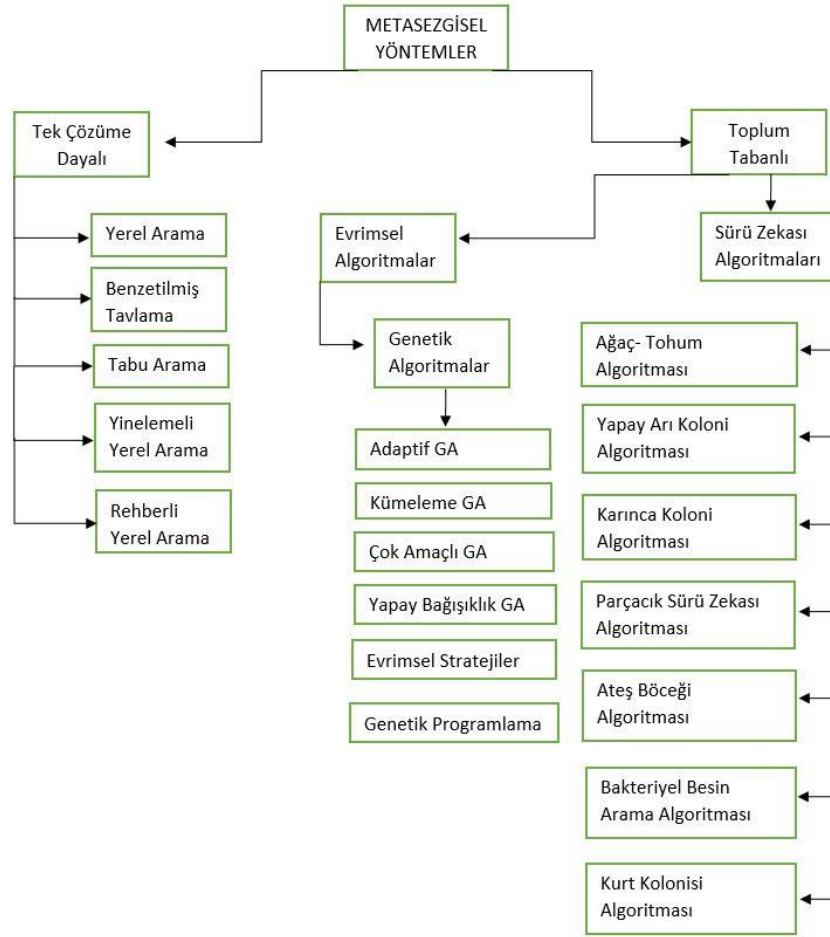
Dinamik ve statik amaç fonksiyonuna sahip yöntemler: Dinamik amaç fonksiyonları, optimizasyon sürecinde değişebilir ve aramanın yerel en iyi çözüme takılmasını önlemeye çalışır.

Komşuluk yapısına göre yöntemler: Çoğu metasezgisel yöntem sabit bir komşuluk yapısına sahipken, bazıları (örneğin, değişken komşuluk arama algoritması, yinelemeli yerel arama) değişken komşuluk yapısını kullanarak arama çeşitliliğini artırır.

Hafıza kullanan ve kullanmayan yöntemler: Bazı algoritmalar (tabu arama, karınca kolonisi optimizasyonu, GA) arama sırasında elde edilen bilgileri hafızada tutarak sonraki aramalarda daha verimli sonuçlar elde etmeyi amaçlar.

Tek çözüme dayalı ve toplum tabanlı yöntemler: Tek çözüme dayalı yöntemler, aramada her adımda tek bir çözüm üzerinde çalışırken, toplum tabanlı yöntemler bir çözüm kümesi (popülasyon) üzerinde paralel olarak ilerler.

Bu çalışma kapsamında, özellikle toplum tabanlı metasezgisel yöntemler kullanılmıştır; algoritmanın her yinelemede birden çok çözümden oluşan bir popülasyon üzerinden ilerlediği yöntemler tercih edilmiştir. Bu sayede arama sürecinde çeşitlilik artırılarak daha sağlam ve kaliteli çözümler elde edilmesi hedeflenmiştir. Şekil 2.19 'da temel metasezgisel yöntemlerin arama *çözüm sayısına dayalı olarak sınıflandırılması* sunulmuştur.



Şekil 2.19. Metasezgisel Yöntemlerin Arama Çözüm Sayısına Dayalı Sınıflandırılması (Onan, 2013’ den üretilmiştir).

Sınıflandırmaya göre toplum tabanlı çözümlerin alt kümesi sürü zekası algoritmaları olarak adlandırılmıştır.

Sürü; birlikte yaşayan hayvan topluluğudur. Yetenekleri tek başlarına sınırlı olan bireylerin-canlıların bir araya gelerek oluşturduğu topluluk anlamında kullanılmaktadır. Hayvanlar niçin sürü halinde dolaşır? Sorusuna verilecek cevap sürü zekasının üstün olan taraflarını oluşturmaktadır.

1.Düşmanlardan korunmak

- Düşman tehditlerini önceden algılamayı geliştirmek
- Düşmanlar tarafından ele geçirilme olasılığını azaltmak

2. Yemek arama başarısını geliştirmek

3. Daha iyi eş bulma şansı yakalamak

4. Enerji tüketimini azaltmak.

Sürü zekası ile ilgili; Bonabeau :“... herhangi bir algoritma tasarımı girişiminde veya yayımlanmış problem çözme cihazlarını tasarımı sosyal böcek kolonilerinin ve diğer hayvan toplumların kolektif davranışlarından esinlenilmiştir...” (Bonabeau ve

diğ.,1999). "Sürü davranışı" genel anlamda topluluk halinde birbirleriyle etkileşen ajanlar veya bireylerin denetimli-kontrollü davranışına işaret etmekte kullanılır. Sürünün zekası; bir fonksiyonu optimize (en iyi hale getirmeye çalışan) eden veya yerel / genel bir çevreye uyum sağlamayı amaç edinmiş birbirleriyle etkileşen bir popülasyon olarak tanımlanabilir (Karaboğa ve Akay, 2010).

sürü zekası $\cong$ toplu uyum

Bu benzerliğe örnek verilirse; Arı kolonilerinin kovan etrafında dolaşarak birbirlerine bilgi aktarımları, karıncaların geçtikleri yollara kimyasal madde bırakarak diğer karıncalara bilgi aktarımları, kuş sürülerinin ve balık sürülerinin konum ve hızlarını ayarlayarak ilerlemeleri sürü zekasına temel teşkil eden “zeki davranış”lardır. Bir sürünün içinde, uzman olan bireyler tarafından aynı anda gerçekleştirilen farklı görevler vardır. Bu tür bir olaya işbölümü denir. Sürü tanımından yola çıkarak açıklanacak olursa; Sürü zekası (kolektif zeka) termitler, arılar, karıncalar, kuşlar, balık sürüleri gibi aralarında etkileşim olan böceklerin veya diğer sosyal hayvanların topluluk halindeki davranışlarını örnek alarak, problemlere çözüm getirmeyi amaçlayan bir yapay zeka tekniğidir. Sürü zekasının temelinde; toplu performans için büyük önem taşıyan iki temel kavram vardır:

1. Kendi kendine organize olmak; Kendi kendini organize etmenin dayandığı dört temel özellik;

- pozitif geri besleme
- negatif geri besleme
- salınımlar
- çoklu karşılıklı etki, etkilenme

2. İş bölümü

Kendi başına organize olabilme, bir sistemdeki temel birimlerin, diğer birimlerle etkileşimlerinden aldıkları bilgileri kullanarak bağımsız işlev görmesi ve böylece sistemin genel davranışını etkilemesidir. Bu süreçte, temel olarak komşuluk bilgileri kullanılır; bir birimin yalnızca yakın çevresinden bilgi alması söz konusudur, sistemin genel durumu hakkında bilgi edinilmez.

Bonabeau ve diğ., (1999), kendi başına organize olabilmeyi dört temel özellik ile açıklamıştır:

- Pozitif geri besleme: Daha uygun çözümlerin ortaya çıkmasını sağlar. Örneğin, karıncaların bıraktığı kimyasal izlerin takip edilmesiyle en uygun yolların

bulunması veya arıların dans ederek zengin nektar kaynaklarını diğerlerine iletmesi.

- Negatif geri besleme: Toplanan bilgilerin dengeye gelmesini sağlar ve topluluğun aşırıya kaçmasını engeller.
- Salınımlar: Rastgele hareketlerle yeni kaynakların keşfedilmesini mümkün kılar.
- Çoklu etkileşim: Bir bireyin diğer bireylerden bilgi alıp kullanabilmesi.

İş bölümü, topluluktaki bireylerin eş zamanlı olarak farklı görevler üstlenmesidir. Özelleşmiş bireylerin birlikte çalışması, tekil bireylerin performansından daha etkili sonuçlar verir ve sistemin çevresel değişimlere uyum sağlamasına yardımcı olur.

Yapay yaşam kavramı, 1980'lerin sonunda Amerikalı biyolog Christopher Langton tarafından ortaya atılmıştır. Yapay yaşam, bilgisayar ortamında biyolojik yaşamın benzer kurallarına uygun olarak evrimleşen matematiksel organizmalar üretme düşüncesidir. Bu organizmalar, yaşamın maddi doğasına sahip olup, evrimsel araştırma teknikleri kullanılarak davranış, iletişim ve problem çözme yetenekleri geliştirilir (Garassini, 2007; Baydoğan, 2013).

Belirli problemlerin çözümünde, zeki bireylerden oluşan toplulukların kullanılması, tek bir birey kullanmaya göre daha etkin sonuçlar verir (Russell ve Norvig, 2003). Bazı sistemlerde ise, topluluk zekasına benzer sürü zekâsı (Settles, 2005) ve karınca kolonisi optimizasyonu (Dalkılıç ve Türkmen, 2002) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, bir bireyin hareketi diğer bireylerin hareketlerini tetikleyebilir; örneğin, bir canlı sürüsündeki bir bireyin tehlikeyi fark edip tepki vermesi, tüm sürünün ortak davranış göstermesine yol açar.

2.6. Enerji Etkin Tasarım, Algoritma Destekli Tasarım ve Optimizasyon Konuları ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bina tasarım sürecinde algoritma destekli tasarımdan faydalanmak yeni bir yöntem değildir. Son yirmi yılda çok sayıda çalışma, algoritma destekli tasarım optimizasyonunun, enerji verimliliği, günışığı aydınlatması ve malzeme kullanımı gibi bina performansı ile ilişkili çeşitli bina tasarım problemlerini çözebileceğini göstermiştir. Tasarım optimizasyonu aynı zamanda geniş çapta problem çözücü bir tasarım yaklaşımı olarak kabul edilir ve bu da onu ayrıntılı veya geç tasarım evrelerine daha kolay uygulanabilir kılar (Wang, 2021). Son dönemlerde, tasarım optimizasyonunun erken tasarım evresinde uygulanması araştırılmıştır. Geç aşamadaki tasarımın aksine, erken tasarım evresinde optimizasyona dayalı tasarımın rolü giderek

daha fazla tanınmakta ve değer görmektedir. Optimizasyon yöntemlerinin kullanımı enerji performansına dayalı tasarıma ulaşmak için yaygın olarak etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir (Li ve Chen, 2024). Bununla birlikte, bu tür bir tasarımın erken tasarım evresine nasıl uyarlanabileceğine dair farklı yöntemler bulunmaktadır.

Öncelikle enerji etkinliği, hesaplamalı tasarım, optimizasyon anahtar kelimelerinin literatürü sistematik bir şekilde özetlenmiştir.

2.6.1. Enerji etkinliği

Literatürde, binaların enerji performansının belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bunlar; bina enerji simülasyonu yazılımları ile enerji tüketim tahminleri (Corgnati, 2008; Papadopoulos, 2008), ölçüm değerleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmalar (Keskin, 2008; Conceicao, 2008) binalarda enerji performansını artırıcı önlemlerin ekonomik analizlerini içeren çalışmalar (Florides, 2002; Fumo, 2009) sadece proje bilgilerini kullanarak binanın enerji performansının saptanmasına yönelik çalışmalar (Sjögren, 2007; Caldera, 2008) şeklinde sınıflandırılabilir. Türkiye'deki çalışmalar (Uçar,2009; Aktacı 2008) genellikle farklı iklim bölgelerinde ısıtma-soğutma yüklerinin ve yalıtım kalınlıkları belirlenmesi üzerinedir. Binalarda enerji performansının belirlenmesi, enerji tüketiminin azaltılması yönündeki iyileştirmelerin simüle edilmesi üzerinedir (Keskin, 2008).

Bina enerji tahmini için statik modeller ve dinamik modeller olarak sınıflandırılacak birden fazla model mevcuttur. Statik modeller, yapıyı çevreden gelen girdilere dayanır ve çok fazla bilgi ve zaman gerektirir. Dinamik modeller ise matematiksel modellere ve makine öğrenimi algoritmaları gibi araçlara ihtiyaç duyar (Ajayi ve diğ., 2022). Doğru tahminler için modelleri eğitmek ve optimize etmek üzere büyük bir veri kümesine ihtiyaç vardır.

Enerji tüketiminin tahmini için önceki araştırmacılar tarafından çeşitli yöntemler önerilmiştir. Shapi ve diğ. (2021) enerji tüketimini tahmin etmek için makine öğrenimini Malezya'daki bir vaka çalışmasına uygulamışlardır. Ajayi ve diğ. (2022), enerji tüketimini tahmin etmek için derin öğrenme ve diğer makine öğrenme tekniklerini kullanmışlardır.

2.6.2. Algoritma destekli tasarım

Algoritma destekli tasarım yaklaşımı, kökenini hesaplamalı tasarım paradigmasından almakta olup bu alanın evrimi içerisinde onun bir devamı ve gelişmiş biçimi olarak değerlendirilmektedir. Hesaplamalı tasarımın mimarlık pratiğine entegrasyonu, disiplinler arası bir bakış açısının ürünüdür. 1950'li yıllardan itibaren

matematik, sibernetik ve yapay zeka gibi alanlardaki paradigmalar mimari düşünceyi şekillendirmeye başlamıştır. Özellikle Norbert Wiener'in 1948 tarihli *Cybernetics* çalışması ile sibernetik kuramı mimarlıkta kontrol ve geri besleme sistemlerine dayalı yeni tasarım yaklaşımlarının gelişmesini tetiklemiştir. Aynı şekilde, Herbert Simon'ın 1969'daki *The Sciences of the Artificial* başlıklı eseri, yapay zeka temelli çözüm arama süreçlerini mimari karar mekanizmalarına dahil etmiştir. Tasarım problemleri, bu süreçte yalnızca biçimsel bir çözüm üretme süreci olarak değil; aynı zamanda zihinsel bir etkinlik, bir "düşünme biçimi" olarak ele alınmıştır (Papamichael & Protzen, 1993).

Ivan Sutherland'ın, tasarım çeşitliliği, kısıtlamalar ve parametrik temsil biçimleri konusundaki öncü fikirleri, hesaplamalı tasarım paradigmasının mimari teori ile bütünleşmesinde önemli bir dönüm noktası olmuştur (Ahlquist & Menges, 2011).

Hesaplamalı tasarımı mimarlıkla bütünleştirmeye yönelik ilk somut akademik çalışmalar ise 1970'li yıllarda gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde, Eastman (1975), March ve Steadman (1971) ile Mitchell (1977) gibi araştırmacıların yayımladığı öncü çalışmalar ile birlikte, Akin (1979) ve Yessios (1973) gibi isimlerin hesaplamalı tasarım üzerine hazırladıkları doktora tezleri bu sürece teorik bir temel kazandırmıştır. 1980'li yıllara gelindiğinde ise, bu yaklaşımlar büyük ölçüde ilk CAD araçlarının ticarileşmesiyle birlikte pratik uygulamalarda daha görünür hale gelmiştir (Koutamanis, 2005).

2.6.3. Optimizasyon

Önceki çalışmaların gözden geçirilmesinden, GA, parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu ve diferansiyel evrim ve hibrit algoritmalar gibi stokastik popülasyon tabanlı algoritmaların bina performansı optimizasyonunda en sık kullanılanlar olduğu sonucuna varılabilir (Nguyen ve diğ., 2014).

GA, bina performansı çalışmalarında en popüler optimizasyon algoritmasıdır. GA ilk olarak 1970'li yıllarda Holland (1975) tarafından sezgisel bir arama yöntemi olarak önerilmiştir. Biyolojik evrimdeki doğal seçim sürecine dayanmaktadır (Galletly, 1998). Seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi doğada gözlemlenebilen ilkeleri kullanarak bir çözüm popülasyonunu tekrar tekrar değiştirir. GA, mevcut popülasyondan iyi performansa sahip çözümleri rastgele seçer ve bunları gelecek nesli üretmek için ebeveyn olarak kullanır ve popülasyon en uygun çözüme doğru "evrimleşir" (MathWorks, 2025). Binaların enerji tasarımı optimizasyonu için birçok algoritma geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Li ve diğ.; (2017)'ine göre, hiçbir algoritma tüm performans indekslerinde en iyi olamayacağından, çözülecek optimizasyon

probleminin doğasına göre algoritma seçilmelidir. GA'nın bina performans optimizasyonu için uygun olmasının sebepleri olarak şunlar gösterilebilir. Çok amaçlı problemleri çözmeye uygundur; süreksizliğin üstesinden gelmede sağlamdır, çok modludur ve kısıtlı problemler; yüksek simülasyon başarısızlık oranlarına karşı dayanıklıdır (Nguyenve diğ., 2014).

Bina tasarımına yönelik optimizasyon araçlarına örnek olarak MultiOpt (Chantrelle ve diğ., 2011), GENE_ARCH (Caldas, 2008), ParaGen (Turrin ve diğ.,2011) verilebilir. Bu araçlar üçüncü taraf geliştiriciler tarafından geliştirilmiştir, ancak yaygın olarak kullanılmazlar ve performansları geniş çapta test edilip doğrulanmamıştır. Şu anda optimizasyon paketleri, gelişmiş programlama becerileri gerektirmemesi, yeterli esnekliğe sahip olması ve kullanıcıların tanıdık yazılım ortamında çalışabilmesi nedeniyle popüler hale gelmiştir. Grasshopper parametrik modelleme ortamında GA tabanlı optimizasyon paketleri mevcuttur. Galapagos tek amaçlı optimizasyon yapabilen bir örnektir. Labib (2015), optimize edilmiş gün ışığı performansı için ışık rafları ve karmaşık tavan formları arasındaki etkileşimi incelemek için Galapagos'u kullanmıştır. Ercan ve Özkan (2015) da günışığı performansına yönelik gölgeleme cihazlarının tasarımını optimize etmek için Galapagos'u kullanmışlardır. Octopus ayrıca Grasshopper'ın GA'ya dayanan ve çok amaçlı optimizasyon problemlerine yönelik ödünleşim çözümleri üretebilen bir eklentisidir. Zhang ve diğ., (2016), Grasshopper ve Octopus'u kullanarak bir toplum merkezi binasının çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Tuhus ve diğ., (2010) GA'yı 11 parametreyi optimize etmek ve bir konut binasının yaşam döngüsü maliyetini en aza indirmek için kullanmışlardır. Coley ve diğ., (2002) GA'yı yıllık enerji kullanımını en aza indirmek için kullanmışlardır. Znouda ve diğ., (2007) GA'yı Akdeniz bölgesindeki bina tasarımlarını optimize etmek için kullanmışlardır. Yi ve diğ., (2009) GA'yı sahaya özgü bina formlarına dayalı bina formlarını optimize etmek için kullanmışlardır. Ayrıca Browlee ve diğ., (2011), Tuhus ve diğ., (2010), Bichiou ve diğ., (2011), çeşitli optimizasyon tekniklerini karşılaştırmış ve GA'nın en iyi performansa sahip olduğunu bulmuşlardır. Horikoshi ve diğ., (2012), bir optimizasyon programıyla bir enerji hesaplama modeli oluşturmak için GA'yı kullanmıştır. Ancak GA'ların zorlu ve zaman alıcı optimizasyon süreçleri de dahil olmak üzere çeşitli sınırlamalara sahip olduğu görülmektedir (Manni, 2022).

Literatür çalışması yapılırken enerji etkinliği, hesaplamalı tasarım (algoritma destekli tasarım, parametrik tasarım, üretken tasarım) ve optimizasyon anahtar

kelimeleri ile tarama yapılmış ve en az iki anahtar kelimeyi birlikte barındıran erken ve geç tasarım süreçlerinde uygulanan çalışmalar incelenmiştir.

Enerji etkinliği ve hesaplamalı tasarım konularında yapılmış çalışmalar:

Aydın (2019) enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin optimum değerlerini BIM aracılığıyla belirlediği çalışmada bazı yasal yönetmelikleri parametrelere dahil etmiştir. Çalışmada enerji simülasyonu Revit programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve Arsan (2019) erken tasarım evresinde enerji ve çevresel performans kararlarının alınmasındaki parametreleri belirlemişlerdir. Modelleme aracı olarak Design Builder, enerji simülasyonu için Energy Plus, duyarlılık analizi için de Simlab programları kullanmışlardır. Liu ve diğ., (2022) çalışmalarında bina enerji performans yöntemi geliştirmişlerdir. Parametrik tasarım yöntemi ile oluşturulan 12.500 varyasyon arasından bir optimizasyon aracı ile seçilen tasarım, enerji performansı açısından en iyi sonucu vermektedir. Fakat model karmaşık yapılara sahip bina tasarımlarını iyi tanımlamamaktadır. Bu nedenle, binayı daha iyi açıklamak ve daha doğru enerji tahmini sonuçları elde etmek için girdi olarak daha önemli tasarım parametreleri dahil edilebilir. Zhang ve diğ., (2020), Grasshopper ve Python araçları kullanılarak parametrik tasarım ile Pekin'deki bir konut tasarımı örneği aracılığıyla, en düşük soğutma ve ısıtma yüküne sahip tasarım şemasının oluşturulmasını sağlamıştır. Oda alanı, oda derinliği-genişlik oranı (DWR), yüksekliği, kapı/pencere sayısı, pencere-duvar oranı (WWR), pencere genişlik-yükseklik oranı (WHR), duvar/pencerenin ısı transfer katsayısı (U değeri) parametreleri değişken olarak kullanılmışlardır. Sonuçta mevcuttaki yapı ile oluşturulan şemalar arasında %4-15 arasında daha enerji verimli şemalar oluşturulmuştur

Enerji etkinliği ve optimizasyon konularında yapılmış çalışmalar:

Altun ve Akçamete (2016) yapı bilgi modellemesi (BIM) tabanlı bina enerji optimizasyonu gerçekleştirmişler, parametrik tasarım yöntemini sadece geometri oluşturma ve malzeme özelinde kullanmışlardır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Dynamo programı, enerji simülasyonu için web tabanlı enerji analiz aracı olan Green Building Studio, optimizasyon yöntemi olarak diferansiyel evrim algoritması kullanılmıştır. Ciardiello ve diğ. (2020) enerji performansı ve emisyon gereksinimlerini gerçekleştirmelerine yardımcı olabilecek bir yöntem önermişler ve bina biçim ve kabuğu parametrelerinde başarılı olmuşlardır. Çalışmada enerji performansı için Energyplus yazılımı, optimizasyon için NSGA-II algoritması kullanılmıştır. Delgram ve

diğ. (2016) bina enerji performansının optimizasyonunda önemli sınırlamaları ele alan simülasyon tabanlı çok amaçlı optimizasyon problemleri için bir metodoloji önermişlerdir. Sonuçta optimum tasarım, toplam yıllık bina elektrik talebinin %1.6–11,3 oranında azalmasına yol açmıştır. Çalışmada çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonu (MOPSO) algoritması EnergyPlus bina enerji simülasyon yazılımı ile birleştirilmiştir. Koçak (2019) erken tasarım evrelerinde gün ışığı analizi için algoritma destekli bir yaklaşımı önerisinde bulunmuştur. Modelleme yazılımı olarak Revit, görsel programlama dili parametrik tasarım için Dynamo, optimizasyon için optimo-NSGA-II algoritması kullanılmıştır. Li ve diğ. (2022) mimarlara binanın sürdürülebilir tasarımını ele almaları için gerçek zamanlı etkileşimli bir yol sağlayan bina performansı optimizasyonu için hassasiyet analizine ve analitik hiyerarşi sürecine dayalı çok kriterli bir karar verme yöntemi önermiştir. Önerilen yönteme ilk plan ve beklenen performans hedefleri girildikten sonra mimarlar, yöntemin önerdiği değişken modifikasyon stratejisine göre şemanın performansını iyileştirmek için değişim yapabilmektedirler. Sonuçlar, önerilen yöntem yardımıyla elde edilen optimal çözümlerin, yöntem olmadan elde edilen çözümlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Yöntem mimarların tasarım verimliliklerini de %211,5 artırmıştır. Çalışmada parametrik yöntemlerden faydalanılmamıştır. Lin ve diğ. (2021) erken tasarım aşamalarında bina performansı optimizasyonunun uygulanmasında üç genel konuya sistematik bir yaklaşım önermiştir: model entegrasyonu, gerçek zamanlı performans analizi ve etkileşimli tasarım. Bu yaklaşımla, çok amaçlı bir bina performansı optimizasyon yazılımı olan MOOSAS geliştirilmiştir. Rahimifar ve diğ. (2023), binaların hacimsel gözenekliliğinin soğutma ve ısıtma yükü tüketimi üzerindeki etkisini araştırmak için algoritmik bir yöntem sunmaktadır. Üretken modelin ve ikincil modellerin enerji tüketimini simüle etmek için Grasshopper programındaki Honeybee eklentisinden yararlanılmıştır. Çıkan sonuçlar GA kullanılarak optimize edilmiştir. Sun (2021) işletim sırasında binaların enerji maliyetlerini düşürmek için hibrit algoritma ile oluşturulan bir model ortaya koymuştur. Bu model ile tasarımcılar, erken tasarım aşamasında farklı tasarım alternatiflerinin enerji tüketimini ölçebilirler ve minimum enerji tüketimine sahip tasarım seçilerek bina enerji maliyetleri azaltılabilir. Enerji tüketiminde rol alan diğer parametre kısıtları net değildir. Zou ve diğ. (2021), mimarlara tasarım yaparken sağlam ve doğru tasarım referansları sağlamayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda tüm optimizasyon sürecini üç adıma ayırmışlardır. İlk adım, araştırma nesnelerini rastgele oluşturup bunlar üzerinde bina simülasyonları

gerçekleştirerek bir veri tabanı oluşturmaktır. İkinci adım, bina performansını hızlı bir şekilde tahmin etmek için çok amaçlı optimizasyonda zaman alan bina simülasyonunun yerine yapay sinir ağı (ANN) modellerini eğitmektir. Son adım, gerçek tasarım kısıtlamalarına dayalı olarak çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirmektir. Optimizasyon sürecini göstermek için, 30 tasarım parametresi ile tanımlanan ortak bir sınıf alanı türü vaka çalışması olarak seçilmiştir. Optimizasyon hedefleri enerji talebi, termal ortam ve gün ışığı ortamı olarak belirlenmiştir. Gerçekçi tasarım görevlerini taklit etmek için optimizasyonda kısıtlamaları olan üç tasarım senaryosu kullanılmıştır. Grasshopper, Python araçları ile NSGA-II algoritması kullanılarak tamamlanan çalışmada enerji ihtiyacında %14,2 ile %24,6 oranında azalma görülmüştür.

Algoritma destekli tasarım ve optimizasyon konuları ile ilgili yapılmış çalışmalar:

Natanian ve diğ. (2019) bina ve kentsel ölçekli tasarım parametrelerinin çevresel performans üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir metodoloji sunmuştur. Çevresel parametrik tasarım araçları tarafından sunulan yeni olanaklardan yararlanılarak, her tasarım için gün ışığı, fotovoltaik üretim ve enerji talebi simülasyonlarını değerlendirmişlerdir. Optimizasyon sürecinden bağımsız ve yasal düzenleme parametreleri olmaksızın değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshopper programı kullanılmıştır. Wu ve diğ. (2022) çalışmalarında bina bilgi modellemesi ve parametrik tasarım kullanan çok amaçlı bir optimizasyon yöntemine dayalı olarak yer karolarının yerleşim tasarımını optimize etmek için mevcut araçlardan faydalanarak bir çerçeve önermişlerdir. Sonuçlar birden fazla hedefle yer döşemesi planlamasını optimize etmelerini, en uygun çözümlerini seçmelerini ve matematiksel fonksiyonlara dayalı yer döşemesi planlaması için inşaat çizimleri oluşturmalarını sağladığını göstermiştir. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshopper programı, optimizasyon için çok amaçlı algoritmalar kullanılmıştır.

Enerji etkinliği, algoritma destekli tasarım ve optimizasyon konuları hakkında yapılan çalışmalar:

Berleze ve diğ. (2020) belirli bir iklimde konut yapılarında enerji performansı açısından en iyi geometriyi bulmaya yönelik çalışmalarında soğutma ve ısıtma için derece-saat bazında iki amaç fonksiyonunu optimize etmişlerdir. Parametrik tasarım ve çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshopper programı, enerji simülasyonu için Energyplus programı, optimizasyon için Octopus yazılımı, pareto algoritması kullanılmıştır. Elghandour ve

diğ. (2019) çalışmalarında iç mekan gün ışığı kalitesini artırmak için bir cephenin dış yüzey tasarımına yönelik performans odaklı parametrik bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışma LEED gereksinimlerine göre kabuk cephe tasarımının estetik açıdan tasarımcı için tatmin edici olabileceğini ancak eğitim mekanlarında dikkate alınması gereken en önemli sürdürülebilir faktörlerden biri olan doğal gün ışığı dağılımının kalitesini geliştiremeyeceğini kanıtlamıştır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı, optimizasyon için GA'lerden faydalanılmıştır. Kim ve diğ. (2020), çalışmalarında birbiriyle çelişen; sıcak ve nemli bir iklimde (Houston, Teksas) yaz mevsiminde soğutma yükünü en aza indirmek ve gün ışığı performansını en üst düzeye çıkarmak, hedeflerini belirlemişlerdir. Grasshopper, Ladybug, Energ Plus, Octopus araçları ile Pareto algoritmasını kullandıkları çalışmada performansa dayalı iklimle dayanıklı bina kabuğu tasarımı alanına katkıda bulunmuşlardır. Kocabay ve Alaçam (2017) erken tasarım evresinde çok amaçlı bir GA'nın uygulanması için algoritmik bir çerçeve önerisi sunmuş, çalışmaya yasal kısıtlamaları da dahil etmişlerdir. Çalışmanın geleneksel yöntemlerle çalışan bir ofis ile eş zamanlı yürütülmesi de sonuçların karşılaştırılabilmesini sağlamıştır. Enerji performansı açısından sadece güneş enerjisi analizi yapılmıştır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı, optimizasyon için Octopus yazılımı kullanılmıştır. Lu ve diğ. (2022) parametrik tasarım ve optimizasyon yöntemlerinin performans simülasyonu, makine öğrenimi ve algoritmik üretim ile entegrasyonunu önermişlerdir. Farklı cephe çözümleri için kullanılan bu yaklaşımın optimizasyon problemini daha az zaman ve hesaplama maliyeti ile çözebileceğini ve mimarlara, belirli çevresel hedeflere dayalı tasarım stratejilerini optimize etmek için hızlı ve kolay uygulanan bir araç sağladığını göstermiştir. Çalışmada sadece yıllık gün ışığı ve termal konfor performansları simüle edilmiş ve optimize edilmiştir. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı, optimizasyon için GA'lar kullanılmıştır. Nocera ve diğ. (2022) parametrik iş akışının ve GA optimizasyonunun erken tasarım aşamasında gelişmiş gün ışığı performansı gösteren hastane odalarını yenilikçi bir cephe tasarımı oluşturmak için kullanmışlardır. Oluşturulan parametrik tasarımlar arasından enerji tüketimini azaltırken gün ışığı performansını artıran alternatiflerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sakiyama ve diğ. (2021) doğal havalandırmalı bir evin mevcut tasarım yöntemleri ile parametrik modelleme ve optimizasyon geliştirme sürecini; doğal havalandırma etkinliğini en üst düzeye çıkararak ve binanın yıllık enerji talebini, azaltarak soğutma döneminde termal konforunu iyileştirmek amacıyla incelemişlerdir. Sonuçta

havalandırmanın %14-87 oranında; enerji ihtiyacının %26-34 oranında iyileştirildiği görülmüştür. Yan ve diğ. (2022) ofis binalarının erken tasarım aşamasında entegre güneş ve termal performansların optimizasyon potansiyelini kolaylaştırırken, tasarım kararları ile performans değerlendirmeleri arasındaki etkileşim ve geri bildirimin verimliliğini artırmak için erken tasarım evresinde performansa dayalı üretken mimari tasarım gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı, optimizasyon için XGBoost algoritması kullanılmıştır. Zhang ve diğ. (2020) yeşil konut binalarının erken tasarım aşamasında, bina enerji tüketimi verimlilik potansiyelini incelemek üzere mevcut bir yapıyı parametrik tasarım araçları ile modellemişlerdir. Üretilen 1925 alternatif arasından tasarım parametreleri ve performans hassasiyetleri arasındaki korelasyonu güçlendirmek için optimizasyon uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, tasarım aşamasında mekânsal formun ve bina kabuğunun parametrik optimizasyonunun konut bina tasarımında enerji tüketimini azaltmak için uygun bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı kullanılmıştır. Xue ve Liu (2022) ticari yapılardaki avluların gün ışığı kalitesini optimize etmek için parametrik tasarım ve optimizasyon araçlarından faydalanarak bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Analizin sonuçlarına dayanarak, en iyi iç mekân gün ışığını elde edebilen tasarım parametrelerinin kombinasyonunu bulmak için çok amaçlı optimizasyondan faydalanmışlardır. Sonuçta incelenen 14 yapıdan 7 tanesinin gün ışığı ve enerji maliyeti bağıntısının anlamlı olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada parametrik tasarım aracı olarak Grasshoper programı, optimizasyon için Octopus yazılımı kullanılmıştır.

Literatür taramasının sonuçlarına göre;

Metot olarak; mimarlıkta parametrik tasarım yöntemi ve optimizasyon araçları kullanılarak yapılan çalışmaların son 10 yılda arttığını söylenebilir.

Bu çalışmaları çok genel anlamda 3 sınıfta toplamak mümkündür.

- Çalışma alanlarında (konut, ofis, kentsel alan, çok fonksiyonlu yapılar vb.) mevcut yapının enerji hesaplamaları ile, parametrik yöntemlerle tasarlanmış aynı yapının optimum enerji hesaplarına sahip alternatifinin performans sonuçlarının kıyaslayan çalışmalar.
- Mevcut yapının belirlenen parametrelerinin (genellikle yapı elemanlarının termal ve fiziksel özellikleri, yapı yönlenmesi, yapı formu) değiştirilerek enerji performansındaki iyileşmelerin ortaya çıkarılmasını sağlayan çalışmalar.

- Mevcut modelleme, benzetim ve optimizasyon araçları kullanılarak ya da birleştirilerek yeni bir model önerisinin geliştirilmesi, örnek bir vaka çalışması üzerinde test edilmesi.

Kullanılan parametrik tasarım aracı olarak; yapılan tarama sonuçlarında da çalışmalarda Dynamo aracının kullanılmasının yanı sıra en fazla Grasshopper aracının kullanıldığı görülmektedir. Bir hesaplamalı tasarım aracı olarak Grasshopper'ın şu an için en fazla ve gelişmiş eklenti ve kullanıcı desteğine sahip olması bu tercihin sebebi olabilir.

Kullanılan enerji performans aracı olarak; literatür taramasında en çok EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracı olan DesignBuilder programının kullanıldığı görülmüştür. Veri girişlerinde ve sonuçlarındaki ayrıntı düzeyleri göz önünde bulundurulursa, DesignBuilder programının daha detaylı ayrıntı düzeyine sahip olması bu tercihin sebebi olabilir.

Kullanılan optimizasyon aracı olarak; literatür taramasında da en fazla evrimsel algoritmaların, evrimsel algoritma türlerinden de çok amaçlı GA'lar tercih edildiği görülmüştür.

Literatür incelendiğinde; erken tasarım evresinde kullanılabilecek enerji modelleri ya da belirli formlar üzerinde enerji simülasyonları ile iyileştirme önerileri konusunda halen literatürde boşluk bulunmaktadır. Yapıların enerji performansları daha çok uygulama evresinde detay seviyesinde incelenmiştir. İncelenen çalışmaların genelinde alan çalışması tek yapı ölçeğinde veya kentsel ölçekteki çalışmalarda tasarım kriteri olarak yapı bileşenleri, yapı malzemeleri, yönlenme, cephe düzenlemeleri, pencere-duvar oranları gibi bina ölçeğindeki pek çok tasarım parametresi ele alınmıştır. Fakat parametrik tasarım-bina enerji performans-optimizasyon-erken tasarım evresi ile yasal düzenlemeleri bütünleştiren çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca çalışmaların çoğunda mevcut sayısal tasarım araçlarından faydalanılmıştır.

Konu ile alakalı daha önce yapılan çalışmalar bulunmakla birlikte, erken tasarım evresinde kullanılabilecek enerji modelleri ya da belirli formlar üzerinde enerji simülasyonları ile iyileştirme önerileri konusunda yoğunlaşmıştır. Tez çalışması ise mevcut bir arsa üzerinde yasal çerçevelerle belirlenmiş kısıtlar dahilinde erken tasarım evresinde enerji performans açısından en iyi alternatifi üretmek üzere algoritma destekli tasarım bağlamında bir araç geliştirilmesi üzerine diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Algoritma destekli tasarımı gerçekleştirmek için mevcut araçları kullanmak yerine; tasarım alternatiflerini üretebilen, eşzamanlı olarak üretilen her alternatife enerji

performansını hesaplayabilen ve en iyi enerji performansına sahip alternatifi bulmak için optimizasyon yapabilen yerel bir araç geliştirilmiştir. Bahsedilen bütün bu adımları gerçekleştirmek için metasezgisel yöntemlerden sürü zekası algoritmaları kullanılmış ve tek bir araç içerisinde bütüncül bir çözüm geliştirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kuramsal arka planın ortaya konulmasının ardından, bu bölümde çalışmanın uygulamalı boyutunu oluşturan yapı verileri, iklimsel girdiler, yasal çerçeve ve algoritmik araçların detaylandırıldığı materyal ve yöntem açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan temel materyaller, Konya ilinde farklı ölçeklerde yer alan üç adet mevcut konut yapısına (2, 5 ve 10 katlı bloklar) ait mimari planlar, cepheler ve enerji tüketim verileridir (binaya ait veriler). Ayrıca, bölgeye özgü iklim verileri Whitebox Technologies tarafından sağlanan iklim dosyalarından elde edilmiştir (URL-7) (dış çevre koşullarına ait veriler). Mevcut yapıların enerji performansı değerlendirmelerinde EN ISO 52016-1 (2017) standardına dayanılarak geliştirilen EPC simülasyon aracı temel alınmıştır. Binanın bulunduğu yere özgü yasa, yönetmelik ve standartlardan faydalanılmıştır (yasal düzenleme verileri). Tasarım varyasyonları üretiminde ve optimizasyonda algoritmik işlemlere olanak tanıyan Ağaç- Tohum Algoritması (ATA/TSA) ile Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC) kullanılmıştır. Bütün bu materyaller, erken tasarım evresinde enerji performansını optimize etmek amacıyla seçilmiş, birbiriyle ilişkilendirilerek bütüncül bir simülasyon ve değerlendirme sisteminin oluşturulmasına olanak sağlamıştır.

Çalışmada Konya ilinin tercih edilmesinin birkaç akademik ve bağlamsal gerekçesi bulunmaktadır. Birincisi, Konya, Türkiye'nin karasal iklim kuşağında yer almakta olup, sıcaklık farklarının yüksek olduğu yarı kurak iklim koşullarını barındırması nedeniyle enerji etkin yapı tasarımı açısından zorlu bir bağlam sunmaktadır. Bu durum, iklim verilerine duyarlı tasarım kararlarının test edilmesi ve enerji performansı odaklı optimizasyon yaklaşımlarının değerlendirilmesi için uygun bir ortam sağlamaktadır. İkinci olarak, kentteki yapılaşma karakteri çoğunlukla düşük ve orta yoğunlukta yerleşimlerden oluşmakta, bu da farklı kat yüksekliklerinin enerji performansına etkisinin analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Üçüncü olarak, Konya'da yürürlükte olan yerel imar yönetmelikleri ve ulusal düzeydeki mevzuat hükümleri doğrultusunda, yasal çerçevenin erken tasarım evresine etkisinin değerlendirilmesine uygun bir örneklem alanı sunulmaktadır. Son olarak, çalışmanın yürütücüsünün Konya Teknik Üniversitesi'ne bağlı olarak faaliyet göstermesi, saha verilerine erişimi kolaylaştırmakta ve yerel uzmanlık birikiminin çalışmaya entegre edilmesini mümkün kılmaktadır.

Alan çalışması, Konya ilinde konut yapıları üzerinde gerçekleştirildiğinden bölgenin karasal iklim özellikleri, mevcut bina ve algoritma destekli tasarım alternatifleri açısından enerji tüketiminde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bölgenin iklim verilerinin tasarım kararlarına entegrasyonu gereklidir.

Konya, Türkiye'nin iç kesimlerinde yer alan ve karasal iklim özellikleri gösteren bir şehir olup, bu iklimsel koşullar mimari tasarım süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bölgenin sıcaklık profili, güneşlenme süresi, rüzgar verileri ve nem oranı gibi faktörler, yapıların enerji verimliliği ve iç mekan konforu açısından dikkate alınması gereken unsurlar arasındadır.

Konya'nın yıllık sıcaklık aralığı oldukça geniş olup, kış aylarında sıcaklık -20°C 'ye kadar düşerken, yaz aylarında 40°C 'ye kadar çıkabilmektedir. Ortalama $11-12^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu sıcaklık değişimleri, binalarda hem ısıtma hem de soğutma yüklerinin artmasına sebep olmaktadır. Özellikle kış aylarında ısıtma ihtiyacı yüksek olduğundan, bina kabuğunun performansı büyük önem taşımaktadır. Yaz aylarında ise aşırı ısınma sorunlarının önüne geçebilmek için pasif soğutma stratejileri ile birlikte güneş kırıcı elemanların kullanımı önerilmektedir (MGM, 2024).

Güneşlenme süresi açısından değerlendirildiğinde, Konya yıllık ortalama 2.900 saat güneşlenme süresi ile Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgelerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası(GEPA),2025). Bu durum, pasif solar kazançların artırılmasına olanak sağlarken, aynı zamanda yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi açısından da önemli bir avantaj sunmaktadır (Çakmanus ve Böke, 2001).

Rüzgar verileri incelendiğinde, Konya'da hakim rüzgar yönünün kuzeydoğudan estiği belirlenmiştir. Bu durum, doğal havalandırma stratejilerinin etkin bir şekilde uygulanmasına imkan tanımaktadır. Ancak kış aylarında kuzeydoğudan gelen soğuk rüzgarların enerji kaybına neden olması, kuzey cephelerin yalıtımının güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Sayın, 2006).

Nem oranı bakımından Konya'nın düşük nem seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, iç mekan konforunu belirli ölçüde olumsuz etkileyebilse de, enerji tüketimi açısından avantaj sağlayarak ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilmektedir (Biricik, 2012).

Konya'daki mevsimsel sıcaklık farklılıklarının yüksek olması, esnek ısıtma ve soğutma stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, bina

kabuğunda dinamik sistemlerin kullanımı, iç mekan konforunu artırırken enerji verimliliğini de desteklemektedir.

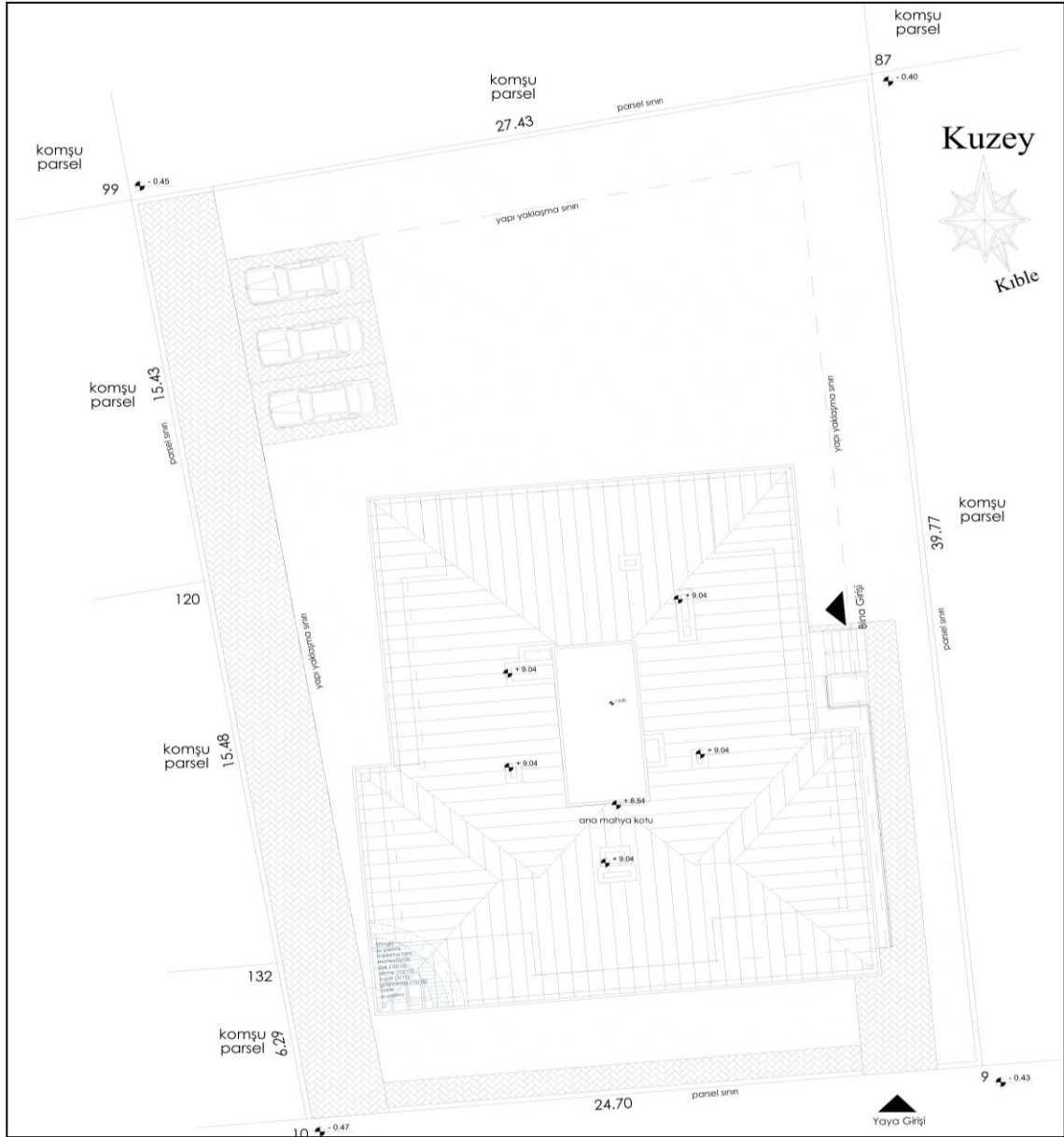
Konya'nın iklim verileri algoritma destekli tasarıma başlangıç verisi olarak entegre edilmiştir.

- Konya'nın kışın düşük sıcaklıkları ve yüksek ısıtma yükleri mevcut bina enerji tüketimini artırmaktadır. Güney cephelerde kullanılan büyük saydam yüzeylerin yazın aşırı ısınmaya neden olmaması için düşük geçirgenlikli cam malzemelerin tercih edilmesi gereklidir.
- Enerji kazancını optimize etmek için güneş ışıınımı ve rüzgar etkileri dikkate alınmıştır.
- Doğal aydınlatma ve havalandırmayı optimize etmek için uygun pencere yerleşimi yapılmalıdır (Biricik, 2012).

Alan çalışmasının yapılacağı örnekler aşağıda incelenmiştir.

3.1.1. 2 katlı çalışma alanı

Bu çalışmada alan araştırması kapsamında, Konya ili Karatay ilçesi sınırlarında yer alan Karaaslandede Mahallesi'ndeki 1001,14 m² yüzölçümüne sahip bir parsel örnek alan olarak seçilmiştir. Söz konusu parselin tercih edilmesinde birden fazla etken rol oynamıştır. Öncelikle, parsel üzerinde yer alan yapının az katlı olması, hem enerji performansı değerlendirmelerinde hesaplama süreçlerini sadeleştirmekte hem de algoritmik alternatif üretimi açısından kontrollü bir analiz ortamı sağlamaktadır. Ayrıca, yapının mevcut durumuna ilişkin güncel imar bilgilerine, yapı ruhsatı verilerine ve çevresel kısıtlayıcı koşullara ulaşımın kolay olması, analizlerin doğruluğu ve modellemelerin yerel mevzuatla uyumu açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, parselin bulunduğu bölgenin Konya iklim bölgesi açısından temsil gücünün yüksek olması, enerji performansı simülasyonlarının genel geçer sonuçlar üretmesine katkı sağlamaktadır. Tüm bu nedenlerle, seçilen parsel, çalışmanın amacı doğrultusunda uygun bir örneklem olarak belirlenmiştir. Yapının vaziyet planı Şekil 3.1.'de görünmektedir.



Şekil 3.1. Mevcut 2 katlı yapının vaziyet planı

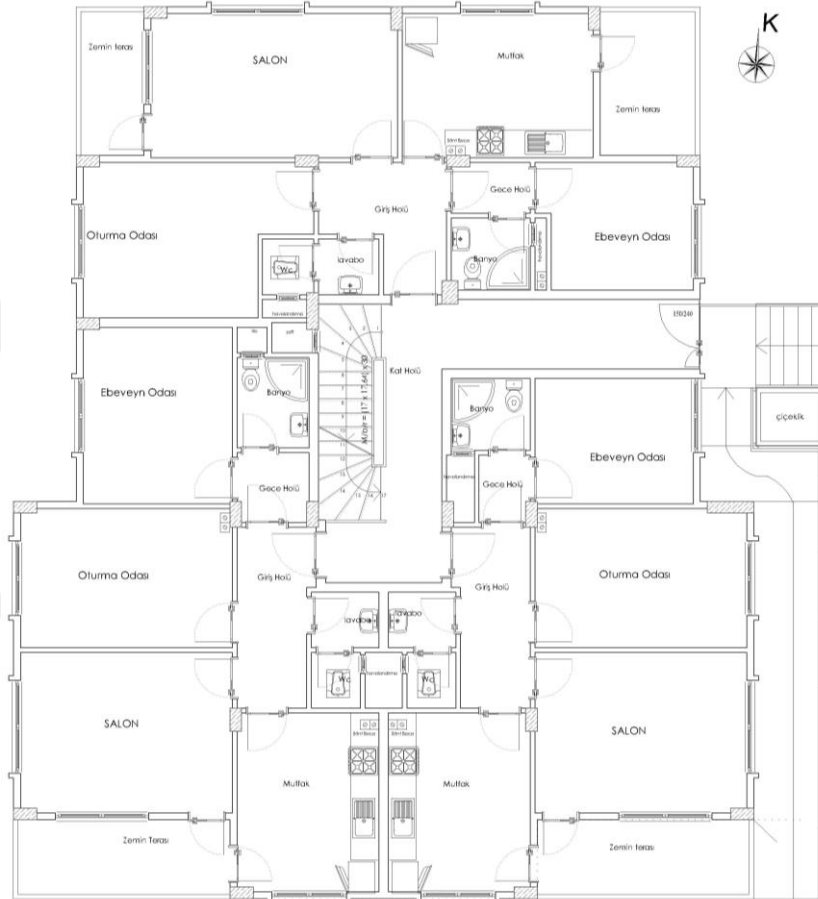
3.1.1.1. Arsa ile ilgili veriler

Çalışma kapsamında ele alınan parsel, toplam yüzölçümü $1001,14 \text{ m}^2$ 'dir. Parselin imar durumu incelendiğinde, TAKS 0,25 ve KAKS/E 0,50 olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, alanda yapılaşmaya esas taban alanı $1001,14 \text{ m}^2 \times 0,25 = 250,28 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiş; emsal alan ise $1001,14 \text{ m}^2 \times 0,50 = 500,57 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Enerji performans hesaplamalarında kullanılan yapı hacmi, bu emsal alana karşılık gelecek biçimde $500,57 \text{ m}^2$ 'lik kapalı alanın 3,60 metre kat yüksekliği ile çarpılması sonucunda 1802 m^3 olarak elde edilmiştir. Bu yükseklik değeri, PAİY çerçevesinde konut yapılarında uygulanabilecek azami kat yüksekliği referans alınarak belirlenmiştir. Parselin çekme mesafeleri göz önünde bulundurularak yapılaşmaya uygun alanın yaklaşık olarak 19,03 metreye 31,46 metre ölçülerinde bir zemin

oturumuna izin verdiği öngörülmektedir. Bu fiziksel ve yasal sınırlılıklar, EPC aracılığıyla gerçekleştirilen enerji performans analizleri için temel girdi verilerini oluşturmaktadır.

3.1.1.2. Mevcut bina ile ilgili veriler

Çalışma kapsamında analiz edilen mevcut bina, toplamda 249,03 m² taban alanına ve 487,38 m² toplam kapalı alana sahiptir (Şekil 3.2.-3.3.).



Şekil 3.2. Mevcut 2 katlı yapının zemin kat planı



Şekil 3.3.Mevcut 2 katlı yapının 1. kat planı

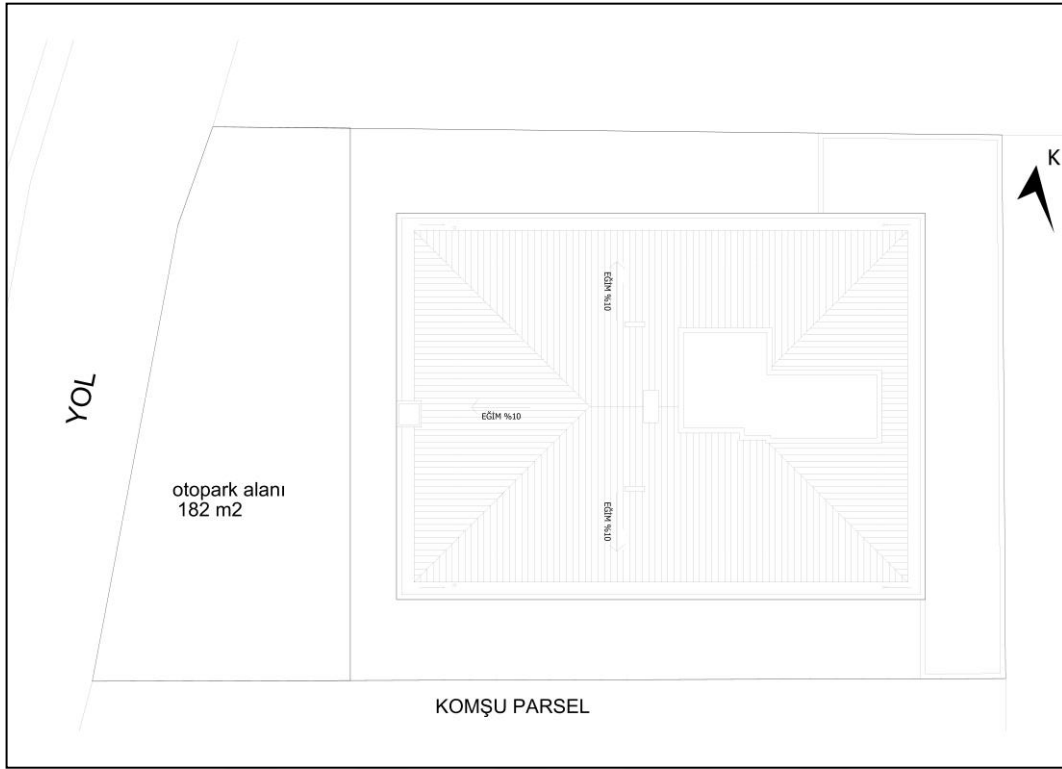
Yapı, iki kattan oluşmakta olup her bir kat için ortalama kat yüksekliği 3 metredir ve bu doğrultuda toplam bina hacmi 5406 m³ olarak hesaplanmıştır. Binanın cephelerine göre opak ve saydam yüzey alanları ayrıntılı şekilde belirlenmiştir. Güney cephesinde 28 m² saydam ve 90 m² opak yüzey, kuzey cephesinde 11 m² saydam ve 107 m² opak yüzey, doğu cephesinde 30 m² saydam ve 109 m² opak yüzey, batı cephesinde ise 35 m² saydam ve 104 m² opak yüzey alanı bulunmaktadır (Şekil 3.4.). Yapıya ait çatı alanı ise yaklaşık olarak 350 m² olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Mevcut 2 katlı yapının mevcut cephe görünüşleri

3.1.2. 5 katlı çalışma alanı

Bu çalışmada analizlerin gerçekleştirileceği ikinci alan, Konya ili, Meram ilçesi, Yaylapınar Mahallesi sınırları içerisinde yer alan, 758,09 m² yüzölçümüne sahip bir parsel olarak belirlenmiştir (Şekil.3.5.). Söz konusu çalışma alanının seçilmesinde iki temel kriter etkili olmuştur. İlk olarak, parsel üzerinde orta katlı (3-5 katlı) bir yapının bulunması, yapı ölçeği açısından optimizasyon analizlerine uygunluk sağlamıştır. İkinci olarak ise, söz konusu parselde ait imar durumuna ilişkin verilerin güncel, açık ve erişilebilir olması, çalışma sürecinde gerekli olan mevzuat verilerinin doğruluğunu garanti altına almıştır. Bu bağlamda, hem fiziksel özellikler hem de veri elde edilebilirliği açısından uygunluk arz eden parsel, çalışma kapsamında yürütülecek algoritma destekli bina enerji performansı analizleri için referans alan olarak tercih edilmiştir.



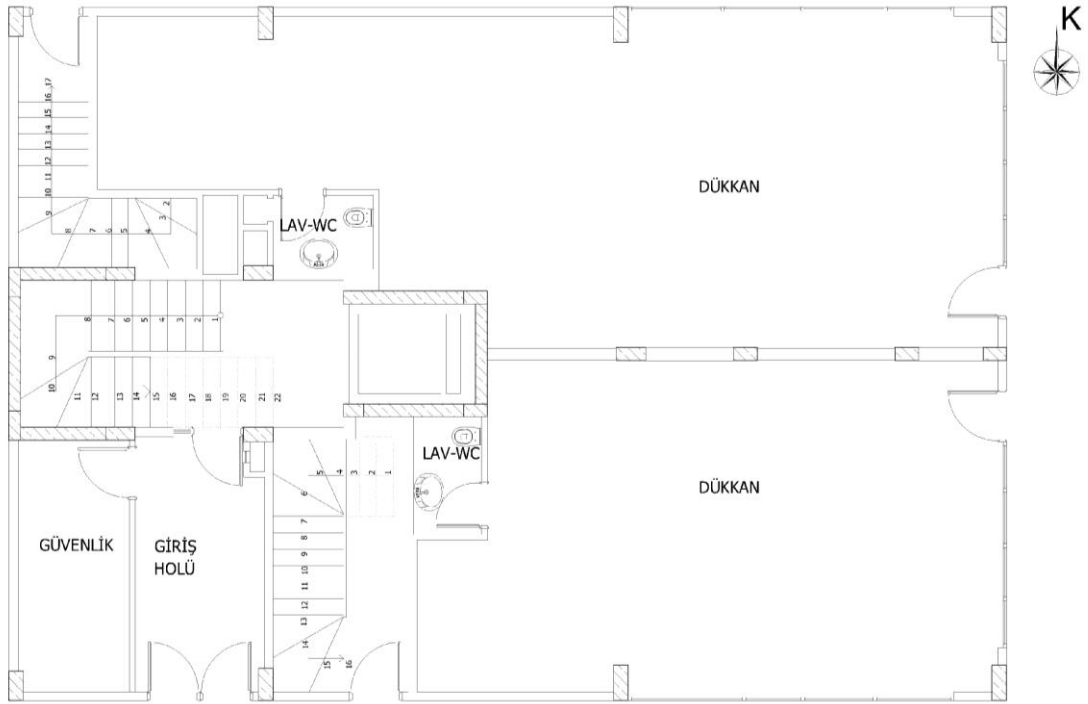
Şekil 3.5. Mevcut 5 katlı binanın vaziyet planı

3.1.2.1. Arsa ile ilgili veriler

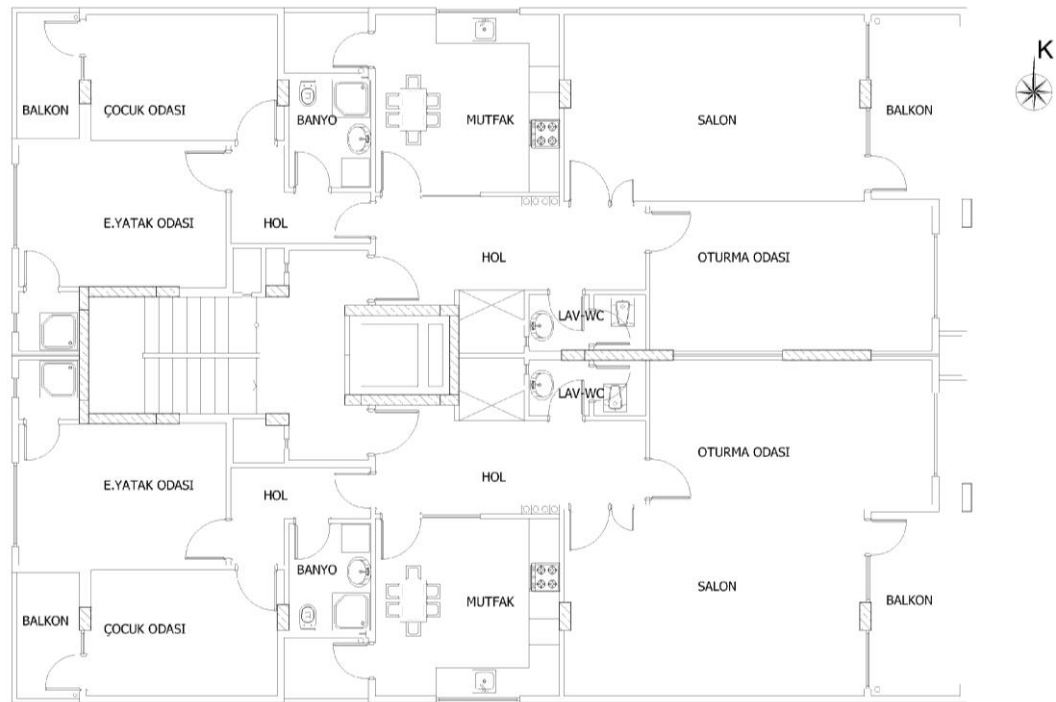
Çalışma alanına ilişkin imar durumu verileri, yürürlükteki plan notlarına ve PAİY hükümlerine göre değerlendirilmiştir. Parselin toplam alanı 758,09 m² olup, TAKS 0,30, emsal değeri ise 1,50 olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, söz konusu parsel için maksimum taban alanı 227,42 m², toplam inşaat alanı (emsal alanı) ise 1137,13 m² olarak hesaplanmıştır. Hacim hesabında, PAİY doğrultusunda konut yapıları için öngörülen azami kat yüksekliği olan 3,60 metre değeri esas alınmış ve yapı hacmi 4093,66 m³ olarak belirlenmiştir. Yapının oturabileceği maksimum alan, çekme mesafeleri dikkate alındığında yaklaşık olarak 14,80 metreye 20,90 metre sınırları içerisinde tanımlanmıştır. Bu hesaplamalar, EPC simülasyonlarında referans alınan geometrik ve yasal girdileri oluşturmaktadır.

3.1.2.2. Mevcut bina ile ilgili veriler

Çalışma kapsamında analiz edilen mevcut bina, 200,60 m² taban alanına ve 1134,58 m² toplam kapalı alana sahiptir. Zemin katında ticari fonksiyona sahip 2 adet dükkan bulunan konut yapısı normal katlarında bir katta 2 daire olmak üzere 8 daireden oluşmaktadır (Şekil.3.6-3.7.).



Şekil 3.6. Mevcut 5 katlı binanın zemin kat planı



Şekil 3.7. Mevcut 5 katlı binanın normal kat planı

Beş kattan oluşan yapının her bir katı için ortalama kat yüksekliği 3,10 metredir ve bu doğrultuda toplam bina hacmi 3517,19 m³ olarak hesaplanmıştır. Binanın cephelerine göre opak ve saydam yüzey alanları ayrıntılı şekilde belirlenmiştir. Güney

cephesinde 33,20 m² saydam ve 288,50 m² opak yüzey, kuzey cephesinde 28,80 m² saydam ve 292,90 m² opak yüzey, doğu cephesinde 63,40 m² saydam ve 165,20 m² opak yüzey, batı cephesinde ise 102,00 m² saydam ve 126,00 m² opak yüzey alanı bulunmaktadır. Yapıya ait çatı alanı ise yaklaşık 322,00 m² olarak tespit edilmiştir. Mevcut binanın cephe görünüşleri Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Cephelerde mevcutta ve projesinde bulunan estetik amaçla yapılan eklentiler (süslemeler) kaldırılıp, doluluk-boşluk oranlarının daha iyi okunması sağlanmıştır (Şekil 3.8.).

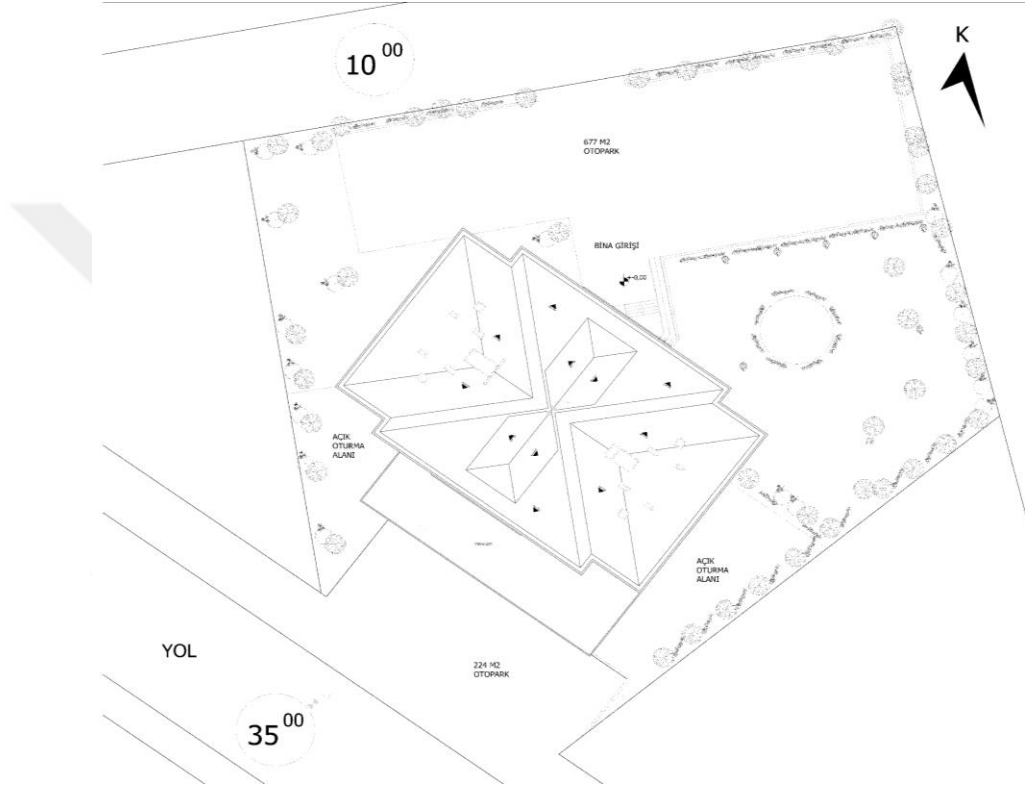


Şekil 3.8. Mevcut 5 katlı binanın cephe görünüşleri

3.1.3. 10 katlı çalışma alanı

Bu çalışmada alan araştırması kapsamında, Konya ili Selçuklu ilçesi sınırlarında yer alan Küçükaymanas Mahallesi'ndeki 2873,15 m² yüzölçümüne sahip bir parsel örnek alan olarak seçilmiştir. Söz konusu parselin tercih edilmesinde birden fazla etken rol oynamıştır. Öncelikle, parsel üzerinde yer alan yapının çok katlı olması, hem enerji performansı değerlendirmelerinde hesaplama süreçlerini çeşitlendirmekte hem de algoritmik alternatif üretimi açısından daha karmaşık ve gerçekçi bir analiz ortamı sağlamaktadır. Ayrıca, yapının mevcut durumuna ilişkin güncel imar bilgilerine, yapı

ruhsatı verilerine ve çevresel kısıtlayıcı koşullara ulaşımın kolay olması, analizlerin doğruluğu ve modellemelerin yerel mevzuatla uyumu açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, parselin bulunduğu bölgenin Konya iklim bölgesi açısından temsil gücünün yüksek olması, enerji performansı simülasyonlarının genel geçer sonuçlar üretmesine katkı sağlamaktadır. Tüm bu nedenlerle, seçilen parsel, çalışmanın amacı doğrultusunda uygun bir örneklem olarak belirlenmiştir. Yapının vaziyet planı Şekil 3.9.'da görünmektedir.



Şekil 3.9. Mevcut 10 katlı binanın vaziyet planı

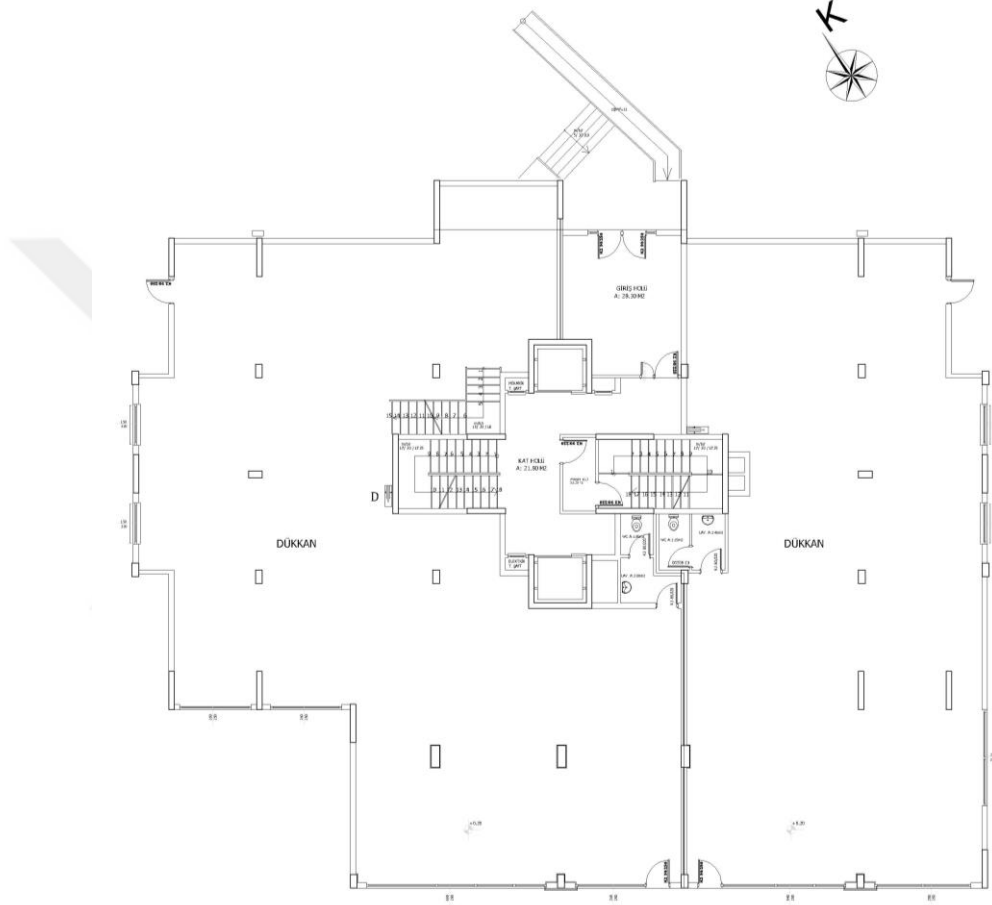
3.1.3.1. Arsa ile ilgili veriler

Çalışma alanı olarak seçilen parselin imar durumu incelendiğinde, yapılaşma koşullarının TAKS, 0,25 ve Emsal, 1,80 olarak belirlendiği görülmektedir. Bu imar verilerine göre parsel üzerinde geliştirilebilecek yapılaşma potansiyeli hesaplanmıştır. Toplam 2873,15 m² yüzölçümüne sahip parselde, tanımlanan taban alanı değeri 718,28 m² olarak hesaplanmıştır ($2873,15 \times 0,25$). Aynı şekilde, emsal alanı ise 5171,67 m²'dir ($2873,15 \times 1,80$). Bu alana karşılık gelen yaklaşık hacim değeri, 18618,01 m³ olarak belirlenmiştir. Hacim hesabında, PAİY çerçevesinde konut yapılarında izin verilen maksimum kat yüksekliği olan 3,60 metre baz alınmıştır. Ayrıca, yapının oturumunu

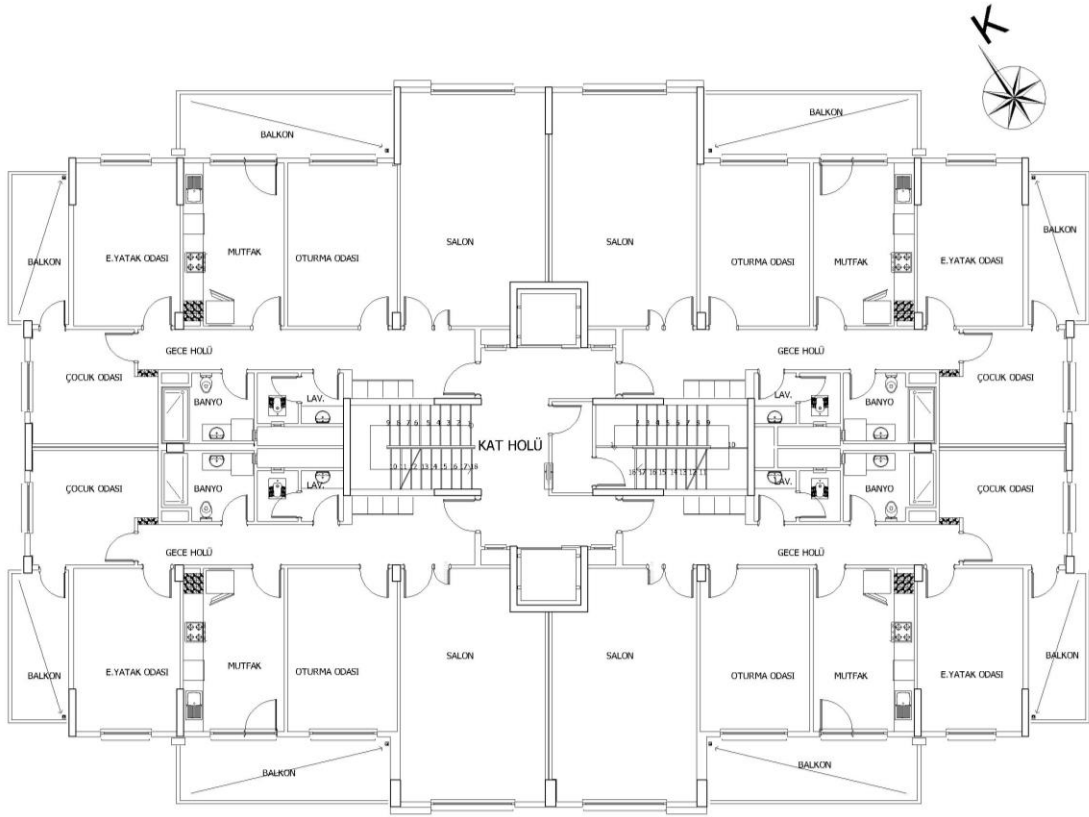
belirleyen çekme mesafeleri doğrultusunda tanımlanan maksimum yapı yerleşim alanı $26,80 \times 44,80$ metre ölçülerindedir.

3.1.3.2. Mevcut bina ile ilgili veriler

Çalışma kapsamında analiz edilen mevcut bina, $638,15 \text{ m}^2$ taban alanına ve $5170,30 \text{ m}^2$ toplam kapalı alana sahiptir (Şekil.3.10-3.11.). 10 kattan oluşan yapının her bir katı için ortalama kat yüksekliği 3,00 metredir ve bu doğrultuda toplam bina hacmi $15.510,90 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

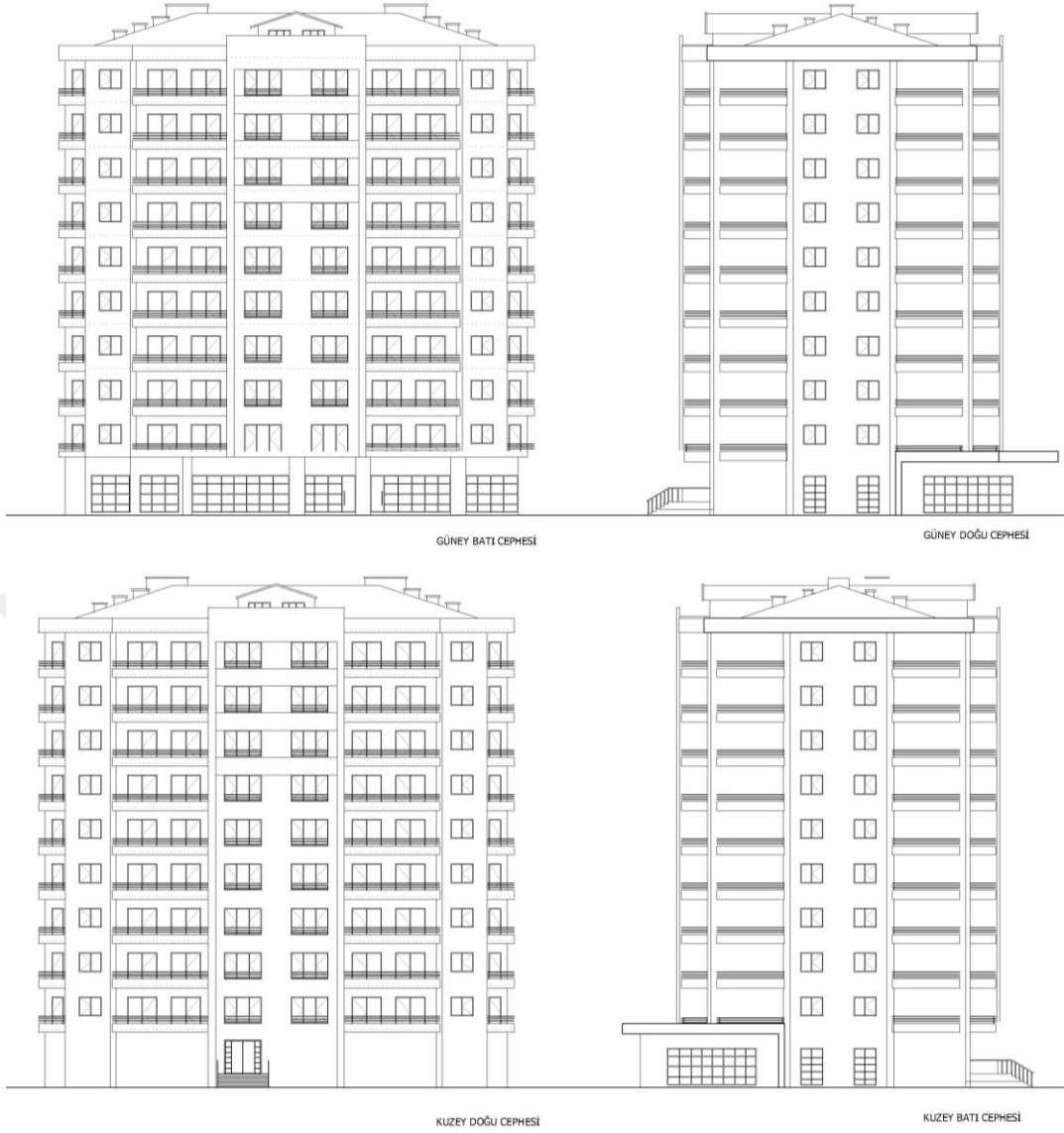


Şekil 3.10. Mevcut 10 katlı binanın zemin kat planı.



Şekil 3.11. Mevcut 10 katlı binanın normal kat planı.

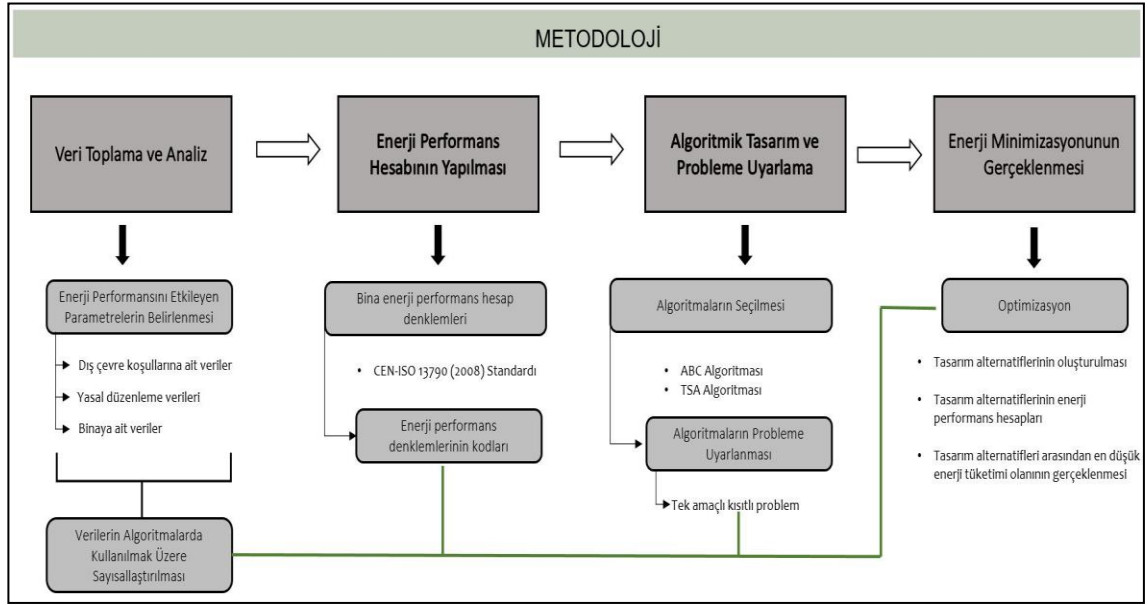
Binanın cephelerine göre opak ve saydam yüzey alanları ayrıntılı şekilde belirlenmiştir. Güneydoğu cephesinde 57,60 m² saydam ve 615,80 m² opak yüzey, kuzeydoğu cephesinde 366,90 m² saydam ve 592,50 m² opak yüzey, kuzeybatı cephesinde 57,60 m² saydam ve 615,80 m² opak yüzey, güneybatı cephesinde ise 311,90 m² saydam ve 647,50 m² opak yüzey alanı bulunmaktadır (Şekil.3.12.). Yapıya ait çatı alanı ise yaklaşık 654,90 m² olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.12. Mevcut 10 katlı binanın cephe görüşleri.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada izlenen yöntem dört temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil.3.13.).



Şekil 3.13. Metodoloji Şeması

İlk aşamada, enerji performansını etkileyen parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiş; bu kapsamda dış çevre koşullarına, yasal düzenlemelere ve analiz yapılacak binalara ait fiziksel verilere odaklanılmıştır. Elde edilen tüm bu veriler, algoritmalarda kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır. İkinci aşamada, bina enerji performansının sayısal olarak hesaplanması süreci gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, EN ISO 52016-1 (2017) standardına dayanan hesaplama denklemleri kullanılmış (EPC aracının hesaplama denklemleri), ilgili denklemler MATLAB ortamına entegre edilmiştir. Üçüncü aşamada, algoritma tabanlı tasarım yaklaşımı benimsenmiş; ABC ve TSA algoritmaları seçilerek çalışmadaki problem tanımına uyarlanmıştır. Problem, tek amaçlı ve kısıtlı optimizasyon çerçevesinde modellenmiştir. Bu kapsamda, belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda çeşitli tasarım parametreleri tanımlanmış ve bu parametrelere ait önceden belirlenmiş aralıklar çerçevesinde çok sayıda tasarım alternatifi üretilmiştir. Oluşturulan alternatifler, enerji performansı açısından değerlendirilmiş ve en uygun performansa sahip tasarım seçilmiştir. Alternatif üretim sürecinde dikkate alınan parsel; yasal düzenlemelerle belirlenmiş kat yüksekliği, taban oturum alanı, komşu parseller ve yol bağlantıları gibi çeşitli kısıtları içermektedir. Çalışmanın son aşamasında, alternatif tasarımların üretilmesi, enerji simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve optimizasyon süreçlerinin eş zamanlı olarak aynı dijital ortamda yürütülmesini mümkün kılan bütünsel bir algoritmik araç geliştirilmiştir.

Çalışmada geliştirilen yöntem, tasarım sürecine erken evrede müdahale ederek enerji performansını optimize eden kararların alınmasına olanak tanımaktadır.

3.2.1. Veri toplama ve analiz

Çalışmanın bu aşamasında, geliştirilen aracın uygulaması için veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Enerji etkinliğini sağlamak üzere erken tasarım evresinde önemli olan parametreler; yapının dış çevre koşullarına ait veriler ve binaya ait veriler olmak üzere 2 başlık altında incelenebilir (Yasan, 2011). Çalışma kapsamında yasal düzenlemeler ile ilgili verilerin de enerji etkinliği üzerinde etkisi olduğu daha önce yapılan çalışmalarla (Zağpus Candemir, 2009) desteklendiği için 3 başlık altında incelenmiştir.

3.2.1.1. Dış çevre koşullarına ait veriler

Algoritma destekli analiz sürecinin ilk aşamasında, tasarım kararlarını etkileyen dış çevre koşullarına ilişkin veriler toplanmış ve sayısallaştırılmıştır. Çalışmada iklimsel ve çevresel veriler ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

- İklim verileri: Seçilen parselin bulunduğu konuma ait iklim verileri toplanarak algoritmada kullanılan bir matris haline getirilmiştir. Bu veriler WhiteBox Technologies tarafından sağlanan iklim dosyalarından elde edilmiştir (URL-7).
- Seçilen parselin çevresel verileri: Seçilen parselin dış çevre koşullarına ait etkenler; topografya, bitki dokusu, peyzaj elemanları ve yakın çevredeki yapılaşma ile ilgilidir. Çevresel veriler seçilen parsel ve etrafında yapılacak gözlem sonucu elde edilerek analiz edilmiştir. Bu veriler algoritmalarda kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır.

3.2.1.2. Yasal düzenleme verileri

Parselin bulunduğu yere ait imar durum belgesinde yer alan veriler ve tabii olduğu yönetmelikten gelen veriler toplanıp analiz edilerek algoritmalarda kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır. Bu veriler seçilen parselin bağlı bulunduğu yerel idari otoritelerden sağlanarak analiz edilmiştir.

3.2.1.3. Binaya ait veriler

Çalışmada bina enerji performansının hesaplanabilmesi amacıyla, hem fonksiyona hem de tasarıma bağlı parametreler ayrı başlıklar altında ele alınmış ve algoritmik süreçte kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır.

- Binaların enerji performansını etkileyen fonksiyona bağlı veriler: Bina kullanıcı yoğunluğu, bina kullanım süreleri, ısıtma-soğutma-havalandırma sistemleri, aydınlatma enerjisi ihtiyacı, sıcak su ihtiyacı, elektrikli alet kullanımı gibi bina kullanım sürecinde enerji performansını etkileyen veriler toplanarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda toplanan tüm veriler algoritmalarda kullanılmak

üzere sayısallaştırılmıştır. Bu veriler erken tasarım aşamasında henüz belli olmadığı fakat enerji simülasyonlarında bir değer olarak girilmesi gerektiği için; tasarımı yapılacak binanın fonksiyonuna göre literatürde ele alınmış genel kabullerden sağlanmıştır.

- Binanın enerji performansını etkileyen tasarıma bağlı veriler: Yerleşim planlaması, yönlendiriliş durumu, binanın formu, bina pencere-duvar oranı, binaların birbirine göre konumu ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir (Dikmen, 2011). Bu veriler algoritmalar tarafından üretilecek tasarım alternatiflerine göre oluşacaktır.

Yukarıda ifade edilen verilerin her biri binanın enerji performansını etkileyen parametrelerdir ve bu parametrelerin sayısallaştırılması algoritmalar için girdi oluşturacaktır. Bu parametreler Tablo 3.1.'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında erken tasarım evresinde enerji etkin bina optimizasyonuna odaklanılmıştır. Bu nedenle çalışmada bu parametrelerin bir kısmı sabit bir kısmı değişken olarak belirlenmiştir. Alan çalışması için seçilecek parselin bulunduğu dış çevre koşullarına ait parametreler tasarım alternatiflerine göre değişmemektedir. Bu parametrelerin aracın uygulanacağı farklı parsellere göre sayısallaştırılması gerekmektedir Aynı şekilde alan çalışması için seçilecek parselin yasal düzenleme parametreleri tasarım alternatiflerine göre değişmemektedir. Bu parametrelerin de aracın uygulanacağı farklı parsellere göre algoritma için sayısallaştırılması gerekmektedir. Binaya ait parametrelerden bir kısmı sabit, bir kısmı değişken olarak kabul edilmiştir. Bu kabul erken tasarım evresinde alınacak tasarım kararlarına göre belirlenmiştir. Erken mimari tasarım evresinde bina kabuğunu (opak ve saydam) oluşturan elemanların optik ve termofiziksel özellikleri belirlenmemektedir. Bu kararlar geç tasarım evrelerinde değerlendirmeye alınmaktadır (Morbiter ve diğ., 2001). Bu nedenle bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerine ilişkin değerler, parselin bulunduğu iklim bölgesinde geçerli olan mevcut yönetmelikteki izin verilen maksimum değerler alınarak enerji performans hesaplamasında kullanılmıştır. Binanın fonksiyonuna ve kullanımına bağlı enerji performansını etkileyen parametrelere de erken tasarım evresinde karar verilmemektedir (Gerçek ve Arsan, 2016). Ancak bina enerji hesaplamaları için gerekli olan; bina kullanıcı yoğunluğuna bağlı iç ısı kazançları, bina kullanım süreleri, ısıtma-soğutma-havalandırma sistemleri, aydınlatma enerjisi ihtiyacı, sıcak su ihtiyacı, elektrikli alet kullanımı gibi veriler alan çalışmasının uygulanacağı parselde üretilecek tasarımın fonksiyonuna göre literatürden ve genel kabullerden elde edilmiştir. Bu nedenle bu

parametrelerin de aracın uygulanacağı farklı fonksiyondaki binalara göre sayısallaştırılması gerekmektedir.

Tablo 3.1.: Bina enerji performansını etkileyen parametreler

Dış Çevre Koşullarına Ait Parametreler		Binaya Ait Parametreler		Yasal Düzenleme Parametreleri	
PGD	Topografya	S	Binanın Fonksiyonu, Kullanımı ve Servis Sistemleri	PGD	Bahçe Mesafeleri
PGD	İklimsel Koşullar	D	Yerleşim Planlaması	PGD	Taban Alanı Katsayısı
PGD	Yakın Çevredeki Yapılaşma	D	Bina Yönlendiriliş Durumu	PGD	Katlar Alanı Katsayısı (Emsal)
PGD	Bitki Doku ve Peyzaj Elemanları	D	Bina Formu	PGD	Maksimum Bina Yüksekliği
		D	Pencere Duvar Oranlarının Belirlenmesi (WWR)	PGD	Yapı Yaklaşma Mesafesi
		D	Binaların Birbirine Göre Konumu		
		S	Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri		

3.2.2. Enerji performans hesabı

Çalışmanın Bina Enerji performans hesabında kullanılan en yaygın metotlardan biri CEN (European Committee for Standardization, Avrupa Standardizasyon Komitesi) ve ISO (International Organization for Standardization, Uluslararası Standardizasyon Örgütü) tarafından geliştirilen standartları izleyen normatif hesaplama. (He ve diğ., 2020). Bu hesaplama yönteminde girdi olarak kullanılan veriler; iklim verileri, bina hacmi, bina yüksekliği, döşeme alanı, bina kabuğunun yönlenmesi, duvar alanı, pencere alanı, bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, bina kullanıcı yoğunluğu, bina kullanım çizelgesi, sıcaklık ayar noktaları, aydınlatma sistemi, ısıtma ve soğutma sistemi, sıcak su sistemi, bina enerji yönetim sistemi ve havalandırma sistemidir.

Enerji optimizasyon stratejisinin temelinde, enerji tasarruflarını iyileştirme kombinasyonlarını değerlendirebilen aylık bir enerji simülasyon aracı bulunmaktadır. Bu bağlamda, Georgia Teknoloji Enstitüsü tarafından EN ISO 52016-1 (2017) standardına dayanılarak geliştirilen *Energy Performance Calculator* (EPC) kullanılmaktadır (Heo ve diğ., 2011). CEN-ISO standartları, binaların enerji performansını hesaplamak amacıyla CEN ve ISO iş birliğiyle geliştirilmiştir (Lee ve diğ., 2013b). Bu standart, enerji akışlarının makro düzeyde hesaplanması için yarı-durağan (aylık) ve dinamik (saatlik) yöntemleri tanımlamaktadır. EPC, enerji hesaplamalarını EN ISO 52016-1 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirmektedir. Standartlar düzenli aralıklarla güncellense de çalışmada temel enerji hesabı yapıldığı ve

çalışma detay seviyesinde gerçekleştirilmediği için birçok faktör sabit alınmıştır. Güncellemeler çalışma sonuçlarını değiştirmemektedir.

Destekleyici hesaplama standartları arasında; ısı iletimi ve sıcak hava transferi için EN ISO 13789 (2007); bina havalandırma sistemleri için EN 15241 (2007), EN 15242 (2007); soğutma ve havalandırma sistemleri için EN 15243 (2007); aydınlatma sistemleri için EN 15193 (2007); sıcak su sistemleri için EN 15316-3 (2007) ve ısıtma sistemleri için EN 15316-4 (2007) standartları yer almaktadır (Lee ve diğ., 2011). EPC, CEN-ISO standartlarının bilgisayar tabanlı bir uygulaması olarak tanımlanmaktadır (Lee ve diğ., 2013b). EPC'nin aylık hesaplama modülü, ısıtma ve soğutma taleplerini aylık bazda hesaplarken, toplam enerji tüketimini ise havalandırma, aydınlatma, ısı pompaları, ısıtma, soğutma ve sıcak su hazırlama gibi tüm enerji tüketimlerini içerecek şekilde hesaplamaktadır. Ayrıca, birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) emisyonları da değerlendirme kapsamına alınmaktadır.

EPC, enerji performansı simülasyonu ve enerji tasarrufu teknolojilerinin optimizasyonu amacıyla pek çok çalışmada kullanılmıştır (Heo ve diğ., 2011; Simmons ve diğ., 2015; Zhang ve Augenbroe, 2018b; Sayın ve Augenbroe, 2021). Heo (2011), normatif enerji modellerinin, dinamik enerji simülasyonlarına kıyasla enerji iyileştirme seçeneklerini doğru bir şekilde değerlendirebildiğini ortaya koymuştur (Lee ve diğ., 2013b). EPC'nin çıktısı, birim alan başına yıllık enerji tüketimini ifade eden *Enerji Kullanım Yoğunluğu* (EUI, kWh/m²/yıl) olarak sunulmaktadır (Simmons, 2012). EPC, normatif bir simülasyon aracı olarak enerji tasarrufu teknolojilerinin bütünsel optimizasyonu için uygun bir yaklaşım sunmaktadır.

Bina toplam enerji ihtiyacının belirlenmesinde, yukarıda ifade edilen girdilere bağlı olarak hesaplanan toplam enerji ihtiyacından bina enerji kayıpları çıkarılmakta ve bina enerji kazançları eklenerek binanın toplam enerji tüketimi bulunmaktadır. Bina enerji kazançlarını güneşten ısı kazancı ve iç ısı kazancı oluştururken, bina enerji kayıplarını yayılma yoluyla ısı kaybı ve havalandırma yoluyla ısı kaybı oluşturmaktadır. Bu kayıp ve kazanç hesaplamalarıyla ilgili CEN-ISO 13790 (2008) standardından alınan temel denklemler aşağıda verilmiştir.

Yayılma yoluyla toplam ısı transferi hesaplaması Denklem 3.1. olarak verilmiştir.

$$Q_{tr} = \sum k \{ H_{tr}, k \times (\theta - \theta_{e,k}) \} \times t \quad (3.1.)$$

H_{tr}; Bölgenin iletimle iç dış sıcaklık farkına göre ayarlanmış, watt/Kelvin cinsinden ifade edilen toplam ısı aktarım katsayısıdır.

θ Celcius derecesi cinsinden ifade edilen ısıtma, soğutma için bina bölgesinin ayar sıcaklığıdır.

Θ_{ek} ; Celcius derecesi cinsinden ifade edilen dış ortamın sıcaklığıdır.

t ; Mega saniye cinsinden ifade edilen hesaplama adımının süresidir.

Havalandırma yoluyla toplam ısı transferi hesaplaması Denklem 3.2.'de görülmektedir.

$$Q_{ve} = \sum k \{ H_{ve,k} \times (\theta - \theta_{s,k}) \} \times t \quad (3.2.)$$

$H_{ve,k}$; İç dış sıcaklık farkı için ayarlanmış watt/Kelvin cinsinden ifade edilen havalandırma ile toplam ısı aktarım katsayısıdır.

Θ ; Derece Celcius cinsinden ifade edilen ısıtma, soğutma için bina bölgesinin ayar noktası sıcaklığıdır. Ayar noktası sıcaklığı, iç mekân konfor koşullarını sağlamak üzere referans alınan sabit sıcaklık değeridir. Bu değer, genellikle kullanıcı konforuna dayalı olarak belirlenir ve enerji tüketimini doğrudan etkiler (ASHRAE Standard 55, 2017).

$\Theta_{s,k}$; Derece Celcius cinsinden ifade edilen dış ortamın sıcaklığıdır,

t ; Megasaniye cinsinden ifade edilen hesaplama adımının süresidir.

İç ısı kazancı hesabı Denklem 3.3. olarak verilmiştir.

$$\Phi_{int} = \sum k \Phi_{int,k} + \sum l (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,u,l} \quad (3.3.)$$

$b_{tr,l}$; İç ısı kaynağı l ile bitişik iklimlendirilmemiş mekân için tanımlanan ayarlama faktörüdür. Ayarlama faktörü, farklı iklim bölgeleri, kullanıcı alışkanlıkları, bina işlevleri veya simülasyon parametreleri gibi değişkenlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisini standart bir referansa göre düzeltmek amacıyla kullanılan çarpanlardır (EN ISO 13790).

$\Phi_{int,k}$; Watt cinsinden ifade edilen iç ısı kaynağı k 'den saatlik ısı akışıdır.

$\Phi_{int,u,l}$; Bitişik iklimlendirilmemiş mekândaki iç ısı kaynağı l 'den saatlik ısı akışıdır.

Güneşten ısı kazancının hesabı Denklem 3.4.'te görülmektedir.

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,k} \times I_{s,k} - F_{r,k} \times \Phi_{r,k} \quad (3.4.)$$

$F_{sh,ob,k}$; Yüzey k 'nin güneş etkin toplama alanı için dış engellerin gölgeleme azaltma faktörüdür.

$A_{sol,k}$; (camla kaplı), mat bina elemanları ve özel elemanlara uygun olarak tayin edilen metrekare cinsinden ifade edilen değerlendirilmekte olan bölge veya mekândaki verilen bir yönlenme ve eğiklik açısı ile yüzey k 'nin etkin toplama alanıdır.

$E_{s,k}$; Metrekare başına watt cinsinden ifade edilen, verilen yönelim ve eğiklik açısı ile yüzey k 'nin toplama alanının metrekaresi başına hesaplanan zaman adımı üzerine güneş ışıınının ortalama enerjisi, güneş ışımasıdır.

$F_{r,k}$; Bina elemanı ve gökyüzü arasında biçim faktörüdür.

$\Phi_{r,k}$; Watt cinsinden ifade edilen bina elemanı k 'den gökyüzüne olan ısı ışıınımdan kaynaklanan fazladan ısı akışıdır.

Enerji performansı analizlerinin doğruluğunu sağlamak için yapı özellikleri, mekanik sistemler ve çevresel veriler gibi kapsamlı bilgilerin sağlanması gerekir. Bu bağlamda, verilerin sistem arayüzüne doğru ve eksiksiz bir şekilde girilmesi, hesaplamaların güvenilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir (ISO, 2017; EN 15603, 2008).

3.2.2.1. Enerji performans hesabı için gerekli veriler

Enerji performans hesabı için gerekli veriler yapısal özellikler, mekanik sistem özellikleri ve çevresel veriler olmak üzere olarak üçe ayrılabilir. Yapısal özellikler, yapının geometrisi, malzeme özellikleri ve yalıtım detayları enerji performansı değerlendirmelerinde temel girdiler arasındadır ve 5 maddede özetlenmiştir.

- Bina Kullanım Amacı: Enerji performansı, yapının fonksiyonuna göre değişiklik gösterir. Örneğin, konut binaları ile ticari binaların enerji tüketim profilleri farklıdır (CIBSE, 2021).
- Bina Alanı ve Hacmi: Binanın toplam brüt alanı, kat alanları ve net hacmi gibi bilgiler, ısıtma-soğutma yüklerini ve havalandırma ihtiyaçlarını belirlemede önem taşır. Bu tür fiziksel parametreler, enerji kaybı ve kazançlarının doğru hesaplanması için gereklidir (ASHRAE, 2013).
- Yapı Elemanlarının Malzeme Özellikleri: Binanın dış kabuğunu oluşturan elemanların ısı geçirgenlik katsayıları (U-değerleri) enerji kayıplarını belirlemede kilit bir role sahiptir. Yalıtımın kalitesi ve malzeme seçimi, enerji performansını doğrudan etkiler (ISO 13789, 2017).
- Pencere Alanları ve Konumu: Pencere alanları, güneş ışıınına maruz kalan cepheleri ve cam türleri, enerji dengesine etki eder. Özellikle güneş ışıınının yüksek olduğu bölgelerde, pencere tasarımı enerji kazançlarını artırabilir (Sartori & Hestnes, 2007).
- Yalıtım Malzemeleri: Yalıtımın türü, kalınlığı ve termal iletkenlik katsayıları, enerji kayıplarının azaltılmasında önemli bir faktördür. Özellikle iyi bir yalıtım, enerji tüketimini büyük ölçüde azaltabilir (Peeters ve diğ., 2008).

Enerji performans hesabı için gerekli mekanik sistem özellikleri enerji tüketimi üzerinde doğrudan etkilidir ve 4 maddede özetlenmiştir.

- Isıtma ve Soğutma Sistemleri: Merkezi ısıtma-soğutma sistemleri, bireysel cihazlar veya yenilenebilir enerji tabanlı sistemlerin türü ve verimlilik katsayıları enerji hesaplamalarında dikkate alınır (ISO 52016-1, 2017).
 - Havalandırma Sistemleri: Doğal ve mekanik havalandırma sistemleri ile enerji geri kazanım özellikleri, iç ortam konforunu sağlarken enerji tüketimini azaltabilir (ASHRAE, 2013).
 - Aydınlatma Sistemleri: Aydınlatma enerji tüketimi, verimlilik düzeyi ve gün ışığından faydalanma oranına bağlı olarak değişiklik gösterir (Dubois & Blomsterberg, 2011).
 - Yenilenebilir Enerji Sistemleri: Fotovoltaik paneller ve güneş kolektörleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları, enerji performansını iyileştirmede önemli bir potansiyele sahiptir (IEA, 2021).
- Bina enerji performansı, iklim ve çevresel koşullardan önemli ölçüde etkilenir.
- İklim Verileri: Yerel sıcaklık, nem, güneş ışıınımı ve rüzgar hızına ilişkin veriler, enerji modellemelerinde kritik bir rol oynar (ISO 15927-4, 2005).
 - Topografya ve Çevresel Şartlar: Binanın bulunduğu bölgenin coğrafi özellikleri, enerji kayıplarını etkileyen bir diğer önemli faktördür.

Bu bağlamda, yapıların enerji performansını doğru ve bütüncül biçimde değerlendirebilmek için yapısal, mekanik ve çevresel verilere dayalı kapsamlı bir veri setinin oluşturulması gereklidir; söz konusu verilerin her biri, erken tasarım sürecinde alınacak kararların enerji verimliliği üzerindeki etkisini belirlemede temel bir rol oynamaktadır.

3.2.2.2. Verilerin ara yüze girilmesi

Enerji performans hesaplamalarının güvenilirliğini sağlamak için, toplanan verilerin EPC aracının arayüzüne eksiksiz bir şekilde entegre edilmesi gerekir. Bu süreç şu aşamaları içerir:

- Veri Toplama ve Doğrulama: Veriler, proje dokümanlarından ve simülasyonlardan elde edilir. Sağlanan bilgilerin doğruluğu, hesaplamaların güvenilirliğini artırır (ISO, 2017).
- Veri Formatlama: Elde edilen veriler, sistemin gereksinimlerine uygun olarak standardize edilir. Özellikle malzeme özellikleri, mekanik sistem parametreleri ve iklim verileri, belirli standartlara göre düzenlenir (EN 15603, 2008).

- Arayüz Girişi: Veriler, sistemin öngördüğü formatta manuel veya otomatik olarak yazılım arayüzüne girilir. Bu aşamada hata kontrolleri yapılmalıdır. Örneğin, U-değerleri, mekanik sistem verimlilik katsayıları ve iklim verileri kontrol edilir (Peeters ve diğ., 2008).

EPC aracında enerji hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için gerekli olan veriler ve o verilerin arayüze girilmesi aşağıda anlatılmıştır.

- 1- Araca öncelikle yapının bulunduğu lokasyon, meteorolojik verilerin alındığı istasyon, yapının ismi, yapının arazi sınıfı, toplam bina hacmi ve toplam yükseklik verileri girilmektedir (Şekil 3.14.).

Building General		
Building Location		Konya,TURKEY
Nearest Weather Data Source		KONYA
Distance between bldg location and weather station (km)		
Building Name		TEK BLOK_2 kat
Terrain class		Urban / City
Building total Ventilated volume [m3]		1266
Building Height [m]		6,5

Şekil 3.14. EPC aracı ara yüzünde çevresel ve yapısal verilerin girildiği bölüm

- 2- ‘Building system’ bölümünde mekanik sistem özellikleri seçilebilmektedir. EPC aracında sol taraftaki hücrede sistemlere dair özellikler, orta hücrede sayısal değerler ve sağ taraftaki hücrede de sayısal verilerin alındığı referanslar veya referansın açıklandığı çalışma sayfalarına atıf bulunmaktadır (Şekil 3.15-3.16.)

Building System		
Lighting		
Lighting daylighting factor	1	No Control: 1, Range (0=<factor =<1)
Lighting occupancy factor	1	No Control: 1, Range (0=<factor =<1)
Lighting constant illumination control factor	1	No Control: 1, Range (0=<factor =<1)
HVAC System		
Heating System Coefficient of Performance (COP) [KW/KW]	0,92	
Cooling System Full Load COP [KW/KW]	2,50	IPLV: 0,82, Seasonal COP: 2,04
Relative COP100: for Relative Load 100%	1,00	Refer to REF sheet
Partial Load COP75 Relative Load 75%	0,90	Refer to REF sheet
Partial Load COP50 Relative Load 50%	0,82	Refer to REF sheet
Partial Load COP25 Relative Load 25%	0,50	Refer to REF sheet
Weighting of 100% Load	0,01	From ARI 550/590 Standard
Weighting of 75% Load	0,42	From ARI 550/590 Standard
Weighting of 50% Load	0,45	From ARI 550/590 Standard
Weighting of 25% Load	0,12	From ARI 550/590 Standard
HVAC system type: (System / Heat distrition by / Cold distribution by / room temp. cntrl)	27. Fan coil system, 4-pipe	
Ventilation type	Natural Vent	
Mechanical ventilation supply air flow rate (liter/s)	-	
Mechanical ventilation exhaust air flow rate (liter/s)	-	
Heat recovery type	No heat recovery	
Exhaust air recirculation percentage	No exhaust air recirculation	
Natural ventilation is used for cooling during unoccupied hours	No	
If natural ventilation is used, window area totally opened [m2]	51	Effective Window Opening Area [m2]
If natural ventilation, angle of opening for bottom hung window		
Building air leakage level (Air flow m3/h per floor area at Q4Pa)	1,1	Refer to REF sheet (Infiltration ACH: 0,11)
Specific fan power [W/(l/s)]	1,80	Average electromotor efficiency: Refer to REF sheet
Fan flow control factor	1,00	Average control reduction factor: Refer to REF sheet
Pump control for cooling	All other cases	
Pump control for heating	All other cases	
Domestic Hot Water System		
DHW Distribution System	Circulation system or Unknown	
DHW Generation System	Electric (0.75)	
Building Energy Management System		
Type of BEM system installed	1	Refer to REF sheet

Şekil 3.15. EPC aracı ara yüzünde yapının sistemsel özelliklerinin girildiği bölüm.

Bldg Integrated Energy Generation System			
Photovoltaic System			
	PV module Surface Area (m2)	0	
	PV Module Orientation	S	
	PV Module Angle	30	
	Type of PV module	Mono crystalline silicon	
	Type of building integration of PV module	Unventilated modules	
Solar Water Heating System			
	Solar Collector Surface Area (m2)	0	
	SHW module angle	30	
	Wind Turbine diameter [m]	0,00	
Energy Sources			
	Primary energy source for Heating	Natural Gas	
	Primary energy source for DHW	Electricity	
	Primary energy source for Cooling	Electricity	
Primary and Emission Factor			
		Primary Energy Factor	CO2 Emission Coefficient [g/kWh]
	Electricity	3,39	744
	Natural Gas	1,09	277
	Fuel	1.19	330

Şekil 3.16. EPC aracı ara yüzünde yapıya entegre yenilenebilir enerji sistemlerinin özelliklerinin girildiği

- 4- ‘Zone’ bölümünde yapının kullanım amacı ve yapı türüne göre belirlenen standartların toplam bina alanı üzerinden m² başına düşen enerji tüketim girdileri bulunmaktadır (Şekil 3.17.).

Zone	Zone1
Space Name	Residence
Gross Floor Area (m2)	389
Occupancy (m2/person)	28,66
Metabolic rate (W/person)	70
Appliance (W/m2)	12,87
Lighting (W/m2)	11,84
Outdoor Air (liter/s/person)	7,80
DHW (liter/m3/month)	18,00

Şekil 3.17. EPC aracı ara yüzünde m² başına düşen enerji tüketim girdileri

Bu oranlar (Şekil 3.18.) EPC aracı referans çalışma sayfasında açıklanan standartlardan alınmış (ISO 13790:2008), çalışma sayfasında bulunmayan DHW (evsel sıcak su) oranı Türkiye Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) verilerinden alınmıştır.

<Source: ISO 13790:2008(E) Annex G, Table G.12, NEP Input data, and Building America House Simulation Protocols, 201					
	Single-family house	Apartment blocks	Dormitory	Retail	Office
Occupancy (m2/person)	60	40	10	50	14,29
Metabolic rate (W/person)	70	70	100	250	120
Appliance (W/m2)	13,11	12,87	5	50	10
<Source: ASHRAE Standard 90.1-2007, Table 9.5.1 LPD using the Building Area Method and NEP Input>					
	Multi-family 4 stories	Dormitory	Retail	Office	
Lighting (W/m2)	11,84	8	50	10,76	
<Source: ISO 13790:2008(E) Annex G, Table G.12, and NEP Inputs>					
* Example of conventional input data related to occupancy					
	Single-family house	Apartment blocks	Dormitory	Retail	Office
Outdoor Air (liter/s/person)	11,7	7,8	10	10	10
<Source: ASHRAE Standard 62.1-2010>					
* Minimum requirements					
Residential	Dwelling unit	Common corridors	Retail	Office	
Outdoor Air (liter/s/person)	2,5	-	3,8	2,5	
Outdoor Air (liter/s/m2)	0,3	0,3	0,6	0,3	
<Source: NEP Inputs>					
	Dormitory	Office			
DHW (liter/m2/month)	6,55	0,1			

Şekil 3.18. Yapı türlerine göre m² başına düşen enerji tüketim verilerinin bulunduğu referans çalışma sayfası

SYGM’den alınan verilere göre;

Örneğin; konutlarda su tüketimi, bireylerin günlük su kullanım alışkanlıkları, kullanılan ekipmanların verimliliği ve yaşam tarzlarına bağlı olarak değişiklik

göstermektedir. Türkiye’de kişi başına günlük ortalama su tüketimi yaklaşık **150 litre** olarak kabul edilmektedir (SYGM, 2023). Bu değer temel alınarak dört kişilik bir konutun su tüketimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

- Kişi Başı Günlük Tüketim: 150 litre
- Konut İçi Günlük Tüketim: 4 kişi $\times$ 150 litre = 600 litre/gün
- Konut Aylık Tüketim: 600 litre/gün $\times$ 30 gün = 18.000 litre/ay = 18 m³/ay

5- ‘Building Temperature Set-point Schedule’ bölümünde yapının hafta içi (WD) ve haftasonu (WE) olmak üzere hangi saatlerde hangi sıcaklık derecesine gelince ısıtma, hangi sıcaklık derecesine gelince soğutma yapması gerektiğine dair girilen ayar noktası verileri bulunmaktadır (Şekil 3.19.).

Building Temperature Set-point Schedule					Zone 1 Schedule						
Hour	WD_Tset_heat	WE_Tset_heat	WD_Tset_cool	WE_Tset_cool	Hour	Occ_WD	Occ_WE	App_WD	App_WE	Light_WD	Light_WE
0-1	15,0	15,0	24,0	24,0	0-1	1,00	1,00	0,23	0,23	0,06	0,06
1-2	15,0	15,0	24,0	24,0	1-2	1,00	1,00	0,23	0,23	0,06	0,06
2-3	15,0	15,0	24,0	24,0	2-3	1,00	1,00	0,23	0,23	0,06	0,06
3-4	15,0	15,0	24,0	24,0	3-4	1,00	1,00	0,23	0,23	0,06	0,06
4-5	15,0	15,0	24,0	24,0	4-5	1,00	1,00	0,23	0,23	0,19	0,19
5-6	15,0	15,0	24,0	24,0	5-6	1,00	1,00	0,23	0,23	0,39	0,39
6-7	15,0	15,0	24,0	24,0	6-7	1,00	1,00	0,23	0,23	0,44	0,44
7-8	15,0	15,0	24,0	24,0	7-8	1,00	1,00	0,34	0,38	0,39	0,39
8-9	15,0	15,0	24,0	24,0	8-9	0,80	1,00	0,35	0,37	0,17	0,17
9-10	15,0	15,0	24,0	24,0	9-10	0,25	0,70	0,38	0,38	0,12	0,12
10-11	15,0	15,0	24,0	24,0	10-11	0,10	0,50	0,40	0,39	0,12	0,12
11-12	15,0	15,0	24,0	24,0	11-12	0,10	0,50	0,40	0,39	0,12	0,12
12-13	15,0	15,0	24,0	24,0	12-13	0,10	0,50	0,40	0,39	0,12	0,12
13-14	15,0	15,0	24,0	24,0	13-14	0,10	0,50	0,40	0,39	0,12	0,12
14-15	15,0	15,0	24,0	24,0	14-15	0,10	0,50	0,40	0,39	0,20	0,20
15-16	15,0	15,0	24,0	24,0	15-16	0,10	0,50	0,40	0,39	0,12	0,12
16-17	15,0	15,0	24,0	24,0	16-17	0,10	0,50	0,40	0,39	0,44	0,44
17-18	15,0	15,0	24,0	24,0	17-18	0,10	0,70	0,96	1,00	0,61	0,61
18-19	15,0	15,0	24,0	24,0	18-19	0,50	0,70	0,92	1,00	0,82	0,82
19-20	15,0	15,0	24,0	24,0	19-20	1,00	0,70	0,88	1,00	0,98	0,98
20-21	15,0	15,0	24,0	24,0	20-21	1,00	0,70	0,88	1,00	1,00	1,00
21-22	15,0	15,0	24,0	24,0	21-22	1,00	0,70	0,88	1,00	0,69	0,69
22-23	15,0	15,0	24,0	24,0	22-23	1,00	1,00	0,88	0,98	0,38	0,38
23-24	15,0	15,0	24,0	24,0	23-24	1,00	1,00	0,21	0,21	0,16	0,16

Note: WD: Weekday, WE: Weekend, Tset,heat: Heating set-point temperature, Tset,cool: Cooling set-point temperature, Occ: Occupant, App: Appliance, Light: Lighting

Şekil 3.19. EPC aracı ara yüzünde yapının ısıtılması ve soğutulması gereken sıcaklık ayar noktaları verilerinin girildiği bölüm.

Şekil 3.17.de gösterilen Zone 1 Schedule tablosu (kullanıcılardan, küçük ev aletlerinden ve aydınlatmadan kaynaklanan sıcaklık girdileri) EPC aracı referans çalışma sayfasında konut yapı türü seçilerek alınmış verilerdir (ISO 13790:2008).

Isıtma-soğutma derece ayarları ile ilgili sıcaklıklar ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınan verilere göre girilmiştir.

Isıtma ve soğutma gereksinimlerini belirlemek için, genellikle dış ortam sıcaklıklarına dayalı eşik değerler ve derece günleri (Heating Degree Days - HDD,

Cooling Degree Days - CDD) kullanılmaktadır. Türkiye'deki yapıların enerji performansı hesaplamaları için TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı önemli bir referans kaynağıdır (TSE, 2025).

Isıtma sistemlerinin devreye girdiği dış ortam sıcaklığı, genellikle 15°C olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de kış aylarında sıcaklıklar sıklıkla -4°C ile 5°C arasında değiştiği için, Ekim ayından Nisan sonuna kadar ısıtma gereksinimi duyulmaktadır (MGM, 2023).

Soğutma ihtiyacı ise, genellikle dış ortam sıcaklıklarının 24°C'yi aşması durumunda ortaya çıkar. Türkiye’de yaz aylarında sıcaklıklar sıklıkla 30°C’nin üzerine çıkmakta, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında soğutma gereksinimi yoğunlaşmaktadır (MGM, 2023). CDD değerleri, illerin yaz mevsimindeki enerji talebini anlamada önemli bir veri kaynağıdır.

- 6- ‘Envelope’ bölümünde yapının pencere yönlerine göre opak ve saydam yüzey alanları ile çatı alanının EPC aracına girildiği bölümdür (Şekil 3.20.).

Envelope				
Orientation	Opaque1	Opaque2	Window 1	
	Area [m2]	Area [m2]	Area [m2]	SRF2
S	276,0		216,0	0,8
SE				
E	215,0		125,0	0,8
NE				
N	484,0		8,0	0,8
NW				
W	215,0		125,0	0,8
SW				
Roof(Hor)	425,0			1
Below grade				

Şekil 3.20. EPC aracı ara yüzünde yapı opak ve saydam yüzey alanları verilerinin girildiği bölüm.

- 7- ‘Material’ bölümü yapının opak ve saydam yüzeylerinde kullanılan malzemelerin ısıl geçirgenlik katsayısı, emilim katsayısı, emisivitesinin ve güneş geçirgenlik katsayısının girildiği bölümdür. Şekil 3.21. de verilen değerler TS 285 den alınmıştır.

Material				
Type	Uvalue [W/m2/K]	Absorption coefficient	Emissivity	Solar Transmittance
Roof1	0,25	0,85	0,92	
Opaque1	0,44	0,70	0,92	
Window1	1,60		0,56	0,78

Şekil 3.21. EPC aracı ara yüzünde yapı malzemelerinin termal özelliklerinin girildiği bölüm.

Tüm veri girişleri tamamlandıktan sonra EPC aracıda ‘Result’ çalışma alanında aylık ve yıllık olarak ayrı ayrı enerji tüketim sonuçları görülmektedir (Şekil 3.22.-3.23.).

Qdesign,heat,nd [kWh/m2/yr]	83.962
Qdesign,cool,nd [kWh/m2/yr]	98
Edesign,del [kWh/m2/yr]	390
Edesign,p [kWh/m2/yr]	955
CO2design [g/m2/yr]	215,369

Şekil 3.22. EPC aracı ara yüzünde ‘Result’ bölümünde yıllık; ısıtma, soğutma enerji tüketim sonuçları ve CO₂ salınım sonuçları.

Heating Need										
Month	Tair from monthly heating mode [celcius]	QH,tr [kWh/m2]	QH,ve [kWh/m2]	QH,ht [kWh/m2]	QH,sol [kWh/m2]	QH,int,oc+ap [kWh/m2]	QH,int,li [kWh/m2]	QH,gnd [kWh/m2]	$\eta_{H,ls}$	QH,nd [kWh/m2]
Jan	15.00	9.17	19.12	28.29	4.08	5.71	3.38	13.17	0.94	15.94
Feb	15.00	7.20	23.87	31.07	5.33	5.16	3.05	13.54	0.91	18.68
Mar	15.00	4.86	21.23	26.08	7.21	5.69	3.38	16.29	0.82	12.79
Apr	15.00	1.68	7.42	9.10	7.90	5.55	3.27	16.72	0.46	1.39
May	15.00	(0.68)	(3.09)	(3.77)	7.97	5.69	3.38	17.04	(0.22)	-
Jun	15.00	(3.91)	(40.94)	(44.85)	8.31	5.51	3.27	17.09	(2.62)	-
Jul	15.00	(6.41)	(78.18)	(84.59)	8.70	5.73	3.38	17.80	(4.75)	-
Aug	15.00	(6.04)	(61.84)	(67.87)	8.81	5.69	3.38	17.89	(3.79)	-
Sep	15.00	(2.81)	(20.94)	(23.75)	7.96	5.53	3.27	16.76	(1.42)	-
Oct	15.00	0.63	2.10	2.73	6.94	5.71	3.38	16.03	0.17	0.04
Nov	15.00	5.25	22.85	28.10	5.51	5.51	3.27	14.29	0.86	15.76
Dec	15.00	8.67	22.92	31.59	3.91	5.73	3.38	13.02	0.94	19.37
Total [kWh/m2/yr]		17.60	(85.47)	(67.87)	82.62	67.22	39.79	189.64	N/A	83.96

Cooling Need										
Month	Tair from monthly cooling mode	QC,tr [kWh/m2]	QC,ve [kWh/m2]	QC,ht [kWh/m2]	QC,sol [kWh/m2]	QC,int,oc+ap [kWh/m2]	QC,int,li [kWh/m2]	QC,gnd [kWh/m2]	$\eta_{C,ls}$	QC,nd [kWh/m2]
Jan	24.00	14.70	6.82	21.53	4.08	5.71	3.38	13.17	0.59	0.47
Feb	24.00	12.20	5.33	17.52	5.33	5.16	3.05	13.54	0.71	1.06
Mar	24.00	10.39	4.74	15.13	7.21	5.69	3.38	16.29	0.86	3.24
Apr	24.00	7.04	3.24	10.27	7.90	5.55	3.27	16.72	0.96	6.81
May	24.00	4.86	2.10	6.96	7.97	5.69	3.38	17.04	0.99	10.12
Jun	24.00	1.45	0.63	2.07	8.31	5.51	3.27	17.09	1.00	15.02
Jul	24.00	(0.87)	(0.40)	(1.27)	8.70	5.73	3.38	17.80	1.00	19.07
Aug	24.00	(0.50)	(0.23)	(0.73)	8.81	5.69	3.38	17.89	1.00	18.62
Sep	24.00	2.55	1.15	3.70	7.96	5.53	3.27	16.76	1.00	13.06
Oct	24.00	6.16	2.49	8.66	6.94	5.71	3.38	16.03	0.98	7.55
Nov	24.00	10.60	4.39	14.99	5.51	5.51	3.27	14.29	0.82	2.06
Dec	24.00	14.20	6.20	20.40	3.91	5.73	3.38	13.02	0.61	0.52
Total		82.78	36.46	119.24	82.62	67.22	39.79	189.64	N/A	97.60

Delivered Energy										
Month	Eheat [kWh/m2]	ECool [kWh/m2]	Elight [kWh/m2]	Efan [kWh/m2]	Epump [kWh/m2]	Eos [kWh/m2]	EDHW [kWh/m2]	Egen_pv [kWh/m2]	Egen_wind [kWh/m2]	Ettotal [kWh/m2]
Jan	30.52	0.37	3.37	3.74	0.38	4.47	1.10	-	-	43.95
Feb	35.77	0.85	3.05	4.50	0.34	4.04	1.10	-	-	49.65
Mar	24.48	2.60	3.37	3.66	0.38	4.47	1.10	-	-	40.05
Apr	2.66	5.46	3.26	1.87	0.37	4.33	1.10	-	-	19.05
May	-	8.12	3.37	2.31	0.38	4.47	1.10	-	-	19.74
Jun	-	12.04	3.26	3.43	0.37	4.33	1.10	-	-	24.52
Jul	-	15.29	3.37	4.35	0.38	4.47	1.10	-	-	28.96
Aug	-	14.93	3.37	4.25	0.38	4.47	1.10	-	-	28.49
Sep	-	10.47	3.26	2.98	0.37	4.33	1.10	-	-	22.50
Oct	0.07	6.05	3.37	1.73	0.38	4.47	1.10	-	-	17.17
Nov	30.17	1.65	3.26	4.06	0.37	4.33	1.10	-	-	44.94
Dec	37.08	0.42	3.37	4.54	0.38	4.47	1.10	-	-	51.36
Total	160.75	78.24	39.70	41.42	4.44	52.67	13.15	-	-	390.38

Şekil 3.23. EPC aracı ara yüzünde ‘Result’ bölümünde aylık; ısıtma, soğutma enerji tüketim sonuçları ve toplam enerji tüketim sonuçları.

Yukarıda, EPC aracında enerji hesaplamalarının doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan verilerin toplanması, düzenlenmesi ve arayüze girilmesine ilişkin detaylı bir çerçeve sunulmuştur. Çalışma kapsamında binalar kendi içinde karşılaştırmalı olarak değerlendirileceği için ‘Building System’ ve ‘Building Integrated Energy Generation System’ bölümünde girilmesi gereken sistem bilgilerinden sadece, ‘effective opening area’ bilgisi projeye göre revize edilmiş diğer girdiler sabit tutulmuştur. Tüm veri girişi tamamlandıktan sonra sonuç bölümünde binanın yıllık enerji tüketim verisi kWh/m² cinsinden elde edilmiştir. Sonraki bölümde programdan elde edilen sonuçların optimizasyonuna ilişkin veriler olgunlaştırılmıştır.

3.2.3. Algoritmaların probleme uyarlanması ile enerji optimizasyonunun gerçekleştirilmesi

Tasarım problemini enerji etkin bir şekilde optimize etme, çözüm alternatiflerini bulma algoritmik düşüncenin ürünüdür. Bu aşamada problemin anlaşılması ve seçilen algoritmalara uyarlanması kritik önem taşımaktadır.

Karar değişkenleri birlikte ele alındığında sonsuz sayıda tasarım alternatifi bulunduğu görülecektir. Bu alternatif çözümler araştırma uzayını oluşturmaktadır ve enerji etkin tasarımın ortaya çıkarılmasının zamansal olarak verimli olmadığı ve evrimsel hesaplama veya sürü zekâsı algoritmalarının kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, tasarım ve tasarım parametrelerinin optimizasyonu için popüler sürü zekâsı algoritmalarından ABC ve TSA seçilmiş ve problem için uyarlanmıştır. Her iki algoritma da sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiş algoritmalar ve problemin çözümü için modifiye edilmeleri gerekmektedir. Algoritmaların temel adımları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

ABC ve TSA algoritmaları, enerji etkin bina tasarımı gibi karmaşık ve çok değişkenli problemlerde etkili sonuçlar verir. Doğadan esinlenen bu algoritmalar, doğal metaforlara dayalı olup birçok optimizasyon problemi için başarılı şekilde uygulanmaktadır (Karaboga & Akay, 2012; Şahin, Kılıç & Kılıç, 2011).

Sürü zekâsı algoritmalarının içinden ABC, TSA algoritmalarının seçilmelerinin bazı nedenleri vardır.

- Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC)

Arıların koloni içindeki etkileşimlerinden ve davranışlarından esinlenen bu algoritma, yiyecek kaynaklarını keşfetme ve toplama sürecini modellemektedir. ABC,

tasarım uzayındaki çeşitli çözümleri keşfetmek ve enerji etkinliği için en iyi çözümü bulmak için kullanılabilir. Özellikle algoritma destekli tasarım sürecinde, farklı tasarım alternatiflerini değerlendirme ve enerji performansını artırmak için kullanılabilir.

- Ağaç-Tohum Algoritması (TSA)

Ağaçlar, tohumlarını yayarak yeni ağaçlar üretirler. Bu algoritma, tohumların yayılma ve büyüme sürecini modelleyerek optimizasyon problemlerine uygulanır. Erken evre enerji etkin bina tasarımı için, farklı tasarım parametrelerinin optimizasyonu için algoritma verimli olarak kullanılabilir (Şahman, Çınar, Sarıtaş & Yaşar, 2019).

Bu algoritmaların erken tasarım aşamasında enerji etkin bina tasarımı için kullanılmasının ana nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Çözüm Uzayını Keşfetme Yetenekleri: Hem ABC hem TSA, geniş çözüm uzaylarını keşfetme yeteneklerine sahiptir. Bu, farklı tasarım alternatiflerini değerlendirmek için önemlidir.
- Paralelizasyon ve Hız: Her iki algoritma da paralel hesaplama ve yüksek hızlı optimizasyon için uygun yapıya sahiptir.
- Esneklik ve Adaptasyon Yeteneği: Tasarım sürecinde ortaya çıkan değişikliklere ve yeni gereksinimlere hızlı bir şekilde adapte olabilirler. Bu, dinamik bir tasarım ortamında kullanılmalarını sağlar.
- Doğal Optimizasyon Yetenekleri: Her iki algoritma da doğadan esinlenmiştir ve doğal optimizasyon yeteneklerine sahiptirler. Bu da karmaşık problemlerin çözümünde etkin olmalarını sağlar.
- Performans: Her iki algoritma da literatürde sürekli, ayırık, çok amaçlı problemlerin çözümünde başarıyla kullanılmış ve her ikisinin de performansları deneysel olarak ispatlanmıştır.
- Yerlilik, Erişim ve Uzmanlık: ABC ve TSA algoritmalarının geliştiricisi Türk bilim adamlarıdır.

Yukarıda verilen nedenlerden dolayı bu çalışma kapsamında ABC, TSA algoritmalarının karşılaştırmalı kullanımları gerçekleştirilmiştir.

Her iki algoritma da sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiş algoritmalar ve problemin çözümü için modifiye edilmeleri gerekmektedir. Algoritmaların temel adımları ve açıklamaları aşağıda kısaca verilmiştir.

3.2.3.1. Ağaç-tohum algoritması

Ağaç-tohum algoritması, kısaca ATA/TSA, ağaçların doğal yaşam sürecini temel alan popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır (Kıran, 2015). Bilindiği üzere ağaçlar, tohumların toprakla buluşması ile yeşerirler ve büyürler. ATA'da ise ağaçlar ve tohumları optimizasyon probleminin olası çözümlerine karşılık gelirler. Algoritmanın başlangıç aşamasında belirli bir sayıda (popülasyon) ağaç oluşturulur (Şekil 3.24.). Ağaçların n-boyutlu uzaydaki konumları ağaçların uygunluk değerini hesaplamak için kullanılır ve popülasyonun oluşturulması Denklem 3.5.'de verilmiştir.

$$T_{i,j} = L_{j,\min} + r_{i,j} \times (H_{j,\max} - L_{j,\min}) \quad (3.5.)$$

Denklem 3.5.'de, $T_{i,j}$ popülasyondaki i. ağacın j. boyutunu göstermektedir. $L_{j,\min}$ j. boyut için üst sınırı, $H_{j,\max}$ ilgili boyutun üst sınırını ve $r_{i,j}$ ise ilgili boyutun rastgele aralıklarda oluşturulabilmesi için [0,1] aralığında rastgele üretilen bir sayıdır. T ağaç popülasyonu oluşturulduktan sonra popülasyondaki en gürbüz ağaç (en iyi uygunluk değerine sahip ağaç) Denklem 3.6.'da ile belirlenir.

$$B = \operatorname{argmin}\{f(\vec{T}_i)\}, i = 1, 2, \dots, N \quad (3.6.)$$

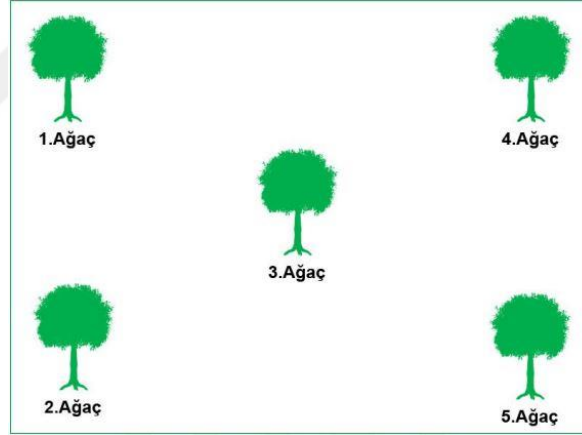
Denklem 3.6.'da, B, T popülasyonundaki en iyi uygunluk değerine sahip ağacı temsil etmektedir (Şekil 3.25.). N popülasyon boyutunu göstermekte, $f(\vec{T}_i)$ ise optimizasyon problemi için spesifik amaç fonksiyonudur ve üretilen her bir tohumun veya ağacın uygunluk değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Ağaçlar oluşturulduktan ve en gürbüz ağaç belirlendikten sonra tohum üretme aşamasına geçilir. Tohum üretme aşamasında Denklem 3.7. ve Denklem 3.8. olmak üzere 2 farklı denklem kullanılmaktadır (Şekil 3.26.). Denklem 3.7. ile popülasyondaki diğer ağaçlar en gürbüz ağaca yaklaşıırken, Denklem 3.8. ile ağaçlar birbirinden etkilenerek farklı pozisyonlarını keşfin sağlamaktadır.

$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (B_j - T_{r,j}) \quad (3.7.)$$

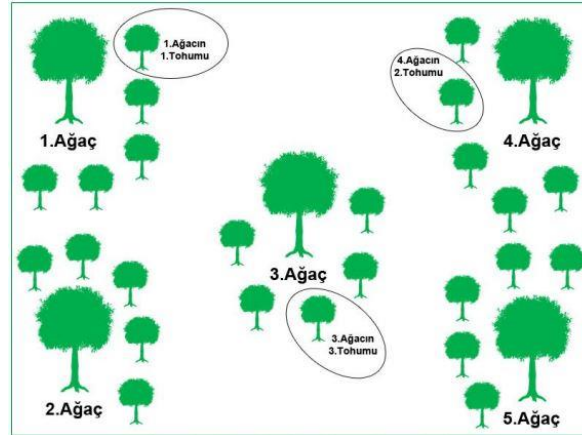
$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (3.8.)$$

Denklem 3.7. ve 3.8.'de, $S_{k,j}$, i. ağaç için oluşturulacak tohumun j. boyutunu, $T_{i,j}$ tohum üreten ağacın j. boyutunu, $T_{r,j}$ popülasyondan rastgele seçilen ağacın j. boyutunu, B_j en gürbüz ağacın j. boyutunu temsil etmektedir. $\alpha_{i,j}$ ise [-1,1] aralığında üretilmiş ölçekleme faktörüdür. Burada iki denklemden hangisinin bir tohum üretmek

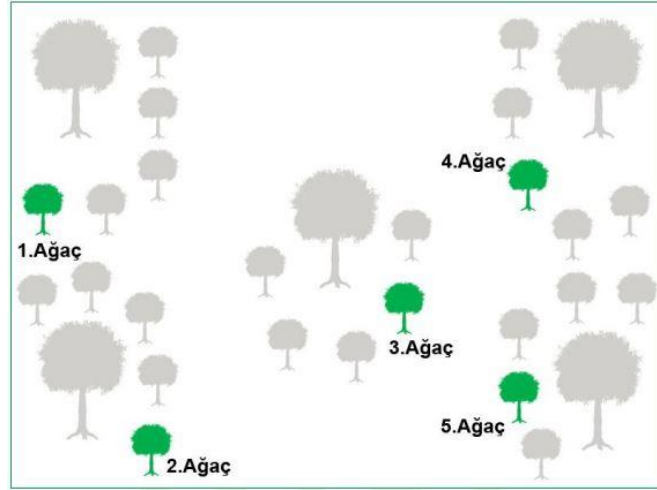
amacıyla kullanılacağı ise algoritmada tasarımcılar tarafından karar verilen araştırma eğilimi (ST) isimli bir parametre ile belirlenir. $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayı üretilir ve ST ile karşılaştırılır. Eğer sayı ST'den küçükse Denklem 3.7., değilse Denklem 3.8. ile ilgili ağaç için bir tohum üretilir. ST'nin büyük seçilmesi algoritmanın hızlı yakınsamasını sağlarken, küçük seçilmesi uzayın daha verimli taranmasını sağlar. Büyük seçildiği takdirde erken yakınsama problemi ortaya çıkmakta, küçük seçilmesi durumunda ise optimum veya yakın optimum çözümün elde edilmesi görece uzun sürmektedir. Bundan dolayı ST parametresinin seçimi için Kıran (2015) çalışmasında analizler yapılmış ve 0,1 değerinin seçilmesinin ilgili çalışmadaki problemlerin çözülmesinde uygun olacağını önermiştir. Bir diğer önemli sorun da her ağaç için üretilcek tohum sayısıdır. Burada üretilcek tohum sayısının fazla olması algoritmanın keşif yeteneğini güçlendirmekte fakat fazladan fonksiyon çağrısına neden olmaktadır. Algoritmanın temel çalışmasında (Kıran, 2015) her ağaç için üretilcek tohum sayısı popülasyon boyutuna bağlı olarak %10 ile %25 arasında olmasının uygun olacağı önerilmiştir. Algoritmanın genel işleyişi Şekil.3.27. de verilmiştir.



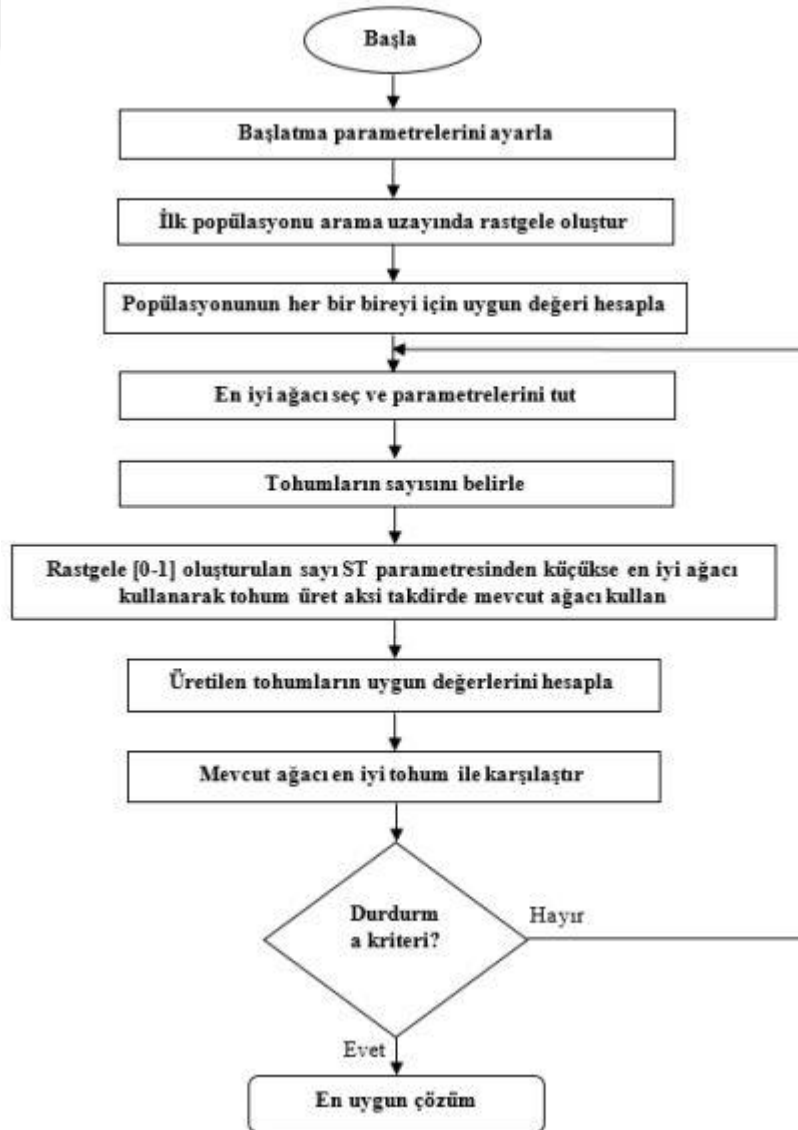
Şekil 3.24. Arama uzayına rastgele dağılmış temsilî ağaçlar (Ağaç sayısı=5 olduğunda) (Çınar, 2016).



Şekil 3.25. 5 ağaç için 5'er tohum üretildiğinde arama uzayının durumu (Çınar, 2016).



Şekil 3.26. 1. İterasyon sonucunda en iyi tohumların ağaç olması sonrası arama uzayının durumu (Çınar, 2016).



Şekil 3.27. TSA genel işleyişi (Kıran ve Çınar, 2018).

3.2.3.2. Yapay arı kolonisi algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, kısaca ABC, Karaboğa (2005) tarafından önerilmiş bir sürü zekâsı algoritmasıdır. Algoritma bal arılarının yiyecek arama ve kovadaki bilgi paylaşımlarının modellenmesiyle sürekli optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlar. Sürekli problemler genellikle bir veya daha fazla değişkenin (genellikle sürekli sayılarda) değerlerini ayarlayarak bir hedef fonksiyonu maksimize etme veya minimize etme amacını taşır. Algoritmada yiyecek kaynakları optimizasyon probleminin potansiyel çözümlerini temsil ederken, bal arıları da yiyecek kaynaklarını keşfeden ve etrafında yeni yiyecek kaynaklarının elde edilmesi için kullanılan yapay ajanları temsil etmektedir. Yapay arı kolonisi algoritmasında, bir kolonide üç grup arı bulunmaktadır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif (scout) arılar (Karaboğa, 2005).

Algoritmanın başlangıcında kaşif arılar için rastgele yiyecek kaynağı Denklem 3.9. ile çözüm uzayında oluşturulur.

$$X_{i,j} = L_{j,\min} + r_{i,j} \times (H_{j,\max} - L_{j,\min}), i = 1, 2, \dots, N/2 \quad (3.9.)$$

Yiyecek kaynakları kaşif arılar için oluşturulduktan sonra bu arılar işçi olarak yiyecek kaynağının kalitesini (uygunluk) Denklem 3.10 ile belirler.

$$fit_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & \text{if}(f_i \geq 0) \\ 1 + \text{abs}(f_i) & \text{if}(f_i < 0) \end{cases} \quad (3.10.)$$

f_i , optimizasyon problemi için spesifik amaç fonksiyonudur. İşçi arılar için başlangıç yiyecek kaynakları atandıktan ve kaliteleri hesaplandıktan sonra işçi arılar yiyecek kaynağı etrafında yeni yiyecek kaynaklarını Denklem 3.11. ile belirler (Karaboğa, 2005).

$$V_{ij} = X_{ij} + \varphi \times (X_{ij} - X_{k,j}), i, k \in \{1, 2, \dots, N/2\}, i \neq r \text{ and } j \in \{1, 2, \dots, D\} \quad (3.11.)$$

Denklemden V_i ilgili işçi arı için oluşturulan aday yiyecek kaynağıdır. Eğer aday yiyecek kaynağının Denklem 3.10. ile hesaplanan kalitesi mevcut çözümün kalitesinden daha iyiye işçi arı yeni yiyecek kaynağını ezberler ve eskisini yok sayar. Daha sonra işçi arılar yiyecek kaynakları hakkındaki uygunluk bilgilerini gözcü arılar ile paylaşır. Gözcü arılar ise Denklem 3.12. ile verilen olasılık hesabını yaparak işçi arılardan bir tanesinin yiyecek kaynağı etrafında Denklem 3.11. ile yeni bir yiyecek kaynağı bulur. Yeni bulunan yiyecek kaynağının kalitesi Denklem 3.10. ile hesaplanır ve eskisinden iyiyse bu yiyecek kaynağı hafızaya alınır ve önceki yiyecek kaynağı silinir (Karaboğa, 2005).

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{k=1}^{N/2} fit_k} \quad (3.12.)$$

Algoritmanın başlangıcında rastgele yiyecek kaynağı arayan kaşif arılar bir yiyecek kaynağı bulduktan sonra işçi arı görevini devam ettirmektedir. Algoritmanın devamında ise eğer bir yiyecek kaynağı belirli bir sayıda deneme (algoritmaya özgü limit parametresi) sonucunda iyileştirilemezse bu kaynağın işçi arısı kaşif arı olur. İyileştirilemeyen yiyecek kaynağının anlamı her bir işçi arı ve gözcü arının Denklem 3.11. ile mevcut yiyecek kaynağının etrafında daha kaliteli bir yiyecek kaynağı bulamaması durumudur. İyileştirilememe durumunun tespiti için her bir yiyecek kaynağının bir deneme sayacı bulunmaktadır. Kısacası algoritmanın çevrimi tamamlanmadan hemen önce en yüksek sayaç değeri olan yiyecek kaynağı seçilir ve bu değer limit parametresi ile karşılaştırılır. Bu değer limit parametresinden yüksekse ilgili kaynağın arısı tekrar kaşif arı olur ve Denklem 3.9. ile yeni bir yiyecek kaynağı tanımlanarak kaşif arıya atanmasıyla bu kaşif arı tekrar işçi arı haline gelir (Karaboğa, 2005). Algoritmanın sözde kodu aşağıda kısaca verilmiştir (Şekil.3.28.).

Başlangıç Fazı

Popülasyondaki arı sayısını belirle.

Popülasyonun yarısını kâşif arı olarak tanımla ve Denklem 3.9. ile yiyecek kaynaklarını oluştur.

Denklem 3.10. ile yiyecek kaynaklarının kalitesini belirle.

Her bir yiyecek kaynağı için deneme sayacını tanımla.

Limit parametresi değerini belirle.

Durdurma kriterini belirle.

İşçi Arı Fazı

Her bir işçi arının yiyecek kaynağı etrafında Denklem 3.11. ile yeni çözüm oluştur.

Denklem 3.10. ile yeni yiyecek kaynağının kalitesini belirle.

Yeni yiyecek kaynağı önceki çözümden iyiyse;

Yiyecek kaynağının deneme sayacını sıfırla.

Yeni çözümü önceki çözümün yerine al.

Değilse

Yiyecek kaynağının deneme sayacını 1 artır.

Gözcü Arı Fazı

Her bir gözcü arı için Denklem 3.12. ile yiyecek kaynaklarından birini seç.
Seçilen yiyecek kaynağı etrafında Denklem 3.11. ile yeni çözüm oluştur.
Denklem 3.10. ile yeni yiyecek kaynağının kalitesini belirle.

Yeni yiyecek kaynağı önceki çözümden iyiyse;

Yiyecek kaynağının deneme sayacını sıfırla.

Yeni çözümü önceki çözümün yerine al.

Değilse

Yiyecek kaynağının deneme sayacını 1 artır.

Kaşif Arı Fazı

En yüksek deneme sayacını sahip kaynağı seç.

Sayaç değeri limit değerinden büyükse;

Denklem 3.9. ile yeni bir çözüm oluştur.

Denklem 3.10. ile yiyecek kaynaklarının kalitesini belirle.

Sonlandırma

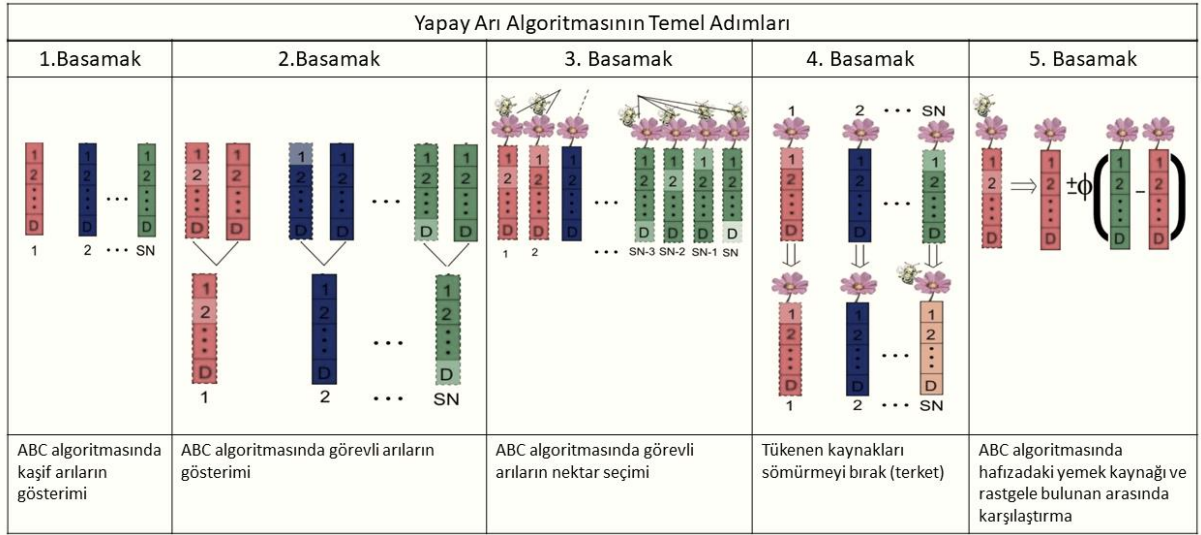
Durdurma kriteri sağlandıysa en iyi çözümü raporla.

Durdurma kriteri sağlanmadıysa İşçi Arı Fazı'na git.

Şekil 3.28. ABC Algoritmasının Sözde Kodu (Karaboğa, 2005).

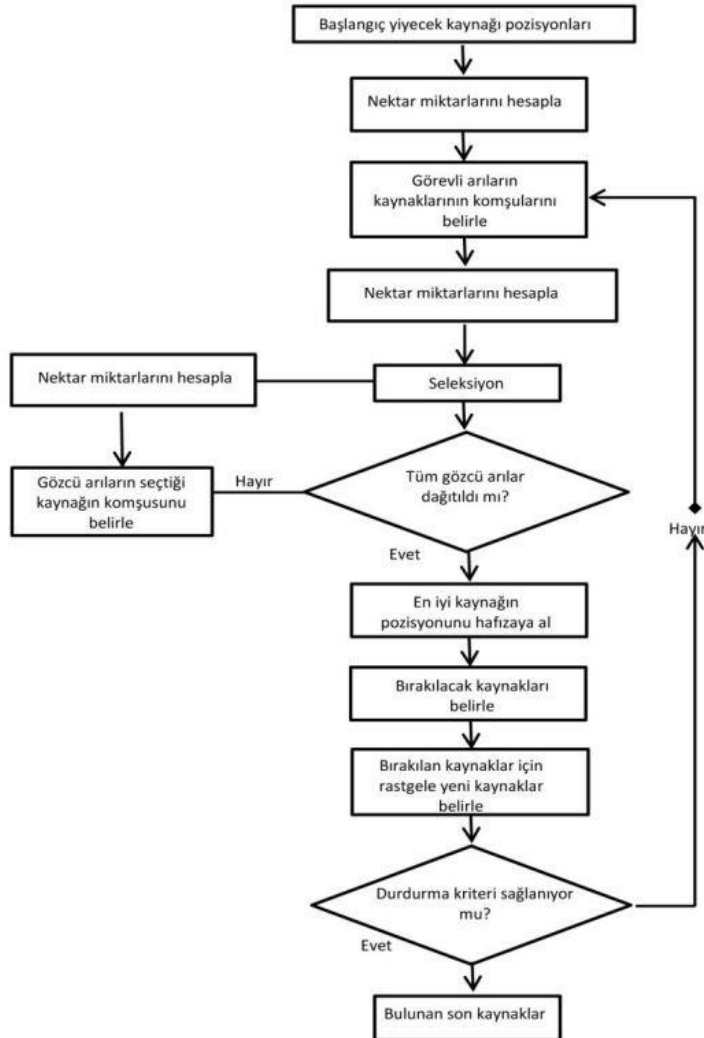
Algoritmada durdurma kriteri olarak belirli bir optimizasyon hatası, belirli bir süre çalışma, belirli sayıda çevrim yapma gibi farklı kriterler kullanılabilir olmasına rağmen genellikle maksimum çevrim sayısı durdurma kriteri olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

ABC algoritmasının temel basamakları, işleyişi diğer algoritmalara benzer şekildedir (Şekil 3.29.). Şekilde gösterilen her bir modül farklı nektar kalitesine sahip yiyecek kaynaklarını temsil etmektedir. Bu nedenle farklı renkler ile gösterilmişlerdir. Adımlarda; 1. Basamaktan 5. Basamağa kadar olan süreçte var olduğu için en kaliteli kaynağın kırmızı renk ile temsil edildiği yorumu yapılabilmektedir. 5. Basamağa geçemeyen lacivert kaynağın kırmızıya göre daha kalitesiz bir kaynak olduğu sonucuna varılmaktadır (Baydoğan, 2013).



Şekil 3.29. Yapay arı algoritmasının temel adımları (Baydoğan, 2013' den üretilmiştir).

ABC algoritmasının ara adımları ve akışı gösteren Karaboğa ve Akay' ın şeması Şekil 3.30.' da sunulmuştur.



Şekil 3.30. Yapay arı kolonisi algoritması genel işleyişi (Karaboğa ve Akay, 2007).

Enerji tüketimi ile ilgili algoritmik çalışmalarda, kullanılan kodlar, enerji verilerini işlemek ve daha verimli sistemler tasarlamak için belirli adımları takip eder.

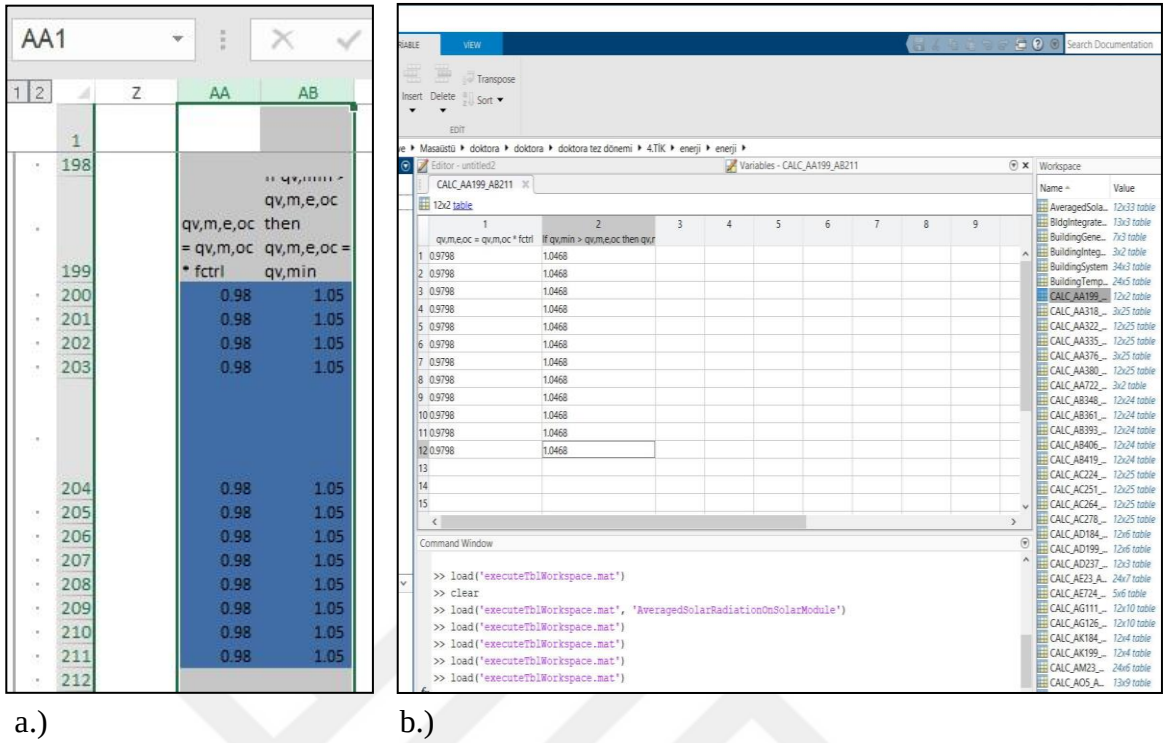
- 1- Algoritmaların ilk aşaması, enerji tüketimine ilişkin verilerin toplanması ve işlenmesidir. Bu veri, gerçek zamanlı ölçüm cihazlarından, enerji simülasyon yazılımlarından, ya da tarihi enerji tüketim verilerinden alınabilir. Alınan simülasyon verileri, algoritmaların karar verme sürecini desteklemek için kullanılır.
- 2- Enerji optimizasyon çalışmaları, bir amaç fonksiyonunun tanımlanması ve bu fonksiyonun minimum seviyeye indirilmesini hedefleyen algoritmalarla yürütülmektedir. Optimizasyon algoritmaları şu şekilde çalışır:

- Amaç fonksiyonu tanımlanır.
- Çözüm uzayı taranarak en iyi sonuç (minimum enerji tüketimi) bulunur.
- Kısıtlar göz önünde bulundurulur.

Çalışma kapsamında, enerji tüketimine ilişkin veriler EPC simülasyon aracından alınmıştır. Algoritma destekli tasarımı gerçekleştirmek için geliştirilen araç; MATLAB programı ortamında geliştirilmiştir. Herhangi bir sistemin benzetiminin oluşturulması için farklı programlar ya da programlama dilleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında en önemli programlardan birisi de MATLAB'tir (Uran ve Jezernik, 2006). MATLAB, "Matrix Laboratory" kelimelerinin kısaltması olan, özellikle matematiksel hesaplamalar ve veri analizi için kullanılan yüksek düzeyde bir programlama dilidir. Özellikle matris işlemleri, grafik çizimi, veri analizi, algoritmaların geliştirilmesi gibi alanlarda güçlüdür.

Öncelikle algoritmaların karar verme sürecini desteklemek üzere EPC programının tüm hesaplama verileri MATLAB programında tablolaştırılmıştır. EPC aracında climate, input, factor, calculation, thermal energy demand performans, delivered energy performance, result sayfalarındaki değerler, satır ve sütun adresleriyle sol üst hücreden sağ alt hücreye okunan değerleri ifade edecek şekilde isimlendirilerek tablolaştırılmıştır.

Örneğin; EPC aracında calculation sayfasında AA sütunu 199 satırından AB sütunu 211 satırına kadar okunan değerler MATLAB programında CALC_AA199_AB211 isimli tabloda gösterilmiştir (Şekil 3.31.a-b). EK-1'de MATLAB programında oluşturulan 440 tablonun sadece konu başlıklarını oluşturan tablolar verilmiştir.



Şekil 3.31. a.) EPC enerji performans hesap verileri b.) MATLAB programı ara yüzü ile tabloları

Daha sonra enerji hesabı, amaç fonksiyonu (objective) tanımlanarak algoritmanın optimizasyonu için hazır hale getirilmiştir. Optimizasyon işlemlerinde amaç fonksiyonunun matematiksel bağıntılar ile tanımlı olması gerekmektedir.

$$\text{Amaç fonksiyonu : } \max f(a,b,o,w_1,w_2,w_3,w_4) = |KA| - |ka|$$

KA : Emsal (KAKS) ile parsel alanının çarpımına eşit olan ideal çözüm (alan)

ka : bulunan en yakın sonuç (komşuluk) (alan)

$$0 < a < a_{\max}$$

$$0 < b < b_{\max}$$

$$O \in \{0,1\}$$

$$0,2 \leq w_i \leq 1 \quad i: 1,2,3,4$$

$$axb \leq \text{TAKS}$$

$$axbxh \leq \text{KAKS} \quad h: \text{yükseklik}$$

Formülden de anlaşılacağı üzere yazılım için amaç fonksiyon; “hatayı”, diğer bir deyişle “tam doğru çözümle bulunan çözümler arasındaki farkı” minimize etmektir.

Problem incelendiğinde binanın erken tasarım aşamasında optimize edilecek parametrelerinin; binanın kısa kenarı, binanın uzun kenarı, binanın yönelimi (ana ve ara yönler), bina yüzeylerindeki (4 yüzeyde) opak ve saydam yüzey alanları olmak üzere 7 adet parametre olduğu görülmektedir. Yükseklik parametresi yasal kısıtlarla bağlantılı

olan emsal alanı ve taban alanı bilgileri ile hesaplandığı için algoritmaya parametre olarak dahil edilmemiştir. Bu durumda ABC veya TSA ile problem için 7 boyutlu bir vektör olarak potansiyel bir çözümün temsili yapılabilir. Çözümün genel bir temsili aşağıda verilmiştir (Tablo.3.2.).

Tablo.3.2. Potansiyel Bir Çözümün Temsili – Tasarım Parametreleri (Arama uzayı boyutu)

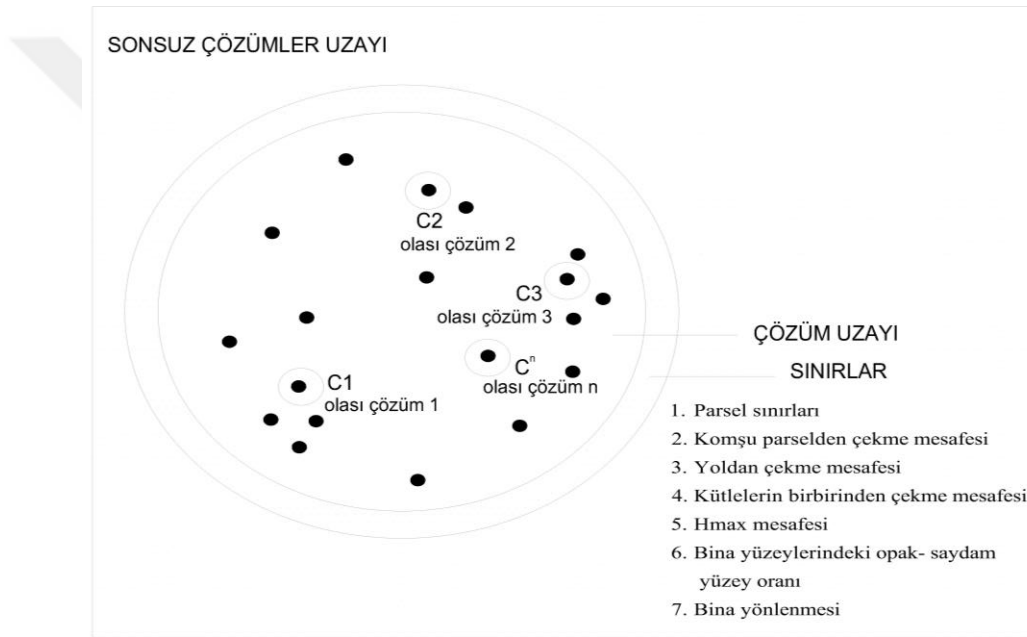
1.Boyut (a)	Binanın taban oturum alanının kısa kenarı
2.Boyut (b)	Binanın taban oturum alanının uzun kenarı
3.Boyut (o)	Binanın yönelimi
4.Boyut (w1)	Binanın 1. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
5.Boyut (w2)	Binanın 2. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
6.Boyut (w3)	Binanın 3. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları
7.Boyut (w4)	Binanın 4. yüzeyindeki opak ve saydam yüzey oranları

Uzayı sınırlamayı sağlayan kısıtlamalar ise;

1. Parsel sınırları
2. Komşu parselden çekme mesafesi
3. Yoldan çekme mesafesi
4. Üretilcek binanın kısa ve uzun kenarı ölçüleri (minimum ölçü PAİY'e göre, maksimum ölçü çekme mesafesi uzunluklarına göre belirlenmiştir).
5. Hmax mesafesi (Gerçek hayattaki ölçülendirmeye uyulmak üzere yüksekliğe sadece numerik girilebilmektedir.)
6. Bina yüzeylerindeki opak- saydam yüzey ilişkisi (0,2-1,00 arasında kabul edilmiştir (Yang ve diğ., 2015). Opak-saydam yüzey oranının 0,2–1,00 aralığında tutulması yalnızca enerji performansı değil, kullanıcıların psikolojik refahı, görsel konforu ve mahremiyet gereksinimleri açısından da dengeli bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle söz konusu oran, hem mühendislik hem de çevresel psikoloji disiplinlerinin ortak kesişiminde yer alır).
7. Bina yönelmesidir (sadece ana ve ara yönler alınmıştır).

Yukarıda gösterilen temsili çözümde (Tablo 3.2.) her boyut için karar değişkeninin alabileceği değerlerin açıklaması bulunmaktadır. Her boyut için fiziksel koşullardan, yasal düzenlemelerden gelen ya da arama uzayını daraltmak için tasarımcının verebileceği kısıtlar bulunmaktadır. Örneğin taban kısa kenarı, verilen arsanın ölçüleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kat yüksekliği için, arsanın emsaline bakarak karar verilmektedir. Bina yön parametresi 0 ile 1 arasında değer alabilmektedir. Bu değer 0.5'ten küçükse bina yüzeyleri ara yönlerle denk gelmekte, büyükse ana yönlerle denk gelmektedir. Yüzeylerdeki opak veya saydam alanlar ise içinde psikolojik olarak değerlendirilen 0,2 alt limiti belirlenmiştir.

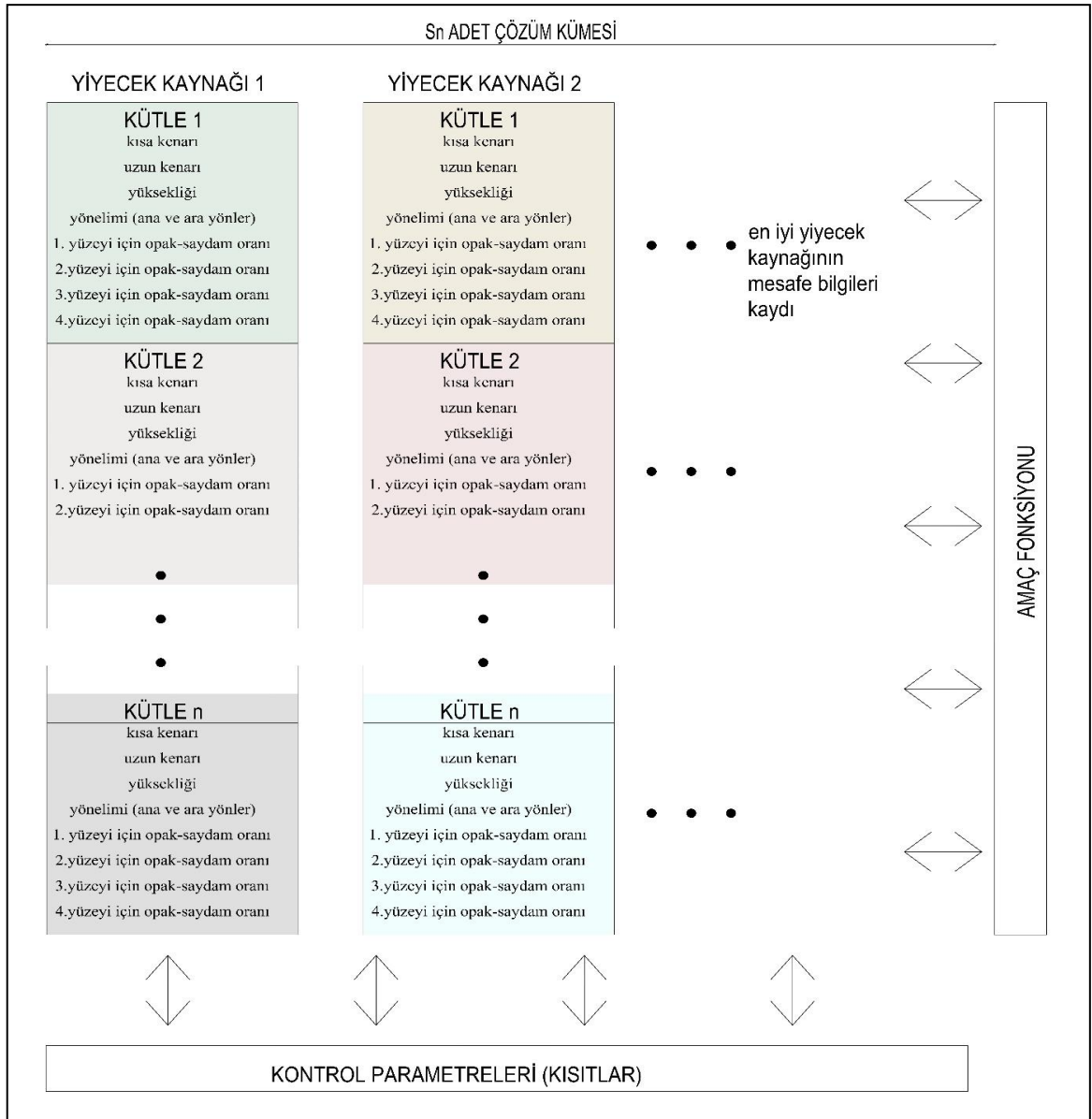
Şekil 3.32. de bu optimizasyon işleminin kavramsal çizimi yer almaktadır.



Şekil 3.32. Olası çözüm kümeleri – arama/çözüm uzayı

Şekil 3.32. de C1, C2, ..., Cn ile ifade edilen “olası çözüm” çözüm’ kümeleri, arama uzayının boyutuna eşdeğer büyüklüktedir. Algoritmalar, çözüm uzayında yer alan tasarım parametreleri içinde uygun çözümleri arayan bir yöntemlerdir. Bu nedenle, arama ve optimizasyon süreçlerinin tüm adımları, ABC ve TSA algoritmalarının çalışma prensiplerine ve kurallarına uygun olarak yürütülür.

ABC ve TSA algoritmaları kapsamında, tasarım parametreleri, kütle bilgileri oluşturulma işlemi (blok bilgilerine ait bilgilerinin şematik gösterimi) şekil 3.33. de gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Algoritmalar için çözüm kümesi temsili ve kütle bilgilerinin kodlanmış gösterimi

Problem için kullanılan ABC ve TSA algoritmalarının sağlıklı çalışması için, amaç fonksiyonu (Bu amaç fonksiyon Denklem 3.1.-3.4., iklim verileri ve yukarıdaki çözüm temsili kullanılarak Matlab ortamında geliştirilmiştir) programa girilmesi gerekmektedir. Amaç fonksiyonu `objective_1` olarak tanımlanmıştır. 7 boyutlu bir vektörden `[a,b,0 veya1,w1,w2,w3,w4]` oluşur.

Aynı zamanda;

- Popülasyon boyutu (number of food sources-NP) belirlenmiştir.
- Maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (Max_FEs) belirlenmiştir.

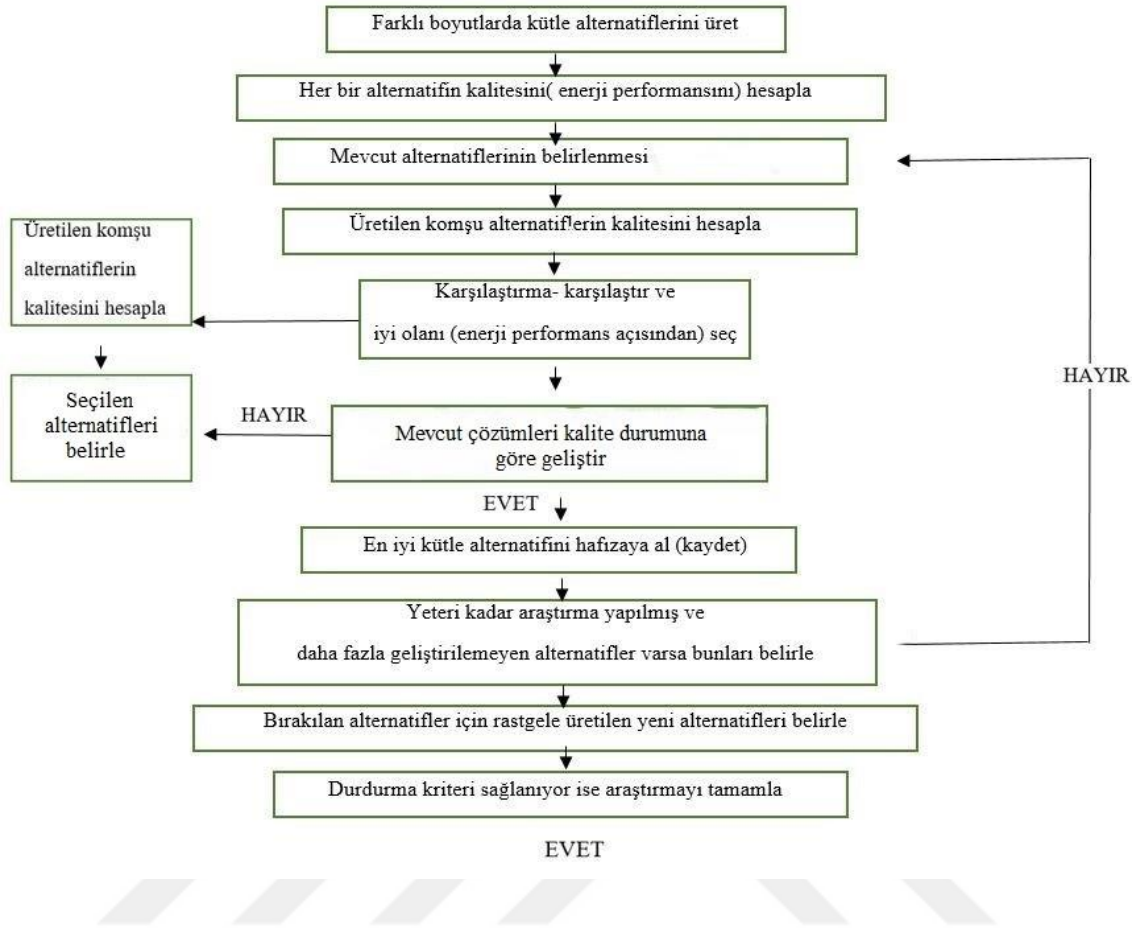
- Terk etme kriteri limit belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılan algoritmaların adil bir şekilde kıyaslanabilmesi adına her bir algoritmanın aynı sayıda çözüm üretmeleri sağlanmıştır. Bu doğrultuda iteratif bir çalışma gerçekleştiren ABC algoritması 3500 iterasyon boyunca çalıştırılmıştır. TSA algoritması tohum sayısının değişkenliği nedeniyle fonksiyon değerlendirmesi (function evaluations, FEs) baz alınarak durdurulmuştur. Bu algoritma için maksimum fonksiyon değerlendirme sayısı (Max_FEs) 70.000 olarak belirlenmiştir. ABC algoritmasında popülasyon boyutu 20 ve iterasyon sayısı 3500 olarak belirlendiğinden toplamda 70.000 çözüm üretimi ile değerlendirme sayısı (amaç fonksiyon çağrısı) açısından adil bir karşılaştırma yapılmıştır. Yine aynı şekilde TSA algoritmasının da maksimum 70.000 çözüm üzerinde işlem yapması sağlanarak, algoritmaların eşit koşullarda karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Belirlenen temel algoritma ayarlarını da programa girmek gerekmektedir. Çözüm uzayında belirtilen kısıtların (lb,ub) sayısallaştırılarak programa girilmesinden sonra algoritmalar çalıştırılır (Şekil 3.3.4.).

- lb (lower bounds of the parameters) = [3,3,0 veya 1,0.2,0.2,0.2,0.2] binanın kısa ve uzun kenarı için belirlenen limit değeri PAİY'e göre bir piyesin kısa kenarının olması gereken en küçük mesafesi olan 3 m değeri olarak alınmıştır.
- ub (upper bounds of the parameters)= [çekme mesafesinin kısa kenarı, çekme mesafesinin uzun kenarı, 0 veya 1, 1,1,1,1]

Sayısal veriler programa girildikten sonra işlemler Şekil 3.34. de gösterildiği üzere ilerler.



Şekil 3.34. Algoritmaların probleme uyarlanmasında gerçekleşen temel adımlar

Algoritma destekli tasarımın enerji etkin bina optimizasyonunu gerçekleştirmek üzere geliştirilen araç yardımı ile yukarıda bahsedildiği şekilde üretilen binlerce alternatif arasından yine algoritma yardımı ile enerji tüketim verileri en düşük olan alternatif seçilmiş olmaktadır.

Bu tez kapsamında geliştirilen optimizasyon aracının kullanıcı tarafından etkin ve kolay bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla, MATLAB yazılım ortamında grafik tabanlı bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Tasarlanan bu arayüz, kullanıcıya veri girişi, algoritma seçimi, işlem başlatma ve çıktı alma gibi işlemleri sistematik bir şekilde gerçekleştirme olanağı sunmaktadır. Ara yüz üzerinden, analiz yapılacak arsa ile ilgili temel fiziksel ve çevresel verilerin yanı sıra, yerel yönetmeliklerce belirlenmiş yasal kısıtlar, maksimum katlar alanı, taban alanı, çekme mesafeleri, girilebilmektedir (Şekil 3.35).

Arayüz, parametrik tasarım sürecini destekleyecek şekilde yapılandırılmış olup, kullanıcı tarafından belirlenen giriş verilerine göre çalışacak optimizasyon

algoritmasının (örneğin ABC veya TSA) seçimine olanak tanımaktadır. Tüm veriler eksiksiz olarak girildikten sonra, arayüzde yer alan “Eğitimi Başlat” butonuna basılarak algoritma destekli enerji optimizasyon süreci başlatılmaktadır. Bu süreçte, tanımlanan aralık ve kısıtlar çerçevesinde çok sayıda tasarım alternatifi oluşturulmakta, her bir alternatifin enerji performansı simüle edilmekte ve enerji tüketimi açısından en uygun olan çözüm önerilmektedir.

Optimizasyon işlemi tamamlandığında, sistem tarafından enerji tüketim değerleri açısından en verimli yapı kütesine ait geometrik ve konumsal özellikler çıktı olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece, hem enerji verimliliği hem de yasal düzenleme kriterlerini bir arada sağlayan erken tasarım alternatifleri algoritmik süreçle birlikte elde edilmiş olmaktadır. Bu araç, mimari tasarım sürecinde alternatif üretimini sistematikleştirirken aynı zamanda kullanıcının karar verme sürecine destek olmayı amaçlamaktadır.

The image displays two screenshots of the MATLAB App interface, showing the design process. The top screenshot shows the 'Yeni Arsa Ekle' section with 'Arsa : 2 Katlı' selected, 'Algoritma : TSA' chosen, and 'Eğitim Başlat' button. The bottom screenshot shows the 'Arsaya Ait Sınır Bilgileri' section with 'Max Emsal : 500.57', 'Max Tax : 250.28', 'Max Kenar 1 : 31.5', 'Max Kenar 2 : 19.03', and 'Enerji : 243.0286' displayed. The 'Algoritma' dropdown is open, showing 'TSA' and 'ABC' options.

Şekil 3.35. Arayüz tasarımı

3.3. Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde geliştirilen yöntem, enerji etkin bina tasarımının erken evresinde alınan kararların ne denli belirleyici olduğunu sayısal verilerle temellendiren ve bu kararların optimizasyon algoritmaları aracılığıyla yönlendirilebileceğini gösteren bütüncül bir model ortaya koymuştur. Yöntem; dış çevre verilerinin, imar yönetmeliklerinin ve bina ölçeğine özgü morfolojik parametrelerin sistematik bir biçimde toplanmasıyla başlamış ve bu verilerin enerji performans hesaplamalarında doğrudan kullanılabilir bir forma dönüştürülmesiyle devam etmiştir. Bu süreçte geliştirilen veri yapısı, tasarım girdilerinin algoritmik biçimde işlenmesine imkân vererek, karar verme sürecinde veri temelli bir yaklaşımın benimsenmesini sağlamıştır.

Enerji performansı analizlerinde kullanılan EPC aracı, Avrupa Birliği uyum sürecinde CEN-ISO 13790 standardına dayalı olarak geliştirilmiş olup, özellikle erken tasarım aşamasında karar vericilere öngörüselsel analiz yeteneği sunmaktadır. EPC'nin kullanılması, çalışma kapsamında gerçekleştirilen karşılaştırmalı analizlerin uluslararası geçerliliği olan bir hesaplama yöntemi ile desteklenmesini mümkün kılmıştır. Bunun yanı sıra, EPC'nin normatif yapısı, tasarım varyasyonlarının nesnel ölçütlerle değerlendirilmesini sağlayarak, öznellikten uzak bir optimizasyon süreci kurulmasına katkı sağlamıştır.

Çalışmanın özgün yönlerinden biri, enerji performansı hedefi doğrultusunda tasarım alternatiflerini üretmek için yapay zekâ tabanlı sürü zekâsı algoritmalarının (ABC ve TSA) kullanılmasıdır. Bu algoritmalar, parametrik modelleme süreciyle entegre bir biçimde çalışacak şekilde yapılandırılmış; geniş tasarım uzayında zaman etkin ve yüksek çözünürlüklü bir arama gerçekleştirmiştir. ABC algoritması, özellikle daha hızlı yakınsama sağlaması ve yüksek iyileştirme oranı sunması açısından avantajlı bulunmuş; TSA algoritması ise benzer doğruluk oranlarıyla sistemin kararlılığını test etmede işlevsel olmuştur. Her iki algoritma da, tekrarlandırılmış simülasyonlar yoluyla test edilerek sonuçların tutarlılığı ve modelin istikrarı güvence altına alınmıştır.

Metodoloji yalnızca performans odaklı bir optimizasyon yaklaşımı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda mimarlık disiplini açısından tasarımın çok yönlü doğasını da göz önünde bulunduran bir çerçeve sunmaktadır. Tasarımın form, oran, yüzey ilişkileri ve yapı fiziği boyutları, enerji verimliliği ile eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, modelin yalnızca mühendislik yönelimli bir araç değil, aynı zamanda

tasarımcıyı yönlendiren bir karar destek mekanizması olarak da işlev görebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak bu bölümde geliştirilen metodolojik yaklaşım; mimari tasarım sürecinde veri odaklı karar verme, enerji performansı hedeflerine yönelme ve algoritmik süreçlerin tasarım alanına entegrasyonu açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Modelin, farklı bağlamlara ve iklim bölgelerine uyarlanabilir esnek yapısı, çalışmanın genellenebilirliğini ve farklı projelerde uygulanabilirliğini artırmaktadır. Dördüncü bölümde, geliştirilen bu metodolojinin saha koşullarında üç farklı yapı örneği üzerinden uygulanması ve elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla modelin bütüncül geçerliliği test edilmiştir.



4. ALAN ÇALIŞMASI VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, erken tasarım evresinde enerji verimliliği kapsamında simülasyonlar sonucunda elde edilen verilerin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi üzerine diğer bölümlerde teorik olarak anlatılan konuların pratikte uygulamalara yansımaları örneklerle anlatılmıştır. Tez çalışması kapsamında ele alınan konu, konut yapıları özelinde kurgulandığı için çalışma alanı olarak farklı ölçeklerde tek bloklu 3 konut yapısı belirlenmiştir. Yapıların EPC programında mevcut durumdaki enerji tüketim verileri hesaplanmıştır. Sonrasında 3.2.3. bölümde anlatılan algoritma destekli tasarım yöntemi ile belirlenen kısıtlar dahilinde enerji tüketimi en düşük olan alternatifler üretilmiştir.

Materyal bölümünde bahsedilen Konya iline dair iklim verileri EPC aracına entegre edildikten sonra, alan çalışması için seçilen bina projelerinden elde edilen veriler EPC aracına girilerek, binaların enerji performansı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Analiz için EPC aracına girilen temel veriler aşağıdaki gibidir:

- Bina taban alanı
- Toplam inşaat alanı
- Tüm bina hacmi
- Bina kabuğu opak ve saydam yüzey alanları
- Doğal havalandırma için pencereler
- Çatı alanı

EPC aracında kıyaslamanın doğruluğunu sağlamak amacıyla, her örnek için bazı değişkenler sabit tutulmuş, sadece her binaya özgü özellikler güncellenmiştir. Bu çalışma, mevcut binaların enerji tüketim verilerinin gerçek verilerle kıyaslanmasını hedeflememiştir; dolayısıyla mevcut sistemler analizde dikkate alınmamıştır. Çalışmanın yöntemine ilişkin detaylar bölüm 3.2'de sunulmuş olup, bu bölümde yalnızca EPC veri girişi başlıklarında değiştirilen verilerden bahsedilmiştir.

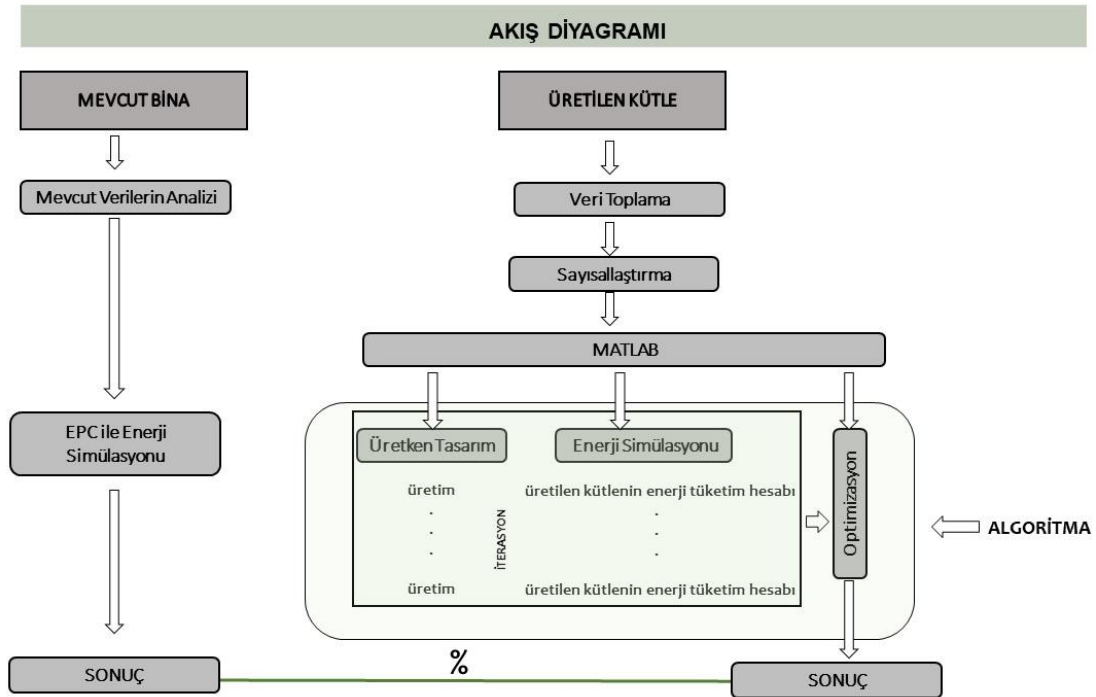
EPC aracına veri girişi;

- Building General: Bu bölümdeki veriler her bina için ayrı ayrı güncellenmiştir.
- Building System: "Lighting, HVAC (ısıtma, havalandırma, iklimlendirme) system, DHW system, Building energy management system" bölümlerinde değişiklik yapılmamıştır. Ancak, HVAC sisteminde doğal havalandırma için gerekli olan pencere alanları her bina için farklılık göstermiştir ve buna uygun olarak güncellenmiştir.

- Energy Sources: Enerji kaynakları sabit tutulmuştur.
- Zone: "Gross floor area" her bina için özelleştirilmiştir.
- Building Temperature Set-Point Schedule: Bu bölüm sabit tutulmuştur.
- Envelope: Her binanın kabuk yüzey alanları farklılık gösterdiğinden, bu veriler özelleştirilmiştir.
- Material: Malzeme verileri sabit tutulmuştur.

4.1. Alan Çalışmaları

Alan çalışması kapsamında farklı ölçeklerde biri 2 katlı, biri 5 katlı ve diğeri 10 katlı olmak üzere 3 konut yapısı belirlenmiştir. Her arsa ve mevcutta üzerinde bulunan binanın bilgileri verilmiş, 7 boyutlu vektör parametreleri belirlenmiş, EPC programında enerji tüketim sonuçları alınmıştır. Daha sonra algoritma destekli tasarım yöntemi ve optimizasyon sonucu üretilen vektör parametreleri elde edilmiş, enerji tüketim sonuçları alınmıştır. Bu süreç Şekil.4.1.de akış diyagramı ile aktarılmıştır. Veri setlerinin karşılaştırılması sonucunda her 3 bina için optimum enerji tüketim sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Akış Diyagramı

Alan çalışmasında üç farklı yapı tipolojisinin seçilmesinin temel gerekçesi, temsil gücü yüksek ve karşılaştırmaya elverişli bir örneklem yapısı oluşturmak ve aynı zamanda çalışmanın uygulanabilirliğini korumaktır. Farklı kat yüksekliklerine sahip 2, 5

ve 10 katlı konut yapıları, kentsel çevrede yaygın olarak karşılaşılan konut tiplerini temsil etmekte olup, düşük, orta ve yüksek yoğunluklu konut örüntülerini yansıtmaktadır. Bu seçki sayesinde, yapı yüksekliği ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin ölçek farklılıkları bağlamında sistematik olarak analiz edilmesi mümkün hâle gelmiştir.

Daha fazla yapı yerine üç yapının tercih edilmesi ise, araştırmanın derinlemesine analiz kapasitesini ve metodolojik uygulanabilirliğini koruma amacı taşımaktadır. Her bir yapıya ait enerji performans analizleri hem mevcut duruma hem de algoritma destekli tasarım sonrası üretilen alternatiflere göre gerçekleştirilmiş, böylece her örnek için çift yönlü bir değerlendirme yapılmıştır. Bu durum, her bir yapı için detaylı veri üretimini ve karşılaştırmalı analizi gerektirdiğinden, örneklem sayısının kontrollü tutulması, çalışmanın analitik derinliğini ve doğruluğunu artırıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla yapı sayısının üçle sınırlandırılması, hem nitelikli karşılaştırma yapılmasını mümkün kılmış hem de araştırmanın zamansal, hesaplamalı ve yöntemsel sınırlılıklarıyla uyumlu bir ölçeklendirme sunmuştur.

4.1.1. 2 katlı çalışma alanı

3. bölümde seçilen yapılar ve arsalara ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu veriler, EPC aracı kullanılarak gerçekleştirilen enerji performansı hesaplamalarında temel girdileri oluşturmaktadır. İlk olarak, çalışma alanı olarak seçilen parsele ilişkin arsa bilgileri değerlendirilmiş; bu kapsamda alanın büyüklüğü, imar durumu, yapılaşma koşulları ve geometrik sınırlamaları gibi parametreler ele alınmıştır. İkinci olarak, mevcut bina verileri detaylandırılmış; yapı alanı, kat adedi, hacim, cephe yüzey alanları ile saydam-opak oranları ve diğer fiziksel özellikler açıklanmıştır.

Bu bölümde algoritmik yaklaşımla optimize edilmiş bina konfigürasyonlarına ait veriler sunulmuştur. Simülasyonlar yoluyla elde edilen yeni tasarım alternatifleri ve bunlara ait enerji performans çıktıları analiz edilmiştir. Daha sonra mevcut yapı ile optimize edilmiş yapı arasında gerçekleştirilen karşılaştırmalar aracılığıyla enerji tüketimi, yüzey alanı dağılımı gibi kriterler üzerinden kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

Problem incelendiğinde mevcut binanın erken tasarım aşamasında optimize edilecek parametrelerinin; binanın kısa kenarı, binanın uzun kenarı, binanın yönelimi (ana ve ara yönler), bina yüzeylerindeki (4 yüzeyde) opak ve saydam yüzey alanları olmak üzere 7 adet parametre olduğu 3.2. bölümde detaylandırılmıştı. Bu durumda

algoritmalar ile problem için 7 boyutlu bir vektör olarak mevcut binanın temsili yapılabilir.

Tablo 4.1. Mevcut Bina Tasarım Parametreleri ve Enerji Tüketimi

a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketimi, kWh/m ²
17,90	20,00	1	0,2372	0,0932	0,2158	0,3211	274,65

EPC simülasyon aracıyla elde edilen sonuca göre, mevcut binanın toplam yıllık enerji tüketimi 274,65 kWh/m²'dir. Tablo 4.1.'de 7 boyutlu vektör ve mevcut binanın enerji tüketimi verilmektedir. Elde edilen sayısal değeri anlayabilmek için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 'ndan elde edilen veri önemlidir. Türkiye'deki ortalama bir hane halkının günlük enerji tüketimi, konutun büyüklüğüne ve kullanıcı alışkanlıklarına bağlı olarak yaklaşık 8 ila 16 kWh arasında değişmektedir (ETKB, 2022).

4.1.1.1. Algoritma destekli tasarım ile üretilen bina ile ilgili veriler

Bu çalışmada algoritmik yaklaşımla üretilecek yapı tasarımının, belirli fiziksel ve yasal sınırlandırmalara uygun olması temel alınmıştır. Buna göre, tasarlanacak yapının taban alanı 250,28 m²'yi aşmamalı; kısa kenar uzunluğu en fazla 19,03 metre, uzun kenarı ise en fazla 21,46 metre olmalı; toplam inşaat alanı ise 500,57 m² sınırını geçmemelidir.

Her iki optimizasyon algoritması (ABC ve TSA), anlık gelişebilecek çevresel veya tasarımsal değişkenliklerin etkisini gözlemleyebilmek ve algoritmaların kararlılığını test edebilmek amacıyla her biri üçer kez olmak üzere tekrarlandırılmıştır. Böylelikle, algoritmaların farklı başlangıç koşulları altındaki çözüm üretme eğilimleri ve sonuçların tutarlılığı değerlendirilmiştir. Ayrıca algoritmalarla elde edilen sonuçların doğruluğu EPC aracı ile tekrar teyit edilmiştir. Tablo 4.2'de, bu kapsamda iki katlı referans yapı için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda ABC ve TSA algoritmaları tarafından elde edilen enerji performansı değerleri ile ilgili optimizasyon çıktıları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.2. Optimize Edilmiş Bina Tasarım Parametreleri

Alg.	Süre	a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketim kWh/m ²	Yüzde %
TSA	73 sa 37 dk 46 sn	16,62	15,05	0,268	0,20	0,20	0,20	0,20	243,02	11,51
TSA	131 sa 58 dk 3 sn	16,49	15,17	0,397	0,20	0,20	0,20	0,20	243,04	11,51
TSA	131 sa 44 dk 12 sn	16,88	14,82	0,269	0,20	0,20	0,20	0,20	243,05	11,50
ABC	76 sa 7 dk 16 sn	16,39	15,26	0,254	0,20	0,20	0,20	0,20	243,03	11,51
ABC	132 sa 20 dk 16 sn	16,52	15,02	0,187	0,20	0,20	0,20	0,20	243,05	11,51
ABC	132 sa 25 dk 48 sn	16,57	15,10	0,229	0,20	0,20	0,20	0,20	243,03	11,51

Çalışma kapsamında optimize edilmiş binanın ABC ve TSA çıktı parametrelerinin ortalamaları alınmış, buna göre bir taban oturma alanı ve cephe çalışması yapılmıştır.

4.1.1.2. Karşılaştırma

Yukarıdaki tablolardan elde edilen bulgular doğrultusunda, erken tasarım aşamasında enerji performansı göz ardı edilerek geliştirilen mimari kurguların, toplam yıllık enerji tüketimi açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu açıkça ortaya konmuştur. Bu durum, tasarım sürecinin başlangıcında alınan kararların enerji verimliliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Mevcut bina konfigürasyonları ile algoritma tabanlı optimizasyon süreciyle elde edilen tasarım varyasyonlarının karşılaştırılması neticesinde, enerji tüketimindeki farklılıkların üç temel etmene dayandığı belirlenmiştir.

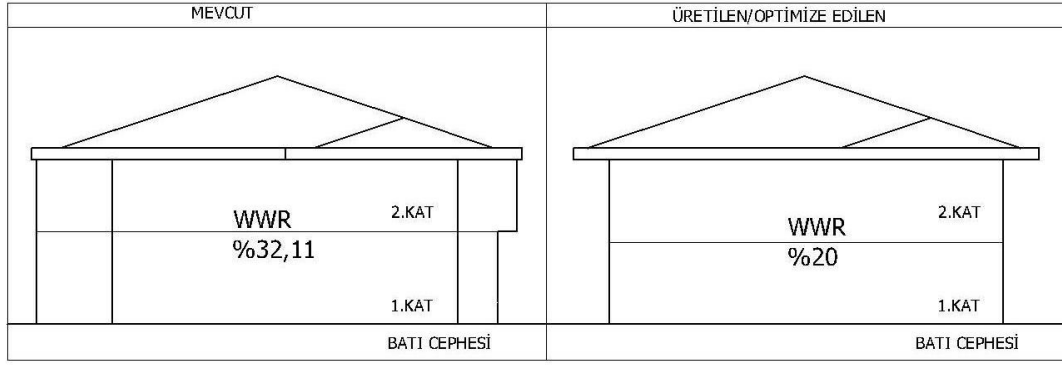
İlk olarak, bina geometrisi önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Mevcut bina 249,03 m² taban alanı, 487,38 m² emsal alanı ve 5406 m³ hacme sahip olup, daha

yüksek ve dikdörtgen forma yakın bir yapıdadır. Buna karşılık, optimize edilmiş bina, çekme mesafeleri içinde kalacak şekilde daha kompakt ve kareye yakın bir forma sahiptir; ayrıca bina yüksekliği azaltılarak toplam hacim düşürülmüş ve dolayısıyla enerji tüketimi azaltılmıştır (Şekil 4.2.).

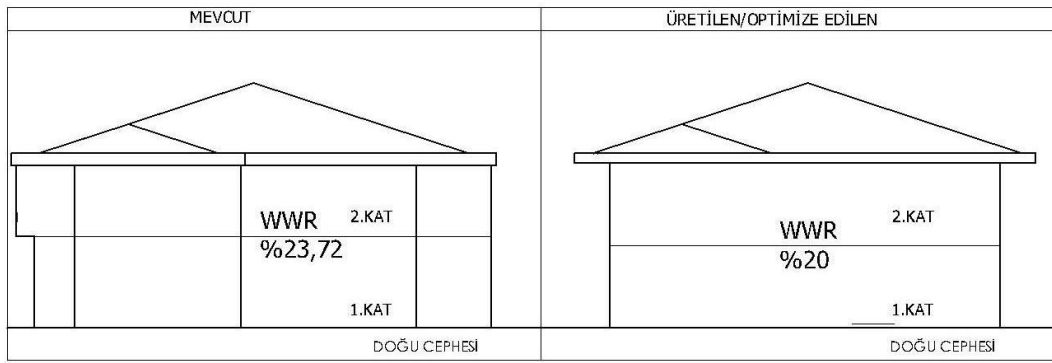
İkinci olarak, cephe yüzey alanları tasarımın enerji performansı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Mevcut yapıda hem toplam yüzey alanı hem de saydam yüzey oranı daha fazladır; bu durum, güneş kazanımını artırmakla birlikte ısı kayıplarını da yükseltmiştir. Optimize edilen yapıda ise, saydam ve opak yüzey alanları daha dengeli bir şekilde dağıtılmış ve cephe doluluk-boşluk oranı minimize edilerek hem kış aylarında ısı kaybı azaltılmış hem de yaz aylarında aşırı ısınmanın önüne geçilmiştir. Ancak, algoritmanın yönelimi, cephe yönlerinden bağımsız şekilde en düşük saydam oranına yakınsamaya neden olmaktadır (Şekil 4.3.-4.4.-4.5.-4.6.-4.7.).



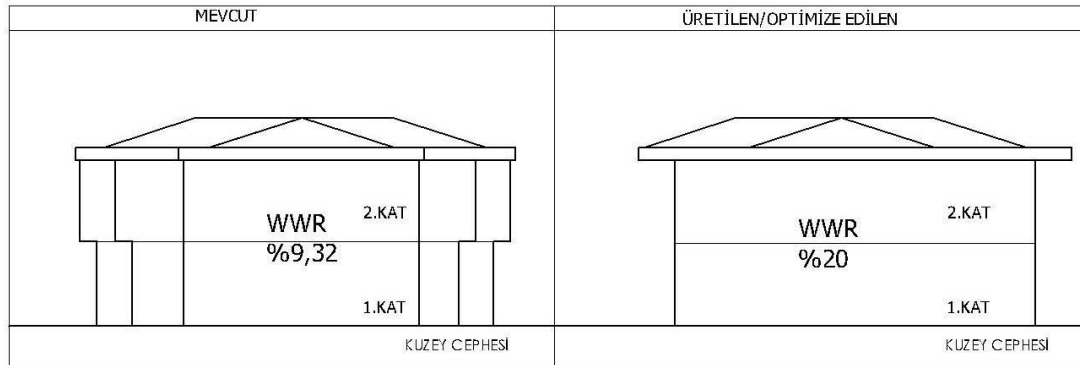
Şekil 4.3. Mevcut binanın planı ile optimize edilmiş/üretilen binanın taban oturum alan farkı



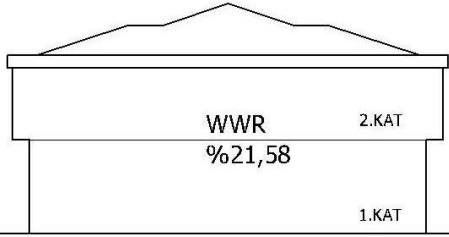
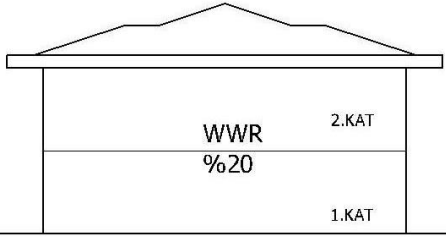
Şekil 4.4. Mevcut binanın batı cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın batı cephesi durumu.



Şekil 4.5. Mevcut binanın doğu cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın doğu cephesi durumu.



Şekil 4.6. Mevcut binanın kuzey cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın kuzey cephesi durumu.

MEVCUT	ÜRETİLEN/OPTİMİZE EDİLEN
	
GÜNEY CEPHESİ	GÜNEY CEPHESİ

Şekil 4.7. Mevcut binanın güney cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın güney cephesi durumu.

Son olarak, enerji tüketimi çıktıları karşılaştırıldığında, mevcut binanın yıllık enerji tüketimi 274,65 kWh/m² iken, optimize edilmiş bina alternatiflerinde bu değer 243,02–243,05 kWh/m² arasında gerçekleşmiştir. Bu fark, minimum %11,50 düzeyinde bir enerji tasarrufu anlamına gelmektedir. Bu enerji kazanımı, yukarıda açıklanan tasarım parametrelerinin algoritmik optimizasyonu yoluyla elde edilmiştir. Her iki algoritmanın değerlendirilmesi sonucunda, hem işlem süresi hem de iyileştirme yüzdesi açısından en başarılı sonuçlar ABC algoritması tarafından elde edilmiştir; TSA algoritması ise performans açısından ABC'ye oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

4.1.2. 5 katlı çalışma alanı

3. bölümde seçilen yapılar ve arsalara ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu veriler, EPC aracı kullanılarak gerçekleştirilen enerji performansı hesaplamalarında temel girdileri oluşturmaktadır. Cephelelerdeki saydam ve opak yüzey alanlarının oranları, binanın pasif enerji kazanımları ve ısı kayıpları üzerinde doğrudan etkili olmakta ve enerji verimliliği değerlendirmelerine katkı sağlamaktadır. Mevcut bina tasarım parametreleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Mevcut bina erken tasarım parametreleri

a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketimi kWh/m ²
14,80	19,90	0	0,1032	0,2773	0,0895	0,4473	363,13

EPC simülasyon aracıyla elde edilen sonuca göre, mevcut binanın toplam yıllık enerji tüketimi 363,13 kWh/m²'dir.

4.1.2.1. Algoritma destekli tasarım ile üretilen bina ile ilgili veriler

Bu çalışmada algoritmik yöntemle üretilen yapının belirli fiziksel ve yasal sınırlamalara uygun olması esas alınmıştır. Bu kapsamda tasarlanacak yapının taban alanı 227,42 m²'yi aşmamalı; kısa kenar uzunluğu en fazla 14,80 metre, uzun kenar uzunluğu ise en fazla 20,90 metre olmalıdır. Ayrıca toplam inşaat alanı 1137,13 m² sınırını geçmemelidir. Yapıya ait çatı alanı ise, bina kısa ve uzun kenar ölçülerine her yönden 150 cm eklenerek hesaplanmıştır.

Her iki optimizasyon algoritması (ABC ve TSA), değişen çevresel ve tasarımsal koşullar karşısında çözüm üretme kabiliyetlerini test edebilmek amacıyla üçer kez çalıştırılmıştır. Bu sayede algoritmaların farklı başlangıç koşulları altındaki tutarlılığı ve kararlılığı değerlendirilmiştir. Ayrıca algoritmalarla elde edilen sonuçların doğruluğu EPC aracı ile tekrar teyit edilmiştir. Tablo 4.4'te, beş katlı referans yapı için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda ABC ve TSA algoritmaları tarafından elde edilen enerji performansı değerleri ile ilgili optimizasyon çıktıları Tablo 4.4.'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.4. Optimize Edilmiş Bina Tasarım Parametreleri

Alg.	Süre	a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketim kWh/m ²	Yüzde %
TSA	72 sa 18 dk 51 sn	14,78	15,37	0,305	0,20	0,20	0,20	0,20	341,66	5,91
TSA	71 sa 47 dk 12 sn	14,79	15,37	0,147	0,20	0,20	0,20	0,20	341,64	5,92
TSA	71 sa 58 dk 35 sn	14,70	15,46	0,307	0,20	0,20	0,20	0,20	341,62	5,92
ABC	73 sa 37 dk 1 sn	14,76	15,40	0,413	0,20	0,20	0,20	0,20	341,60	5,93
ABC	133sa 4 dk 40 sn	14,80	15,36	0,357	0,20	0,20	0,20	0,20	341,59	5,93
ABC	70 sa 8 dk 8 sn	14,80	15,36	0,156	0,20	0,20	0,20	0,20	341,61	5,93

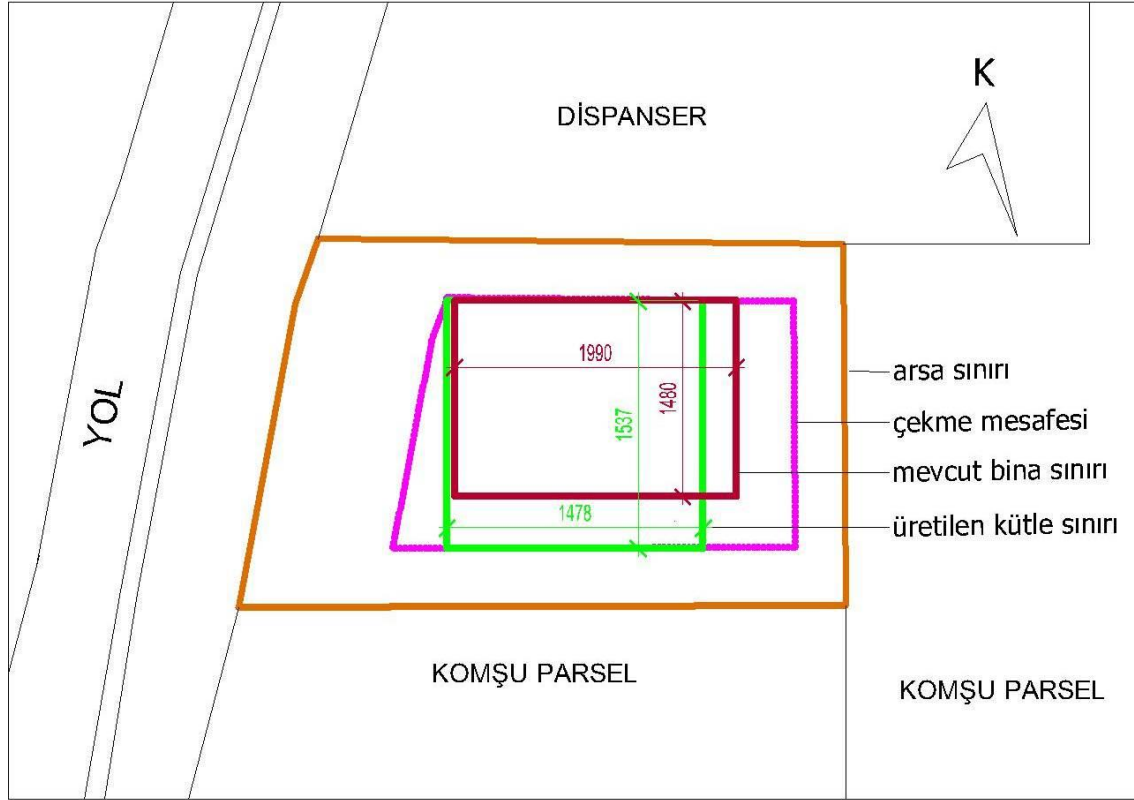
Elde edilen sonuca göre, mevcut binanın toplam yıllık enerji tüketimi en iyi optimizasyonda 341,59 kWh/m²'dir.

Çalışma kapsamında optimize edilmiş binanın ABC ve TSA çıktı parametrelerinin ortalamaları alınmış, buna göre bir taban oturum alanı ve cephe çalışması yapılmıştır. (Şekil 4.17.-4.18.).

4.1.2.2. Karşılaştırma

Mevcut bina ve optimize edilmiş bina veri setlerinin karşılaştırılması sonucunda, enerji tüketimindeki farklılıkların temel olarak üç ana etkene dayandığı belirlenmiştir.

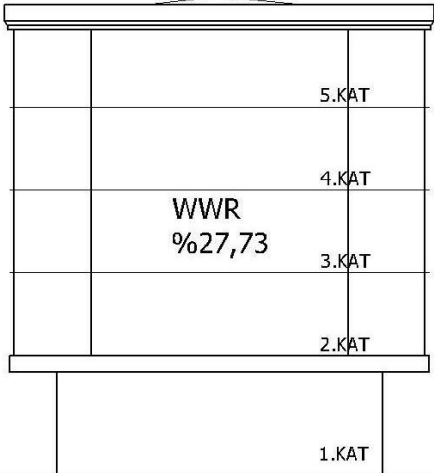
Mevcut bina, 200,60 m² taban alanı, 1134,58 m² emsal alanı ve 3517,19 m³ toplam hacme sahiptir. Boyutları dikdörtgen forma yakın ve kat yüksekliği daha fazladır. Buna karşın, optimize edilmiş bina çekme mesafeleri içinde kalacak şekilde daha kompakt ve kareye yakın bir geometriye sahiptir (Şekil.8.). Ayrıca bina yüksekliği azaltılmış, böylece toplam hacim düşürülerek enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılmıştır. Yüzey alanları toplamı açısından her iki bina benzer düzeydedir; ancak yüzeylerin yönler göre dağılımı enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Mevcut binada, kuzey cephesindeki düşük saydam yüzey oranı olumlu bir etki yaratırken, batı cephesindeki yüksek saydam yüzey oranı güneş kazanımını artırmış ancak ısı kayıplarını da yükseltmiştir. Ayrıca, güneş kazancı açısından kritik öneme sahip güney cephesindeki düşük saydam oranı, enerji performansını olumsuz etkilemiştir. Optimize edilmiş binada ise, saydam ve opak yüzeylerin cepheler boyunca dengeli bir şekilde dağıtılması sayesinde ısı kazancı ve kaybı daha etkin bir biçimde kontrol altına alınmıştır (Şekil 4.9-4.10.-4.11.-4.12.). Bu yaklaşım, kış aylarında ısı kayıplarını azaltırken, yaz aylarında aşırı ısınmanın önüne geçmiştir. Ancak burada önemli bir sınırlılık söz konusudur: kullanılan algoritma cephe yöneliminden bağımsız olarak, cephe doluluk-boşluk oranını minimize etme eğilimi göstermekte ve bu da bazı yönlerde düşük saydam yüzey oranlarına neden olmaktadır.



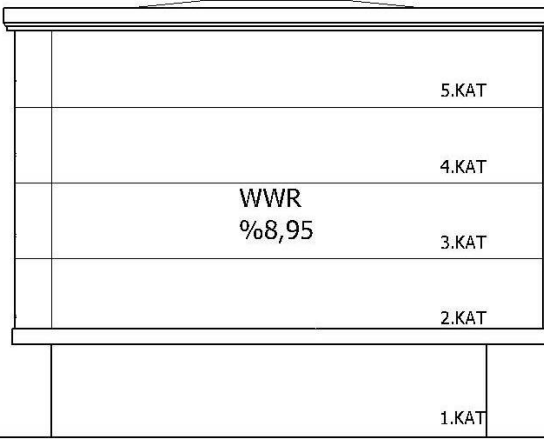
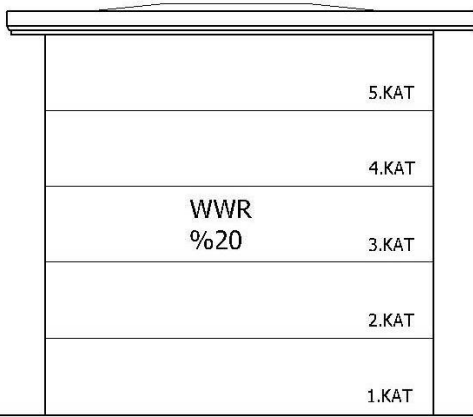
Şekil 4.8. .Mevcut binanın planı ile optimize edilmiş/üretilen binanın taban oturum alanı farkı

MEVCUT	ÜRETİLEN/OPTİMİZE EDİLEN
BATI CEPHESİ	BATI CEPHESİ

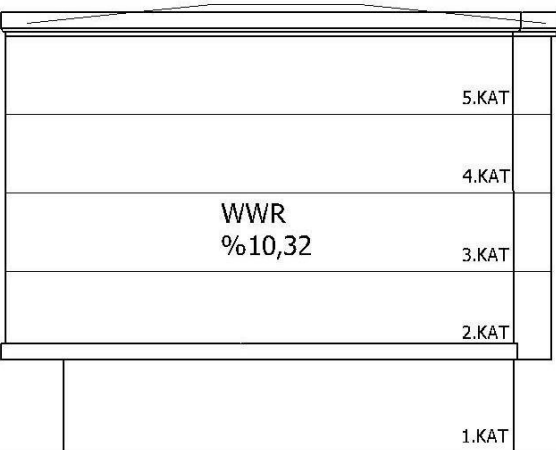
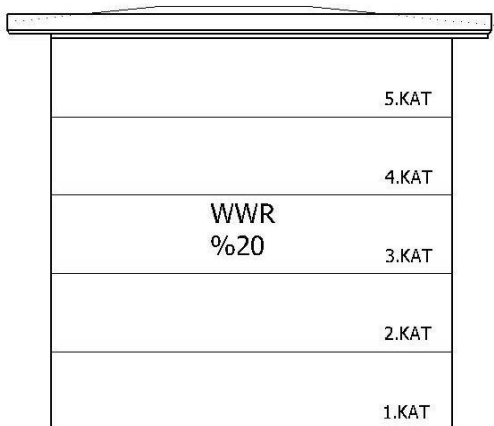
Şekil 4.9. .Mevcut binanın batı cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın batı cephesi durumu

MEVCUT	ÜRETİLEN
 5.KAT 4.KAT WWR %27,73 3.KAT 2.KAT 1.KAT	 5.KAT 4.KAT WWR %20 3.KAT 2.KAT 1.KAT
DOĞU CEPHESİ	DOĞU CEPHESİ

Şekil 4.10. .Mevcut binanın doğu cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın doğu cephesi durumu

MEVCUT	ÜRETİLEN
 5.KAT 4.KAT WWR %8,95 3.KAT 2.KAT 1.KAT	 5.KAT 4.KAT WWR %20 3.KAT 2.KAT 1.KAT
KUZUY CEPHESİ	KUZUY CEPHESİ

Şekil 4.11. .Mevcut binanın kuzey cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın kuzey cephesi durumu.

MEVCUT	ÜRETİLEN
 5.KAT 4.KAT WWR %10,32 3.KAT 2.KAT 1.KAT GÜNEY CEPHESİ	 5.KAT 4.KAT WWR %20 3.KAT 2.KAT 1.KAT GÜNEY CEPHESİ

Şekil 4.12. .Mevcut binanın güney cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın güney cephesi durumu.

Mevcut binanın yıllık enerji tüketimi 363,13 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Optimize edilmiş en iyi bina alternatifi ise 341,60 kWh/m² düzeyinde yıllık enerji tüketimine sahiptir. Bu durum, %5,93 oranında bir enerji tasarrufuna karşılık gelmektedir. Söz konusu enerji kazanımı, yukarıda açıklanan tasarım parametrelerinin algoritmik optimizasyon yoluyla iyileştirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Her iki algoritmanın karşılaştırmalı değerlendirilmesi sonucunda, hem işlem süresi hem de iyileştirme yüzdesi açısından en başarılı sonuçlar ABC algoritması tarafından elde edilmiştir. TSA algoritması ise her iki kriterde de ABC algoritmasına oldukça yakın sonuçlar üretmiştir.

4.1.3. 10 katlı çalışma alanı

3. bölümde seçilen yapılar ve arsalarla ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu veriler, EPC aracı kullanılarak gerçekleştirilen enerji performansı hesaplamalarında temel girdileri oluşturmaktadır. Cephelerdeki saydam ve opak yüzey alanlarının oranları, binanın pasif enerji kazanımları ve ısı kayıpları üzerinde doğrudan etkili olmakta ve enerji verimliliği değerlendirmelerine katkı sağlamaktadır. Mevcut bina tasarım parametreleri Tablo 4.5'te sunulmuştur.

Tablo 4.5. Mevcut bina tasarım parametreleri ve enerji tüketimi

a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketimi kWh/m ²
25,80	31,10	1	0,0855	0,3824	0,0855	0,3250	216,35

EPC simülsayon aracıyla elde edilen sonuca göre, mevcut binanın toplam yıllık enerji tüketimi 216,35 kWh/m²'dir.

4.1.3.1. Algoritma destekli tasarım ile üretilen bina ile ilgili veriler

Bu çalışmada algoritmik yöntemle üretilcek yapının belirli fiziksel ve yasal sınırlamalara uygun olması esas alınmıştır. Bu kapsamda tasarlanacak yapının taban alanı 718,28 m²'yi aşmamalı; kısa kenar uzunluğu en fazla 26,80 metre, uzun kenar uzunluğu ise en fazla 44,80 metre olmalıdır. Ayrıca toplam inşaat alanı 5171,67 m² sınırını geçmemelidir. Yapıya ait çatı alanı, bina kısa ve uzun kenar ölçülerine her yönden 150 cm eklenerek hesaplanmıştır.

Her iki optimizasyon algoritması (ABC ve TSA), değişen çevresel ve tasarımsal koşullar karşısında çözüm üretme kabiliyetlerini test edebilmek amacıyla üçer kez çalıştırılmıştır. Bu sayede algoritmaların farklı başlangıç koşulları altındaki tutarlılığı ve kararlılığı değerlendirilmiştir. Ayrıca algoritmalarla elde edilen sonuçların doğruluğu EPC aracı ile tekrar teyit edilmiştir. Mevcut bina 10 katlı iken oluşturulan alternatifler 7 katlıdır. 7 katlı alternatif yapılar için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda ABC ve TSA algoritmaları tarafından elde edilen enerji performansı değerleri ve optimizasyon çıktıları Tablo 4.6.'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.6. Optimize Edilmiş Bina Tasarım Parametreleri

Alg.	Süre	a (m)	b (m)	o	w1 (m ²)	w2 (m ²)	w3 (m ²)	w4 (m ²)	Enerji Tüketim (kWh/m ²)	Yüzde %
TSA	39 sa 38 dk 38 sn	26,72	26,87	0,479	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66
TSA	40 sa 14 dk 39 sn	26,70	26,89	0,208	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66
TSA	39 sa 27 dk	26,76	26,83	0,274	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66

	36 sn									
ABC	39 sa 28 dk 14 sn	26,80	26,80	0,483	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66
ABC	39 sa 26 dk 21 sn	26,80	26,80	0,483	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66
ABC	39 sa 47 dk 10 sn	26,80	26,79	0,484	0,20	0,20	0,20	0,20	182,47	15,66

Elde edilen sonuca göre, mevcut binanın toplam yıllık enerji tüketimi 182,47 kWh/m²'dir.

Çalışma kapsamında optimize edilmiş binanın ABC ve TSA çıktı parametrelerinin ortalamaları alınmış, buna göre bir taban oturum alanı ve cephe çalışması yapılmıştır. (Şekil 4.29.-4.30.).

4.1.3.4. Karşılaştırma

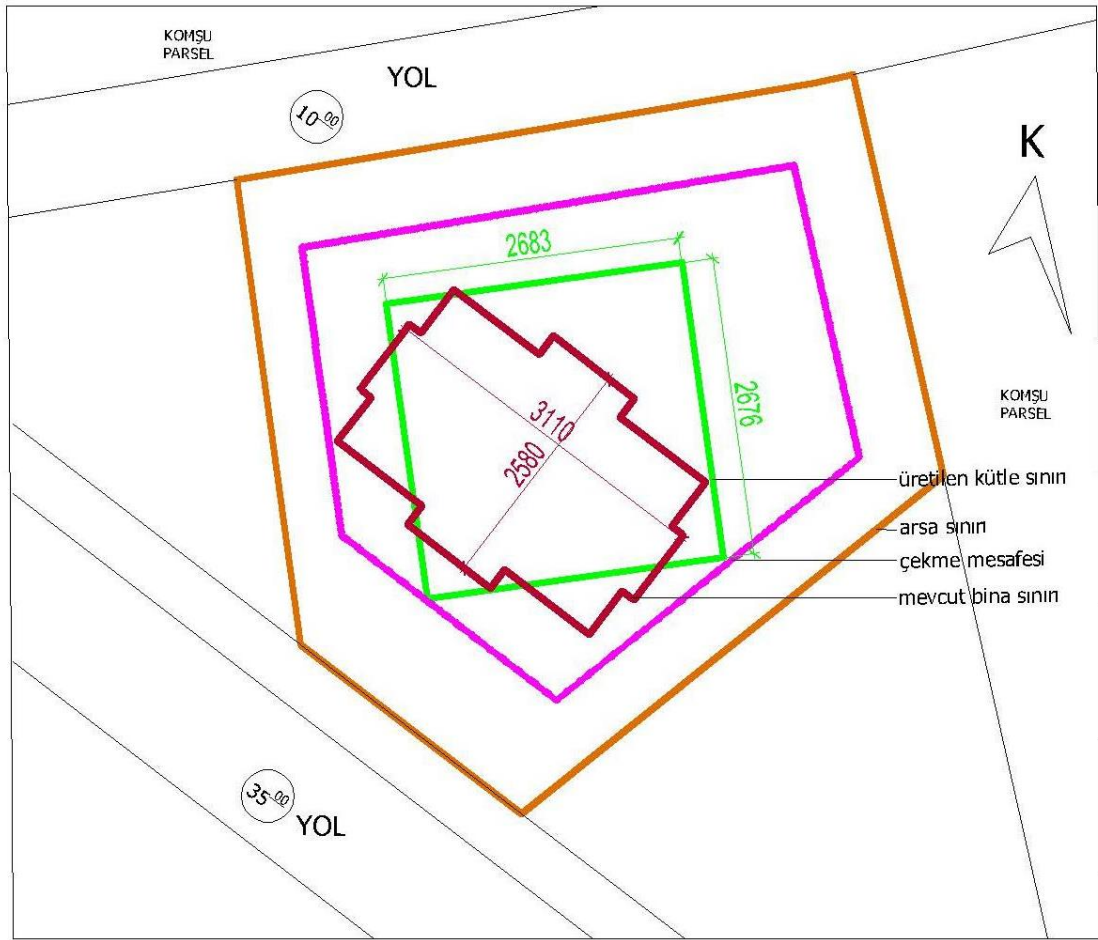
Mevcut bina ve optimize edilmiş bina veri setlerinin karşılaştırılması sonucunda, enerji tüketimindeki farklılıkların temel olarak üç ana etkene dayandığı belirlenmiştir. Mevcut bina, 638,15 m² taban alanı, 5170,30 m² toplam kapalı alan (emsal alanı) ve 15510,90 m³ toplam hacme sahiptir. Boyutları dikdörtgen forma yakın olup, kat sayısı ve kat yüksekliği optimize edilmiş binaya kıyasla daha fazladır (Şekil 13.). Buna karşılık, optimize edilmiş bina, çekme mesafeleri içinde kalacak şekilde daha kompakt ve kareye yakın bir geometriye sahiptir. Ayrıca kat adedinin azaltılması ve bina yüksekliğinin düşürülmesi sayesinde toplam hacim azaltılmış, dolayısıyla enerji tüketimi önemli ölçüde düürülmüştür. Yönelimin değiştirilmesi, cephelerin güneş ışıını alma süreleri ve açılarını doğrudan etkiler.

Güney cephe: Kış aylarında düşük güneş açıları sayesinde ısı kazanç sağlarken, yaz aylarında gölgeleme önlemleri olmadan soğutma yükünü artırabilir.

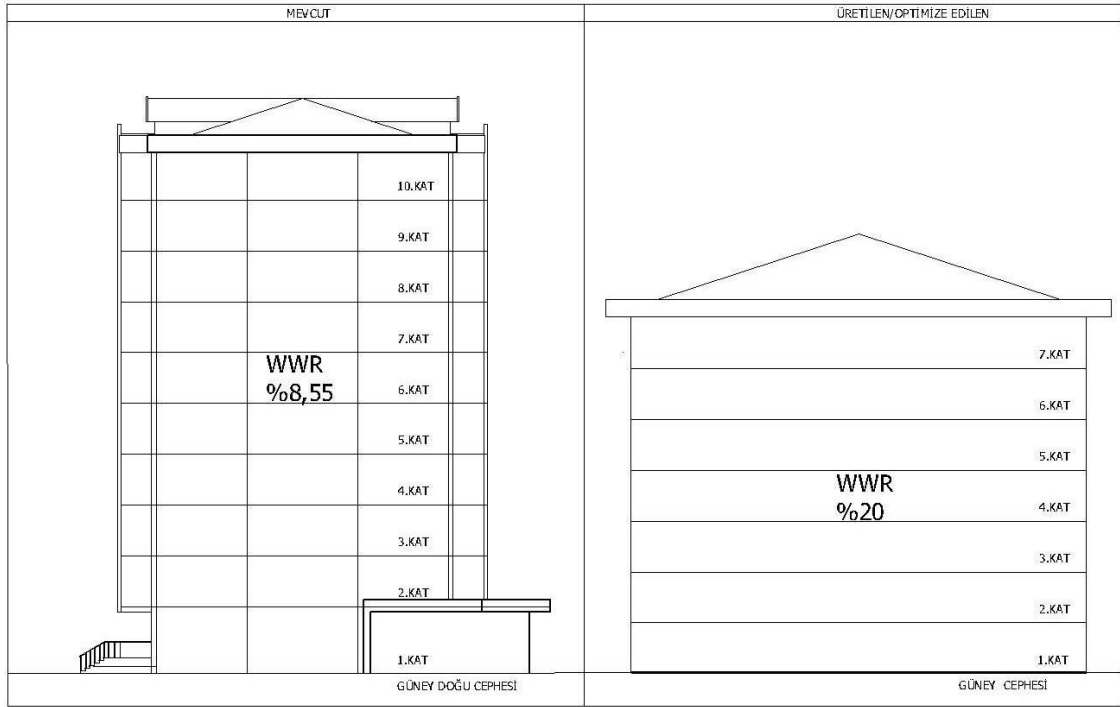
Doğu/Batı cepheleri: Sabah ve akşam düşük açılı güneş ışıını nedeniyle soğutma yükünü artırma eğilimindedir.

10 katlı yapıda yönelimin optimize edilmesi, cephelerin toplam güneş kazancı ile ısı kaybı arasındaki dengeyi, yıl boyu enerji tüketimini azaltacak biçimde düzenlemiştir. Yüzey alanlarının toplamı açısından her iki bina benzer düzeydedir; ancak yüzeylerin yönlere göre dağılımı enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Mevcut binada

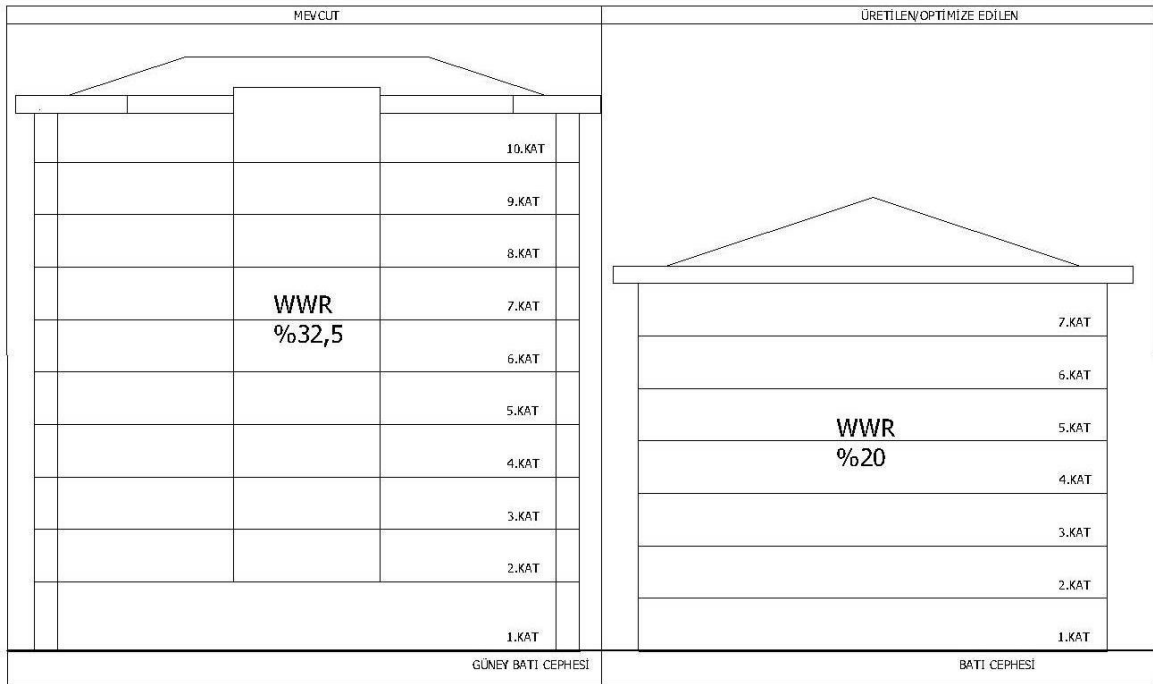
saydam yüzey oranlarının bazı cephelerde yüksek olması, güneş kazanımını artırmış ancak ısı kayıplarını da beraberinde getirmiştir. Özellikle batı cephesinde yüksek saydamlık oranı, yaz aylarında aşırı ısınma riskini yükseltmiştir. Buna karşın, optimize edilmiş binada saydam ve opak yüzey alanları daha dengeli bir biçimde dağıtılarak ısı kazancı ve kaybı etkin biçimde kontrol altına alınmıştır. Bu yaklaşım, kış aylarında ısı kayıplarını azaltırken, yaz aylarında aşırı ısınmayı engellemiştir. Ancak burada önemli bir sınırlılık mevcuttur: kullanılan algoritma, cephe yöneliminden bağımsız olarak doluluk-boşluk oranını minimize etme eğilimi göstermekte ve bu durum bazı cephelerde saydam yüzey oranının düşük kalmasına neden olabilmektedir (Şekil.4.14-4.15.-4.16.-4.17.).



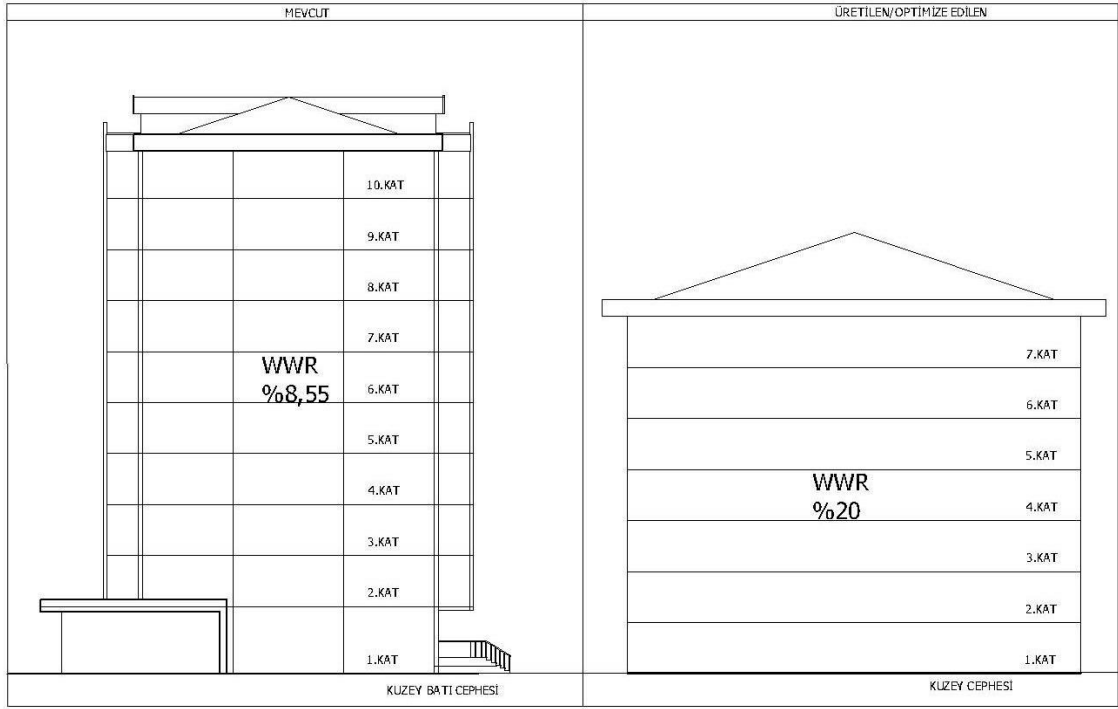
Şekil 4.13. Mevcut binanın planı ile optimize edilmiş/üretilen binanın taban alanı oturum farkı.



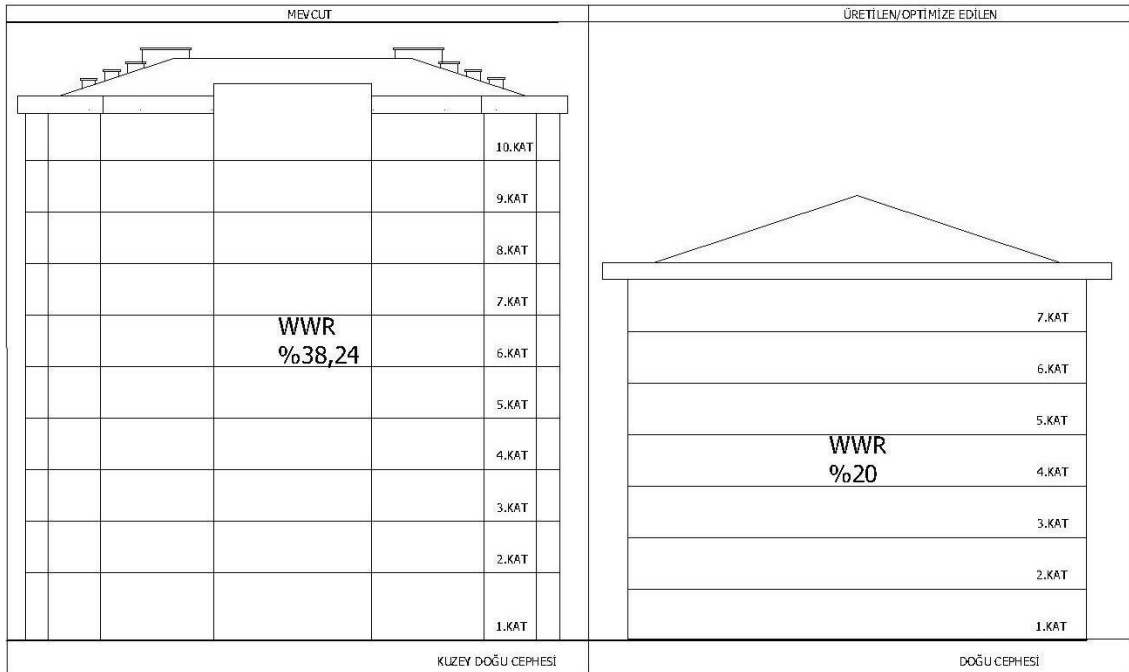
Şekil 4.14. Mevcut binanın güney doğu cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın güney cephesi durumu.



Şekil 4.15. Mevcut binanın güney batı cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın batı cephesi durumu.



Şekil 4.16. Mevcut binanın kuzey batı cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın kuzey cephesi durumu.



Şekil 4.17. Mevcut binanın kuzey doğu cephesi ile optimize edilmiş/üretilen binanın doğu cephesi durumu.

Enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde, mevcut binanın yıllık enerji tüketimi 216,35 kWh/m², optimize edilmiş en iyi bina alternatifinin ise 182,47 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, %15,66 oranında bir enerji tasarrufuna karşılık gelmektedir. Söz konusu enerji kazanımı, yukarıda açıklanan tasarım parametrelerinin algoritmik optimizasyon yoluyla iyileştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Her iki algoritmanın karşılaştırmalı değerlendirilmesi sonucunda, hem işlem süresi hem de iyileştirme başarımı açısından oldukça benzer sonuçlar üretildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, her iki yöntemin de tasarım sürecine entegre edilerek etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

4.2. Bölüm Değerlendirmesi

Bir önceki bölümde çalışma alanlarının mevcut bina ve optimize edilmiş bina verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Mevcut binalar ile optimize edilmiş binalar arasındaki enerji tüketimi farkı, tasarım parametrelerindeki sistematik optimizasyonların etkili bir şekilde uygulanması sonucunda ortaya çıkmıştır. Özellikle:

- Kompakt bina formu,
 - Yüksekliğin azaltılması,
 - Yüzey alanlarının dengelenmesi,
 - Çatı ve cephe alanlarının verimli şekilde düzenlenmesi,
 - Saydam ve opak yüzeylerin optimize edilmesi,
- bina enerji performansını iyileştirmiştir.

Bu durum, algoritma destekli tasarımın erken aşamada enerji verimliliğini artırmada önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Tablo 4.7.'de her 3 alanın veri setleri ve çıkan sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 4.7. Çalışma alanlarının mevcut bina ve optimize edilmiş bina verilerinin karşılaştırılması

YAPI	ALTERNATİFLER	ARSA ALANI	KISA KENAR	UZUN KENAR	TAKS	EMSAL	KAT	ENERJİ TÜKETİMİ
1.ALAN (2 katlı)	SINIR	1000.14	19.03	31.46	250.28	500.56		
	MEVCUT		17.90	20.00	249.03	487.38	2(h:6.50)	274.65
	ÜRETİLEN (ABC)		16.62	15.05	250.13	500.26	2(h:6.00)	243.02
	ÜRETİLEN (TSA)		16.39	15.26	250.11	500.22	2(h:6.00)	243.03
	FARK							31.58
2.ALAN (5 katlı)	SINIR	758.09	14.80	20.90	227.43	1137.13		
	MEVCUT		14.80	19.9	200.60	1134.58	5(h:15.70)	363.13
	ÜRETİLEN (ABC)		14.70	15.46	227.26	1136.31	5(h:15.00)	341.62
	ÜRETİLEN (TSA)		14.76	15.4	227.30	1136.52	5(h:15.00)	341.60
	FARK							21.24
3.ALAN (10 katlı)	SINIR	2873.15	26.80	44.80	718.29	5171.67		
	MEVCUT		25.80	31.10	638.15	5170.30	10(h:30.50)	216.35
	ÜRETİLEN (ABC)		26.76	26.83	717.97	5025.80	7(h:21.00)	182.47
	ÜRETİLEN (TSA)		26.80	26.80	718.24	5027.68	7(h:21.00)	182.47
	FARK							33.88

Sonuçlara bakıldığında geliştirilen optimizasyon aracı sayesinde her bir arsada kendi içinde enerji tüketimi daha düşük olabilecek alternatif binaların üretildiği görülmektedir. Binaların birbiriyle kıyaslanması;

- En yüksek enerji tasarrufu yüzdesinin on katlı yapıda elde edildiği görülmektedir. Bu bulgu, enerji verimliliği optimizasyonunun yapı yüksekliğiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.
- Bununla birlikte, iki katlı yapıda da yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanması, küçük ölçekli yapılarda da erken tasarım müdahaleleriyle etkili sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.
- Beş katlı yapıda görece düşük iyileştirme oranı, orta ölçekli yapılar için mevcut tasarım kodlarının ve yapılaşma pratiklerinin enerji performansı açısından görece daha optimal değerlere sahip olduğunu düşündürmektedir.

Verilere göre, geliştirilen tasarım aracıyla iki katlı yapıda %11,51 oranında enerji tasarrufu sağlanırken, beş katlı yapıda bu oran yalnızca %5,93'tür.

- Beş katlı yapının mevcut hali, mimari yerleşim, yönlenme ve pencere-duvar oranları açısından zaten daha optimize bir yapı olabilir. Özellikle yapı cephelerinin güneşe yönlendirilmiş olması, kütle-kompaktlık oranının daha dengeli olması, doğal havalandırmaya izin veren boşlukların yerleşimi gibi faktörler, mevcut yapının enerji verimliliğini göreceli olarak artırmış olabilir. Dolayısıyla, üretilen alternatif ile mevcut bina arasındaki enerji tüketim farkı azalmıştır.

- Beş katlı yapılar genellikle hem yüzey/hacim oranı açısından daha avantajlı (daha az ısı kaybı) hem de ara katlarda yer alan bağımsız birimlerin ısı kaybına daha az maruz kalması sayesinde ısıtma/soğutma ihtiyaçları dengelenmiş olur. Ancak, 10 katlı yapılarda bu etki daha dramatiktir. 2 katlı yapılarda ise tavan ve taban gibi tüm yüzeyler dış ortamla temas ettiği için ısı kaybı daha fazladır. Bu durum, geliştirilmiş tasarımın iki katlı yapı üzerinde daha yüksek oranda bir etki yaratmasına neden olmuştur.

Çalışmada ABC ve ATA/TSA olmak üzere iki farklı sürü zekâsı algoritması kullanılmıştır. Her iki algoritmanın ürettiği sonuçların büyük ölçüde birbirini doğruladığı belirtilmiştir.

- Sonuçların Tutarlılığı: Her iki algoritma da enerji tüketim değerlerinde paralel sonuçlar üretmiş, bu durum geliştirilen aracın algoritmik altyapısının güvenilirliğini göstermiştir.
- Performans Karşılaştırması: Genellikle Yapay Arı Kolonisi algoritması daha kısa sürede daha verimli sonuçlar üretmiş, bu da yüksek çözünürlüklü tasarım varyasyonları ve geniş veri setleriyle çalışılması gereken durumlarda ABC algoritmasının tercih edilmesini gerekli kılmaktadır.
- Karmaşıklık ve Uygulama Kolaylığı: ATA algoritması bazı senaryolarda daha geniş çözüm uzaylarını değerlendirebilmiş olsa da, işlem süresinin uzun olması kullanıcı deneyimi açısından bir dezavantaj oluşturmıştır. Bu bağlamda, her iki algoritmanın da farklı tasarım bağlamlarında seçilerek kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Alan çalışmasından elde edilen bulgular, aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Alan çalışmasında seçilen üç farklı kat yüksekliğine sahip yapı (2, 5 ve 10 katlı) üzerinden yapılan analizlerde, bina geometrisinin ve kat adedinin enerji performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu, literatürde vurgulanan bina kompaktlığı ve yüzey-hacim oranı ilişkisini (Aksamija, 2013) doğrular niteliktedir. Özellikle, düşük katlı yapıların daha yüksek dış yüzey alanına sahip olması nedeniyle ısı kayıplarının arttığı, dolayısıyla yıllık enerji tüketim değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan optimizasyon algoritması (sürü zekâsı tabanlı), mimari varyasyonların hızlı ve çok sayıda üretilmesini sağlamış; bu sayede parametrik değişkenler (ör. pencere-duvar oranı, cephe yönelimi, kat yüksekliği vb.) arasında enerji verimliliği açısından optimum kombinasyonların belirlenmesi mümkün olmuştur. Bu durum, hesaplamalı tasarım araçlarının karar destek sistemleri olarak erken tasarımda nasıl işlevsel hale gelebileceğini göstermektedir.

Yapılan analizlerde, cephe yönelimine göre optimize edilen pencere-duvar oranlarının (WWR) enerji performansında anlamlı değişimlere neden olduğu saptanmıştır. Özellikle güney cephelerde daha yüksek WWR değerlerinin, ısıl kazançlar nedeniyle kış aylarında avantaj sağladığı; ancak yaz aylarında gölgeleme önlemleri alınmadığında enerji verimliliğini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu durum, yönetime bağlı parametrik tasarım kararlarının bütüncül şekilde değerlendirilmesinin önemine işaret etmektedir.

Çalışmada kullanılan EPC aracının EN ISO 13790 standardına dayanması, enerji performans hesaplarının belirli varsayımlara ve sadeleştirmelere tabi olduğunu göstermektedir. Örneğin, kullanıcı davranışı, iç yükler veya doğal havalandırma gibi dinamik parametreler modele dâhil edilmemiştir. Bu durum, sonuçların teorik düzeyde kaldığını ve gerçek enerji tüketimi ile birebir örtüşmeyebileceğini göstermektedir. Ancak bu tür sadeleştirmeler, erken tasarım aşaması için hızlı karar alma süreçlerinde kabul edilebilir bir seviyede kalmaktadır.

Tez kapsamında geliştirilen metodoloji, mimari tasarım sürecinde enerji verimliliği temelli optimizasyonun sistematik olarak ele alınmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, özellikle erken tasarım evresinde mimarın sezgisel kararlarını destekleyici bir araç olarak kullanılabilir. Ayrıca EPC benzeri araçların, farklı iklim bölgelerine ve yapı türlerine göre uyarlanarak kullanılması, bu yöntemin geliştirilebilirliğini de göstermektedir.

Araştırmanın sonuçları, belirli metodolojik ve bağlamsal kısıtlar çerçevesinde değerlendirilmelidir. Çalışmanın kısıtları aşağıda verilmiştir.

- İklim Verisine Bağımlılık: Konya iline ait uzun yıllar ortalama meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu durum, iklim değişikliği veya ekstrem hava koşullarının modele yansıtılamaması anlamına gelmektedir.
- EPC Aracının Hesaplama Yöntemi: EN ISO 13790 standardına dayalı aylık enerji dengesi yöntemi, saatlik çözünürlükteki dinamik simülasyonlar kadar detaylı sonuç vermez. Kullanıcı davranışları, doğal havalandırma etkileri veya iç kazançların günlük değişimleri modele dâhil edilmemiştir.
- Parametre Sınırlılığı: Optimizasyon süreci, yedi temel tasarım parametresi ile sınırlandırılmıştır. Cephe malzemesi, yalıtım kalınlığı, çatı eğimi gibi değişkenler analiz kapsamı dışında kalmıştır.
- Tipoloji Sınırlaması: Alan çalışması yalnızca tek bloklu konut yapıları üzerinde gerçekleştirilmiş; ticari yapılar veya karma kullanımlı projeler analiz edilmemiştir.
- Ekonomik Boyutun Dışlanması: Çalışmada maliyet analizi yapılmamış, önerilen tasarım varyasyonlarının yatırım geri dönüş süreleri hesaplanmamıştır.
- Hesaplama Kaynakları: Algoritma, belirli sayıda iterasyonla sınırlandırılmıştır; daha geniş çözüm uzayı için daha fazla işlem gücü kullanıldığında alternatif optimizasyon sonuçları elde edilebilir.

Çalışma, erken tasarım evresinde tasarımcılara karar destek mekanizması olarak hizmet etmektedir. Aracın geliştirilmesinde, kullanıcı dostu bir arayüz ve interaktif tasarım araçları sayesinde tasarımcıların sürece daha aktif bir şekilde katılımını sağlanmaktadır. Böylece enerji performansı ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenebilir. Bu, yalnızca profesyonel tasarımcılar için değil, aynı zamanda bireysel kullanıcılar ve yatırımcılar için de enerji etkin tasarım süreçlerine erişim sağlamayı mümkün kılar. Sabit parametreler ve kısıtlar doğrultusunda geliştirilmiş olan optimizasyon aracı, ilerleyen çalışmalarda daha fazla esnekliğe ve detaylandırılmış tasarım süreçlerine hizmet edecek şekilde geliştirilebilir.

Bu bölümdeki analizler, algoritma destekli tasarım yöntemlerinin, erken tasarım aşamalarında enerji verimliliği odaklı mimari karar süreçlerinde etkin bir rehber olduğunu kanıtlamaktadır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, araştırma kapsamında elde edilen bulgular bütüncül olarak değerlendirilerek genel sonuçlar ortaya konmakta ve gelecekteki çalışmalar ile uygulamalara yönelik öneriler sunulmuştur.

5.1. Sonuçlar

Dünya genelinde enerji kaynaklarının giderek azalması, küresel bir sorun haline gelmiş ve bu durum enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik önlemleri zorunlu kılmıştır. Enerji tüketiminin başlıca nedenlerinden biri yapılaşma sürecidir. Ancak, yapılaşmanın durdurulması mümkün olmadığından, binaların üretim süreçlerinden başlayarak, yaşam döngüleri boyunca harcadıkları enerjiyi azaltmayı hedefleyen adımların atılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, imar planlarının oluşturulmasından tasarımın erken evrelerine, detay çözümlerine ve yapının kullanım ömrünün son dönemlerine kadar uzanan süreç, enerjiyi etkin kullanacak şekilde planlanmalıdır. Çalışmada, bu gerekliliklerden hareketle, bina tasarımında enerji etkinliğini temel alan bir yaklaşım benimsenmiştir.

Enerji etkin tasarım, oldukça kapsamlı bir konu olup, bu alanda halihazırda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Enerji performansını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş normatif ve dinamik araçlar, enerji simülasyonlarının gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, bu araçların sektörde geniş bir karşılık bulamadığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, çeşitli nedenlerle açıklanabileceği düşünülmektedir: Geleneksel tasarım yöntemlerinin halen yaygın olarak kullanılmaya devam etmesi, yeni nesil araçların veri giriş aşamasında daha yavaş bir başlangıç süreci gerektirmesi (sonrasında hızlı ve üretken sonuçlar elde edilse dahi), enerji tüketim hesaplamalarının potansiyel katkılarının yeterince bilinmemesi ya da tasarımı etkileyen çok sayıda parametrenin varlığı nedeniyle enerji verimliliği parametresinin ek bir yük olarak algılanması gibi faktörler bu nedenlerden bazılarıdır. Bu gözlemler ve deneyimler, çalışmanın alt başlıklarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Çalışmanın temel hedefi, tasarımcının işini kolaylaştıracak, aynı anda birçok parametreyi değerlendirebilecek, hızlı ve etkili alternatifler üretebilecek, tüm tasarım kısıtlarını dahil eden bir araç geliştirmek olmuştur. Bu doğrultuda, algoritma destekli tasarım ve enerji optimizasyonu, çalışmanın ana temalarını oluşturmuştur. Tasarım süreci, özellikle erken tasarım evresinden itibaren, çok sayıda parametrenin etkisi altında şekillenmiştir. Bu parametrelerin arasında en kısıtlayıcı olanlardan biri, genellikle imar durumu koşullarıdır. İmar durumunun dikkate alınmadığı bir enerji

tüketim analizi, gerçeği yansıtmayacak ve tasarımcılar tarafından tercih edilmeyecektir. Bu nedenle, enerji etkin bir tasarım sürecinin, imar durumu kısıtlarını da içerecek şekilde ele alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda çalışmanın, enerji etkinliğine dair alınan kararların kritik bir öneme sahip olduğu erken tasarım evresinde özelleşmesi gerektiği düşünülmüştür. Çalışma alanı olarak da, yapılaşmanın en fazla olduğu yapı türü olduğundan konut yapıları belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında araştırma konusu ve alt başlıkları belirlendikten sonra; bu doğrultuda algoritma destekli tasarımın nasıl uygulanabileceğine dair kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda, algoritma destekli tasarımlarda sürü zekası algoritmaları ile evrimsel algoritmaların yaygın olarak tercih edildiği tespit edilmiştir. Bu algoritmaların benzer problemlere karşılık çözüm üretme yetenekleri ve karakteristik özellikleri incelendiği zaman çalışmada sürü zekası algoritmalarından ABC ve TSA algoritmalarının kullanılmasına karar verilmiştir. Seçilen algoritmaların çalışma sistematığı ve problem çözme stratejisi öğrenildikten sonra, çalışmada kullanılacak olan probleme uyarlanması için amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve problem kısıtları gibi temel parametreler belirlenmiştir. Böylelikle algoritmaların üretken tasarım sürecinde kullanılabilmesi amacıyla veri setleri yapılandırılmıştır. Algoritmaların bina ölçeğinde enerji performansına yönelik karar verme sürecini desteklemek amacıyla, enerji performans hesaplamalarının temel denklemleri EPC aracından elde edilen veriler ile MATLAB ortamına aktarılmıştır. Bu sayede enerji tüketimini optimize edebilen, algoritma destekli bir tasarım aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin etkinliğini test edebilmek amacıyla, üç farklı ölçekte (küçük, orta ve büyük ölçekli) konut tipi üzerinden alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Mevcut binaların enerji tüketim verileri EPC aracı ile hesaplanmıştır. Sonrasında geliştirilen tasarım aracı aracılığıyla optimize edilen yeni bina tasarımlarının enerji tüketim verileri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiş; geliştirilen tasarım aracının, mevcut bina tasarımlarına göre daha yüksek enerji verimliliği sağladığı ve enerji performansını anlamlı ölçüde iyileştirdiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında geliştirilen tasarım aracı, bina tasarımı süreçlerinde mevcut yasal kısıtlar dikkate alınarak, enerji performansı ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini bir araya getiren yenilikçi bir çözüm olarak ortaya konmuştur. Geliştirme süreci, hem teorik temellere dayanan hem de uygulamalı yöntemlerin bir arada kullanıldığı bir çerçevede benimsenmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen araç, bina tasarımı

ile enerji tüketimi arasındaki karmaşık ilişkiyi modelleyebilme ve bu ilişkileri optimize edebilme yeteneği sayesinde mimarlık alanına katkı sağlayan etkili bir tasarım aracı olarak değerlendirilmiştir. Tasarım aracının geliştirilmesi sürecinde mimarlık ve bilgisayar mühendisliği disiplinleri arasında yürütülen iş birliği, çok boyutlu tasarım problemlerine yönelik normatif bir aracın geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Tasarım sürecindeki kısıtlarla birlikte farklı alternatiflerin geliştirilmesi amacıyla kullanılan metasezgisel algoritmalar, özellikle bina formu, yönlendirme, yapı kabuğu özellikleri ve yerleşim planlaması gibi enerji performansını doğrudan etkileyen çok sayıda parametrenin eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu algoritmalar, tasarım problemlerine çok boyutlu bir perspektiften yaklaşarak hem enerji verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini aynı anda destekleyen çözümler üretmiştir. Geliştirilen aracın başarısı, yürütülen sayısal simülasyonlar ve elde edilen uygulamalı çıktıların analizleriyle somut biçimde ortaya konmuştur. Geliştirilen testler ve senaryo analizleri, aracın mevcut bina tasarımlarına kıyasla bina enerji performansında kayda değer iyileştirmeler sağladığını ve çevresel etkileri minimize ettiğini göstermiştir. Ayrıca, araç sayesinde tasarım alternatiflerinin daha hızlı ve sistematik bir şekilde değerlendirilmesi mümkün hale gelmesi, tasarım süreçlerinin hem zaman hem de maliyet açısından daha verimli bir şekilde yönetilmesine olanak tanımıştır.

Bu çalışma, yalnızca teknik bir araç geliştirmekle kalmamış, aynı zamanda mimari tasarımların erken aşamalarında karar verme süreçlerini kolaylaştıracak yeni bir çerçeve sunmuştur. Geleneksel tasarım yaklaşımlarının çoğu deneyime dayalı öngörüler ile şekillenirken, geliştirilen tasarım aracı, hesaplamalı ve optimizasyona dayalı bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde daha nesnel ve ölçülebilir sonuçlar üretilmesi mümkün kılınmıştır. Ayrıca geliştirilen araç sayesinde tasarımcının yaratıcılığı sınırlanmadan farklı senaryolar hızlıca modellenebilmiş ve esnek bir erken tasarım aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç, sürdürülebilir mimarlık alanında hem akademik araştırmalar hem de profesyonel uygulamalar için ölçeklenebilir, tekrarlanabilir ve uygulanabilir bir model olarak değerlendirilmektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, mimari tasarım süreçlerine ilişkin şu öneriler geliştirilmektedir:

- Erken tasarım evresinde algoritmik araç kullanımı, mimari kararların enerji performansı üzerindeki etkisinin rasyonel biçimde değerlendirilmesini mümkün

kılmaktadır. Bu araçların yaygınlaştırılması için, tasarımcıların algoritmik yaklaşımlara yönelik farkındalıklarının artırılması ve eğitim süreçlerine entegre edilmesi önerilmektedir.

- Farklı katlı yapılar arasında yapılan karşılaştırmalı analiz, kompakt yapı formlarının enerji etkinliği açısından avantaj sağladığını göstermiştir. Bu nedenle, yapı yüksekliği planlamalarında yalnızca estetik veya işlevsel kriterler değil, enerji performansı da belirleyici kriter olarak dikkate alınmalıdır.
- WWR (pencere-duvar oranı) tasarım kararları yön bazında değerlendirilmelidir. Güney cephede yüksek saydam yüzey oranları pasif güneş kazançlarını artırmakta; doğu ve batı cephelerde ise bu oranlar sınırlanmalıdır. İmar planlarında ve mimari tasarım kılavuzlarında yönelime özgü pencere oranları için rehber ilkeler geliştirilmesi tavsiye edilmektedir.
- Geliştirilen karar destek aracının, şehir plancıları tarafından da kullanılabileceği öngörülmektedir. Özellikle imar planı kararlarında (örneğin TAKS, KAKS, çekme mesafesi gibi) enerji etkinliğini temel alan senaryo analizleri ile alternatif plan kararlarının karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmesi mümkün olabilir.
- Geliştirilen aracın, yapay zekâ, makine öğrenimi gibi ileri teknolojilerle entegre edilmesi, kullanıcı davranışlarını analiz eden modellerle desteklenmesi, gelecekte kişiselleştirilmiş tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.
- Çalışmanın sonuçları, sadece mimarlık değil; kentsel tasarım, enerji mühendisliği ve çevre politikaları gibi farklı disiplinlerde de kullanılabilecek altyapılar sunmaktadır. Bu nedenle, çok disiplinli araştırmaların teşvik edilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen araç hem uygulamalı mimari tasarım pratiğine hem de kent ölçeğinde sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayacak niteliktedir. Gelecekte farklı coğrafyalara, kullanıcı profillerine ve bina tipolojilerine uyum sağlayacak biçimde geliştirilmesi, enerji verimli yapılaşma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdelmohsen, S. M. (2013). *Reconfiguring architectural space using generative design and digital fabrication: A project based course*, Ain Shams University, Egypt.
- Abrishami, S., Goulding, J. S., Rahimian, F. P., & Ganah, A. (2014). Integration of BIM and generative design to exploit AEC conceptual design innovation. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 350–359.
- Acar, E. (2006). Settlement and building design. *Planlama Journal*, 2006(4), 16.
- Ahlquist, S., & Menges, A. (2011). *Computational design thinking: Architecture, algorithms, and processes*. John Wiley & Sons.
- Ajayi, M. P., Adebayo, J. O., & Adepoju, R. K. (2022). A comparative analysis of machine learning and deep learning models for building energy consumption prediction. *Energy and Buildings*, 260, 111987.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2013). *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (SI ed.). ASHRAE.
- Anonim, 2016a, Enerji verimli bina tasarım stratejileri, Ankara.
- Anonim, 2016b, Binalarda enerji performans yönetmeliği ve enerji etkin bina tasarım prensipleri, <http://www.bep.gov.tr/MERKEZIIISITMA/images/Kutuphane/680587.pdf>:
- Akin, O. (1979). *Psychology of architectural design*. Pion.
- Akipek, F. Ö. (2004). Bilgisayar teknolojilerinin mimarlıkta tasarımı geliştirme amaçlı kullanımları, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Akkaş Çağlar, Z. (2016). Fundamental principles governing zoning law in comparative law. *Court of Disputes Journal*.
- Aksamija, A. (2013). *Sustainable facades: Design methods for high-performance building envelopes*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Aksoy, E. (1975). *Mimarlıkta tasarım iletim ve denetim* (1. baskı). Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Aktacı, M. (2008). *Determination of optimal insulation thickness for energy efficiency in buildings* (PhD dissertation). Middle East Technical University, Department of Mechanical Engineering, Ankara.
- Alaçam, S., Çakıcı, N., & Cesur, D. (2019, Nisan 24). Algoritmik sıçramalar. *Yapı Dergisi*, 446.
- Altun, M., & Akçamete, A. (2016). Yapı bilgi modellemesi tabanlı bina enerji optimizasyonu. In *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi* (Eskişehir, Türkiye).

- Aydın, M. (2019). *Enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin BIM aracılığı ile optimizasyonu* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avinç, G. M. (2016). *Hesaplamalı tasarım süreci üzerine bir araştırma* (Yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baydoğan, M.Ç. (2013). Tip İmar Yönetmeliğine Uygun Vaziyet Planı Üreten Bir Yapay Zeka Destek Sistemi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Berköz, E., Küçükdoğu, M. Ş., Yılmaz, Z. (1995). *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı* (TÜBİTAK-INTAG 201 Araştırma Raporu No. 201). Ankara: TÜBİTAK.
- Berleze, A. S., Brasileiro, A., & Silvos, M. (2020). Multi-objective optimization of the geometry of single-family housing to improve thermal performance. *Ambiente Construído*, 21(2), 41–65.
- Bichiou, Y., Krarti, M. (2011). Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3373–3382.
- Biricik, A. (2012). Konya'nın İklim Özellikleri. *Journal of Geography*(2).
- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford University Press.
- Brownlee, S., Bichiou, T. D., & Park, H. (2011). A comparative study of optimization techniques in building performance simulation. *Journal of Building Performance Simulation*, 4(3), 193–207. <https://doi.org/10.1080/19401493.2010.535077>
- Cache, B. (2014). “Proportion and Continuous Variation in Vitruvius’s De Architectura”. In *Geometrical Objects* (pp. 47-58). Springer, Cham.
- Caetano, I., Santos, L., Leitão, A., (2020), “Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design, *Frontiers of Architectural Research*” Volume 9
- Caldas, L. G., Norford, L. K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in Construction*, 11(2), 173–184. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00096-0)
- Caldas, L. (2008). GENE_ARCH: An evolution-based generative design system for sustainable architecture. *Automation in Construction*, 17(7), 849–859. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.03.009>
- Caldera, M. (2008). A methodological approach to predicting building energy efficiency from design parameters. *Sustainable Architecture and Engineering Journal*, 19(4), 255–269.

Canan, F. (2008). Enerji Etkin Tasarımda Parametrelerin Denetlenmesi İçin Bir Model Denemesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Canbay Türkyılmaz, Ç., Polatoğlu, Ç. (2012) “Erken Tasarım Evresinde Bilginin Dönüşümü Üzerine Bir Model Önerisi; Yıldız Teknik Üniversitesi Mimari Tasarım 3 Stüdyosunda Bir Deneme”, Megaron, cilt: 7, sayı: 2, 103-115

Chantrelle, X., Lahmidi, P., Keilholz, B., El Gharbi, B., & Andersen, T. (2011). Development of a multicriteria tool for optimizing environmental quality of buildings. *Applied Energy*, 88(4), 1386–1394. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.001>

Chartered Institution of Building Services Engineers. (2021). *Guide F: Energy efficiency in buildings* (4th ed.). CIBSE.

Ciardiello, A., Rosso, F., Dell’Olmo, J., Ciancio, V., Ferrero, M., & Salata, F. (2020). Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design. *Applied Energy*, 280, 115981. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115981>

Coley, D. A., Penman, T. M., & Hutcheon, R. A. (2002). Reducing annual energy consumption in buildings using genetic algorithms. *Energy and Buildings*, 34(2), 263–271. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00116-3)

Conceição, E. (2008). Validation of energy simulation models through measurement data. *Applied Energy*, 85(7), 563–575. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.01.005>

Corgnati, M. (2008). Building energy consumption prediction using simulation software. *Energy and Buildings*, 40(5), 905–916.

Çağdaş, G. (2004). Enformasyon Teknolojilerindeki Evrimsel Sürecin Mimari Tasarım Eğitimine Yansımaları, Stüdyo, Tasarım Kuram Eleştiri Dergisi, 2, Güz, 04-05.

Çağdaş, G. (2002). Mimarlıkta Bilişim ve Eğitimi. Yapı (Mimarlıkta Bilişim eki) 252, 3-8.

Çakmanus, İ.ve Böke, A.(2001). “Binaların Güneş Enerjisi İle Pasif Isıtılması ve Soğutulması”, Yapı Dergisi 235. Sayı, S. 83-88, İstanbul.

Çınar, A.C. (2016). Ağaç-Tohum Algoritması İçin Cuda Tabanlı Bir Paralel Programlama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, 51-55.

Ç. Canbay Türkyılmaz and Ç. Polatoğlu. 2012. A Model Proposal on the Transformation of Information in the Early Design Phase: A Trial in Yıldız Technical University Architectural Design Studio 3. Megaron, 7(2), 103–115.

Dalkılıç G., Türkmen F. (2002). Karınca Kolonisi Optimizasyonu, (Ed: Sevilgen, F. E., ve Sadıkoğlu, H.), YPBS2002 – Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu, Ekim.

Dede, O. M., & Şekeroğlu, A. (2020). Türkiye’de Kent Planlamada Mekansal Standartlar Üzerine Bir Değerlendirme. *Humanities Sciences*, 15(3), 96-110.

Delgarm, N., Sajadi, B., Kowsary, F., Delgarm, S. (2016). Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm

Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 37.

Dubois, M.-C., Blomsterberg, Å. (2011). *Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. Energy and Buildings*, 43(10), 2572–2582.

Ecofys. (2018). *Building sector energy efficiency technology atlas: Energy efficiency project in public buildings in Turkey*.

Eastman, C. M. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, 63(3), 46–50.

Elghandour, A., Saleh, A., Aboeineen, O., & Elmokadem, A. (2019). Using parametric design to optimize building's façade skin to improve indoor daylighting performance. In *3rd IBPSA-England Conference BSO 2016*, Great North Museum, Newcastle.

EN 15241 (European Standard). 2007. Ventilation for buildings—Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in buildings. Brussels, Belgium: EN.

EN 15242 (European Standard). 2007. Ventilation for buildings—Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration. Brussels, Belgium: EN.

EN 15243 (European Standard). 2007. Ventilation for buildings—Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems. Brussels, Belgium: EN.

EN 15193 (European Standard). 2007. Energy performance of buildings—Energy requirements for lighting. Brussels, Belgium: EN.

EN 15316-3 (European Standard). 2007. Energy performance of buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Space distribution systems (DHW, heating and cooling). Brussels, Belgium: EN.

EN 15316-4 (European Standard). 2007. Energy performance of buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Space heating and DHW generation systems, combustion systems (boilers, biomass). Brussels, Belgium: EN.

EN ISO 52016-1 (International Organization for Standardization). 2017. Energy performance of buildings—Energy needs for heating and cooling, internal temperatures

and sensible and latent heat loads—Part 1: Calculation procedures. Geneva, Switzerland: EN-ISO.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2016). *Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı ile proje geliştirme süreci: Uygulama kılavuzu*. Ankara: ETKB.

Ercan, B., & Özkan, E. (2015). Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components. *Design Studies*, 38, 33–53. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.01.002>

Ercan, B. (2014). Performans odaklı tasarımda parametrik araçların kullanımı üzerine bir uygulama. In *Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu* (MSDS), İzmir.

Erlich, O. T., & Lorenz, D. H. (2020). Optimal software architecture from initial requirements: An end-to-end approach. *arXiv preprint*. arXiv:2012.15533. <https://arxiv.org/abs/2012.15533>

European Commission. (2023). *Climate strategies & targets*. Retrieved April 6, 2023, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets_en

Eruslu, E. (2022). Energy efficiency and insulation. *Isı, Ses ve Su Yalıtımı Dergisi*, 153, 8–9.

Fang, Y. (2017). *Optimization of daylighting and energy performance using parametric design, simulation modeling, and genetic algorithms* (Doctoral dissertation). North Carolina State University, Chapel Hill.

Fang, X. (2017). Advances in computational design and optimization for building performance simulation. *Automation in Construction*, 83, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.016>

Florides, P. (2002). Economic analysis of energy efficiency improvement measures in buildings. *Energy Economics*, 24(3), 231–250. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(01\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(01)00104-2)

Fumo, N. (2009). Cost-benefit analysis of energy efficiency strategies in buildings. *Energy and Buildings*, 41(10), 1125–1135. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.06.003>

Galletly, B. (1998). Genetic algorithms in design optimization: An overview. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM)*, 12(4), 273–284. <https://doi.org/10.1017/S0890060498124064>

Garassini S. (2000). Between Nature and Artifice. *Domus*, Domus M. December 2007, 2,192-195. Erişim adresi: http://www.flong.com/texts/press/domus_2007

Gerçek, M., Durmuş Arsan, Z. (2019). Energy and environmental performance based decision support process for early design stages of residential buildings under climate

change. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101–116.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101516>

GEPA ,(2025). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, <https://gepa.enerji.gov.tr/> . [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2025].

Gerçek, M., Durmuş Arsan, Z. (2016). Energy and environmental performance-based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101546.

Gillespie, T. (2013). The relevance of algorithms. In T. Gillespie, P. J. Boczkowski, & K. A. Foot (Eds.), *Media technologies: Essays on communication, materiality, and society* (pp. 167–194). MIT Press.

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.

Gupta, N., Tiwari, G. N. (2016). Review of passive heating/cooling systems of buildings. *Energy Science & Engineering*, 4(5), 305–333.
<https://doi.org/10.1002/ese3.129>

Gümüşburun Ayalp, G., & Öcal, M. E. (2016). Türk inşaat sektöründe mimari tasarım süreci hataları ve nedenleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 1-8.

Hassan, A., Liu, X., Zhang, W., & Chen, Y. (2022). Integrating early-stage design decisions with energy-efficient design principles: A review. *Sustainability*, 14(10), 7031. <https://doi.org/10.3390/su14107031>

He, Q., Ng, S. T., Hossain, M. U., & Augenbroe, G. L. (2020). A data-driven approach for sustainable building retrofit—A case study of different climate zones in China. *Sustainability*, 12, 4726. <https://doi.org/10.3390/su12114726>

Heo, Y., Lee, J., & Augenbroe, G. L. (2011). Calibration of normative energy models for the evaluation of energy efficiency measures. *Building Simulation*, 4(2), 135–144.
<https://doi.org/10.1007/s12273-011-0044-1>

Hirt,S.,(2014), “The Devil is in the Definitions: Contrasting American and German Approaches to Zoning”, *Journal of the American Plannig Association*, Autumn 2007;73,4;ABI/INFORM Global.

Erişim:http://www.archive.spia.vt.edu/SPIA/docs/shirt/The_Devil_is_in_the_Definitions.pdf

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press.

Horikoshi, K., Ooka, R., Lim, J. (2012). Building Shape Optimization for Sustainable Building Design-part (1) investigation into the relationship among building shape, zoning plans, and building energy consumption. In *Proc. ASIM Conf.*

Humppi, H., & Österlund, T. (2016). Algorithm-aided BIM. In *eCAADe 34 – BIM Concepts* (pp. 601–609).

Humppi, M. (2015). *Algorithm-aided design and its applications in architecture* (MSc thesis). Aalto University, Finland.

Imrie, R., & Street, E. (2011). *Architectural design and regulation*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444347464>

International Energy Agency. (2023). *Buildings – Tracking clean energy progress*. <https://www.iea.org/reports/buildings>

İnanıcı, M. N., 1996, Türkiye'nin iklim koşulları farklı beş ilinde pasif güneş ısıtmalı bina elemanlarının ısısal performans açısından optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 13789:2017 – Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method*. ISO.

İşbitiren, İ. (2021). Mimarlıkta hesaplamalı tasarım ve üretim yaklaşımları: Pavyonlar üzerine inceleme. *Tasarım Enformatiği*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5041353>

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.

Karabaş, S. K. (2015). Hesaplamalı tasarım yaklaşımının bilgisayar destekli tasarım eğitimine etkisi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi (Journal of Research in Education and Teaching)*, 4(3), Makale No: 03.

Karaboğa, D. (2004). *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.

Karaboğa, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization* (Technical Report TR06). Kayseri: Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.

Karaboğa, D., & Akay, B. B. (2007). Artificial Bee Colony Algorithm on training artificial neural networks. In *Signal Processing and Communications Applications. SIU 2007, IEEE 15th* (pp. 1–4). doi:10.1109/SIU.2007.4298679

Karaboğa, D., & Akay, B. B. (2008). On the performance of Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*, 8, 687–697.

- Karaboğa, D., & Akay, B. B. (2010). *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*, Yüksek lisans dersi (yayınlanmamış ders notları). Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- Karaboga, D., & Akay, B. (2012). Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(4), 1001–1014.
- Katal, A., Mortezaazadeh, M., & Wang, L. (2019) Modeling Building Resilience Against Extreme Weather by Integrated CityFFD and CityBEM Simulations. *Applied Energy*, 250, 1402-1417. doi:10.1016/j.apenergy.2019.04.192
- Keskin, T. (2008). *Comparison of measurement-based data with building energy simulation results* (Master's thesis). Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Istanbul.
- Kıran, M. S. (2015). TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 42(19), 6686–6698.
- Koçak, M. C. (2019). *An algorithm-aided design approach for using daylight in early phases of architectural design* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocabay, S., & Alaçam, S. (2017). A multi-objective genetic algorithm framework for earlier phases of architectural design. In *Proceedings of the 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)* (pp. 293–303).
- Koçak, M. C. (2019). *An algorithm aided design approach for using daylight in early phases of architectural design* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçlar Oral, G., Manioğlu, G., 2010: Bina Cephelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı, 5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu Bildirileri, İzmir, 31- 32.
- Kolarevic, B. (2000). Digital morphogenesis and computational architectures. In J. R. Kos & A. P. (Eds.)
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacture*. London: Spon Press.
- Koutamanis, A. (2005). Digital design media: A review of theories and techniques. *Design Studies*, 26(3), 287–307. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.09.001>
- Koyun, T., Koç, E., & Akçay, İ. H. (2024). *Heat Loss Optimization of a Building with Different Window to Wall Area Ratios*. *Journal of Testing and Evaluation*.
- Labib, M. (2015). *Optimization of complex roof structures using genetic algorithms in daylighting performance analysis* (MSc thesis). University of Nottingham, UK.

- Laouadi, A., Reinhart, C. F., & Bourgeois, D. (2008). Efficient calculation of daylight coefficients for rooms with dissimilar complex fenestration systems. *Journal of Building Performance Simulation*, 1(1), 3–15.
<https://doi.org/10.1080/19401490701868299>
- Lawson, B. (1997). *How designers think: The design process demystified* (3rd ed.). Oxford, UK: Architectural Press.
- Lechner, N. (2015). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects* (4. baskı). John Wiley & Sons.
- Lee, J., Augenbroe, G., Heo, Y., & Claridge, C. A. (2013). An overview of the role of normative energy calculations in building performance assessment. *Energy and Buildings*, 61, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.005>
- Lee, J., Heo, Y., & Augenbroe, G. L. (2011). Development of an energy performance calculation methodology based on European standards. In *Proceedings of the 12th International IBPSA Conference* (pp. 1723–1730). Sydney, Australia.
- Li, T., Shao, G., Zuo, W., Huang, S. (2017). Genetic algorithm for building optimization: State-of-the-art survey, *Proceedings of the 9th International Conference on Machine Learning and Computing*. <https://doi.org/10.1145/3055635.3056591>
- Li, Z., Dai, J., Chen, H., & Lin, B. (2019). An ANN-based Fast Building Energy Consumption Prediction Method for Complex Architectural from at the Early Design Stage. *Build Simul*, 12, 665-681. doi: 10.1007/s12273-019-0538-0
- Li, X., Han, Z., Sun, J., Wang, M., Liu, G., (2022) , “An interactive multi-criteria decision-making method for building performance design”, *Energy and Buildings*, 282.
- Li, C., Chen, Y. (2024). Modeling and optimization method for building energy performance in the design stage. *Journal of Building Engineering*, 109019.
- Li, S., Liu, L., & Peng, C. (2020). A review of performance-oriented architectural design and optimization in the context of sustainability: Dividends and challenges. *Sustainability*, 12(4), 1427. <https://doi.org/10.3390/su12041427>
- Lin, Y., & Yang, W. (2018). Application of multi-objective genetic algorithm based simulation for cost-effective building energy efficiency design and thermal comfort improvement. *Applied Energy*, 293, 303.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.108>
- Lin, B., Wang, C., Lu, S., Chen, H. (2021). *Supporting early-stage design decisions with building performance optimisation: Findings from a design experiment*. *Building and Environment*, 197, Article 107796.

- Liu, S., Li, X., Zhao, L., Meng, X., Fang, Y., 2022, “An integrated building energy performance evaluation method: From parametric modeling to GA-NN based energy consumption prediction modeling”, [Journal of Building Engineering](#), 45.
- Lu, Y., Wu, W. Geng, X., Liu, Y., Zheng, H., Hou, M., (2022). “Multi-Objective Optimization of Building Environmental Performance: An Integrated Parametric Design Method Based on Machine Learning Approaches”. *Energies*, 15, 7031.
- Lynn, G. (1999). *Animate form*. Princeton Architectural Press.
- Machairas, V., Tsangrassoulis, A., & Axarli, K. (2014). Algorithms for building energy optimization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.rser>
- Mangan, S. D., Koçlar Oral, G. (2013). *Energy-efficient improving of a residential building in different climate zones of Turkey*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
- Manni, R. (2022). Challenges and limitations of genetic algorithm applications in architectural optimization. *Journal of Computational Design*, 10(1), 25–39.
- March, L., Steadman, P. (1971). *The geometry of environment: An introduction to spatial organization in design*. MIT Press, Cambridge, MA.
- MathWorks. (2025). *Genetic algorithm*. In *What is a Genetic Algorithm?*. The MathWorks. <https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html>
- Mendilcioğlu, R. F. (2017). The effect of parametric design method on natural lighting in sustainable interior spaces (Proficiency in Art Thesis). Hacettepe University, Ankara.
- Menges, A., Ahlquist, S., 2011, Computational Design Thinking: Computation Design Thinking, 978-0-470-66570-1
- MGM. (2023). *Türkiye kış mevsim ortalama sıcaklık verileri* [İstatistik raporu].
- MGM. (2024). *Bölgesel düşük sıcaklık verileri* [Hava durumu istatistikleri].
- Mitchell, W. J. (1977). *Computer-aided architectural design*. Van Nostrand Reinhold.
- Morbitzer, L., Strachan, M., Webster, J., Spires, P., & Cafferty, J. (2001). Integration of building simulation into the design process of an architectural practice. In *Proceedings of the 7th International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, 697–704.
- Mutlu Avinç, G., (2016) “Hesaplamalı Tasarım Süreci Üzerine Bir Araştırma” , Yüksek Lisans Tezi ,*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, ,s 190.
- Natanian, J., Aleksandrowicz, O., & Auer, T. (2019). A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts. *Applied Energy*, 254.

- Negendahl, K., Nielsen, T. R. (2015). Building energy optimization in the early design stages: A simplified method. *Energy and Buildings*, 105, 88–89.
- Newman, P., Thornley, A. (1996). *Urban planning in Europe: International competition, national systems, and planning projects*. Routledge.
- Nguyen, A. T., Reiter, S., Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, 113, 1043–1058. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061>
- Nicol, F., Humphreys, M., Roaf, S. (2012). *Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice*. Routledge, Abingdon. <https://doi.org/10.4324/9780203123010>
- Nocera, F., Besbas, Soumaya., 2023 ,Zemmouri. N., Khadraoui, M., 2022, “Parametric-Based Multi-Objective Optimization Workflow: Daylight and Energy Performance Study of Hospital Building in Algeria”, *Sustainability*, 14(19), 1-20.
- OECD/IEA. (2017). *Ministry of Energy and Natural Resources*. International Energy Agency.
- Ofluoğlu, S. (2015). Performansa dayalı mimari tasarım, *Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu*, 104-118.
- Oke TR, Mills G, Christen A, Voogt JA. References. In: *Urban Climates*. Cambridge University Press; 2017:486-509.
- Olgyay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Onan, A. (2013). Metasezgisel yöntemler ve uygulama alanları. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2), 113–128.
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265.
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking, *Design Studies*, 52, 4-39. ISSN 0142-694X, <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>.
- Özdemir, B. B. (2005). Sürdürülebilir çevre için binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J., Garmendia, L. (2012). Energy efficient design of residential buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 393–408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.034>

- Papadopoulos, A. M. (2008). Energy consumption prediction and optimization in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), 1432–1447. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.002>
- Papamichael, K., & Protzen, J. M. (1993). The limits of artificial intelligence in design. *Automation in Construction*, 2(2), 193–204. [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(93\)90006-J](https://doi.org/10.1016/0926-5805(93)90006-J)
- Peeters, L., Van der Veken, J., Hens, H., Helsen, L., D'haeseleer, W. (2008). Control of heating systems in residential buildings: Current practice. *Energy and Buildings*, 40(8), 1446–1455. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.016>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Peri, G., Rizzo, G. (2012). The overall classification of residential buildings: Possible role of the tourist EU Ecolabel award scheme. *Building and Environment*, 56, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.019>
- Peters, B. (Ed.). (2013). *Computation Works: The building of algorithmic thought* (Architectural Design, Vol. 83, No. 2). John Wiley & Sons.
- Philip, B., Williamson, S., Woodbury, R. (2006) Parametric Modelling as a Design Representation in Architecture: A Process Account. Toronto: Canadian Design Engineering Network Conference, July 2006.
- Rahimifar, S., Tarkashvand, A., & Sanaieian, H. (2023). Investigating the effect of building volume porosity on energy consumption of high-rise residential complexes in Tehran. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 33(2)
- Rosenlund, H. (2000). *Climatic design of buildings using passive techniques* (Building Issues, No. 10). Lund University Housing Development and Management.
- Russell, S., Norvig, P. (2003). *Artificial intelligence: A modern approach* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Sakiyama, R.M., Carlo, N.C., Mazzaferro, J., Garrecht, L.H., 2021, “Building Optimization through a Parametric Design Platform: Using Sensitivity Analysis to Improve a Radial-Based Algorithm Performance”, *Sustainability*, 13(10).
- Sartori, I., Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- Sayın, S., (2006). Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Sayın, S., (2014). Performans Tabanlı Bina Tasarımı için Bir Model Önerisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Settles, M. (2005). *An introduction to particle swarm optimization*. University of Idaho, Computer Science Department.
- Schwenck, M., Sarıyıldız, S. (2005). An integrated software environment for the architectural design process. Delft University of Technology.
- Shapi, M., Yusof, H., Ahmad, N. (2021). Forecasting energy consumption using machine learning techniques: A case study in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135.
- Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, K., Kao, K., Steinberg, M. (2004). *Digital design and manufacturing: CAD/CAM applications in architecture*. John Wiley & Sons. <https://www.acsa-arch.org+2ftp.idu.ac.id+2bintian.files.wordpress.com+2>
- Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, 14(2), 253–264.
- Sjögren, J. (2007). Estimating building energy performance based solely on project specifications. *Building Simulation Journal*, 14(2), 87–102.
- Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial*. MIT Press.
- Simmons, S., Heo, Y., Augenbroe, G. (2015). The impact of climate data uncertainty on building energy performance simulations. *Building and Environment*, 93, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.008>
- Simmons, S. (2012). *Energy use intensity (EUI) as a key performance metric in building energy modeling* (Doctoral dissertation). Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- Sun, S. (2021). *A decision support tool for designing energy-efficient residential buildings at the early planning and design stage* (Master's thesis). The School of Engineering and Applied Science, The George Washington University, Columbia.
- SYGM (2024), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/%C4%B0klim_Nihai_Rapor_UyumuFaaliyetleri_Ek_29_06052016_iocevre.pdf
- Szalapaj, P. (2001). *CAD principles for architectural design: Analytical approaches to computational representation of architectural form*. Architectural Press.
- Şahin, A. Ş., Kılıç, B., Kılıç, U. (2011). Design and economic optimization of shell and tube heat exchangers using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Energy Conversion and Management*, 52(11), 3356–3362. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.05.005>

- Şahman, M. A., Çınar, A. C., Sarıtaş, İ., Yaşar, A. (2019). Tree-seed algorithm in solving real-life optimization problems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 675(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/675/1/012030>
- Taveres-Cachat, E., Goia, F. (2020). Co-simulation and validation of the performance of a highly flexible parametric model of an external shading system. *Building and Environment*, 182, 107111. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107111>
- Tedeschi, A., Lombardi, L. (2017). Computational design thinking: Algorithmic design strategies in architecture. *Architectural Science Review*, 60(2), 120–135. <https://doi.org/10.1080/00038628.2016.1266597>
- Terzidis, K. (2003). *Expressive form: A conceptual approach to computational design*. Taylor & Francis.
- Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080461298>
- Tuhus, A., Park, H., Kim, S. (2010). Optimizing life cycle cost of a residential building using genetic algorithm. *Building and Environment*, 45(7), 1534–1541. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.017>
- Turan, B. O. (2009). Dijital tasarım sürecinin geleneksel tasarım stüdyosuna etkileri (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Turrin, B., von Buelow, P., Stouffs, R. (2011). Design exploration of performance and parametric design. *Automation in Construction*, 20(6), 800–814. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.03.013>
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü) (2025). *Thermal insulation rules in buildings*. [Ziyaret Tarihi: Mayıs 2025].
- TSKB (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası). (2021). *European Green Deal and Circular Economy Working Group Report*.
- Uçar, A. (2009). Analysis of heating and cooling loads in different climatic regions of Turkey. *Journal of Energy Efficiency*, 22(1), 55–67.
- Ulukavak Harputlugil, G. (2009). Enerji performansı öncelikli mimari tasarım sürecinin ilk aşamasında kullanılabilecek tasarıma destek değerlendirme modeli, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ulukavak Harputlugil, G. (2014). Bina enerji performansı değerlendirme araçları: Enerji simülasyonları. *Bina Enerji Performansı Değerlendirme Araçları*, (144).
- U.S. Department of Energy. (2024). *DOE announces national definition of a zero emissions building*. <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-national-definition-zero-emissions-building> [Ziyaret Tarihi: 6 Nisan 2023].

- Uran, S., Jezernik, K. (2006, August). MATLAB Web Server and M-File application. In *12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Portorož, Slovenia (pp. 2088–2092).
- Uzun, İ. (2022). Turkey's energy outlook and energy efficiency. *Engineer and Machine*, 15–23.
- Ünal, H. (2010). Regulatory frameworks for managing urban growth: A case study on population density and housing demand
- Yan, D., Li, Z., & Liu, Y. (2022). A performance-driven generative architectural design method for office buildings integrating solar and thermal performance in the early design stage. *Energy and Buildings*, 259, Article 111856
- Yang, L., Zhao, X., Wang, X. (2015). Impact analysis of window–wall ratio on heating and cooling energy consumption of residential buildings in hot summer and cold winter zone in China. *Energy and Buildings*, 101, 25–33.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.043>
- Yannas, S. (1994). *Solar energy and housing design: Principles, objectives, guidelines* (Vol. 1). London: Architectural Association Publications.
- Yasan, A. S. (2011). *A study on the effects of building design parameters on energy expenditures* (Yüksek lisans tezi). Istanbul Technical University, Institute of Science.
- Yessios, C. (1973). *A computer-based design process for urban and regional planning* (Doctoral dissertation). The Ohio State University, Columbus, OH.
- Yıldız, Y. (2019). *The effect of parametric design approach on the architectural design process* (Master's thesis). Gazi University, Ankara.
- Yi, Y. K., Malkawi, A. M. (2009). Optimizing building form for energy performance based on hierarchical geometry relation. *Automation in Construction*, 18(6), 825–833.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.03.006>
- Zağpus Candemir, H. (2009). The influence of legal regulations on energy efficiency in buildings.
- Zarei, Y. (2012). *The challenges of parametric design in architecture today: Mapping the design practice* (Doctoral dissertation). The University of Manchester, United Kingdom.
- Zhang, Z., Augenbroe, G. (2018). Energy performance simulation and optimization using the Energy Performance Calculator (EPC). *Journal of Building Performance Simulation*, 11(3), 329–342. <https://doi.org/10.1080/19401493.2017.1359408>
- Zhang, T., Zhang, X., Wang, S. (2016). Multi-objective optimization of community center design using Grasshopper and Octopus. *Building and Environment*, 110, 55–67.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.011>

Zhang, J., Liu, N. Wang, S.,(2020). “ A parametric approach for performance optimization of residential building design in Beijing”, *Build. Simul.* 13, 223–235.

Zhang, Y., Li, Y., Song, X. (2020). Performance-based parametric optimization for energy efficiency in green residential building design. *Sustainability*, 12(6), 2514

Znouda, M., Ben-Nasrallah, H., Khalifa, A. M. K. (2007). Optimization of building design in the Mediterranean region using genetic algorithms. *Energy and Buildings*, 39(2), 148–153.

Zou, Y., Zhan, Q., Xiang, K. (2021). A comprehensive method for optimizing the design of a regular architectural space to improve building performance. *Energy Reports*, 7, 981–996. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.097>

Xue, Y., Liu, W., 2022. “A Study on Parametric Design Method for Optimization of Daylight in Commercial Building’s Atrium in Cold Regions”, *Sustainability*, 14, 7667.

Wang, S. (2021). *A decision support tool for designing energy-efficient residential buildings at the early planning and design stage* (Doctoral dissertation). The School of Engineering and Applied Science, The George Washington University, Columbia.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine*. MIT Press.

Wu, S., Zhang, N., Luo, X., Lu, W.-Z., Xiang, Y., Qiao, D., Zhang, Y. (2022). Automated layout design approach of floor tiles: Based on Building Information Modeling (BIM) via Parametric Design (PD) Platform. *Buildings*, 12(2), 250. <https://doi.org/10.3390/buildings12020250>

URL-1 <https://eksperindunyasi.wordpress.com/imar-durumu/>

URL-2

https://planning.smcgov.org/sites/planning.smcgov.org/files/SMC_Zoning_Regulations.pdf

URL-3 <https://duluthmn.gov/media/9598/rr-1.pdf>

URL-4 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kadastro>

URL-8 <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/investment-guide/the-legal-framework/planning-and-building-65514>

URL-6 <https://www.as-p.de/projekte/project/bebauungsplan-neue-stadtmitte-eschborn-82/show/>

BuildingIntegrationTypeWithPhotovoltaicModule												
3x2 table												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Building integration type with	Val1										
1	'Unventilated modules'	1										
2	'Moderately ventilated mod...	2										
3	'Strongly ventilated of force...	3										
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

BuildingSystem												
34x3 table												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Val1	Val2	Val3									
1	'Lighting'	NaN	NaN									
2	'Lighting d...	1	'No Contro...									
3	'Lighting o...	1	'No Contro...									
4	'Lighting c...	1	'No Contro...									
5	'HVAC Syst...	NaN	NaN									
6	'Heating Sy...	0.9200	NaN									
7	'Cooling Sy...	2.5000	'IPLV : 0.82...									
8	'Relative C...	1	'Refer to R...									
9	'Partial Loa...	0.9000	'Refer to R...									
10	'Partial Loa...	0.8200	'Refer to R...									
11	'Partial Loa...	0.5000	'Refer to R...									
12	'Weighting...	0.0100	'From ARI ...									
13	'Weighting...	0.4200	'From ARI ...									
14	'Weighting...	0.4500	'From ARI ...									
15	'Weighting...	0.1200	'From ARI ...									

BuildingTemperatureSetpointSchedule												
24x5 table												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Hour	WD_Tset_heat	WE_Tset_heat	WD_Tset_cool	WE_Tset_cool							
1	'0-1'	19	19	27	27							
2	'1-2'	19	19	27	27							
3	'2-3'	19	19	27	27							
4	'3-4'	19	19	27	27							
5	'4-5'	19	19	27	27							
6	'5-6'	19	19	27	27							
7	'6-7'	19	19	27	27							
8	'7-8'	19	19	27	27							
9	'8-9'	22	22	24	24							
10	'9-10'	22	22	24	24							
11	'10-11'	22	22	24	24							
12	'11-12'	22	22	24	24							
13	'12-13'	22	22	24	24							
14	'13-14'	22	22	24	24							
15	'14-15'	22	22	24	24							

DryBulbTemperature												
12x25 table												
	1 M/H	2 1	3 2	4 3	5 4	6 5	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11
1	'Jan'	-1.8065	-1.8387	-1.8935	-2.3871	-2.5484	-2.6065	-3.0968	-2.6129	-2.5194	0.2903	1.4839
2	'Feb'	0.1571	-0.3250	-0.3500	-1.0821	-1.4500	-1.4607	-1.7857	-0.6071	-0.7000	2.7500	4.2500
3	'Mar'	4.3226	4.0258	3.8903	3.0097	2.4226	2.5000	2.4839	4.8065	5.1129	8.5806	9.7097
4	'Apr'	8.9133	8.4633	8.4133	7.6033	6.9267	6.9867	7.4000	9.9000	10.4100	13.4667	15.0667
5	'May'	12.2032	11.4548	11.4935	10.0032	9.5129	9.5645	12.8935	15.0226	15.2548	18.7097	19.9677
6	'Jun'	17.3500	16.3767	15.8433	14.8067	14.5167	14.1000	17.5000	20.2333	21.1400	23.6667	25.1000
7	'Jul'	21.1903	20.1355	20.1484	18.8677	18.2387	18.2290	22.2903	24.4194	24.5290	27.5806	28.6129
8	'Aug'	21.2290	20.3839	20.1710	19.2806	18.6581	18.4581	19.1903	21.9032	22.3484	25.9097	27.3323
9	'Sep'	16.3400	15.7367	15.5800	14.7867	14.5767	14.5933	16.4400	18.5867	18.5667	21.7900	22.8700
10	'Oct'	10.9548	10.1710	10.0194	9.5194	9.0677	9.1323	8.6774	10.3226	11.6581	15.1613	16.8065
11	'Nov'	3.9167	3.5000	3.4200	2.6033	2.2200	2.2267	1.7200	3.6333	3.6267	6.9000	8.4333
12	'Dec'	-0.8290	-1.2129	-1.1774	-1.5419	-1.7677	-1.7323	-2.0161	-1.6968	-1.4871	1.2806	2.4194
13												
14												
15												

EnergySources												
3x3 table												
	1 Val1	2 Val2	3 Val3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	'Primary en...	'Natural Gas'	NaN									
2	'Primary en...	'Electricity'	NaN									
3	'Primary en...	'Electricity'	NaN									
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

Envelope						
10x13 table						
	1 Orientation	2 Ooaque1-Area[m2]	3 Ooaque2-Area[m2]	4 Window 1-Area[m2]	5 Window 1-Window1 Overhan	6 Window 1-Window1 Fin Angl
1	'S'	90	NaN	60	NaN	0
2	'SE'	NaN	NaN	NaN	NaN	0
3	'E'	138	NaN	39.2000	NaN	0
4	'NE'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
5	'N'	113	NaN	55	NaN	NaN
6	'NW'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
7	'W'	138	NaN	39.2000	NaN	NaN
8	'SW'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
9	'Roof(Hor)'	269	NaN	NaN	NaN	NaN
10	'Below grade'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
11						
12						
13						
14						
15						

[illegible][illegible][illegible]

[illegible][illegible][illegible]

WeatherData_Hourly								
876x21 table								
	1 M	2 H	3 id	4 DBT(dg C)	5 Wind Speed (m/s)	6 Hourly Global Solar Radiation	7 Hourly Global Solar Radiation	8 Hourly Global Solar Radiation
1	'Jan'		1 'Jan1'	0	70	0	0	0
2	'Jan'		2 'Jan2'	0	70	0	0	0
3	'Jan'		3 'Jan3'	0	76	0	0	0
4	'Jan'		4 'Jan4'	0	70	0	0	0
5	'Jan'		5 'Jan5'	0	77	0	0	0
6	'Jan'		6 'Jan6'	0	82	0	0	0
7	'Jan'		7 'Jan7'	0	84	0	0	0
8	'Jan'		8 'Jan8'	0	70	0	0	0
9	'Jan'		9 'Jan9'	102	76	411.3467	331.7561	78.2462
10	'Jan'		10 'Jan10'	221	64	560.3819	386.2233	64.7683
11	'Jan'		11 'Jan11'	311	64	566.9683	322.1728	86.2978
12	'Jan'		12 'Jan12'	378	65	539.2371	236.3099	110.8055
13	'Jan'		13 'Jan13'	389	43	444.6771	138.5659	120.4938
14	'Jan'		14 'Jan14'	345	45	313.3213	115.7970	114.6520
15	'Jan'		15 'Jan15'	274	45	190.5303	93.4785	93.4785

WindSpeed												
12x25 table												
	1 M/H	2 1	3 2	4 3	5 4	6 5	7 6	8 7	9 8	10 9	11 10	12 11
1	'Jan'	3.4032	3.4645	3.5161	2.9710	3.0516	3.0516	3.1774	3.2935	3.0581	3.4484	4.2968
2	'Feb'	2.4429	2.2143	2.2036	2.4500	2.5107	2.5429	2.0679	1.9071	1.8143	3.0964	3.6214
3	'Mar'	3.7194	3.4710	3.4581	3.0548	2.8226	2.8065	2.5323	3.0129	3.0677	4.0032	4.2065
4	'Apr'	4.2167	3.6367	3.6567	3.3867	3.4367	3.4900	2.9333	3.3433	3.3000	4.2433	4.8300
5	'May'	3.3903	3.1000	3.1484	2.8613	2.9419	2.9226	2.9129	3.1387	3.2387	3.6548	4.0355
6	'Jun'	3.4033	3.2233	3.0733	2.8900	2.7433	2.7667	3.1100	3.5600	3.7800	3.6200	3.8100
7	'Jul'	4.3677	4.3355	4.3774	4.3032	3.5677	3.5677	4.2419	4.4742	4.5065	4.6032	4.2903
8	'Aug'	4.1581	4.2710	4.2581	4.0161	4.0710	3.9484	3.9484	4.3903	4.3194	4.2774	4.2710
9	'Sep'	3.9967	3.8467	3.8633	3.3267	3.5867	3.6200	3.1800	3.7567	3.7800	4.2633	4.2967
10	'Oct'	2.5839	2.5645	2.6000	2.2645	2.4226	2.6903	2.5613	2.3355	2.2000	2.8355	3.2032
11	'Nov'	2.2200	2.0333	2.0233	1.8233	2.0267	1.9967	1.6200	1.6367	1.7533	2.5633	2.8167
12	'Dec'	2.0290	2.0000	2.0452	2.0613	2.1871	2.1903	2.3419	2.0774	2.1097	2.3290	2.7774
13												
14												
15												

Zone1Schedule

24x7 table

	1 Hour	2 Occ_WD	3 Occ_WE	4 Equi_WD	5 Equi_WE	6 Light_WD	7 Light_WE	8	9	10	11	12
1	'0-1'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
2	'1-2'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
3	'2-3'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
4	'3-4'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
5	'4-5'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
6	'5-6'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
7	'6-7'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
8	'7-8'	0	0	0.0500	0.0500	0.1000	0.1000					
9	'8-9'	1	1	1	1	1	1					
10	'9-10'	1	1	1	1	1	1					
11	'10-11'	1	1	1	1	1	1					
12	'11-12'	1	1	1	1	1	1					
13	'12-13'	1	1	1	1	1	1					
14	'13-14'	1	1	1	1	1	1					
15	'14-15'	1	1	1	1	1	1					

