

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME
DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Akif AYDIN

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

ARALIK 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME
DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE
OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Akif AYDIN
(502171511)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL

ARALIK 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502171511 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Akif AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Alpin Köknel Yener**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....
Prof. Dr. Mustafa Özgünler
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019
Savunma Tarihi : 11 Aralık 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Enerji sorunlarının önemli bir gündem oluşturduğu günümüz dünyasında, toplam enerji tüketimlerinde önemli bir pay sahibi olan konut binalarının ve yerleşme alanlarının, tasarım aşamasında, enerji etkin tasarım yaklaşımının uygulanmasıyla, harcadıkları enerji miktarının büyük oranda azaltılması mümkündür. Enerji konularının, tasarım sürecine entegrasyonunda önemli katkılar sunan BIM kavramı, enerji etkin tasarımın, tüm tasarımcılar tarafından benimsenmesi ve uygulanmasını kolaylaştırarak, binalarda enerji harcamalarının azaltılabilmesi için fırsat oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen yerleşme dokusu tasarım parametreleri için en uygun değerlerin BIM aracılığı ile belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının tüm aşamalarında ve diğer akademik çalışmalarımızda engin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, sabrını ve desteğini asla esirgemeyen, değerli hocam Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL'a ve hayatım boyunca beni her konuda destekleyen aileme teşekkür ederim.

İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından Yüksek Lisans Tez Projesi olarak desteklenmiştir (Proje Kodu: MYL-2018-41911).

Kasım 2019

Mehmet Akif AYDIN
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Yöntem.....	4
1.4 Hipotez	5
2. YERLEŞMELERDE ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINDA ETKİLİ OLAN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİ.....	7
2.1 İklimsel Konfor Koşullarına İlişkin Parametreler	7
2.1.1 Kullanıcıya ilişkin parametreler.....	8
2.1.2 İç iklimsel parametreler	9
2.2 Dış Çevreye İlişkin Parametreler	10
2.2.1 Dış hava sıcaklığı	11
2.2.2 Güneş ışınlamı	11
2.2.3 Dış hava nemi.....	13
2.2.4 Rüzgar	13
2.3 Yapma Çevreye İlişkin Parametreler	14
2.3.1 Yerleşme ölçeği.....	14
2.3.1.1 Yer.....	14
2.3.1.2 Binaların birbirine göre konumu, bina aralıkları.....	16
2.3.2 Bina ölçeği	17
2.3.2.1 Bina formu	17
2.3.2.2 Yönlendiriliş durumu	18
2.3.2.3 Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri	18
3. ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINA YÖNELİK TASARIMDA BIM KULLANIMI	23
3.1 BIM kavramı	23
3.1.1 BIM'in tarihçesi	26
3.1.2 BIM'in düzeyleri.....	28
3.1.3 BIM tabanlı yazılımlar	30
3.2 Günümüzde BIM kullanımı	31
3.2.1 BIM kullanımının faydaları	34
3.2.2 BIM kullanımının zorlukları	36
3.2.3 Dünya'da BIM ile ilgili standartlar	38

3.3 Enerji Harcamalarının Azaltılmasına Yönelik Tasarımda BIM kullanımı.....	39
3.3.1 Bina enerji modeli (BEM).....	40
3.3.2 BIM ile enerji analizi.....	41
3.3.2.1 Avantajlar	43
3.3.2.2 Dezavantajlar	44
4. ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA.....	47
4.1 Yerleşme Dokusu ve Referans Bina İçin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi.....	47
4.1.1 İklim ve dış çevreye ilişkin tasarım parametreleri	47
4.1.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri	48
4.1.3 Yerleşme ve binaya ilişkin tasarım parametreleri	48
4.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri	53
4.2 Yerleşme Dokusu Alternatiflerinin Geliştirilmesi.....	53
4.3 Geliştirilen Alternatiflerde Referans Bina İçin Enerji Harcamalarının Hesaplanması.....	54
4.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	54
4.4.1 En düşük enerji harcamalarına sahip alternatiflerin belirlenmesi	70
4.5 Yerleşme Dokusu Tasarım Parametrelerine Göre Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	129

KISALTMALAR

BEM	: Building Energy Model
BIM	: Building Information Modeling
BSI	: British Standards Institute
CAD	: Computer Aided Design
GBS	: Green Building Studio
gbXML	: Green Building Extensible Markup Language
GSA	: General Services Administration
HVAC	: Heating, Ventilating, Air-conditioning
IFC	: Industry Foundation Classes
ISO	: International Organization for Standardization
NBIMS	: National BIM Standard
NBS	: National Building Specification
NIBS	: National Institute for Building Sciences
PAS	: Publicly Available Specifications
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: United Kingdom
USA	: United States of America
YBM	: Yapı Bilgi Modelleme



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı fiziksel aktivitelerin metabolizma düzeyleri (ASHRAE 55, 2017).	8
Çizelge 2.2 : Giysi ısı yalıtım dirençleri (ASHRAE 55, 2017)	9
Çizelge 2.3 : Farklı iklim bölgeleri için uygun formlar.....	17
Çizelge 4.1 : Yerleşme dokusu alternatiflerinde, biçim faktörü (BF), H/W oranları ve sokak genişlikleri	49
Çizelge 4.2 : Referans binalar için belirlenen U değerleri ve katmanlaşma detayları (TS 825, 2013)	52
Çizelge 4.3 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	57
Çizelge 4.4 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.....	57
Çizelge 4.5 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	59
Çizelge 4.6 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.....	59
Çizelge 4.7 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	61
Çizelge 4.8 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.....	61
Çizelge 4.9 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	62
Çizelge 4.10 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	63
Çizelge 4.11 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	64
Çizelge 4.12 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	64
Çizelge 4.13 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.....	66
Çizelge 4.14 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	66
Çizelge 4.15 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.....	67
Çizelge 4.16 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	68
Çizelge 4.17 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	69

Çizelge 4.18 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.	69
Çizelge 4.19 : En iyi enerji performansı gösteren 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde biçim faktörü değerlerine göre azaltım yüzdeleri. .	72
Çizelge 4.20 : En iyi enerji performansı gösteren 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde biçim faktörü değerlerine göre azaltım yüzdeleri. .	72
Çizelge A.1 : Biçim Faktörü 1.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçları	85
Çizelge A.2 : Biçim Faktörü 2.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçları	86
Çizelge A.3 : Biçim Faktörü 3.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçlar	87
Çizelge A.4 : BF1-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	88
Çizelge A.5 : BF1-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	88
Çizelge A.6 : BF1-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	89
Çizelge A.7 : BF1-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	89
Çizelge A.8 : BF1-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	90
Çizelge A.9 : BF1-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.....	90
Çizelge A.10 : BF1-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	91
Çizelge A.11 : BF1-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	91
Çizelge A.12 : BF1-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	92
Çizelge A.13 : BF1-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	92
Çizelge A.14 : BF1-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	93
Çizelge A.15 : BF1-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	93
Çizelge A.16 : BF1-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	94
Çizelge A.17 : BF1-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	94
Çizelge A.18 : BF1-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	95
Çizelge A.19 : BF1-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	95
Çizelge A.20 : BF1-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	96
Çizelge A.21 : BF1-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	96
Çizelge A.22 : BF1-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları	97

Çizelge A.23 : BF1-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	97
Çizelge A.24 : BF2-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	98
Çizelge A.25 : BF2-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	98
Çizelge A.26 : BF2-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	99
Çizelge A.27 : BF2-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	99
Çizelge A.28 : BF2-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	100
Çizelge A.29 : BF2-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	100
Çizelge A.30 : BF2-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	101
Çizelge A.31 : BF2-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	101
Çizelge A.32 : BF2-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	102
Çizelge A.33 : BF2-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	102
Çizelge A.34 : BF2-5-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	103
Çizelge A.35 : BF2-5-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	103
Çizelge A.36 : BF2-5-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	104
Çizelge A.37 : BF2-5-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	104
Çizelge A.38 : BF2-5-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	105
Çizelge A.39 : BF2-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	105
Çizelge A.40 : BF2-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	106
Çizelge A.41 : BF2-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	106
Çizelge A.42 : BF2-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	107
Çizelge A.43 : BF2-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	107
Çizelge A.44 : BF2-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	108
Çizelge A.45 : BF2-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	108
Çizelge A.46 : BF2-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	109
Çizelge A.47 : BF2-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	109

Çizelge A.48 : BF2-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	110
Çizelge A.49 : BF2-10-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	110
Çizelge A.50 : BF2-10-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	111
Çizelge A.51 : BF2-10-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	111
Çizelge A.52 : BF2-10-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	112
Çizelge A.53 : BF2-10-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	112
Çizelge A.54 : BF3-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	113
Çizelge A.55 : BF3-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	113
Çizelge A.56 : BF3-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	114
Çizelge A.57 : BF3-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	114
Çizelge A.58 : BF3-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	115
Çizelge A.59 : BF3-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.....	115
Çizelge A.60 : BF3-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.....	116
Çizelge A.61 : BF3-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.....	116
Çizelge A.62 : BF3-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.....	117
Çizelge A.63 : BF3-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.....	117
Çizelge A.64 : BF3-5-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	118
Çizelge A.65 : BF3-5-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	118
Çizelge A.66 : BF3-5-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	119
Çizelge A.67 : BF3-5-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	119
Çizelge A.68 : BF3-5-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	120
Çizelge A.69 : BF3-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	120
Çizelge A.70 : BF3-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	121
Çizelge A.71 : BF3-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	121
Çizelge A.72 : BF3-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları	122

Çizelge A.73 : BF3-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	122
Çizelge A.74 : BF3-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	123
Çizelge A.75 : BF3-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	123
Çizelge A.76 : BF3-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	124
Çizelge A.77 : BF3-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	124
Çizelge A.78 : BF3-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	125
Çizelge A.79 : BF3-10-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	125
Çizelge A.80 : BF3-10-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	126
Çizelge A.81 : BF3-10-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	126
Çizelge A.82 : BF3-10-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	127
Çizelge A.83 : BF3-10-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlmı ve enerji analiz sonuçları	127



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Köppen iklim sınıflandırması (Chen & Chen, 2013)	10
Şekil 2.2 : Türkiye iklim bölgeleri (Zeren ve diğ, 1987).....	11
Şekil 2.3 : Güneşin yaz ve kış döneminde gün boyunca izlediği yol (Sun path) için bir örnek	12
Şekil 2.4 : Kentsel alanda rüzgar hareketleri	13
Şekil 2.5 : Teorik bir arazi kesitine farklı iklim bölgeleri için yerleşmeye en uygun alanlar (Zeren.L. 1987)	15
Şekil 2.6 : Bina aralıkları ve güneş ışınlamı ilişkisi (Lamarca, 2018)	16
Şekil 2.7 : Türkiye iklim bölgeleri için optimum yönlendiriliş açıları (Zeren ve diğ, 1987).....	18
Şekil 2.8 : Saydam bileşenlerden güneş ışınlamı geçişi	20
Şekil 3.1 : BIM'in süreçleri (Url-2).....	24
Şekil 3.2 : Succar (2013)'a göre BIM olgunluk seviyeleri.....	28
Şekil 3.3 : Bew & Richards (2008) BIM düzeyleri (Url-3).....	29
Şekil 3.4 : Revit arayüzü.....	31
Şekil 3.5 : Kuzey Amerika için meslekler arası ve firma ölçeğinde göre BIM kullanım oranları (McGraw Hill, 2012)	32
Şekil 3.6 : Birleşik Krallık için BIM kullanımı ve farkındalık oranları (NBS, 2019).....	32
Şekil 3.7 : Kuzey Amerikada projelerinin %60'ından fazlasında BIM kullanan meslek grupları (McGraw Hill, 2012).....	33
Şekil 3.8 : En az üç yıl BIM tecrübesi olan kullanıcıların farklı dünya ülkelerinde oranları (McGraw Hill, 2014)	34
Şekil 3.9 : BIM'in enerji analizleri açısından avantajları (Kamel & Memari, 2019)	43
Şekil 4.1 : 3 farklı biçim faktöründe belirlenen plan tipleri ve ölçüleri	50
Şekil 4.2 : Yerleşme dokusu ve referans binanın konumlandırılması.	51
Şekil 4.3 : Yerleşme dokularında binaların yönlendiriliş durumları	51
Şekil 4.4 : Yerleşme dokusu alternatifleri kodlarının açıklanması.....	53
Şekil 4.5 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	56
Şekil 4.6 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	58
Şekil 4.7 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	60
Şekil 4.8 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	63
Şekil 4.9 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	65
Şekil 4.10 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.	68
Şekil 4.11 : En düşük enerji harcamalarına sahip alternatiflerin, ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları.....	71



ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

İnsanların temel gereksinimlerinden biri olan barınma ihtiyacının karşılanabilmesi ve gün geçtikçe yükselen yaşam standartlarıyla beraber, dünyada konut üretimi hızla artmaktadır. Hızlı yapılaşma ve plansız kenteşmeye bağlı olarak ortaya çıkan, yeni konut ve yerleşme alanları halihazırda büyük oranda fosil yakıtlara bağımlıdır ve enerji tüketim miktarlarında önemli bir pay sahibidir. Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar da düşünüldüğünde, son yıllarda sürdürülebilir çevrelerin oluşturulması ve enerji etkin tasarım yaklaşımlarının uygulanması konuları giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle enerji konularının ve çevresel sorunların çözümünde enerji kaynaklarının tüketiminde büyük bir pay sahibi olan konut ve yerleşme alanları, sürdürülebilir enerji ve enerji verimliliği açısından öncelikli olarak ele alınmalıdır. Yerleşme alanlarında enerji etkinliğin sağlanması, enerji etkin tasarım parametreleri için optimum değerlerin belirlenmesi ile mümkündür. Bu tasarım parametreleri yerleşme ölçeğinde; yer, binaların birbirine göre konumu ve bina aralıkları, bina ölçeğinde ise; bina formu, yönlendiriliş durumu, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir.

Diğer taraftan yapım sektörünün yıllardır süregelen geleneksel yöntemleri, farklı yaklaşımların benimsenmesi ve uygulanması açısından kapalı bir sistemdir ve sürdürülebilir değildir. Bunun üstesinden gelebilmek için ortaya konulan çeşitli arayışlar, son dönemlerde ortaya çıkan ve gelişimini sürdüren BIM kavramını ortaya çıkarmıştır. BIM kavramı sağladığı kolaylıklar ve yenilikler ile yapım sektöründe üst düzey koordinasyon ve entegrasyonu hedeflediği için benimsenmiştir ve uygulanmaya başlamıştır. BIM'in sağladığı önemli faydalardan bir tanesi de enerji etkin tasarım yaklaşımlarının, tasarım ve inşaa aşamalarında uygulanabilirliğini arttırmasıdır.

Bu çalışma kapsamında, konut ve yerleşme alanlarında enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan enerji etkin tasarım parametreleri, günümüzde giderek önem kazanan BIM kavramı üzerinden değerlendirilmiştir. Güncel bir BIM programı olan Revit ve eklentisi Green Building Studio aracılığıyla analizler yapılmıştır ve ortaya çıkan ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları kıyaslanarak enerji etkin tasarım parametreleri için en uygun değerlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, tez çalışması, beş bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümü, giriş kısmıdır. Problemin tanımı, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi anlatılmıştır. Binalarda, enerji sorunlarının çözümünde enerji etkin tasarım yaklaşımının önemi, enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametreleri ve BIM sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, yerleşme dokusunda enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametreleri detaylı olarak anlatılmıştır. Tasarım parametreleri, iklimsel konfor koşullarına ilişkin parametreler, dış çevreye ilişkin parametreler ve yapma çevreye ilişkin parametreler olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, BIM kavramının ortaya çıkışı ve gelişme süreci, günümüzde kullanımı, faydaları, zorlukları ve BIM tabanlı programlar incelenmiştir. BIM'in enerji harcamalarının azaltılmasına yönelik tasarıma katkıları, uygulama yöntemi ve enerji analizlerinde sağladığı avantajlar ve dezavantajlar irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde, yerleşme dokusunda enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametreleri için uygun değerler belirlenerek, yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilmiştir. Simülasyonlar için ihtiyaç duyulan iklim ve dış çevreye ilişkin parametreler, kullanıcıya ilişkin parametreler ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin kabuller tanımlanmıştır. Geliştirilen yerleşme dokularında referans binalar için enerji analizleri yapılarak ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları hesaplanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilerek tasarım parametrelerinin enerji harcamaları üzerindeki etkisi incelenmiştir ve enerji harcamaları açısından en iyi performansı gösteren parametre değerleri belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Sonuç olarak, yapılan hesaplamalar irdelendiğinde, referans binalardaki enerji harcamaları, yerleşme ölçeğinde ve bina ölçeğinde tasarım parametrelerine göre önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, enerji etkin ve sürdürülebilir yapma çevreler sağlanması için tasarım parametreleri için uygun değerlerin optimizasyonuna yönelik çalışmalar ön tasarımda aşamasında gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda tasarımcının ön tasarım aşamasında hızla gelişmekte olan BIM sistemleri aracılığıyla kolay ve hızlı yapacağı analizler, mimari tasarıma enerji etkin tasarım yaklaşımının entegre edilmesi açısından önemli bir adım atılmasını sağlamaktadır.

OPTIMIZATION OF THE SETTLEMENT TEXTURE DESIGN PARAMETERS AIMING THE DECREASE OF ENERGY CONSUMPTION THROUGH THE USE OF BIM

SUMMARY

Housing production is rapidly increasing in the world to meet the housing needs, which is one of the basic needs of the people and living standards that are increasing day by day. The new housing and settlement areas, which have emerged as a result of rapid construction and unplanned urbanization, are already largely dependent on fossil fuels and it has an important share in amounts of energy consumption. Considering the damages of fossil fuels to the environment, the creation of sustainable environments and the application of energy efficient design approaches have become increasingly important in recent years. Therefore, in order to solve energy issues and environmental problems, housing and settlement areas, which have a large share in the consumption of energy resources, should be prioritized in terms of sustainable energy and energy efficiency. Ensuring energy efficiency in settlement areas is possible by determining optimum values for energy efficient design parameters. These design parameters are; site, location of buildings relative to each other and distances between buildings. On the building scale; building form, orientation, optical and thermophysical properties of building envelope.

On the other hand, the conventional methods of the construction sector, which have been going on for years, are a closed system in terms of adopting and applying different approaches and are not sustainable. In order to overcome this situation, various searches have revealed the concept of BIM which has emerged and continues to develop recently. BIM concept has been adopted and started to be implemented since it aims at high level coordination and integration in the construction sector with the facilities and innovations it provides. One of the important benefits of BIM is that it improves the applicability of energy efficient design approaches in the design and construction phases.

Within the scope of this study, energy efficient design parameters which are effective in reducing energy consumption in settlement areas have been evaluated through the BIM concept, which is becoming increasingly important today. Analyzes were made with Revit, a up-to-date BIM program and Green Building Studio. By comparing the results of the heating and cooling energy consumptions, it is aimed to determine the most appropriate values for energy efficient design parameters. According to this objective, the thesis consists of five chapters. Introduction, Design parameters of settlement texture effective in reducing energy consumption, use of BIM in design aimed to decrease energy consumption, a study on optimization of the settlement texture design parameters that aimed to decrease energy consumptions and conclusion.

The first part of the study is the introduction. In this section, the definition of the problem, the aim, scope and method of the study are explained. The reasons for the increase in energy consumptions in housing and settlement textures, environmental

problems caused by fossil fuels are mentioned. As a result, the emergence and adoption of a sustainable energy approach was emphasized. The importance of energy efficient design approach in solving energy problems in buildings, design parameters effective in reducing energy consumptions and information about BIM systems is given.

In the second part of study, the design parameters which are effective in reducing energy consumptions in the settlement texture are explained in detail. These design parameters were examined under three main headings

- Parameters related to climatic comfort conditions
- Parameters related to external environment
- Parameters related to artificial environment.

The parameters of climatic comfort conditions are divided into two as internal climatic parameters and user-related parameters. The parameters related to the external environment are outdoor temperature, solar radiation, outdoor humidity and wind. The most important parameters in the study are the parameters related to the artificial environment. They are divided into two parts as settlement scale and building scale. The parameters on the settlement scale are site, location of buildings relative to each other and distances between buildings. The parameters in the building scale are; building form, orientation and optical and thermophysical properties of building envelope.

In the third part of the study, the emergence and development process of BIM concept, its usage, benefits, difficulties and BIM based programs are examined. Although several definitions of the concept of BIM, it can be defined as an architectural design process that provides consistent, processable, coordinated data creation in building design and application processes and effecting decision-making processes by means of parametric working feature and it can produce high quality application drawings and allows easy testing of design on building performance issues. BIM's contributions to the design approach that aimed reducing energy consumptions, the method of application and the advantages and disadvantages it provides in perform energy analysis were examined. BIM systems have the advantage of energy performance as they allow conceptual analysis, even in the early stages of design. BIM systems are quite ahead in error detection and instantaneous alternative generation because they enable data potential and ease of analysis that traditional systems cannot provide.

The fourth part of study, includes the method of the study. It is aimed to determine the appropriate values of design parameters in terms of energy efficiency by using BIM software in the settlements aiming to reduce energy consumptions. In this context, the method of study mainly comprises the following steps.

- Development of different settlement texture alternatives for the purpose of achieving energy efficiency in the settlement scale.
- Calculation of the annual energy consumptions for a selected residential building for the developed alternatives
- Comparison of calculated annual energy consumptions and determining the optimum values for energy efficient design parameters by selecting appropriate settlement texture alternatives.

The steps of the development of different settlement texture alternatives comprises the following steps:

- determination of the parameters related to climate and outdoor environment
- determination of the parameters related to users
- determination of the design parameters related to settlement texture and building

Appropriate values for design parameters that are effective in reducing energy consumptions in settlement texture were determined. Three different shape factor values were defined for the reference buildings analyzed in the settlement textures. In the reference buildings in the settlement textures, the building floor numbers were determined as five and ten. In order to see the effect of the orientation parameter on energy consumptions in the settlement textures, the settlement textures were oriented in the North-South, East-West and Northwest-Southeast directions. H/W ratio (ratio of building height to street width) is the parameter that determines the dimensional properties of the settlement textures. In the study, five different H/W ratios were determined for the settlement textures. Finally, eighty different settlement texture alternatives were developed based on all these parameters. The parameters required for the simulations, climate and external environment parameters, user parameters and active building subsystems are defined. Heating and cooling energy consumptions were calculated by using energy analysis for reference buildings in the developed settlement textures.

The effect of design parameters on energy consumptions were examined by evaluating the results. Evaluations were made by grouping alternatives with the same shape factor and number of floors. Alternatives were compared, according to the total energy consumptions. The alternative which provided the minimum total energy consumption is the appropriate alternative and compared with the alternative which provided the highest total energy consumptions. In evaluations to examine the effect of orientation, among the alternatives with the same orientation, the alternatives which provide the minimum energy consumptions, were compared with each other. In the settlement texture alternatives, the evaluations made according to the change in H / W values. On the basis of the alternative which provide the maximum total energy consumptions, the reduction values in heating, cooling and total energy consumptions of other alternatives was determined as percentage and charts were prepared with percentages of reduction values.

In the fifth and last part of the study, the results of the thesis are explained. As a result, when the calculations are examined, the energy consumptions in the reference buildings vary considerably according to the design parameters in the settlement scale and building scale. Therefore, in order to provide energy efficient and sustainable building environments, studies for optimization of appropriate values for design parameters should be carried out at the preliminary design stage.



1. GİRİŞ

Yaşamın devamlılığı için günümüzde her alanda ihtiyaç duyulan enerjinin temini, tüketimi ve sonrasında ortaya çıkan gerek ekonomik gerekse çevresel sorunlar giderek artmaktadır. Diğer taraftan dünyada halen birincil enerji kaynağı olarak çoğunlukla fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Artan nüfus ve refah seviyesi enerji ihtiyacını günden güne artırırken, yaygın şekilde kullanılan fosil yakıtlar hızla tükenmeye devam etmektedir. Ülkelerin hızla artan enerji ihtiyacı, özellikle enerji bakımından dışa bağımlı ülkelerde önemli ekonomik zorluklara yol açmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtlar çevresel etkileri bakımından değerlendirildiğinde, yarattıkları hava kirliliği, iklim değişikliği, yüksek CO2 salımları ve insan sağlığına olumsuz etkileri ile ciddi çevresel tahribata neden olabilmektedir. Bu nedenle enerji sektöründe alternatif kaynak oluşturma ve enerji verimliliğini artırma arayışları hız kazanmıştır.

Enerji sektöründe, binalar ve bina inşaatları, dünyadaki toplam enerji tüketiminin %36'lık bölümünü oluştururken, dünyadaki CO2 salımının yaklaşık %40'ından sorumludur (Url-1). Bu nedenle enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımı açısından binalar, öncelikli olarak ele alınması gereken alandır.

Hızla artan nüfusa bağlı olarak büyüyen kentlerde, gün geçtikçe yeni ve yoğun yerleşme alanları ortaya çıkmaya devam etmektedir. Yerleşme alanları kapsadıkları alan bakımından çok sayıda binayı kapsadığı için yerleşme alanları tasarlanırken alınan yanlış kararlar büyük ölçekte ve geri dönüşü zor sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji etkinliğini sağlamak için öncelikli olarak bir üst ölçeği kapsayan yerleşme dokularında doğru tasarım kararlarının verilmesi büyük önem taşımaktadır.

1.1 Amaç

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak insanın konforlu, nitelikli yerleşmelerde yaşama isteği sonucunda yapılaşma giderek artmaktadır. Ülkemizde özellikle enerji etkin yaklaşımı göz ardı edildiği hızlı yapılaşma, plansız kentleşme, doğal çevrenin giderek tahrip olmasına ve enerji kaynaklarının tükenmesine yol açmaktadır. Bu açıdan enerji

kaynaklarını etkin kullanan ve çevreye etkileri minimize eden yerleşmeler oluşturulurken, gelecek kuşakların da gereksinimlerini karşılamalarına olanak sağlamak için mimarlıkta sürdürülebilir enerji anlayışı benimsenmiştir. Sürdürülebilir enerjinin hedefi, enerji gereksiniminin doğal döngüsüne zarar vermeden doğal enerji kaynaklarının etkin kullanımını sağlamaktır. Ülkemizde enerji kaynaklarının büyük bir bölümünün konut yerleşmeleri tarafından tüketildiği bilinmektedir. Bu nedenle öncelikle olarak konut yerleşmelerinde enerji harcamalarının azaltılması gerekmektedir.

Enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen tasarıma olan eğilim, çevre sorunlarının çözümünde ortaya çıkan doğal bir sonuçtur ve enerji etkin tasarım bilincinin topluma iletilmesinde önemli rol oynar. Bu açıdan çevre ve enerji sorunlarının çözümünde, yerleşmelerde enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametreleri değerlerinin belirlenmesinde gerekli olacak teknik bilginin hazırlanarak tasarımcılara sunulması gereklidir. Söz konusu teknik bilgi çerçevesinde enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan yerleşme dokusu tasarım parametrelerine (yer, binaların birbirlerine göre konumu, bina aralıkları, yön gibi) ilişkin optimum değerlerin belirlenmesi ve tasarım sürecinde kullanılmasında uygulanan yöntemler ele alınmalıdır.

Söz konusu tasarım parametrelerine ilişkin optimum değerlerin, tasarım sürecinde tüm tasarımcılar tarafından kullanılabilmesinin; parametrik bileşenleri, otomasyon ve simülasyon özellikleri ile uyarlanabilirlik bakımından önemli avantajlar içeren BIM sistemleri aracılığıyla sağlanması günümüzde giderek önem kazanmaktadır. Enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen yaklaşımların BIM yöntemleri ile birleştirilmesi tasarım sürecinin değerlendirilmesinde büyük potansiyel yaratmaktadır. Bu bağlamda enerji harcamalarına yönelik geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerine ilişkin sonuçların model görüntüsü ile birlikte aynı yazılım içerisinde gerçek zamanlı görüntülenebilmesi, tasarıma daha kolay ve daha hızlı müdahale imkanı sunarak enerji harcamalarının azaltılmasına yönelik tasarım sürecinin gelişmesine olanak sağlayacaktır.

Bu açıdan, bu çalışmada, enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin BIM aracılığı ile optimizasyonunun yapılarak uygun yerleşme dokusunun tasarım aşamasında belirlenmesi amaçlanmaktadır. Tasarım aşamasında doğru kararların alınması yapım ve kullanım aşamasında doğru sonuçlara

ulaşılmasını olanaklı kılacağından özellikle çok sayıda kullanıcıyı etkileyen yerleşmelerin gerçekleştirilmesinde sonradan oluşabilecek hataların minimize edilmesi, yapım ekonomisi ve ülke ekonomisi açısından da son derece önem taşımaktadır.

1.2 Kapsam

Ülkemizde, artan nüfus ve kentleşme ile birlikte yerleşme dokularını oluşturan konutlarda enerji ihtiyaı hızla büyümektedir. Bu artış oranı 2000-2016 yılları arasında %2 iken 2015-2016 yılları arasında %3,7 oranına yükselmiştir. Diğer sektörlerle kıyaslandığında konut sektöründeki enerji tüketimi artışı ulaştırma sektöründeki artış oranından sonra ikincidir. Konut sektörünün tüm sektörler içerisindeki toplam enerji tüketiminde payı 2016 yılında %20’dir (YEGM, 2018).

Konut yerleşmelerinde enerji etkinliğinin sağlanması, enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi ile olanaklıdır. Bu parametrelerin hepsi birbiri ile yakından ilişkilidir ve tasarım aşamasında enerji harcamalarının azaltılması açısından bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaları gereklidir. Enerji harcamalarının azaltılmasında yerleşme tasarımında etkili olan parametreler;

- Yerleşme leğinde; yer, binaların birbirlerine göre konumu, bina aralıkları
- Bina, leğinde; bina formu, yönlendiriliş durumu ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

olarak ele alınmaktadır.

Bu tasarım parametrelerinin optimum değerleri ile oluşturulacak yerleşme dokuları enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olacak optimum yerleşme dokularını tanımlamaktadır. Bu nedenle öncelikle yerleşme dokusu tasarım parametrelerine enerji etkinliği açısından optimum değerler kazandırmak önemli olmaktadır.

Çalışma konut ve yerleşme yoğunluğunun her geçen gün arttığı İstanbul (Ilımlı nemli iklim bölgesi) için yapılmıştır. Çalışmada, yerleşme dokusu alternatiflerinin geliştirilmesi ve enerji hesaplamalarının yapılmasında günümüzde giderek gelişen Yapı Bilgi Modelleme Sistemleri (BIM) kullanılmıştır.

Geleneksel yöntemlerin eksiklikleri doğrultusunda ortaya çıkan BIM, temel anlamda entegre tasarım ve proje süreçlerini destekleyen, çeşitli avantajlar sunan bir teknoloji, metodoloji ve süreçler bütünüdür. BIM yalnızca bilgisayar destekli bir tasarım amacı değil, bilgiye dayalı bir yapım sürecidir. Nesne tabanlı bir tasarım anlayışı sunmakta ve tüm yapı elemanların gerçek görev ve davranışları ile model üzerinde yer almasına olanak sağlamaktadır. Bu durum, tüm aşamalarda projenin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. BIM, sağladığı bu entegrasyon avantajı ile enerji etkinliği konularında da önemli imkanlar sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerin aksine önemli bir veri yoğunluğunu içinde barındırmakta ve bu veriler kolayca değerlendirilerek enerji etkin iyileştirme potansiyelleri ortaya çıkarılabilmektedir. Tasarım süreci boyunca ortaya çıkan alternatifler her aşamada kolayca analiz edilebilmekte, bu sebeple optimum değerlerin sağlanması daha da kolaylaşmaktadır. Anlık müdahalelerde bile bina enerji performansını irdelemek olanaklıdır. Tüm bu olanakların yanında BIM sistemi, kullanıcıya, tasarım alternatifleri üretmekte ve sonuçları değerlendirip en doğru çözümü vermektedir. Bu durum hataların tespitini ve düzeltilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca BIM sistemleri geniş eklenti yelpazesine sahiptir ve devamlı geliştirilmektedir. Dolayısıyla BIM ile tasarım aşamasında, tasarım parametrelerine kazandırılacak farklı değerler kombinasyonları ile binanın enerji performansını değerlendirmek ve tasarım parametreleri için en uygun değerleri belirlemek olanaklıdır.

Bu açıdan çalışmada, BIM modelleri kullanılarak yerleşme ve binada enerji harcamalarının azaltılmasında BIM sistemlerinin etkinliği de araştırılacaktır. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlara bağlı olarak çalışmanın amacı doğrultusunda enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen konut yerleşmeleri tasarımında kullanılabilecek önerilerin BIM aracılığıyla geliştirilmesi ve bu önerilerin yeni tasarlanacak yerleşmelerde yol gösterici bir nitelik sağlaması beklenmektedir.

1.3 Yöntem

Bu çalışmada, öncelikle yerleşme dokusunda enerji harcamalarının azaltılması hedefine yönelik olarak farklı yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilmiştir. İstanbul ili için sıkça kullanılan üniform yerleşme dokularından hareketle farklı yerleşme dokusu alternatifleri belirlenmiştir. Yerleşme dokusu alternatiflerinde enerji harcamaları için en uygun değerlerin belirlenmesi yerleşme ölçeğinde ve bina

ölçeğinde güncel bir BIM yazılımı olan Revit aracılığıyla yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen alternatiflerde, seçilen referans bir konut binası için yıllık enerji harcamaları hesaplanmıştır. Revit programında enerji analizleri Green Building Studio sistemi üzerinden çözümlenmektedir. Sonrasında çıkan sonuçlar, grafik anlatımlarla Autodesk Insight sistemi üzerinde görülebilmektedir. Insight sayısal verilerin görselleştirilmesi dışında çeşitli alternatiflerin üretilmesi ve karşılaştırılması ile optimum enerji etkinlik düzeyinin sağlanması aşamasında kullanılmaktadır. Revit programı yapı tasarım ve uygulama süreçlerinde tutarlı, işlenebilir, koordine veri yaratan ve parametrik çalışma özelliği sayesinde karar alma süreçlerine etki eden, yüksek kalitede uygulama çizimleri üretebilen ve bina performansı konularında tasarımı kolaylıkla test etmeye olanak sağlayan bir BIM yazılımıdır. Çalışmanın son aşamasında hesaplanan yıllık enerji harcamaları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir ve uygun yerleşme dokusu alternatifleri seçilerek tasarım parametrelerine ilişkin optimum değerler belirlenmiştir. Yerleşme dokularında ele alınan referans binalar için hesaplanan yıllık enerji harcaması miktarları sayısal veriler üzerinden birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak, tasarım parametreleri içerisinde en düşük enerji harcamasını sağlayan alternatifler optimum performans gösteren yerleşme dokusunu tanımlayan optimum parametre değerleri olarak seçilmiştir.

1.4 Hipotez

Konut ve yerleşmelerde enerji harcamalarının azaltılması, öncelikle tasarım parametreleri için enerji harcamaları açısından optimum değerlerin belirlenmesi ile olanaklıdır. Tasarım parametreleri, tasarımcının kontrolünde olan ve yapma çevrenin yerleşme, bina, hacim ve eleman ölçeği gibi farklı ölçeklerde ele alınan tasarıma ilişkin parametrelerdir. Bu parametrelere ait uygun değerlere dayandırılan mimari projenin çıktıları, enerji harcamaları düşük konut ve yerleşme modelleri olmaktadır. Bu modellerin, kullanıcı sayısı çok fazla olan, çok sayıda binaya uygulanması ile ülkenin enerji giderlerinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlanabilecektir.

Konut yerleşmelerinin enerji harcamalarında büyük pay sahibi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, konut yerleşmelerinde enerji harcamalarının azaltılması ile sağlanabilecek katkı diğer sektörlerde de enerji harcamalarının azaltılması yolunda destek olacak ve dolayısıyla ülke ekonomisi açısından önemli bir tasarruf sağlanabilecektir. Bu sebeple enerji harcamalarını azaltmaya yönelik çalışmaların

öncelikle daha büyük ölçeklere karşılık gelen ve daha çok kullanıcıyı ilgilendiren yerleşme ölçeğinde yapılması önemlidir. Özellikle hızlı kentleşmenin yol açtığı sorunlar düşünüldüğünde yerleşme ölçeğinde doğru kararların alınması enerji etkinliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Yerleşme ölçeğinde enerji etkin kararların alınması bina, hacim, eleman ölçeklerinde daha küçük ölçeklerde de yapılacak enerji etkin çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır. Özellikle, ülkemiz genelinde kentsel dönüşüm projelerinin hızla devam ettiği güncel süreçte yeni yerleşmelerin enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan optimum tasarım parametre değerleri göz önünde bulundurularak tasarlanması ve yapımı ile elde edilecek katkı, ülke kaynaklarının verimli kullanımı ve karar vericiler için maksimum faydanın sağlanması açısından önemlidir.

Ayrıca çalışmada BIM sistemlerinin kullanılarak potansiyelinin değerlendirilmesi yoluyla enerji harcamalarının BIM sistemleri ile tasarım aşamasında azaltılmasına yönelik çalışmalara temel olabilecek sonuçlar elde edilebilecektir. BIM modellerinin hazırlanması ve uygulanabilirliği konusunda çalışmada geliştirilecek önerilerin BIM teknolojilerinin yerleşme ve konutlarda enerji harcamalarının azaltılarak enerji etkin konut ve yerleşme tasarımında yaygın olarak kullanılması ve mimari tasarımda daha ileri simülasyon döngülerinin kullanılarak, uygulama projesine ve yapım sürecine aktarılmasıyla sağlıklı, konforlu, enerji etkin yapma çevrelerinin gerçekleştirilmesi olanaklı olabilecektir.

2. YERLEŞMELERDE ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINDA ETKİLİ OLAN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİ

Yerleşme dokuları kapsadıkları alan bakımından binalara göre üst ölçeği tanımlamakta ve buna bağlı olarak çok sayıda binayı ve kullanıcıyı kapsamaktadır. Dolayısıyla enerji harcamalarının azaltılmasında yerleşme dokusu parametrelerinin optimizasyonu büyük önem taşımakta, enerji harcamalarının azaltılması için yerleşme ölçeğinden, bina ve malzeme ölçeğine kadar tüm tasarım kararlarının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Binalarda enerji etkin tasarımın amacı, pasif sistemleri etkin biçimde kullanarak, kullanıcılar için istenen konfor koşullarını yerine getirirken, aktif sistemlere düşen yükü minimize etmektir. Böylelikle binalarda harcanan enerji miktarı azaltılabilir. Yerleşme dokusu ölçeğinde bu amaca ulaşabilmek için ele alınması gereken parametreler üç ana başlık altında incelenebilir. Sözü edilen tasarım parametreleri; iklimsel konfor koşullarına ilişkin parametreler, dış çevreye ilişkin parametreler ve yapma çevreye ilişkin parametrelerdir. Konutlarda enerji harcamalarının önemli bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olduğundan çalışmada iklimsel konfor koşullarına ilişkin parametrelere öncelikli olarak ele alınmıştır.

2.1 İklimsel Konfor Koşullarına İlişkin Parametreler

Binalarda iklimsel konfora koşullarına ilişkin parametreler, kullanıcıların bulundukları ortamdan tatmin olma durumlarıyla ilişkilidir. Konfor durumu, insanın bulunduğu çevreye minimum düzeyde enerji harcayarak uyum sağlayabildiği ve psikolojik açıdan çevresinden memnuniyet duyduğu koşulların bütünü olarak tanımlanabilir (Berköz ve diğerleri, 1995). Ancak, kullanıcıların bulundukları ortamdan memnuniyet duyduğu durumlar kişiden kişiye farklılık gösterebileceği için konfor durumunun değerlendirilmesi öznel yargılara bağlıdır. Amerikan Tesisat Mühendisleri Derneği'nin geliştirdiği Ashrae Standartları'na göre denge rejiminde ısı konfor koşulları belirlenirken altı temel parametre kullanılır (ASHRAE 55, 2017).

1. Metabolik aktivite
2. Giysilerin ısı yalıtım direnci

3. Hava sıcaklığı
4. Işınım sıcaklığı
5. Hava hızı
6. Nem

Bu parametreler arasında metabolik aktivite ve giysilerin yalıtım direnci insanın konfor hissini etkileyen kullanıcı karakteristiğine bağlı parametrelerdir. Diğer dört parametre ise iç iklimsel bileşenler olarak tanımlanır.

2.1.1 Kullanıcıya ilişkin parametreler

Kullanıcıların mekan içerisindeki aktivite düzeyi, yapılan eylem türüne bağlı olarak ortaya çıkan metabolizma hızlarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu parametre standartta M (Met) birimiyle ifade edilmektedir. Farklı aktivite seviyelerine göre ortaya çıkan bazı metabolik aktivite düzeyleri ASHRAE standartlarında Çizelge 2.1'deki gibi kabul edilmiştir. "Met" bir bireyin metabolik aktivite sırasında birim cilt yüzey alanından kimyasal enerjiyi ısıya dönüştürme oranı olarak tanımlanabilir. Dinlenme durumunda oturan ortalama bir insanın birim cilt yüzey alanı başına üretilen enerji 58.2 W/m² (1 met) dir (ASHRAE 55, 2017).

Çizelge 2.1 : Farklı fiziksel aktivitelerin metabolizma düzeyleri (ASHRAE 55, 2017).

Aktivite	Metabolizma Düzeyi		
	Met	W/m ²	Btu/h-ft ²
Dinlenme			
Uyku	0,7	40	13
Oturmak	1,0	60	18
Yürümek			
0,9 m/s	2,0	115	37
1,8 m/s	3,8	220	70
Ofis Aktivitesi			
Oturarak okumak	1,0	55	18
Yazmak	1,0	60	18
Çeşitli Aktiviteler			
Yemek pişirme	1,6-2,0	95-115	29-37
Temizlik	2,0-3,4	115-200	37-63
Dans etmek	2,4-4,4	140-255	44-81
Araç kullanmak	1,0-2,0	60-115	18-37

Kullanıcıların çevresi ile arasındaki ısı transferi miktarını belirleyen önemli bir etken de giysi türüdür. Kullanıcının giysi türü, giysilerin ısı yalıtım dirençlerinin farklı olmasından dolayı ısı konforunda önemli bir etkiye sahiptir. Giysilerin sağladığı ısı yalıtım dirençleri “clo” birimiyle ifade edilir ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$). Giysi türlerine göre ve farklı giysilerin birleşimiyle meydana gelen clo değerleri standartlarda belirlenmiştir. Çizelge 2.2’ de bu değerlerden bazıları verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Giysi ısı yalıtım dirençleri (ASHRAE 55, 2017).

Giysi Türü	clo
Gömlek	
Uzun kollu gömlek	0,25
Kısa kollu spor gömlek	0,17
Ayakkabı	
Günlük ayakkabı	0,02
Bot	0,10
Pantolon	
Kısa şort	0,06
Uzun, kalın pantolon	0,24
Elbise, Etek	
İnce Etek	0,14
Uzun kollu ince elbise	0,33
Kalın Takım Elbise	0,44

2.1.2 İç iklimsel parametreler

İç iklimsel çevreyi oluşturan ve ısı konfor hissini etkileyen bileşenler; hava sıcaklığı, ışımsal sıcaklık, hava hızı ve havanın nemidir.

Hava sıcaklığı : Çevre havasının kuru termometre sıcaklığı, insanın çevresiyle taşınım (konveksiyon) yoluyla yaptığı ısı alışverişi miktarını belirleyen en önemli değişkendir (Lechner, 2015). İnsan ve dış çevre arasında gerçekleşen ısı alışverişi vücut yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı dengeleninceye kadar devam eder. Gerçekleşen bu ısı alışverişi kullanıcının konforlu hissedebilmesinde önemli bir etkidir (Koçlar Oral, 1998).

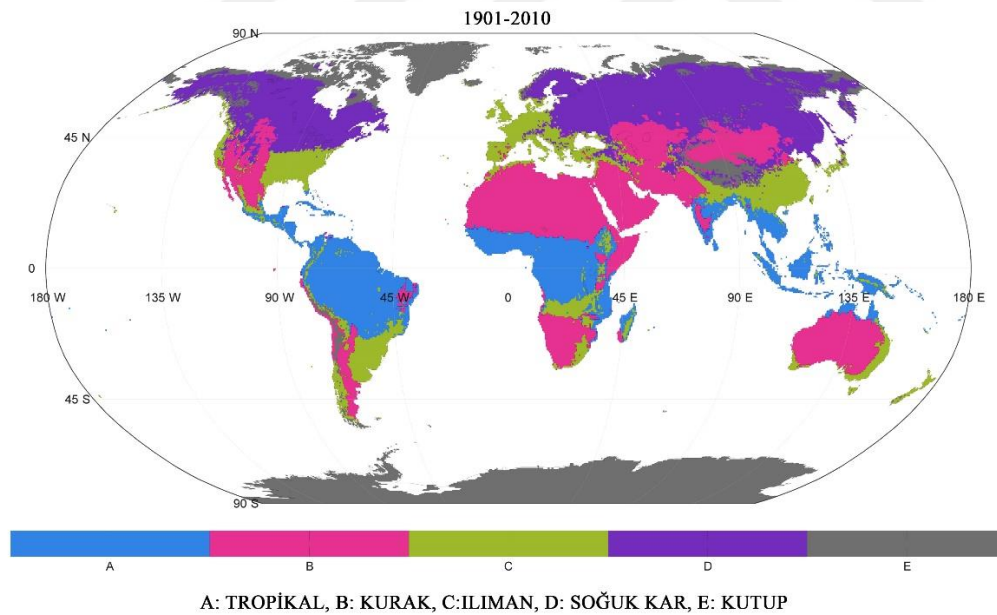
İşımsal sıcaklık : Isıl ışıma insanın çevresiyle olan ısı etkileşiminde büyük pay sahibidir. Dış mekanda güneş ışımasının etkisi fazla iken iç mekanlarda, mekanı çevreleyen yüzeylerin sıcaklıklarına bağlı olarak meydana gelen ısı ışıma önem kazanır. Bu sebeple iç mekanlardaki ısı ışıma, konfor gereksinimlerinin sağlanmasında önemli bir parametredir (Koçlar Oral, 1998).

Hava hızı : İç mekanlarda konfor koşulları üzerinde fazla etkisi olmasa da insan vücudundaki ısı kayıplarında etkili olmaktadır. Bu nedenle ikincil bir parametre olarak ele alınabilir. Yönüne bakılmaksızın, herhangi bir noktadaki hava hareketinin oranı olarak tanımlanabilir (ASHRAE 55, 2017).

Havanın nemi : İklimsel konforu etkileyen ikincil bir parametre olarak ele alınabilir. Hava ve yüzey sıcaklıklarına göre etkisinde artış ve azalış görülebilir. Vücudun ısı alışverişinde rol oynar (Koçlar Oral, 1998).

2.2 Dış Çevreye İlişkin Parametreler

İklim belirli bir çevrede, belirli periyotlarla gözlenen hava koşullarının bütünü olarak tanımlanabilir. Dünyada farklı yağış ve sıcaklık kombinasyonlarına göre birçok farklı iklim tipi belirlenmiştir. Günümüzde kullanılmaya devam eden sınıflandırmalardan bir tanesi Köppen iklim sınıflandırması olarak literatüre geçmiştir. Bu sınıflandırmada dünyadaki iklim tipleri beş ana gruba ayrılmıştır (Şekil 2.1). Bunlar; tropikal, kurak, sıcak ılıman, soğuk kar ve kutup iklimleridir (MGM, 2016).



Şekil 2.1 : Köppen iklim sınıflandırması (Chen & Chen, 2013).

Ülkemiz coğrafi konumu itibarıyla 36-42 kuzey enlemleri arasında ve ılıman iklimin yaşandığı bir kuşakta yer almaktadır. Türkiye’ de beş farklı iklimsel karakter olduğu kabul edilir (Şekil 2.2). Bu iklimsel karakterler tüm şehirlerin iklimsel verileri analiz edilerek ve iklimsel ihtiyaçları ile eşleştirilip kapsamlı bir araştırma sonucunda

belirlenmiştir. Sözü edilen iklim bölgeleri, soğuk, ılımlı-kuru, ılımlı nemli, sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklim bölgeleridir (Zeren ve diğ, 1987).



Şekil 2.2 : Türkiye iklim bölgeleri (Zeren ve diğ, 1987).

Binalarda dış çevreye ilişkin parametreler, konforu etkileyen ve enerji korunumunda etkili olan iklim elemanlarıdır. Bu iklim elemanları hava sıcaklığı, nem, rüzgar ve güneş ışıınımı gibi parametrelerdir. Mevcut dış çevreye ilişkin iklim koşullarının kontrol altına alınması binalarda ısı konforunun sağlanabilmesi ve beraberinde enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen yapma çevrelerin oluşturulmasında oldukça önemlidir.

2.2.1 Dış hava sıcaklığı

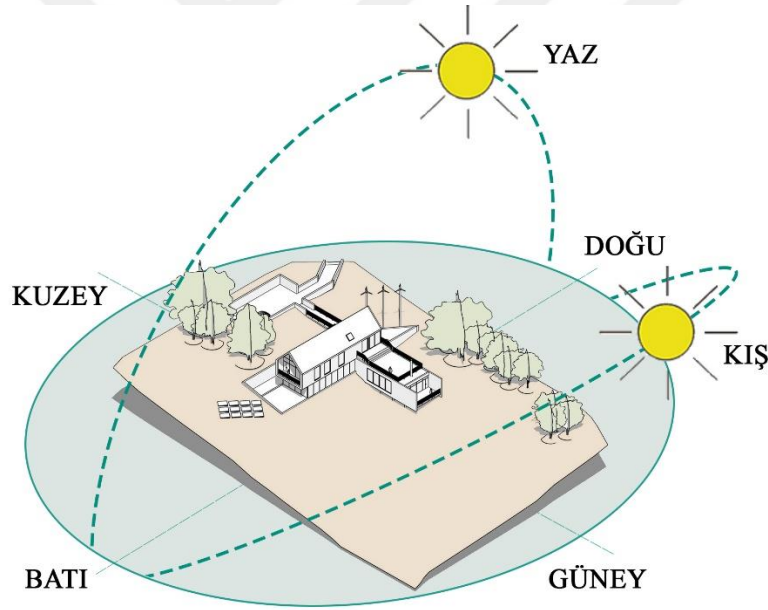
Büyük ölçüde güneş ışıının etkisine bağlı olarak değişim gösterir. Gölgede, kuru termometre sıcaklığı olarak ölçümlenen ve kaydedilen değerlerdir. Hava sıcaklığı, denize göre yüksekliğe bağlı olarak değişim gösterir. Ayrıca kentsel alanlardaki yüzey malzemesi ve bitki örtüsü sıcaklık değişimlerine sebep olur.

2.2.2 Güneş ışıınımı

Güneş, dünyamız için önemli bir sürdürülebilir enerji kaynağıdır. Güneşten dünyamıza ulaşan ışıınların ısı etkileri, hava sıcaklığı ve hava hareketleri gibi iklim elemanlarının kaynağını oluşturur. Diğer iklim elemanlarına etkileri dışında, güneş ışıının ısı etkileri enerji etkin tasarım yaklaşımında da pasif sistemlerin kurgulanmasında en önemli rolü üstlenir. Isıtma ihtiyacı olan dönemlerde güneş ışıınından en yüksek seviyede fayda sağlanırken, ısıtma istenmeyen durumlarda güneşten sakınılması enerji etkin tasarımın temel noktasını oluşturur.

Yeryüzüne etki eden güneş ışıını, doğrudan, yaygın ve yansımış bileşenlerden oluşur. Güneş ışıını yeryüzüne gelirken niceliğı ve niteliğı değışime uğrar. Toplam güneş ışıını atmosferden geçerken üç bölüme ayrılmaktadır. Bir bölümü ozon ve su buharı tarafından emilir, bir bölümü toz parçacıkları ve su buharı moleküllerince yansıtılır. Bu iki bölümdeki bileşenler yaygın ışıını oluşturur. Doğrultusu değışmeden yeryüzüne ulaşan güneş ışıınıları ise doğrudan ışıını olarak adlandırılır (Yılmaz ve diğ, 2006).

Güneş ışıını değıerleri yeryüzünde bulunan noktanın fiziksel koşullarına göre değışim gösterir. Ölçülen noktanın topografik durumu, günün belli saatlerinde farklı oranlarda engel oluşturma durumuna göre etki ederken, yüzeyin eğimi, eğimin baktığı yön, eğim açısı gibi yerey parçasına ait özellikler de güneş ışıını miktarlarında değışime sebep olur. Şekil 2.3’de güneşin yaz ve kış döneminde gün boyunca izlediğı yol (Sun path) için bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.3 : Güneşin yaz ve kış döneminde gün boyunca izlediğı yol (Sun path) için bir örnek.

Doğal çevrenin yanında, yapma çevre de güneş ışıınında değışikliklere yol açar. Yerleşmelerde yakın ve uzak yapma çevre, tasarlanma durumuna göre doğrudan güneş ışıınıını keserek güneşten faydalanmanın önüne geçebilir veya kendisi doğrudan ışıını alırken, yansıtma yolu ile güneş ışıınıında artırıcı etki yapabilir.

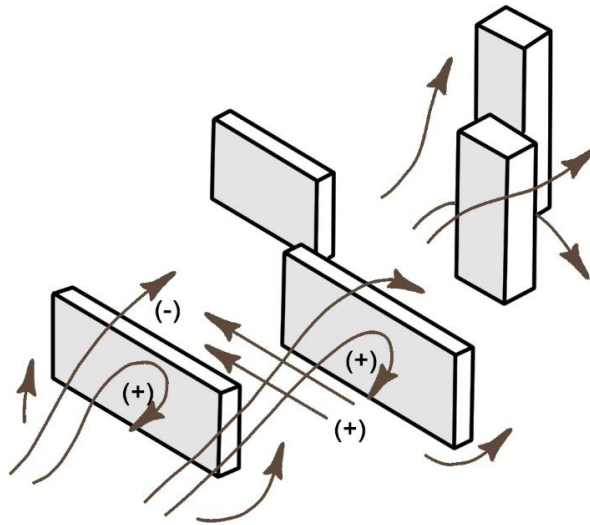
2.2.3 Dış hava nemi

Havada bulunan su buharı miktarına nem denir. Ölçümünde higrometre denilen alet kullanılır ve birim olarak gram (gr) ile ifade edilir. Mutlak ve bağıl nemlilik olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklıkla ilişkili olarak havadaki nem miktarında değişiklikler olur. Bu nedenle hissedilen sıcaklık üzerinde etkilidir. Güneş ışıınımı ve rüzgar gibi iklimsel parametrelerin değişimine bağlıdır. Bunun dışında bitki örtüsü, su yüzeyleri ve topografik durum havadaki nem miktarında veya kapasitesinde değişiklikler yaratabilir (Yılmaz ve diğ, 2006).

2.2.4 Rüzgar

Rüzgar, genellikle yatay düzlemdeki atmosferik basınç farkları nedeniyle meydana gelen hava hareketleridir. Yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hareket ederler. Rüzgarın gün içindeki yön, şiddet ve doğrultusu sürekli değişkendir. Yeryüzünde farklı bölgeler farklı miktarda güneş ışıınımına maruz kalır ve bu bölgelerde güneş ışıınımına maruz kalan yüzeyler, üzerlerindeki hava tabakalarını etkileyerek rüzgarın sürekli değişken yapıda olmasına sebep olur.

Kullanıcı konforu açısından önemli bir etken olmasından dolayı rüzgar, enerji etkin tasarımda diğer iklim elemanları da göz önünde bulundurularak hesaba katılması gereken bir etkendir. Nemi dağıtma özelliğinden dolayı nemli iklimlerde sıcak yaz dönemlerinde rüzgardan faydalanılması pasif yollarla konfor koşullarını sağlamayı kolaylaştırır. Isıtmaya ihtiyaç duyulan dönemde ısı kayıplarını arttıracığından rüzgardan kaçınmak gerekir.



Şekil 2.4 : Kentsel alanda rüzgar hareketleri.

Kentsel alanlarda rüzgar, kırsal alanların aksine düzgün olmaktan çıkıp türbülanslı, girdaplı hale geçmektedir. Kentsel alanda binalara çarparak hareketine devam eden rüzgar, bazı durumlarda insanlar için konforsuz alanlar yaratabilmektedir (Şekil 2.4). Bu nedenle yerleşme dokuları tasarlanırken binaların rüzgarı kesme, yönlendirme durumları göz önünde bulundurularak konforsuz alanların oluşması engellenmelidir.

2.3 Yapma Çevreye İlişkin Parametreler

Yapma çevrede iklimsel konforu etkileyen ve enerji harcamalarını belirleyen tasarım parametreleri malzeme ölçeğinden yerleşme ölçeğine kadar tasarımın tüm aşamalarını kapsar. Binalarda enerji etkinliğinin sağlanabilmesi tüm bu parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi ile olanaklıdır. Bu tasarım parametrelerinin hepsi birbiriyle yakından ilişkilidir, herhangi bir ölçekteki yapma çevre parametresi daima bir üst ölçekteki parametrelerin belirlediği bir sonuca bağlı olarak değişim gösterir. Bu nedenle tasarım aşamasında enerji harcamalarının azaltılması hedefleniyorsa tüm bu parametreler bütüncül olarak ele alınmalıdır. Yerleşme tasarımında enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametreleri yerleşme ölçeğinde ve bina ölçeğinde olmak üzere iki ana grupta ele alınmıştır.

2.3.1 Yerleşme ölçeği

Yerleşmeler, enerji etkin tasarımda üst ölçeği tanımlar, bu ölçekte alınacak tasarım kararları alt ölçeklerdeki parametreler üzerinde etkilidir. Yerleşme ölçeğindeki parametreler büyük kentsel alanların oluşumunda etkili olduğu için bu ölçekteki tasarım kararları geri dönüşü zor ve uzun yıllar geçerli olacak sonuçlar doğurur. Yerleşme dokusu tasarım değişkenleri arasında yerleşme alanına ve açık mekanlara ilişkin olan parametreler yerleşme alanı çevresinde mikroklimatik özellikleri yaratırken, bina ölçeğinde olanlar bina çevresi mikroklima özelliklerini oluşturur. Bu durum dolaylı yoldan kapalı mekanın maruz kalacağı iklimsel koşulları da belirler. Enerji harcamalarının azaltılmasında yerleşme ölçeğindeki parametreler yer, binaların birbirlerine göre konumu ve bina aralıklarıdır.

2.3.1.1 Yer

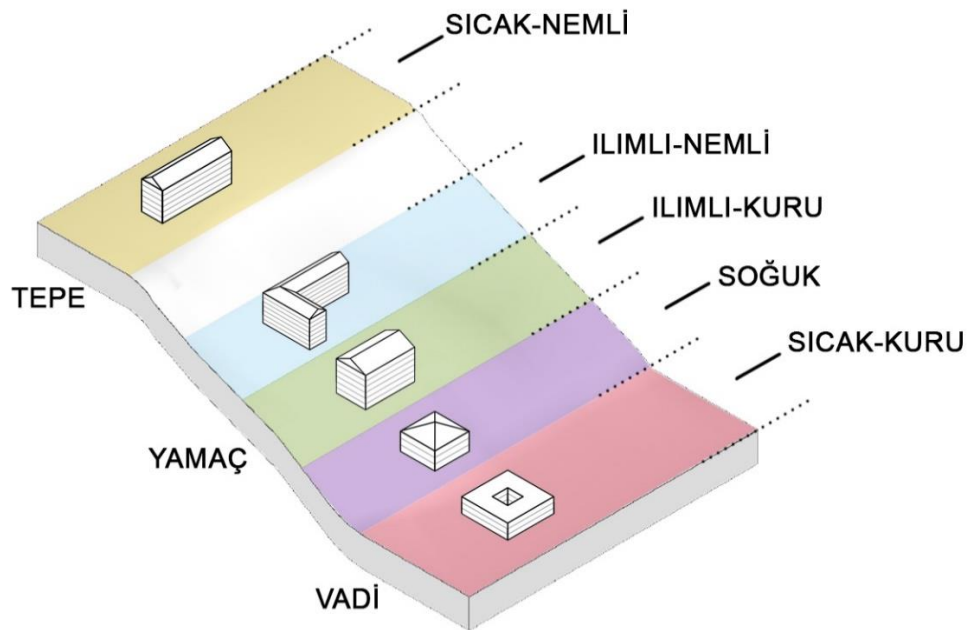
Yer, iklimsel elemanların kontrolünde ve çevre kirliliğini önlemede etkili olan bir tasarım parametresidir. Yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, yerey

parçasının konumu ve yerey parçasının örtüsü, bu parametrenin alt gruplarının oluşturur.

Yerey parçasının konumuna göre yerleşme alanlarının topografik özellikleri ve denizden yükseklikleri değişmektedir. Değişen konum özellikleri yerleşme alanında iklimsel elemanların etkilerinde farklılıklar yaratır. Güneş ışıını kazançları ve rüzgar değişen konum özelliklerine bağlı olarak artış veya azalış gösterir.

Yerleşmelerde diğer önemli alt grup yerey parçasının eğimi ve yönüdür. Değişen arazi eğimi ve yön yerleşmelerin güneş ışıınımdan faydalanması noktasında etkin rol oynar. Yerey parçasının yönü enleme bağlı olarak farklı sonuçlar verir. Kuzey yarım kürede yer alan ülkemiz için güney yönü güneş ışıını açısından en makul sonuçları verir. Yönün yanında diğer önemli kriter yerey parçasının eğimidir. Aynı konumda yer alan aynı yöndeki yerleşmelerde makul oranda eğimli bir arazi düz araziye göre daha fazla güneş ışıınımdan faydalanabilir.

Yerleşme alanlarında diğer önemli alt grup bitki örtüsü ve zemin cinsidir. Yerleşme alanını kaplayan bitki örtüsü, toprak katmanının erişebildiği güneş ışıını değerlerinde belirleyicidir. Bu durum hava sıcaklık değerlerinde farklılıklar yaratarak, alandaki rüzgar profillerini de değiştirebilir. Şekil 2.5'te Farklı iklim bölgeleri için yerleşmeye en uygun alanlar teorik bir arazi kesitinde gösterilmiştir (Zeren.L. 1987).

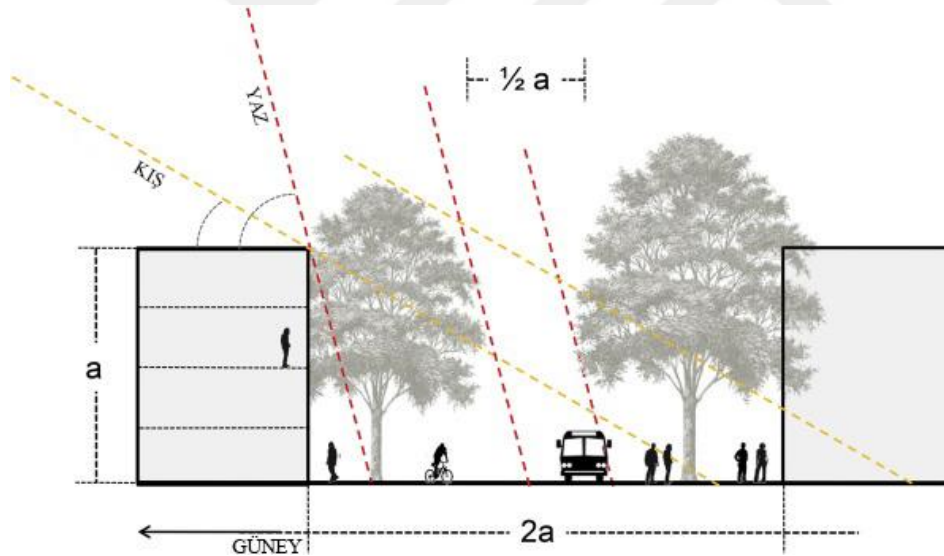


Şekil 2.5 : Teorik bir arazi kesitine farklı iklim bölgeleri için yerleşmeye en uygun alanlar (Zeren.L. 1987).

2.3.1.2 Binaların birbirine göre konumu, bina aralıkları

Binalar ve aralarında yer alan açık mekanlar, yerleşme dokusunu meydana getirir. Yerleşme dokularında binalar, aralarındaki uzaklıklara, yüksekliklerine ve birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak, birbirleri için güneş ışıını ve rüzgar engeli olarak işlev görebilirler (Berköz ve diğ, 1995).

Yerleşme dokularında güneş ışıınımdan maksimum faydalanılması bina aralıkları ve binaların birbirlerine göre konumlarının optimize edilmesi ile mümkündür. Yerleşme dokusundaki bir binanın güneş ışıınımdan maksimum faydalanabilmesi için tüm güneşli saatler boyunca bina cephelerinin doğrudan (direkt) güneş ışıınına maruz kalması gerekir (Şekil 2.6). Yerleşme dokularında güneş ışıını engel binalara çarptığında oluşturduğu gölge gün içinde sürekli değiştiğinden dolayı güneş ışıınıının, ısıtmanın istendiği dönemde cepheleri en üst şiddette etkilemesi istendiğinde, bina aralıkları, komşu binaların oluşturduğu en uzun gölgeli alan derinliğine eşit ya da bu gölgeli alan derinliğinden fazla olmalıdır (Koçlar Oral, 2010).



Şekil 2.6 : Bina aralıkları ve güneş ışıını ilişkisi (Lamarca, 2018).

Bina aralıklarının yerleşme ölçeğinde etkilediği diğer iklim elemanı rüzgardır. Rüzgar etkileşimde olduğu yerleşme dokusundaki açık mekan boyutlarına ve bina konumlarına göre hareket yönünü ve şiddetini belirler. İstenen iç rüzgar hızının sağlanabilmesi açısından gerekli olan dış tasarım rüzgar hızı, bina aralıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bina aralıkları azaldıkça dış tasarım rüzgar hızı etkisi de azalmaktadır. Rüzgar ve güneşten yararlanma ve korunma isteklerine bağlı olarak yerleşme yoğunluğu iklim bölgelerine göre değişkenlik göstermektedir. Bina

aralıkları, binaların birbirlerinin güneş ışıınımı kazançlarını ve yararlı rüzgar etkilerini engellemeyecek şekilde bina boyutlarına göre belirlenmelidir.

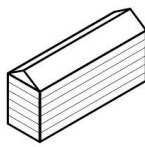
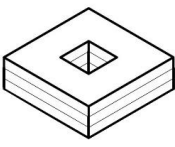
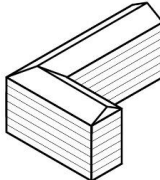
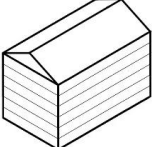
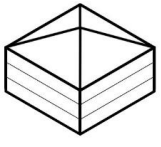
2.3.2 Bina ölçeği

Yerleşmelerde enerji harcamalarının azaltılmasında enerji konusu bütüncül olarak ele alındığında alt ölçeği oluşturan binalar ve yapı malzemelerinin de iklim elemanları ile ilişkisi ve performansı enerji harcamalarında belirleyici olur. Bina ölçeğinde enerji harcamalarını etkileyen parametreler binanın formu, yönlendiriliş durumu ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir.

2.3.2.1 Bina formu

Bina formu, biçim faktörü (bina uzunluğunun derinliğine oranı), bina yüksekliği, çatı türü, çatı eğimi, cephe eğimi gibi binalardaki geometrik faktörlerle tanımlanabilir (Berköz, 1995). Bu geometrik faktörler binanın, güneş ve rüzgar gibi iklim elemanları ile ilişki kurduğu toplam dış yüzey alanlarını tanımladığı için enerji harcamalarında önemli etkiye sahiptir. Binalarda dış yüzey alanı ısı kazanç ve kayıp miktarlarını belirleyen önemli değişkenlerden biridir.

Çizelge 2.3 : Farklı iklim bölgeleri için uygun formlar.

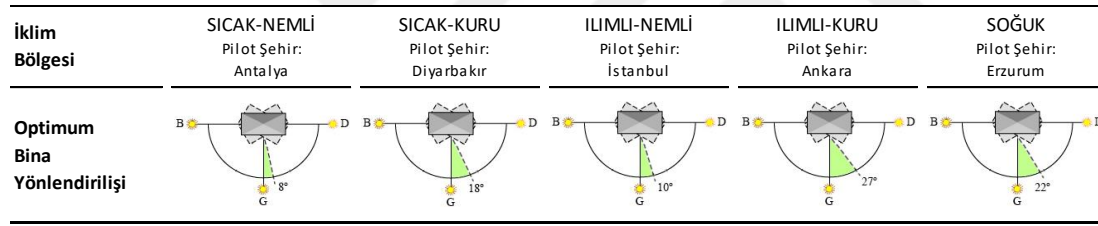
İklim Bölgesi	SICAK-NEMLİ Pilot Şehir:Antalya	SICAK-KURU Pilot Şehir:Diyarbakır	ILIMLI-NEMLİ Pilot Şehir:İstanbul	ILIMLI-KURU Pilot Şehir:Ankara	SOĞUK Pilot Şehir:Erzurum
Optimum Bina Formu					
	rüzgara açık cepheler, uzun formlar	avluya bakan cepheler, dışa kapalı kompakt formlar	sıcak dönemde rüzgara açık cepheler, serbest formlar	soğuk dönemde rüzgara kapalı cepheler, kareye yakın formlar	minimum yüzey alanlı cepheler, kompakt formlar

Bu nedenle farklı gereksinimlere ihtiyaç duyulan farklı iklim tiplerinde bina formunun iklimle uyumlu olması önemlidir. Soğuk iklimlerde ısı alışverişini en aza indirmek için minimum yüzey alanı olan kompakt formlar tercih edilirken, nemli iklimlerde rüzgarın nemi dağıtma özelliğinden faydalanmak için rüzgara açık, uzun cepheler ve serbest bina formları tercih edilir. Sıcak-kuru iklim bölgelerinde yüksek güneş ışıınımı değerlerinden korunacak gölgelik alanlar yaratılabilecek, içe dönük, avlulu bina formları tercih edilmelidir. Ilımlı kuru iklim bölgelerinde ise ısıtmanın istendiği dönem

rüzgarlarına kapalı cepheler ve kareye yakın formlar tercih edilir. Çizelge 2.3'te farklı iklim bölgeleri için uygun formlar verilmiştir (Zeren ve diğ, 1987).

2.3.2.2 Yönlendiriliş durumu

Binaların yönlendirilmesinde, yöne göre değişiklik gösteren iklim elemanları olan güneş ışınlamı ve rüzgar etkili olmaktadır (Koçlar Oral, 2010). Buna göre konfor koşullarını sağlayabilmek ve enerji harcamalarını minimize edebilmek için öncelikle iklim verilerine uygun olarak sağlanacak güneş ışınlamı kazançları ve rüzgar etkilerinin doğru analizine göre yönlendiriliş durumuna karar verilir. Ana cepheler kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilerek, yaz aylarında güneş ışınlamı daha rahat kontrol edilebilirken, kış aylarında daha eğik açılarla gelen güneş ışınlamı, güneş ışınlamı kazançlarını arttırmaktadır (Rosenlund, 2000). Bina yönlendiriliş durumu ısı kazanç ve kayıplarında etkili olması sebebiyle binalarda ve yerleşmelerde enerji harcamaları açısından önemli etkiye sahiptir. Şekil 2.7'da güneş ışınlamından faydalanmada uygun bina yönlendirilişleri verilmiştir.



Şekil 2.7 : Türkiye iklim bölgeleri için optimum yönlendiriliş açıları (Zeren ve diğ, 1987).

2.3.2.3 Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, bina kabuğunun birim alanından, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınlamı etkileriyle, ısı kazancı ve ısı kaybı miktarını belirleyen parametredir (Berköz ve diğ, 1995). Isı kayıp ve kazançları binalarda ısıtma ve soğutma yüklerinin belirleyicileridir. Binalarda iç mekan konfor koşullarının sağlanması için kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin harcadıkları enerji miktarı, bina kabuğundan gerçekleşen ısı kazanç ve kayıplarına bağlıdır. İç mekan konfor koşullarının sağlanmasında, optik ve termofiziksel özellikler, dış çevreye bağlı olarak değişen diğer parametrelerin aksine, tasarım sürecinde mimarın kontrolünde gerçekleşen bir parametredir. Bu nedenle optik ve termofiziksel özelliklerin optimize edilmesiyle ortaya çıkan bina kabuğu tasarımları yerleşme ve bina ölçeğinde enerji harcamalarının azaltılmasında önemli rol oynar.

Bina kabuğu, fiziksel özellikleri ve ısı geçişine karşı davranışları farklı olan opak ve saydam bileşenlerden oluşur. Opak ve saydam bileşenlerin binanın ısısal performansını ve kullanıcı konforu etkileyen fiziksel özellikleri;

- Opak ve saydam bileşenlerin toplam ısı geçirme katsayısı (U , W/m^2K)
- Opak bileşenin genlik küçültme faktörü (ϕ)
- Opak bileşenin zaman geciktirmesi (Φ , h)
- Opak bileşenlerin yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları (a ve r), saydam bileşenlerin güneş ışınlamına karşı geçirgenlik yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları (τ , a ve r)

olarak sıralanabilir (Yılmaz ve diğ, 2016).

Isı geçirme katsayısı, bina kabuğunun hem opak hem de saydam bileşenlerine ilişkin bir termodinamik özelliktir. Farklı iki çevreyi ayıran bir bina bileşeninin iki tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark $1^\circ C$ iken, $1m^2$ alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995).

Bina kabuğunun opak ve saydam bileşenleri sahip oldukları yapısal özelliklerden dolayı farklı ısı geçirme katsayılarına sahiptirler. Günümüzde ısı yalıtımı açısından çok iyi geliştirilmiş saydam yüzeyler olmakla birlikte ülkemizde yaygın kullanılan saydam yüzeylerin toplam ısı geçirme katsayıları yalıtımlı opak yüzeylere göre daha yüksek olduğundan binalarda gerçekleşen ısı kaybının büyük bölümünden saydam yüzeyler sorumludur. Bu nedenle enerji harcamalarının azaltılmasının hedeflendiği tasarımlarda, bina kabuğundaki toplam saydam yüzeylerin, tüm bina yüzey alanına oranı olarak tanımlanan saydamlık oranı değeri büyük önem taşır.

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, ısı depolama yeteneğine sahip olan malzemeler için geçerlidir. Saydam bileşenlerin ısı depolama kapasiteleri ihmal edilebilecek düzeyde küçük olduğundan, bu özellikler yalnızca opak bileşenler için hesaba katılmaktadır. Zaman geciktirmesi, bileşenin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklığın oluştuğu saat ile iç yüzeyindeki maksimum sıcaklığın oluştuğu saat arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilir. Genlik küçültme faktörü ise, bileşenin iç yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğinin, dış yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğine oranı olarak belirlenebilir. Bu özellikler bileşeni oluşturan katmanların ısı iletkenlik

katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ) ve özgül ısıları (c) ile bağlantılı olarak ısı kapasitelerinin fonksiyonudur (Yılmaz, 2006).

Opak ve saydam bileşenlerin optik özelliklerini oluşturan yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları (Şekil 2.8), bileşen tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışıınımı miktarlarının, bileşen dış yüzeyine gelen güneş ışıınımına oranları olarak tanımlanır (Berköz ve diğ, 1995). Bileşenlerin güneş ışıınımına ilişkin yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık gibi optik özellikleri arasındaki bağıntılar,

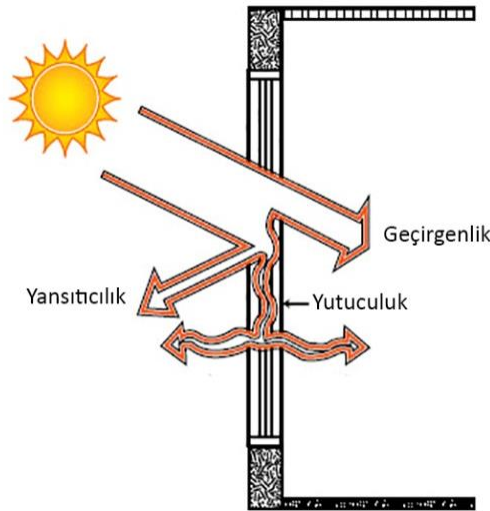
Opak bileşenler için,

$$a_0 + r_0 = 1 \quad (2.1)$$

Saydam bileşenler için

$$a_0 + r_0 + \tau_0 = 1 \quad (2.2)$$

τ :geçirgenlik katsayısı, a :yutuculuk katsayısı, r : yansıtıcılık katsayısı olarak verilmektedir (Yılmaz ve diğ, 2006).



Şekil 2.8 : Saydam bileşenlerden güneş ışıınımı geçişi.

Bileşenlerin dış yüzeylerindeki güneş ışıınımı, bileşenlerin optik özelliklerine göre güneş ısısı kazancına dönüşür. Opak bileşenlerde yutuculuk ve yansıtıcılık katsayılarının, doğrudan ve yaygın güneş ışıınımı için aynı olduğu varsayılır. Bu katsayılar büyük ölçüde opak yüzeyin rengine bağlıdır. Saydam bileşenlerde ise doğrudan ve yaygın güneş ışıınımına karşı davranış önemli ölçüde farklıdır. Saydam

bileşenlerde bahsedilen katsayılar bileşenin fiziksel özelliklerine bağlı olduğu kadar, doğrudan ışıınım için ışıının geliş açısına da bağlıdır. Yaygın ışıınım için ise geliş açısı söz konusu olmadığından, açının 60° olması durumundaki katsayılar geçerli kabul edilir (Yılmaz ve diğ, 2006).





3. ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINA YÖNELİK TASARIMDA BIM KULLANIMI

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, tasarım sürecinde geleneksel yöntemlerin ve diğer bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımında ortaya çıkan eksiklikler günümüzde Yapı Bilgi Modelleme (BIM) kavramının ön plana çıkmasına sebep olmuştur. BIM kavramı, ilk bakışta kullanıcılar tarafından yalnızca bir yazılım olarak algılanmakla birlikte yapı sektörü için bir yöntem de tanımlamaktadır (Briscoe, 2015). BIM yönteminde tüm binaya ait tasarım süreci entegre bir veri sistemiyle tanımlanır. Tüm veriler parametrik ve birbirleriyle bağlantılı şekilde çalışır. İki boyutlu çizim programlarının aksine yaratılan ve değiştirilen objeler, ortamdaki diğer objelerle olan ilişkisi göz önüne alınarak BIM modeline işlenir ve binanın bir parçası olarak davranmaya başlar. Böylece bir binanın tasarım ve uygulama aşamalarında rol alan tüm paydaşlar tek bir sistem üzerinden koordine çalışma imkanı bulur. Zaman kayıpları ve hata payları minimize edilebilir.

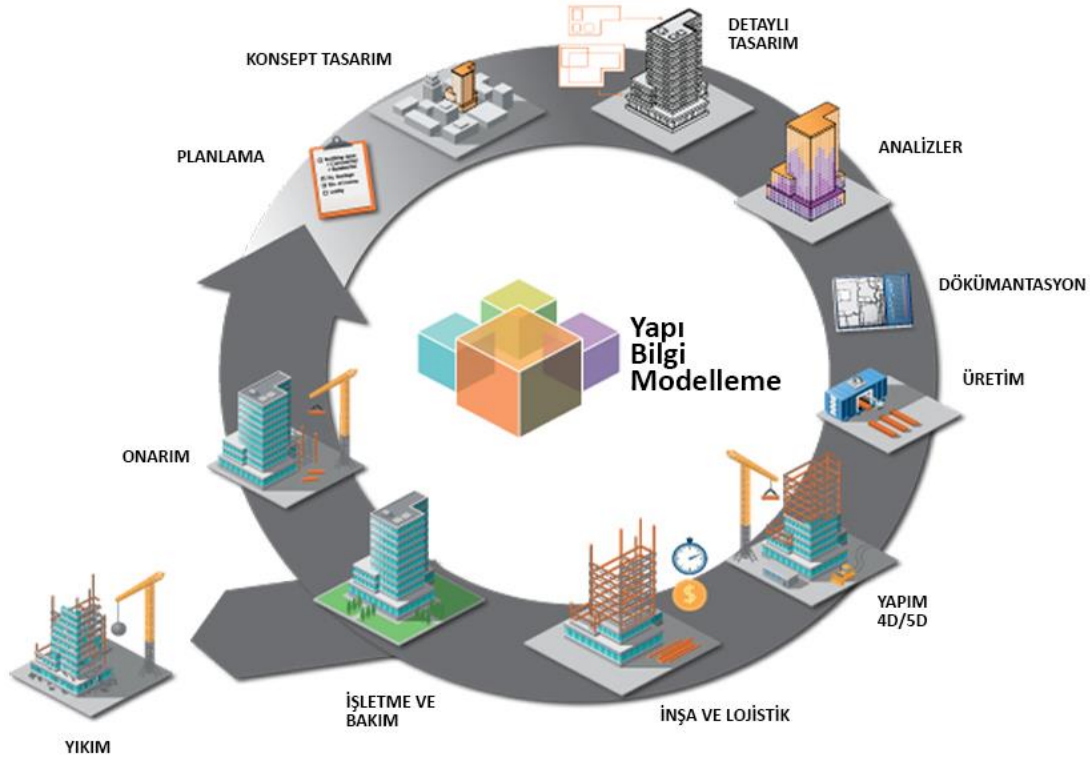
BIM sistemlerinin doğru kullanımı ve değerlendirilmesi için bu kavramı tam olarak anlamak, amacına ve çalışma prensiplerine hakim olmak gerekir. Bu nedenle bu bölümde, enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan parametrelerin optimizasyonu için kullanılacak BIM'in tanımları, ortaya çıkışı, farklı BIM tabanlı yazılımlar, avantajları, dezavantajları, dünyada kullanımı ve standartları konuları ele alınmıştır.

3.1 BIM kavramı

Türkçe'de "Yapı bilgi modelleme" (YBM) veya "Bina bilgi modelleme" (BBM) isimleriyle anılan kavram dünyada "Building Information Modelling" adıyla bilinmektedir ve literatürde "BIM" kısaltmasıyla ifade edilmektedir.

Farklı tanımları olmakla beraber, BIM yapı tasarım sürecinde tutarlı, işlenebilir ve koordine veri yaratan, parametrik çalışma özellikleri sayesinde tasarım kararlarının ortaya çıkmasında etkili olan, maliyet, bina performansı ve planlama açısından

tasarımın test edilebildiği, yüksek kalitede uygulama çıktıları elde edilebilen bir mimari tasarım süreci olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1)(Krygiel & Nies, 2008).



Şekil 3.1 : BIM'in süreçleri (Url-2).

BIM, yapım sektörü için önemli bir gelişim olarak nitelendirilebilir. BIM modeli tamamlandığında yapı ile ilgili tüm geometri ve veriler; fabrikasyon, satınalma ve yapım gibi süreçler yapı hayata geçirilmiş gibi sanal ortamda ortaya çıkar (Eastman ve diğ, 2011).

Projelerin, tasarım, yapım ve işletme süreçlerinin sayısal model kullanılarak yaratılma sürecidir (Barlish & Sullivan, 2012). BIM, herhangi bir altyapı veya yapı projesinin elektronik ortamda obje tabanlı veri kullanılarak, tasarlanma, yapım ve işletme sürecidir (PAS 1192-2, 2013). Amerika Genel Hizmetler müdürlüğüne göre ise sanal ortamda yapıların oluşturulması için kurgulanmış bir sayısal platform olarak tanımlanır (GSA, 2007).

Daha geniş bir tanımda BIM, bina modellerini analiz etmek, iletişimi güçlendirmek ve birbiriyle ilişkili üretim süreçlerini içeren bir modelleme teknolojisidir. Bina modelleri aşağıdaki gibi karakterize edilmiştir (Eastman ve diğ, 2011).

- Hesaplanabilir grafik ve veri özelliklerinin yanı sıra akıllı bir şekilde ayarlanabilen ve parametrik kurallara dayalı olan, dijital objelerle temsil edilen yapı elemanları.
- Çeşitli analizler ve iş süreçlerinde gerektiğinde nasıl performans göstereceklerini açıklayan verileri içeren elemanlar.
- Bir modelin tüm görünümünde koordine şekilde çalışan veriler.

Bileşen verilerindeki değişiklikler bileşenin ve onun bir parçası olduğu düzeneklerin tüm görünümünde temsil edilir. Gereksiz veri kullanımı yapılmaz.

Mimarlık, mühendislik ve yapım sektörü, proje maliyetlerini düşürmek, üretkenliği ve kaliteyi arttırmak için sürekli yeni teknikler aramaktadır. Günümüzde, sunduğu potansiyeller ile BIM, bu amaçlara ulaşmaya oldukça yakındır. Çalışma prensibi olarak BIM, tasarımı ve inşası planlanan yapıyı sanal ortamda inşa eder ve bu model “bina bilgi modeli” olarak adlandırılır. Bina bilgi modeli tamamlandığında, yapının hayata geçirilmesi için gerekli tasarım, tedarik, imalat ve inşaat faaliyetlerini desteklemek için gereken tüm veriler bu model içerisinde yer alır. Bu model binanın geometrisi, mekansal ilişkiler, coğrafi bilgi, yapı elemanları ve özellikleri, maliyet tahminleri, malzeme gereksinimleri ve proje takvimi gibi binanın tüm yaşam döngüsünü karakterize eder (Azhar, 2011).

Tüm CAD sistemleri dijital dosyalar üretebilmektedir. Bu dosyalar vektörlerden, birbiriyle ilişkili çizgilerden ve katman tanımlarından oluşmaktadır. Bu dijital çalışma sistemi zamanla 3 boyutlu CAD yazılımlarına evrilmiştir. Teknolojinin gelişimiyle beraber odak noktası 2 boyutlu çizimlerden ve 3 boyutlu modellerden çıkarak veri dosyasının kendisine yönelmeye başlamıştır. BIM yazılımlarının gelişimiyle veri dosyası üzerinde çalışma imkanı doğmuştur. Obje tabanlı çalışma sistemiyle çalışan BIM yazılımlarında oluşturulan bir binanın tüm elemanları sanal ortamdaki objeler olarak var edilir ve birbirleriyle ilişkileri hesaba katılır. Parametrik objeler BIM’in çalışma prensibinin temelini oluşturur. Bu çalışma prensibi sayesinde BIM yazılımları hem 2 boyutlu teknik çizimlere hem de 3 boyutlu model görüntüsüne erişim sağlayabilir. Bunun yanında maliyet ve inşaa için gerekli olan diğer tüm bilgiler de veri dosyasına işlenir.

BIM’in işleyişini anlamak için parametrik objelerin çalışma prensibine hakim olmak gerekir. Geleneksel 3 boyutlu obje sistemlerinden farklı olarak BIM objeleri;

geometrik tanımlamaları ve bununla ilişkili verileri içerir. Geometrik tanımlarda tutarsızlığa ve çakışmalara izin vermez. Tanımlanan herhangi bir objenin ölçüleri 2 boyutta ve 3 boyutta belirlenir. Nesnelerin parametre kuralları, bir bina modeline yerleştirildiğinde veya ilişkili nesnelerde değişiklik yapıldığında, ilişkili geometrileri otomatik olarak değiştirir. Objeler farklı hiyerarşi düzeylerinde kurgulanabilir ve alt elemanlardan biri değiştiğinde tüm objeler kümesi bu değişikliğe yanıt verebilir. Ayrıca objeler sahip oldukları farklı nitelik verilerini birbirine bağlama, yayınlama ve dışa aktarma yeteneğine sahiptir (Eastman ve diğ, 2011).

Mimarlık, mühendislik ve yapım sektöründe önemli olan başka bir konu da proje koordinasyonudur. Geleneksel yöntemler, bilgi paylaşımında iletişim problemlerine yol açmaktadırlar. BIM tabanlı yöntem ile yürütülen bir proje sürecinde, ideal kullanım sağlanabilirse ve getirdiği avantajlardan yararlanılırsa iletişim geliştirilebilmekte, zaman kaybı minimize edilerek tasarımın geliştirilmesi ve inşaat sürecinin hızlandırılabilmesi için daha fazla çalışma yürütülebilmektedir.

İdeal bir BIM tabanlı sistemde (Krygiel & Nies, 2008):

- Mimar, mühendis ve proje danışmanları tek bir bina modeli üzerinde veya birbirine bağlı parçalardan oluşan bir model üzerinde çalışır.
- Bu model belli bir aşamaya ulaştıktan sonra, müteahhit ve inşaat ekibine devredilir.
- Yapı inşa edilirken, alanda meydana gelebilecek değişiklikler BIM modeli üzerinden düzenlenir.
- Revize edilen model daha sonra mal sahibi ve tesis işletmecisi ile paylaşılabilir. Model, tesis sahibine binanın bakımında yardımcı olmak için kurulan sistemler hakkında gerekli ürün bilgilerini içerebilir. Model gelecekteki personel hareketleri için ve hatta bina eklemeleri için de kullanılabilir.

3.1.1 BIM'in tarihçesi

Mevcut bina modelleme programlarının gelişimi ve sonuç olarak etkileşimi yüksek nesne tabanlı parametrik modelleme araçlarının ortaya çıkması, on yıllar boyunca süren araştırma ve geliştirme çalışmalarının ürünüdür. Modern BIM uygulamalarının ortaya çıkışını ve kapasitesini anlamak için tarihsel süreçte bu gelişimi gözden geçirmek gerekir.

1960'dan beri 3 boyutlu modelleme alanı mimarlık, mühendislik, film endüstrisi ve oyun sektörü gibi alanlar için önemli bir araştırma konusu olmuştur. 1960'ların sonunda sınırlı parametrelerde ve ölçeklerde çok yüzeyli formlar oluşturulabilse de tasarım için kullanılabilecek seviyede esnekliğe ve kolaylığa sahip değildi. Ancak 1973 yılında 3 boyutlu modelleme alanında büyük bir atılım gerçekleştirildi ve katı modelleme olarak bilinen, hacim oluşturma ve düzenleme kabiliyetine sahip uygulamalar geliştirildi. Bu çalışmalar 3 boyutlu modelleme araçlarının temelini oluşturdu. Üç boyutlu katı modelleme araçları ile yapı modellemeleri ilk olarak 1970 ve 1980 yılları arasında geliştirilmeye başlandı. RUCAPS, TriCad, GDS gibi programlar mühendislik alanındaki CAD programlarının ilkleriydi. Gelişen katı cisim modelleme CAD programları fonksiyonel olarak güçlüydü ancak o dönem için tasarımcıların aşına olmadığı ve gelişmiş donanım gerektiren oldukça pahalı sistemlerdi.

Yapı endüstrisinde ise bu gelişimler göz ardı edilerek 2 boyutlu çizim sistemleri desteklenmiş AutoCad gibi programlar üzerinde çalışmalar sürdürülmüştür. 1980'lerde el çiziminden CAD'e geçiş sürecinde, iş uygulamalarında adım değişikliğinden ziyade artan iş yükü ortaya çıkmıştır. Yalnızca el çizimi yerine, teknik çizimler CAD programları aracılığıyla oluşturuldu, proje çıktıları kağıt üzerinde aynı kaldı (Harty ve diğ, 2015).

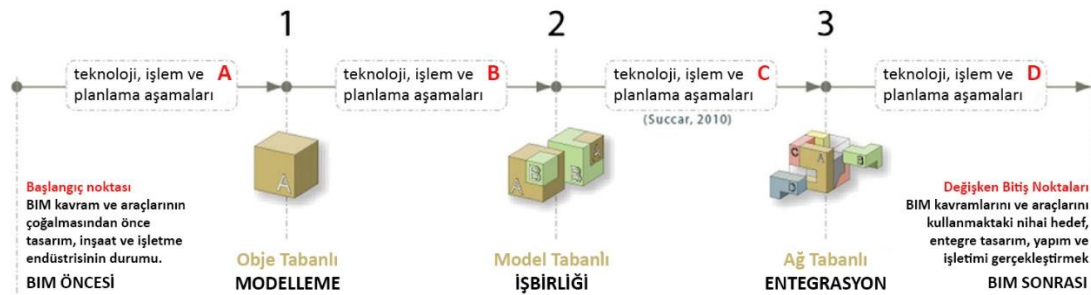
CAD'den parametrik modellemeye geçişte, çoklu şekillerin parametre değerlerini paylaşabileceğinin anlaşılmasıyla önemli bir adım gerçekleştirilmiş oldu. Dolayısıyla modellenen objelerin parametre değerlerinin birbirlerine bağlı olarak değişiklik gösterebildiği ortaya çıktı. Ancak tam olarak ideal parametrik modelleme kavramına erişilemedi. Üç boyutlu tasarım araçlarında gerçekleşen son gelişmeler ile, birbirine bağlı objeler arasındaki parametre değişiklikleri otomatik olarak değerlendirilip, çözümlenerek şekli yeniden oluşturma işlemi gerçekleştirildi. Diğer bir deyişle kullanıcılar tarafından objeler üzerinde yapılan işlemler belirlenerek, yazılım tarafından analiz edildi ve en etkin yolla güncelleme imkanı yaratıldı. Ortaya çıkan otomatik güncelleme yapabilme yeteneği güncel obje tabanlı BIM parametrik modellemesi alanındaki gelişmiş teknolojiyi oluşturdu.

Modelleme imkanlarının yanı sıra, BIM'in inşaat endüstrisine en önemli katkılarından biri koordinasyon problemine çözüm sunmasıydı. Dijital dosyaların ve kağıt işlerinin giderek artması sektörde önemli bir problem yarattı. BIM kavramı geleneksel

süreçlerde zorluk yaratan tüm bu iş birliği problemlerine de çözüm sunması sebebiyle son yıllarda büyük ilgi gördü. Ayrıca son birkaç yılda, BIM dili, konvansiyonları ve protokolleri, sosyal medya ve benzeri platformlar aracılığıyla çok hızlı bir yayılma gösterdi. Profesyonel kuruluşlar tarafından tartışıldı, sağladığı verimlilik artışları, maliyet tasarrufu ve karbon azaltımı gibi konular uluslararası alanda destek gördü. Bu nedenle hızla gelişmeye devam eden BIM'in yakın gelecekte tam anlamıyla sektöre adapte edilmesi beklenmektedir.

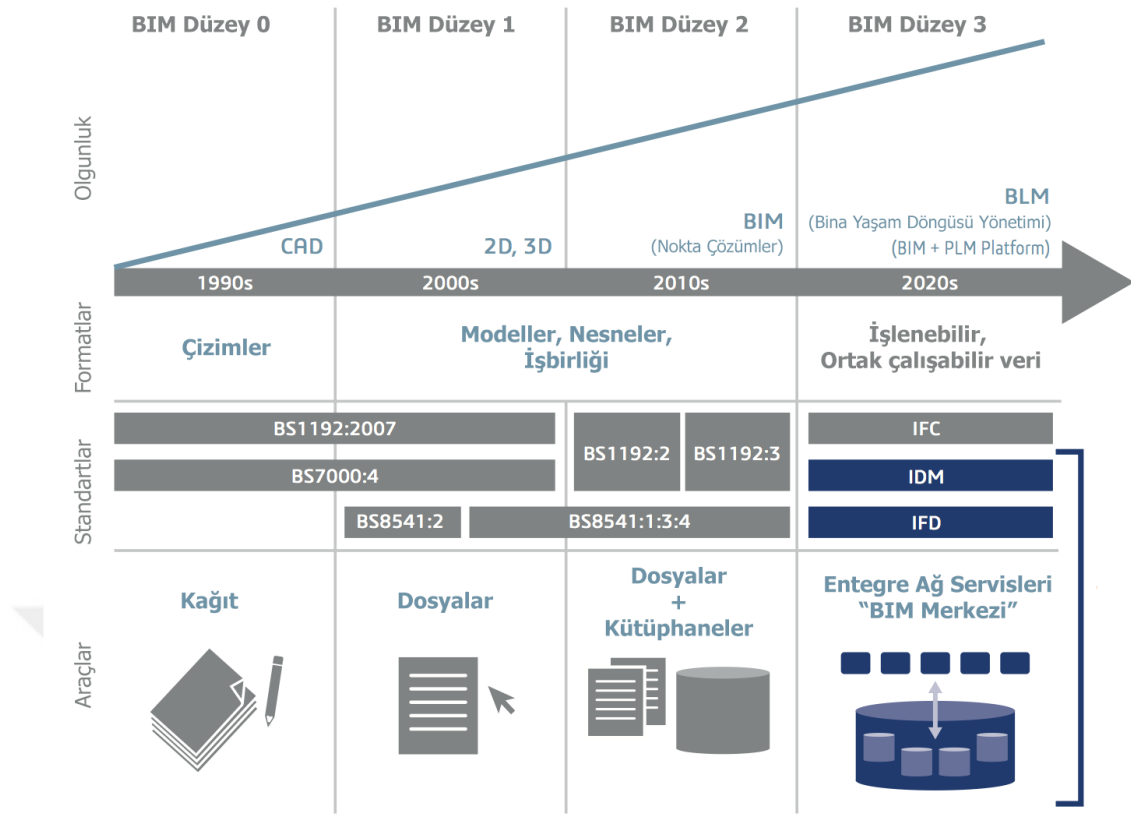
3.1.2 BIM'in düzeyleri

Getirdiği yenilikler ile BIM kavramı, yapı sektöründe tam bir iş birliğine dayalı üretim sürecini ortaya çıkarmıştır. Ancak sektörü tamamen sayısal ortama taşıyacak BIM araçlarına uyum sağlanabilmesi için belli başlı bazı kriterlerin yerine getirilmesi gereklidir. Bu ilerleme sürecinde, ilerleme aşamalarını daha kolay tespit ve takip edebilmek için BIM olgunluk düzeylerinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Succar (2009) ise farklı olarak 3 basamaklı doğrusal bir sistem önerisinde bulunmuştur. Sonraki çalışmalarında, Succar (2010) belirlediği BIM olgunluk seviyelerini geliştirmeye devam etmiştir ve çalışmaları sonucu ortaya çıkan BIM olgunluk seviyeleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Succar (2013)'a göre BIM olgunluk seviyeleri.

Bew ve Richards (2008) yılındaki çalışmasıyla, 0 ila 3 arasında değişen olgunluk düzeyleri önerisi ortaya çıkarmıştır (Şekil 3.3). Bu olgunluk düzeylerinin detayları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.3 : Bew & Richards (2008) BIM düzeyleri (Url-3).

Düzey 0

Düzey 0, başlangıç düzeyi olarak tanımlanır ve diyagramda görüldüğü gibi yapının iki boyutlu CAD çizim dosyalarını içerir. Yapı tasarımı büyük oranda bu düzeyde ele alınır. Bu düzeyde iş birliği ve koordinasyon BIM üzerinden değil, geleneksel yöntemlerle ilerler. Belirli standart ve süreçler bu aşamada gözlenmez (Richards, 2010). İş birliği ve koordinasyonun olmadığı bu düzey yalnızca sayısal bir çalışma ortamı olarak adlandırılabilir.

Düzey 1

Bu düzeyde, 2 boyutlu CAD dosyalarıyla beraber 3 boyutlu proje dosyaları da ele alınır (BIM, 2011). 3 boyutlu proje dosyaları genellikle konsept tasarım amaçlarıyla kullanılırken, 2 boyutlu CAD dosyaları daha çok yasal dokümantasyon işleri için kullanılır. Düzey 1’de BIM dosyasının farklı disiplinler arası paylaşımı yoktur ve bireysel çalışmalar amacıyla kullanılır. Bu nedenle tam anlamıyla bir işbirliği ve koordinasyondan söz edilemez (Sinclair, 2012).

Düzey 2

Bu düzeyde, proje ekipleri bütünleşik olarak BIM modelinin oluşturulmasında görev alırlar. Ortak çalışmaya dayalı bir zemin kurulur fakat ekipler kendi disiplinlerine ait 2 ve 3 boyutlu çizimleri tek bir BIM dosyası üzerinde üretmezler. Bir altlık üzerinden üretilen çizim ve veriler karşılıklı iletişim ile birbirine eklenerek, uyum ve çakışma kontrolleri yapılır ve nihai ürün ortaya çıkartılır (Url-4).

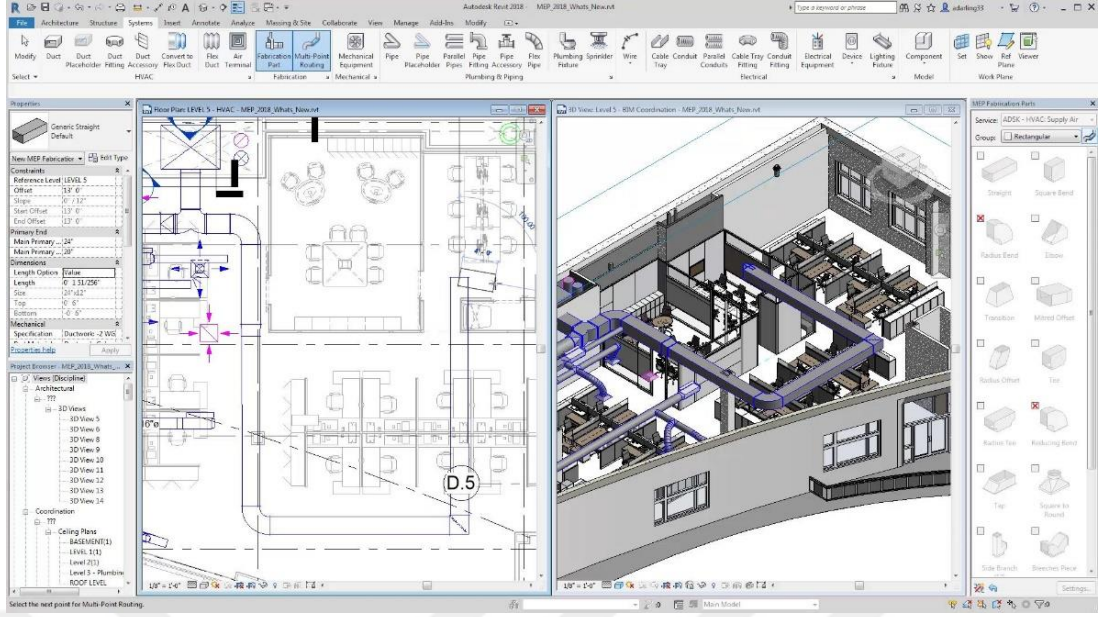
Düzey 3

Tüm proje süreçlerinin tek bir model üzerinden yürütüldüğü, disiplinler arası iletişimin üst seviyede gözlendiği, ideal BIM kavramının uygulanabildiği düzeydir. Tüm proje ekiplerinin erişime sahip olduğu tek BIM modeli üzerinden tasarım, uygulama ve yapım aşamalarının hepsi yönetilir. Böylece tasarım süreçleri hız kazanır. Ortak çalışmanın ön planda olduğu bu düzeyde sürdürülebilirlik konuları da yüksek olgunluk seviyelerine ulaşabilir.

3.1.3 BIM tabanlı yazılımlar

BIM kavramı kullanıcıları için zaman zaman sadece bir yazılım olarak görülse de yapı endüstrisinde bir süreci veya yöntemi tanımlar. Ancak BIM kavramının işlerliği bir yazılım olmadan düşünülemez. Günümüzde BIM tabanlı yazılımlar üreten birçok firma bulunmaktadır.

Günümüzde en yaygın biçimde kullanılan BIM programı Autodesk'in Revit yazılımıdır. Revit 2000 yılında Charles River Software Cambridge firması bünyesinde ortaya çıkmıştır. 2006 yılında Autodesk tarafından satın alınarak günümüze kadar geliştirilmeye devam etmiştir. Şekil 3.4'te Revit ara yüzü görülmektedir.



Şekil 3.4 : Revit arayüzü.

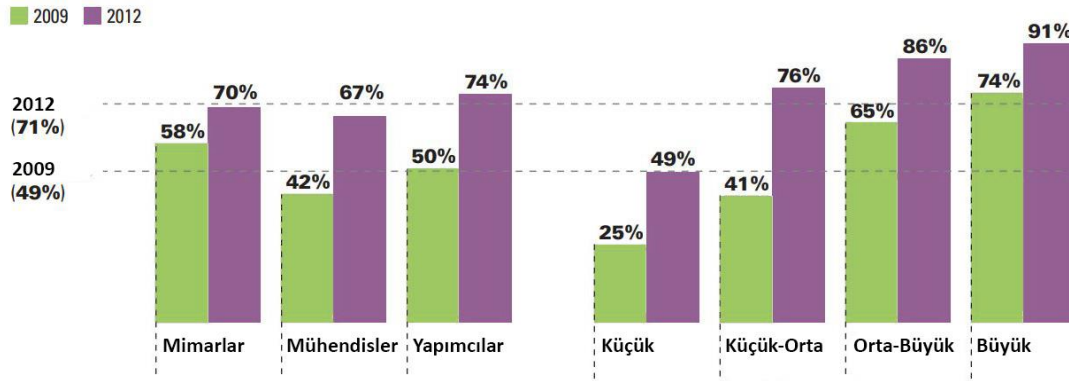
Kullanıcı dostu ara yüzü, mimari, strüktür, mekanik elektrik projelendirmenin yanında, proje yönetimini ilgilendiren metraj, aktivite sıralama ve görselleştirme gibi bütüncül bir BIM imkânı sunması Autodesk Revit'in önemli özelliklerindendir. Ayrıca gün ışığı analizleri, güneş ışıınımı ve enerji simülasyonlarına da imkan vermektedir. Bu çalışma kapsamında BIM tabanlı yazılım olarak Autodesk'in Revit yazılımı kullanılmıştır.

Diğer BIM tabanlı programlar olarak, Graphisoft ArchiCAD, Nemetschek Allplan, Tekla BIMsight, BIMobject, BIMx, AECOSim Building Designer, Trimble Connect, Hevacomp, BricsCAD BIM, Procore, Vectorworks Architect, Edificius, Buildertrend, VisualARQ, midas Gen, PriMus IFC gibi birçok BIM tabanlı çalışan program sıralanabilir.

3.2 Günümüzde BIM kullanımı

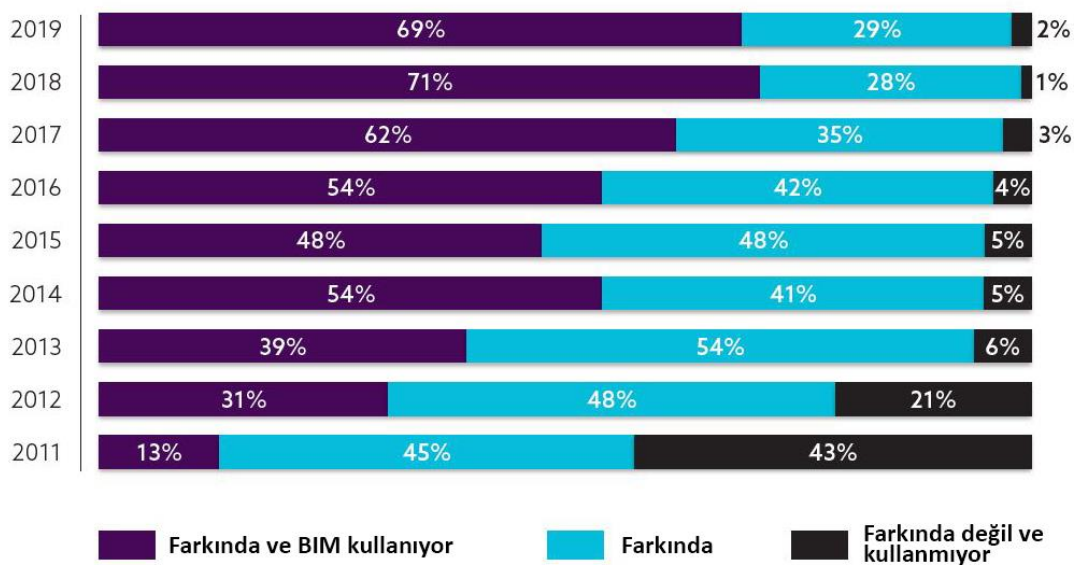
Günümüzde, BIM kullanımının sağladığı avantajların öğrenilmesiyle beraber, programların kullanıcı sayıları da giderek artmaktadır. Özellikle ABD ve Avrupa ülkelerinde BIM konusunda farkındalık arttırılmış ve yaygın kullanım oranları yakalanmaya başlanmıştır. Artan ilgi sebebiyle dünyada BIM kullanımıyla ilgili bazı araştırma şirketleri raporlar yayınlamaktadır. Genellikle bölgesel incelemelerin yer aldığı bu raporlarda Kuzey Amerika bölgesinde 2008 yılında BIM kullanımı %28 oranında iken, 2012'ye kadar 5 yıl içinde %71 oranları yakalanmıştır (McGraw Hill,

2012). Aynı araştırma raporunda BIM kullanımının 2009 ve 2012 yılları arasında nasıl bir ivme yakaladığı açıkça görülmektedir. Amerika’da inşaat sektöründeki meslek grupları arasında en yüksek kullanım oranları %74 ile yapımcı ve %70 ile mimarlar arasındadır. Ayrıca şirket büyüklüklerine göre kullanım oranları incelendiğinde, büyük ölçekli firmaların %91 oranında BIM’e adapte olduğu görülmektedir. Küçük ölçekli firmalar arasında ise bu oran %49’dur (Şekil 3.5).



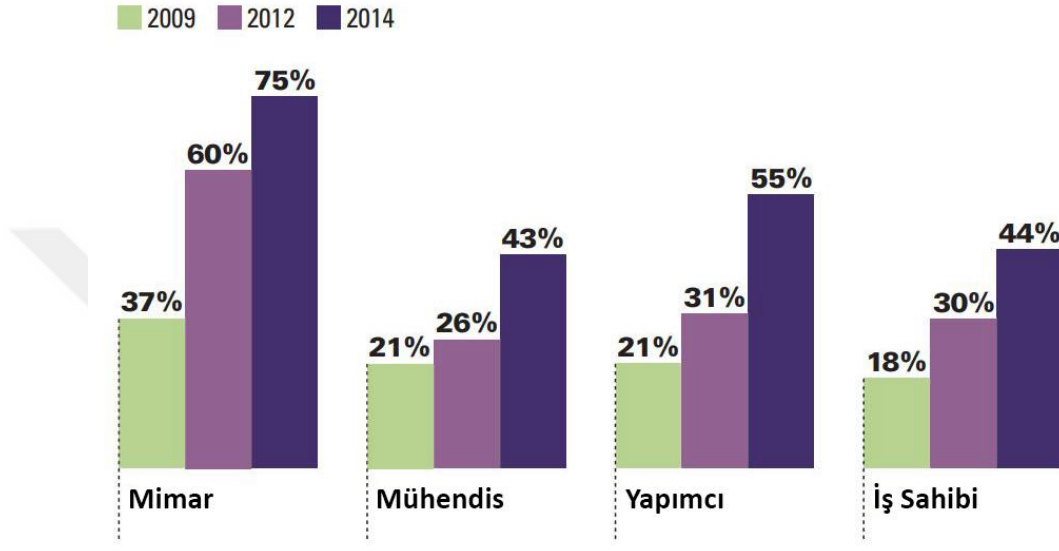
Şekil 3.5 : Kuzey Amerika için meslekler arası ve firma ölçeğinde göre BIM kullanım oranları (McGraw Hill, 2012).

Başka bir araştırma şirketinin yalnızca Birleşik Krallık için yaptığı anketlere göre, inşaat endüstrisinde BIM kullanımının 2011-2019 yılları arasında kullanım oranları Şekil 3.6’da verilmiştir. 2019 yılı için %69 oranında BIM kullanımının benimsendiği görülmektedir ancak 5 yıl içinde %96 oranında BIM kullanımına geçilmesi planlanmaktadır (NBS, 2019).



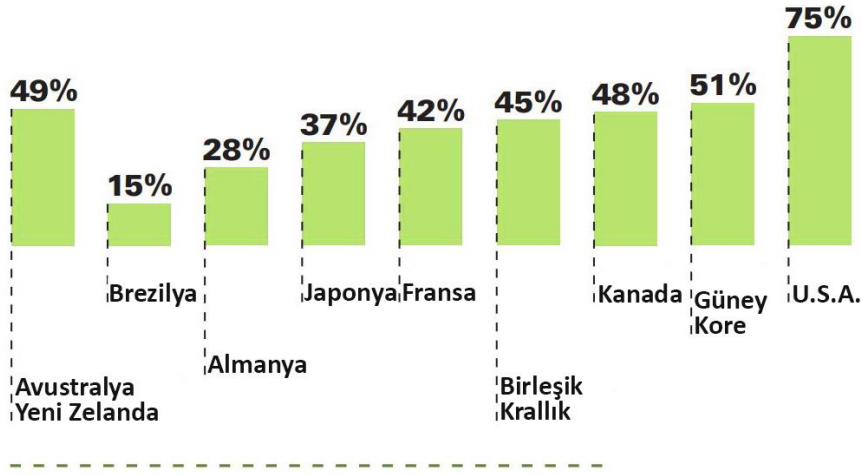
Şekil 3.6 : Birleşik Krallık için BIM kullanımı ve farkındalık oranları (NBS, 2019).

Yine Kuzey Amerika için yayınlanan McGraw Hill Construction'ın raporunda BIM'i projelerinin %60'ında kullanan kullanıcılar arasında meslek gruplarına göre istatistikler çıkarılmıştır (Şekil 3.7). 2009 yılında mimarlar %37, mühendisler ve yapımcılar %21 oranında BIM'I kullanırken, 2014 yılında mimarlar %75, mühendisler %43 ve yapımcılar %55 oranında BIM kullanmıştır (McGraw Hill, 2012).



Şekil 3.7 : Kuzey Amerikada projelerinin %60'ından fazlasında BIM kullanan meslek grupları (McGraw Hill, 2012).

Kuzey Amerika'da BIM farkındalık ve benimsenme oranları çok yüksek olmasına rağmen Avrupa kıtasında BIM benimsenme oranları kısmen daha azdır. Batı Avrupa için yapılan anket sonuçlarına göre 2010'da Fransa %38, Almanya %36, Birleşik Krallık %35 oranlarında BIM kullanımını benimsemiştir (McGraw Hill, 2010). 2014 yılı için, üç yıldan daha tecrübeli BIM kullanıcılarının dünya genelindeki istatistiklerine bakıldığında (Şekil 3.8), ABD %75'lik oranla birinci sıradadır. Sonrasında Güney Kore %51, Avustralya ve Yeni Zelanda %49 ve Kanada %48 oranında BIM kullanımına aşınadır (McGraw Hill, 2014).



Şekil 3.8 : En az üç yıl BIM tecrübesi olan kullanıcıların farklı dünya ülkelerinde oranları (McGraw Hill, 2014).

Dünyada gelişmiş ülkelerde BIM kullanımı hızla yaygınlaşmaya devam etmektedir. İngiltere, yeni iş ve büyüme fırsatları elde edebilmek için inşaat sektörünün uygulama çalışmalarını geliştirmeyi planlamaktadır. Bu nedenle Nisan 2016'dan bu yana tüm inşaatlarda ve hükümet projelerinde düzey 2 BIM kullanımını zorunlu kılmıştır. ABD, BIM kullanımına uzun yıllardır devam etse de bunu bir zorunluluk haline getirmemiştir. Bu nedenle BIM kullanım süreci daha yavaş ilerlemektedir. Ancak ABD Genel Hizmetler İdaresi (GSA) 2003 yılında bir BIM programı hazırlamıştır ve tüm kamu hizmet binası projeleri için bunu zorunlu hale getirmiştir. Fransa, BIM kullanımıyla ilgili 2014 yılında standartlar oluşturarak altyapı projeleri ve konut inşaatlarında BIM kullanımı teşvik etmiştir. İnşaat sektörünün dijital geçiş planı olarak düşünülen BIM için büyük bütçeler ayrılmıştır. İskandinav ülkeleri BIM teknolojilerinin ilk uygulayıcısı olmuştur. Finlandiya 2002 yılından beri BIM teknolojilerini kullanmaktadır ve 2007 yılında tüm tasarım yazılımlarında IFC (Industry Foundation Class) sertifikasyonu aranmaktadır. İsveç, 2015 yılında BIM kullanımını zorunlu hale getirmek için girişimlerde bulunmuştur (Url-5).

3.2.1 BIM kullanımının faydaları

BIM kavramının kullanımı, mimarlık, mühendislik ve yapım sektöründeki tüm paydaşları ilgilendirdiği için BIM'in faydalarını tek başlık altında toplamak güçtür. Literatürde farklı sınıflandırmalar olmakla beraber C.Eastman'a göre BIM kullanımının faydaları yapım öncesi süreçte işverene sağladığı faydalar, tasarımda

sağladığı faydalar, yapım ve üretim aşamasındaki faydalar ve yapım sonrası faydalar olarak dört ana başlıkta incelenebilir (Eastman ve diğ, 2011).

Yapım öncesi süreçte işverene sağladığı faydalar:

- Konsept, fizibilite ve tasarımla ilgili faydalar: İşveren bir mimarla çalışmadan önce belirli büyüklük, kalite ve program gereksinimleri olan bir projeyi, maliyet ve zaman bütçesi dahilinde inşa edip edemeyeceğini belirleyebilir.
- Yapı kalitesi ve performansının artırılması: Ayrıntılı bir yapı modeli oluşturulmadan önce, şematik modeller üzerinde yapının işlevsellik ve sürdürülebilirlik gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığı belirlenebilir.
- Bütünleşik proje teslimi ile işbirliğinin geliştirilmesi: Proje ekibinin koordine çalışması sağlanarak, projenin tüm aşamalarında gereksinimlere cevap verebilen, süre ve maliyet tahminlerinin doğru yapıldığı bir süreç yaratılabilir.

Tasarım Sürecindeki faydalar:

- Erken tasarım aşamasında, yüksek doğrulukta tasarım görsellerinin kullanılabilmesi
- Tasarımda yapılan değişikliklerin tüm Bim modeli üzerine yansması
- Tasarımın her aşamasında kesin ve tutarlı iki boyutlu çizimlerin üretilmesi
- Projenin ilk aşamalarından itibaren disiplinler arası iş birliğinin sağlanabilmesi
- Tasarım içeriğinin doğrulanması projenin erken aşamalarında sağlanabilir
- Tasarım süreci boyunca her aşamada maliyet tahminlerine ulaşılabilmesi
- Enerji etkin ve sürdürülebilir tasarımlar geliştirilebilmesi

Yapım ve üretim sürecindeki faydalar:

- Tasarım modelinin üretim sürecinde de kullanılabilmesi
- Tasarımdaki değişikliklerin hızlı şekilde projeye yansıtılması
- Yapım öncesi hata ve eksiklerin görülebilmesi
- Tasarım ve yapım planlamalarının senkronizasyonu
- Yalın inşa tekniğinin etkili yürütülebilmesi

- Tasarım ve yapımda satın alma senkronizasyonu

Yapım sonrası faydalar:

- Yapımı tamamlanan binanın işletme ve teslim işlemlerinin kolaylığı
- Yapının işletme ve yönetiminin daha iyi yapılması
- Yapı işletme operasyonları ve yönetim sisteminin entegrasyonu

CRC Construction Innovation, 2007’ye göre, BIM’in en önemli faydası bir binanın, entegre veri sistemiyle, tüm elemanlarının kesin doğrulukta geometrik gösterime sahip yapı bilgi modeli üzerinde toplanabilmesidir. Bunun yanında diğer faydaları şunlardır (CRC, 2007) :

- Hızlı ve etkin süreç: Enformasyon kolaylıkla paylaşılabilir, eklemeler yapılabilir ve yeniden kullanılabilir.
- Tasarım aşamasında ayrıntılı öneriler geliştirme: Bina önerileri titizlikle analiz edilebilir, hızlı simülasyonlar gerçekleştirilip ve karşılaştırmalar yapılarak yenilikçi ve gelişmiş çözümler üretilmesine izin verir.
- Projenin tüm yaşam süreci ve çevresel verilerin kontrolü: Çevresel performans öngörülebilir ve yaşam döngüsü maliyetleri daha iyi gözlemlenir.
- Yüksek üretim kalitesi: Otomatik kontrol yapabilen esnek çıktılar alınabilir.
- Otomatik montaj: Dijital ürün verileri sonraki işlemlerde ve yapısal sistemlerin imalatı ve montajı için kullanılabilir.
- Yaşam döngüsü verileri: Gereksinimler, tasarım, inşaat ve işletme bilgileri tesis yönetiminde kullanılabilir.

3.2.2 BIM kullanımının zorlukları

BIM kullanımı, sağladığı birçok faydanın yanında çeşitli riskler ve zorluklar da barındırmaktadır. BIM’in riskleri hukuksal ve teknik olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılabilir (Azhar, 2011)

BIM verilerinin sahipliğinin belirlenmemesi ve onu telif hakkı yasaları ve diğer yasal kanallar aracılığıyla koruma gerekliliği bu risklerden ilkidir. Örneğin, işveren tasarım için ücret ödüyorsa, sahiplenme hakkı olabilir, ancak ekip üyeleri projede kullanılmak üzere özel bilgiler sağlıyorsa, bu bilgilerin de korunması gerekir (Azhar, 2011). Ele

alınması gereken diğ er bir konu da verilerin BIM modeline işlenmesi ve kontrolünde sorumlu olacak kişinin belirsizliğıdir. BIM modelinde veri güncellenmesi ve doğruluğun sağlanması için sorumluluk almak büyük risk gerektirmektedir. Bu durumda proje ekibinde çalışanlar hata yapma endişesi yaşayabilir (Thompson & Miner, 2007).

İnşaat sektöründe BIM'in üretkenliği ve ekonomik faydaları geniş kitlelerce kabul görmekte ve giderek daha da iyi anlaşılmaktadır. Bunun yanında BIM'I uygulayabilmek için gerekli teknoloji hazır ve giderek olgunlaşmaya devam etmektedir. Buna rağmen BIM'in benimsenmesi beklenenden daha yavaş ilerlemektedir. (Azhar ve diğ, 2008). Bunun teknik sebepleri ise üç kategoride sınıflandırılabilir (Bernstein & Pittman, 2005) :

- Koordine  alışma sorunlarını ortadan kaldırmak için iyi tanımlanmış inşaat süreci modellerine duyulan ihtiyaç,
- Dijital tasarım verilerinin hesaplanabilir olması gerekliliği,
- Binanın bilgi modeli bileşenleri arasında anlamlı bilginin amaca yönelik değişimi ve anlamlı bir şekilde bütünleştirilmesi için iyi geliştirilmiş pratik stratejilere olan ihtiyaç.

BIM kullanımında karşılaşılan zorluklardan biri de kavrama dair yanılgılardır. BIM kullanımının geleneksel CAD yöntemleriyle üretilen teknik çizimleri üretme yeteneğinin kaybolacağı düşünülür. Ayrıca proje ekibinin bilgisayar kullanma ve modelleme konularında yeterli bilgiye sahip olmayışı da BIM'e bakışı olumsuz etkilemektedir. İnşaat firmaları için BIM kullanıma geçişte beş temel yanılgı vardır (Deutsch, 2011).

- BIM'e geçişte üretkenliğin azalacağı
- BIM uygulamalarını öğrenmenin zorluğu
- BIM'in halihazırdaki iş akışına zarar vereceği
- İşveren ve müteahhitlerin, tasarımcılara göre BIM kullanımından daha fazla fayda sağlayacağı
- BIM kullanımının riskleri arttırdığı.

3.2.3 Dünya’da BIM ile ilgili standartlar

Dünyada nüfus artışı ve refah seviyesinin yükselmesine bağlı olarak inşaat sektörünün büyümesi daha fazla yapı ve bu yapı alanlarında daha etkin biçimde iş yapabilme olanakları aranmasına yol açmaktadır. Bu olanak arayışı da BIM’in gelişmesini sağlamıştır. BIM’in gelişimi, dünya genelinde kabul görmesi ve uygulanmaya başlanması ile birçok ülke kendi standartlarını oluşturmaya başlamıştır. Birleşik Krallık, A.B.D, Fransa, İskandinav ülkeleri ve bazı Uzakdoğu ülkelerinde BIM’in kullanımına dair yakın dönemde önemli adımlar atılmıştır. Birçok ülke BIM aracılığıyla proje teslimlerinin yapılması yönünde kararlar alınmıştır ve tarihler belirlenmiştir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), İngiliz standartları enstitüsü (BSI), A.B.D BIM Standartları (NBIMS-US) gibi kurumlar ulusal ve uluslararası bazı standartlar oluşturmuşlardır. BIM ile ilgili oluşturulan ilk uluslararası standart “ISO 19650” 2018 yılının sonlarında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yayınlanmıştır. Yayınlanan standartlar sırasıyla “BS EN ISO19650-1 “Bina bilgi modellemesi kullanılarak bilgi yönetimi” Bölüm 1: Kavramlar ve ilkeler” ve “BS EN ISO19650-2 “Bina bilgi modellemesi kullanılarak bilgi yönetimi” Bölüm 2: Varlıkların teslim aşaması”dır.

BIM standartlarıyla ilgili çalışmalar olan bazı ülkelerin ortaya çıkardığı standartlar ve raporlar incelendiğinde başlıca Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık (UK) ön planda ele alınabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde BIM ile ilgili mevzuatlar (GSA-General Service Administration) Genel Hizmetler Müdürlüğü tarafından hazırlanmaktadır. GSA BIM ile ilgili mevzuata sahip olan ilk kamu kurumudur. GSA hazırladığı BIM rehberinde, çizimler ile anlatılmak istenenin ve genel inşaat programının anlaşılabilmesi ve değerlendirilebilmesini amaçlamıştır. Son yıllarda ABD’de BIM ile ilgili standart oluşturulmasında Yapı Bilimleri Ulusal Enstitüsü (NIBS) görev almaktadır. Son olarak 2015 yılında NIBS-US-V3 adlı BIM standardını yayınlamışlardır.

Birleşik Krallık (UK) 2011 yılında “yapım stratejisi” adlı dokümanla kamu inşaat harcamalarını %20 azaltmak amacıyla, 2016 yılından sonra geçerli olacak, tüm kamu projelerinde BIM kullanımını zorunlu hale getirmiştir. 2011 yılından itibaren BIM ile ilgili standart, mevzuat ve yönetmeliklerin hazırlanması sürecine ağırlık verilmiştir. Hazırlık sürecinde mimar ve mühendis odalarından yardımlar alınmıştır. 2016 yılında düzey 2 BIM kullanımının sağlanması hedefi koyulmuştur. Böylece sektörün,

gelecekte rakipleriyle rekabet edebilecek ekonomik altyapısının genişletilmesi hedeflenmiştir. İngiltere’de BIM için standardizasyon sağlamak amacıyla birçok doküman oluşturulmuştur. Bu dokümanlar (Akkoyunlu, 2015) :

- PAS 1192-2 ‘Yapım projeleri için BIM kullanarak proje teslim aşaması yönetimi için şartname’
- PAS 1192-3 ‘BIM kullanarak yapım unsurlarının kullanım/faaliyet aşamasının yönetimi için şartname’
- BS 8541-1 İngiliz Standardı, İngiliz Standardı, mimarlık, mühendislik, inşaat sektörü için eleman kütüphanesi: Tanımlar ve gruplamalar
- BS 8541-2 İngiliz Standardı, mimarlık, mühendislik, inşaat sektörü için eleman kütüphanesi: BIM için önerilen 2d semboller
- BS 8541-3 İngiliz Standardı, mimarlık, mühendislik, inşaat sektörü için eleman kütüphanesi: şekil ve ölçü
- BS 8541-3 İngiliz Standardı, mimarlık, mühendislik, inşaat sektörü için eleman kütüphanesi: ayrıntılama kriterleri ve simülasyon

3.3 Enerji Harcamalarının Azaltılmasına Yönelik Tasarımda BIM kullanımı

Dünyada, bina sektörünün toplam enerji tüketim oranlarında ve karbondioksit salımlarında yüksek bir paya sahip oldukları bilinmektedir. Bu nedenle binalarda enerji harcamalarının azaltılabilmesi ve sürdürülebilir yapma çevreler oluşturulabilmesi için enerji etkin tasarım yaklaşımının benimsenmesi ve uygulanması büyük önem taşır (McLeod, 2012). Enerji etkin tasarım yaklaşımının uygulanabilmesi, enerji etkin tasarım parametrelerinin, enerji harcamaları ve insan konforu açısından optimum değerlerinin bulunması ile mümkün olmaktadır.

Mimari tasarım süreci farklı disiplinlerin çalışmalarına ve katkılarına ihtiyaç duyulan bir süreçtir. Enerji etkin tasarım konuları da bunlardan bir tanesidir. Fakat kullanılan programların, koordinasyon, dosya ve bilgi aktarımı açısından yeterli olmayışı sebebiyle, tasarım süreci çoğu zaman tekil olarak ilerlemektedir. Günümüzde, enerji harcamalarının azaltılmasına yönelik çalışmalar, genellikle çeşitli simülasyon programları aracılığıyla yürütülmektedir. Ancak kullanılan mimari tasarım araçlarının, enerji simülasyon programlarıyla bağlantısı yeterli seviyede değildir (Cemesova,

2015). Bu nedenle tasarımda, enerji konuları genellikle arka planda kalmakta ve göz ardı edilmektedir.

BIM, ideal işleyişi göz önüne alındığında, proje ekipleri arasında en üst seviyede koordinasyonu vadeden bir süreçtir. Temel probleme çözüm sunması sebebiyle son yıllarda giderek benimsenmekte ve kullanıcıları artmaktadır. Tek bir model üzerinden tüm tasarım çalışmalarının yürütülebilmesi, diğer alanlar açısından olduğu gibi enerji etkin tasarım açısından da büyük katkı sunmaktadır. Tasarımcılar, fazladan bir programa ihtiyaç duymadan, tasarımın her aşamasında enerji analizleri yaparak tasarımlarına bu doğrultuda yön verme imkanına sahiptir.

3.3.1 Bina enerji modeli (BEM)

Bina enerji modeli (BEM), bina enerji kullanımlarının fizik tabanlı yazılımlarla hesaplanmasını sağlayan bir simülasyon modelidir. BEM yazılımları çeşitli denklemler, termodinamik kanunları ve bazı varsayımlar ile hesaplamalar yaparak simülasyonları gerçekleştirir. Binalarda enerji kullanımlarını etkileyen tüm parametreler enerji modelinin girdilerini oluşturur. Bunlar bina geometrisi, yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, sistemlerin etkinliği, kontrol stratejileri gibi verilerdir. BEM programları bu simülasyon girdilerini, yerel hava verileriyle birleştirerek, fiziksel denklemleri kullanarak ısı yükleri, sistemlerin bu yüklere tepkisini ve ortaya çıkan enerji kullanımları hesaplar. Aydınlatma, ısıtma, soğutma sistemlerinin sistem etkileşimleri de hesaba katılır. Ayrıca kullanıcı konforu ve enerji maliyetleri gibi ölçümler de yapılır. BEM programları bir yıl veya daha kısa süreler için simülasyonlar gerçekleştirir (Url-6).

BIM programları enerji analizi konularında da büyük avantajlara sahip olsa da kendi bünyesinde enerji simülasyonları gerçekleştirmez. Yalnızca analiz edilecek proje ile ilgili tüm verileri toplayarak bir bina enerji modeli üretir. Bu enerji modeli BIM programından gbXML dosya formatında dışarı aktarılarak, bir enerji simülasyon programında analiz edilir. Bu nedenle enerji simülasyonları açısından ele alınması gereken asıl konu BIM-BEM etkileşimidir (Pezeshki, 2019).

3.3.2 BIM ile enerji analizi

BIM kullanarak enerji analizleri yapmanın yararlarını irdelemek için öncelikle artılarını görebilmek için önce geleneksel yöntemlerdeki işleyiş ile karşılaştırmak gereklidir. Geleneksel yöntemde enerji analizlerini yapacak kişi, projeyle ilgili çizim, fotoğraf, proje verileri gibi bilgileri toplayarak, bağımsız bir enerji modelleme programında modeli inşa eder. Daha sonra kullanıcı verileri, ekipmanlar, aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri, kullanım çizelgeleri gibi tüm gerekli verileri programa tanımlar ve analizleri gerçekleştirir. Projede değişiklikler olduğunda, enerji modeli tekrar revize edilir. Tüm bu süreçler önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır. BIM kullanarak enerji modelleri üretildiğinde ise bu süreç oldukça kolaylaşır. Analizi yapacak kişi zaten var olan, tasarım ekibinin hazırladığı, mimari, mekanik ve elektrik projeleri işlenmiş BIM modelini kullanır. Bu model enerji simülasyonları için gerekli tüm verileri içerir (GSA, 2012).

BIM ile enerji analiz çalışmaları yapılırken öncelikle, düzgün hazırlanmış bir BIM modeline ihtiyaç vardır. Bu modelde çatı ve döşemelerin olmasına dikkat edilmelidir ve duvarlar, çatı ve döşemelere bitişik olmalıdır. Analiz edilecek mekanlar, bina geometrisiyle kapatılmış durumda olmalıdır. Model oluşturulduktan sonra, projenin lokasyonu, bina kabuğu, hacimler belirlenir. Daha sonra bu model, günümüzde kullanılan enerji analiz programlarının çoğula uyumlu olan gbXML formatında dışarı aktarılır ve enerji analiz programında açılarak analizler gerçekleştirilir (Krygiel & Nies, 2008).

BIM tabanlı bir enerji analizinde arazi ve bina lokasyonu, hava verileri, binanın yönelimi, yer ve bina yüksekliği, bina kat sayısı, bina kullanım türü, bitişik binaların 3 boyutlu geometrisi, analiz edilecek bina için duvar, giydirme cephe, çatı, döşeme, temel, pencere, kapı ve gölgeleme elemanlarını içeren 3 boyutlu model, yapı elemanları ve detaylı özellikleri, sınırları belli edilmiş mekanlar olması gereken girdilerdir (Beazley, 2017).

BIM'in enerji modelleme açısından en önemli faydalarından biri, projenin istenilen her aşamada kolaylıkla enerji performansının saptanabilmesidir. Amerika için GSA'nın hazırladığı BIM rehberinde bir projenin farklı aşamalarında yapılması gereken enerji analizleri ve amaçları tanımlanmıştır (GSA, 2012) :

Ön Konsept Tasarımı

İçerik: Arazinin yeri, bina yönlendirilmesi, kütle kararları ve varsayımlar

Amaç: Tasarım alternatiflerinin büyük ölçekte etkilerini hızlıca değerlendirmek

Ön konsept tasarım aşamasında enerji modellemesinin kullanılması, tasarım kararlarını oluştururken, proje ekibine değerli bilgiler sağlar. Termal zonların basitçe belirlendiği taslak enerji modeli üzerinden proje alanı, bina kütlesi, cephe tercihleri, bina yönlendirilmesi ve alternatif enerji kaynakları oluşturulması gibi çalışmalar gerçekleştirilebilir. Örneğin, tasarım aşamasında oluşturulan basit mimari şemalar, farklı yönlerde analiz edilerek güneş ışıınımı ve enerji harcamaları açısından optimum seçenekler belirlenebilir. Projenin ilerleyen aşamalarında bu değişiklikleri yapmak oldukça zor olduğu için ön konsept proje aşamasında enerji modelleri üretilmesi tasarım ekibine önemli avantajlar sağlar.

Nihai Konsept Tasarımı:

İçerik: Bina geometrisi, ön plan, yapım, mekanik ekipman, ara varsayımlar

Amaç: Önerilen tasarım şemalarını değerlendirmek ve karşılaştırmak, yönetmelik uyumu

Nihai konsept tasarımında enerji modelleri üzerinde çalışmak, ön konsept proje aşamasında olduğu gibi tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesine katkı sağlar. Fakat bu aşamada daha detaylı enerji modelleri üretilebilir. Ön konsept aşamasında, arazide konumlanma, yönlendirme gibi temel tasarım kararları oluşturulduktan sonra, nihai konsept aşamasında ısıtma, soğutma havalandırma sistemleri, yakıt tipleri, yapım sistemleri ve temel mimari kararlar açısından değerlendirmeler yapılarak, proje gelişimine katkı sağlanır. Böylece, projenin gerekli performans hedeflerine ulaşım ulaşamadığı belirlenebilir ve erken aşamada revizyonlar yapılabilir.

Tasarım Geliştirme:

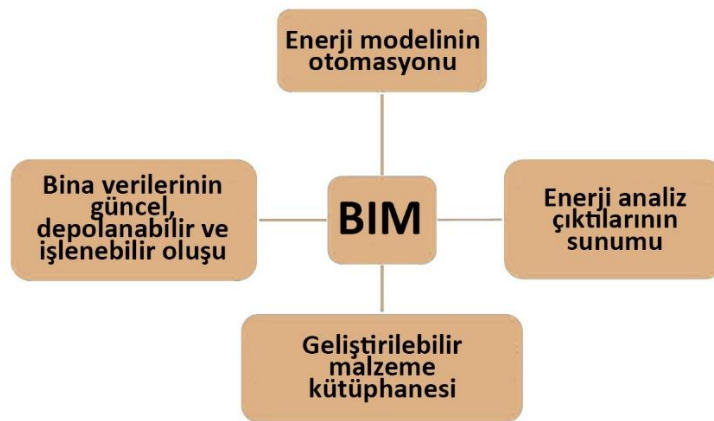
İçerik: Bina geometrisi, ayrıntılı plan, detaylı yapım sistemi ve cephe, mekanik ekipman, detaylı varsayımlar

Amaç: Nihai tasarımın enerji performansını görmek, ayrıntılı analizler, yönetmelik ile uyumunu belirlemek

Tasarım geliştirme aşamasında enerji modelleri üzerinden çalışılması, tasarım ekibinin detaylı parametrik analizler yapabilmesini sağlar. Parametrik analizler, pencere tipi, yalıtım değerleri, HVAC sistem konfigürasyonları, kontrol stratejileri gibi çeşitli bina sistemleri veya alt sistemlerin tasarım üzerindeki etkilerini detaylı inceleme imkanı sağlar. Böylece tasarım açısından optimum seçenekler belirlenebilir. Proje maliyeti konuları işe dahil olduktan sonra, malzeme ölçeğinde denemeler yapılarak, seçimler değiştirilebilir. Bu denemeler yapılırken eleme yöntemi kullanılarak, tüm bina bileşenleri için enerji performansı etkisi net olarak belirlenebilir. Bu yöntemde, bir dizi simülasyonlar yapılarak, enerji performansı ölçülecek bileşen için enerji performansını etkileyecek tüm parametreler sıfırlanarak sonuçlar alınır. Böylece bu bileşenin enerji performansı üzerindeki etkisi net olarak görülebilir. Tasarım geliştirme aşamasının sonunda, proje ekibinin enerji ile ilgili bileşenler konusunda net kararlarını vermiş olması beklenir.

3.3.2.1 Avantajlar

BIM kendi bünyesinde enerji hesaplamaları gerçekleştirmese de sağladığı güçlü veri kaynağı sayesinde enerji analizleri açısından önemli avantajlara sahiptir (Şekil 3.9). BIM'in enerji analizleri açısından avantajları enerji modelinin otomasyonu, binaya ait verilerin devamlı güncel tutulabilmesi, saklanması ve organize edilebilmesi, malzeme kütüphanesinin sürekli gelişebilir olması ve çıktıların BIM modeli üzerinden daha etkili sunulabilmesidir (Kamel & Memari, 2019).



Şekil 3.9 : BIM'in enerji analizleri açısından avantajları (Kamel & Memari, 2019).

Modelleme işleminin otomasyonu, enerji simülasyonları açısından BIM'in en önemli avantajlarından biridir. Bina geometrisi, malzeme özellikleri, mekanik ekipmanlar gibi verilerin bir program üzerinde yeniden modellenmesiyle kullanılan geleneksel enerji

modelleme süreciyle kıyaslandığında, model işleminin otomasyonu ile BIM sistemleri zamandan tasarruf sağlar, maliyetleri düşürür ve oluşabilecek insan hatalarını minimize eder.

BIM'in enerji simülasyonları bakımından ikinci büyük avantajı, özellikle grafiksel bir kullanıcı arayüzü olmayan enerji analiz programlarına göre, enerji çıktılarının anlaşılması ve sunumu açısından kolaylıklar sağlamasıdır. Çeşitli eklentiler kullanılarak, BIM aracılığıyla elde edilen analiz sonuçları ve BIM modelinden alınan geometrik veriler kullanılarak, binadaki farklı bölgelerin gerçek zamanlı enerji performansı gözlenebilmektedir.

Binaya ait verilerin devamlı güncel tutulabilmesi, saklanması ve organize edilebilmesi BIM'in sağladığı önemli avantajlardandır. Belirlenen termal zonlarda bina bileşenleri ve seçilen ekipmanlara göre bina enerji tüketimi, sıcaklık değerleri, kullanım gibi enerji ile ilgili veriler, gerçek zamanlı enerji izleme sistemleriyle görüntülenebilmektedir. Bu bağlamda projede oluşabilecek değişikliklerin, enerji konuları bakımından oluşturduğu etkiler kolayca takip edilebilir. BIM ayrıca enerji simülasyonlarında kullanılan malzeme özelliklerine ilişkin mevcut kütüphanelerin geliştirilmesine de katkı sağlar. Projede kullanılacak malzemelerin enerji simülasyonlarında ihtiyaç duyulan ısı özelliklerine kolayca erişim sağlanır.

3.3.2.2 Dezavantajlar

BIM, tüm bina ve tasarım dokümanlarıyla ilgili bilginin saklandığı veri sistemi olarak düşünüldüğünde, bu sistemdeki bilginin enerji analizi için sorunsuz aktarımı noktası, temel problemi oluşturur. İdeal işlerliğin sağlanabilmesi için BEM araçlarının, BIM dosyaları tarafından sağlanan tüm özellikleri desteklemesi ve BIM dosyası şemasının enerji simülasyonu için gerekli tüm bilgileri tanımlaması gerekir.

Yapılan bir çalışmada BIM'in enerji analizlerinde kullanımında ortaya çıkan sorunlar şöyledir (Kamel & Memari, 2019) :

- Veri alışverişi sırasında iki araç arasında veri kaybını önlemek için ara katman düzeltme araçları veya manuel işlemlerin uygulanması gerekir.
- Her ne kadar gbXML gibi BIM dosya formatları, enerji simülasyonu için gerekli tüm verileri aktarabiliyor olsa da, diğer araçlar arasındaki veri alışverişi sırasında veri kayıpları yaşanabilir.

- Revit gibi BIM programları, enerji simülasyonu amacıyla gbXML dosyasını dışa aktarırken alt yüzeyler ve daha küçük alanlar oluşturur; bu işlem sırasında boşluk ve öğelerin sayısı, başlangıçta modellendiklerinden farklı olduğundan işlem sırasında karışıklığa ve hataya neden olabilir.
- Enerji simülasyonu için gerekli verilerin bir kısmı kullanıcı tarafından tanımlanamamaktadır. Bu durumlarda BIM, farklı standartlara dayanan değerleri ve varsayımları kullanabilmektedir.





4. ENERJİ HARCAMALARININ AZALTILMASINI HEDEFLEYEN YERLEŞME DOKUSU TASARIM PARAMETRELERİNİN BIM ARACILIĞI İLE OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

Yerleşme dokularında enerji harcamalarının azaltılması, öncelikle tasarım parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi ile olanaklıdır. Çalışma kapsamında İstanbul ili (Ilımlı-nemli iklim bölgesi) için sıkça kullanılan yerleşme dokularından hareketle farklı yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilerek, enerji harcamaları açısından en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yerleşme ve bina ölçeğinde yapılacak analizler, günümüzde tasarım süreçlerinde sıkça kullanılmaya başlayan, sağladıkları kolaylıklar ve yenilikler ile öne çıkan BIM tabanlı yazılım Revit aracılığıyla yapılmıştır. Geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri Autodesk'in enerji etkin tasarıma yönelik eklentileri olan Green Building Studio ve Insight üzerinden analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

4.1 Yerleşme Dokusu ve Referans Bina İçin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında yerleşme ölçeğinde ve bina ölçeğinde, enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen tasarım parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenebilmesi için, BIM programı aracılığıyla simülasyon yöntemiyle hesaplamalar yapılmıştır. Türkiye'de mevcut konut stoğunun istatistiksel verileri referans konut dokularını tanımlamada yeterli olmadığından, İstanbul'da sıkça görülen yerleşme dokuları incelenerek, yaygın kullanılanlar referans olarak ele alınmıştır. Bu doğrultuda farklı yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilmiştir. Yerleşme dokusunu tanımlayan konut referans bina olarak ele alınmıştır. Yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilirken kullanılan veriler ve kabuller detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1 İklim ve dış çevreye ilişkin tasarım parametreleri

Yerleşme dokularında enerji harcamaları iklimsel farklılıklara bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen yerleşme dokularının,

yerleşme ve bina yoğunluğunun hızla arttığı İstanbul ilinde yer aldığı kabul edilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde daha önce gerçekleştirilmiş araştırma projesi sonuçlarına göre İstanbul ili, Ilımlı-nemli iklim bölgesi içinde yer almaktadır (Zeren, 1987). Türkiye'de halen yürürlükte olan TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında ise İstanbul ili, ısıtma derece gün bölgelerine göre 2.Bölgede bulunmaktadır (TS 825, 2013).

Çalışmada kullanılan iklim verileri Revit yazılımının, proje lokasyonunu belirledikten sonra, kendi sistemi üzerinden, projenin lokasyonuna en yakın hava istasyonundan aldığı iklim verileridir. Yazılım iklim verileri konusunda oldukça geniş veritabanına sahip bir sistem kullanmaktadır ve birçok bölgenin iklim verilerine lokasyon girerek ulaşmak mümkündür ancak güncel durumda dışarıdan programa iklim verileri tanımlamak mümkün değildir.

İstanbul ili için gerçekleştirilen bu çalışmada ISTANBUL/ATATURK AB adlı hava istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Tanımlanan iklim verileri, ısıtma ve soğutma derece günleri, kuru termometre sıcaklık değerleri, yıllık güneş ışınlamı değerleri, rüzgar ve nem gibi gerekli tüm verileri içermektedir.

İç iklime ilişkin tasarım parametreleri için ısıtma istenen dönemde iç hava sıcaklığı 20°C, ayar sıcaklığı (set point temperature) 13°C, soğutma istenen dönemde iç hava sıcaklığı 26°C, ayar sıcaklığı (set point temperature) 32°C kabul edilmiştir. Yaşama alanlarında kişi başına düşen minimum taze hava miktarı ise 10 (L/s) olarak alınmıştır.

4.1.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri

İç iklimsel konforun gerçekleştirilmesinde önemli olan kullanıcıya ilişkin parametreler yaşama mekanı ve iklimsel konfor koşullarına göre belirlenmiştir. Referans binada kişi başına düşen alan 25m², kişi başına duyulur ısı kazanımı 73.27 W, gizli ısı kazanımı 45.43 W olarak tanımlanmıştır.

4.1.3 Yerleşme ve binaya ilişkin tasarım parametreleri

Yerleşme ve binaya ilişkin tasarım parametrelerine ilişkin kabuller aşağıda açıklanmıştır.

Yer

Çalışma kapsamında analiz edilen yerleşme dokuları, dokuz adet eş binanın birbirlerine eşit mesafelerde konumlandırılarak, bir yerleşme dokusu oluşturacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Tüm yerleşme dokularının düz bir yerey parçası üzerinde olduğu varsayılmıştır. Çalışmada İstanbul ili esas alındığı için tüm alternatiflerde yerey parçası 40,97 enlem, 28,82 boylam koordinatlarındadır ve denizden yüksekliği 37m'dir.

Binaların birbirine göre konumu ve bina aralıkları

Yerleşme dokusunu tanımlayan en önemli parametre binaların birbirine göre konumu ve bina aralıklarıdır. Binaların güneş ışınlımından faydalanma oranlarını belirleyen parametre olduğu için ısıtmaya ihtiyaç duyulan dönemin uzun olduğu bölgelerde, optimum mesafelerin belirlenmesi enerji harcamalarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

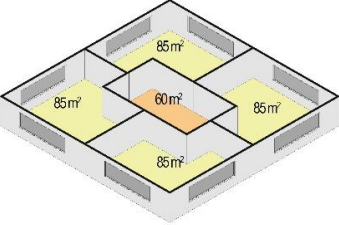
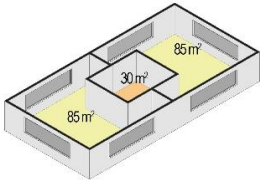
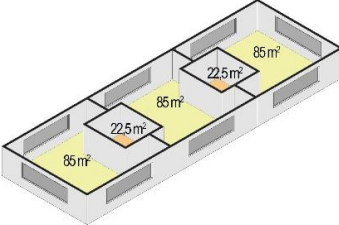
Çalışmada, ısıtmaya ihtiyaç duyulan dönemin uzun olduğu ılımlı-nemli iklim bölgesinde olan İstanbul ili ele alındığı için, ısıtma istenen dönemde güneş ışınlımının cepheleri en üst yeğinlikte etkilemesi istenmektedir. Bu nedenle yerleşme dokularında bina aralıkları, komşu binaların oluşturduğu en uzun gölge alanı derinliğine eşit ya da bu gölge derinliğinden fazla olmalıdır. Çalışmada, oluşturulan alternatif yerleşme dokularında binalar arası mesafe, bina yüksekliklerinin bina aralıklarına oranı olarak tanımlanan H/W oranına göre belirlenmiştir. Yerleşme dokuları oluşturulurken 0.5, 0.75, 1, 1.25 ve 1.5 olmak üzere beş farklı H/W oranı dikkate alınmıştır. Oluşturulan yerleşme dokularındaki sokak genişlikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Yerleşme dokusu alternatiflerinde, biçim faktörü (BF), H/W oranları ve sokak genişlikleri.

Biçim Faktörü (BF)	H/W Değerleri	Sokak Genişlikleri (m)	
		5 Katlı (15m)	10 Katlı (30 m)
1.00 2.00 3.00	0.50	30	60
	0.75	20	40
	1.00	15	30
	1.25	12	24
	1.50	10	20

Bina formu

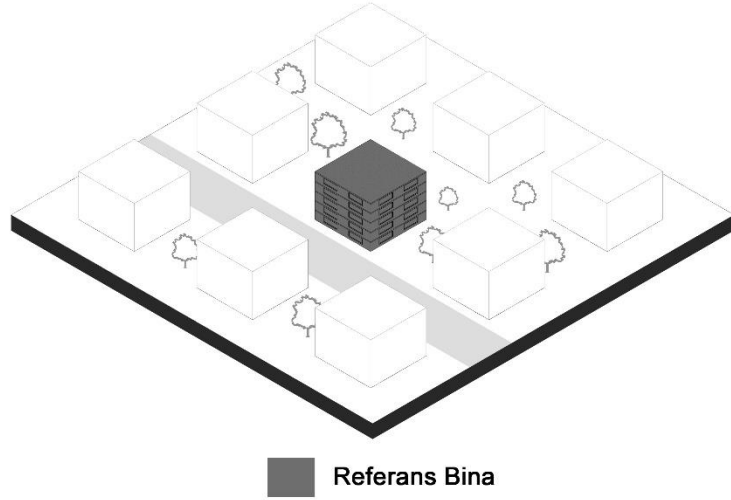
Çalışmada bina formu belirlenirken İstanbul ilindeki yerleşmelerde görülebilecek plan tipleri esas alınmıştır. Yerleşme dokularını meydana getiren tüm binalar aynı formda kabul edilmiştir ve üniform dokular geliştirilmiştir. Dolayısıyla bina formu aynı zamanda yerleşme dokusunun da formunu belirleyen parametredir. Yerleşme dokularında, analizlerin gerçekleştirileceği referans binalar 100m² taban alanına sahip modüllerden oluşturulmuştur. Bu modüllerin 15m²'lik bölümü sirkülasyon alanlarına, 85m²'lik bölümü ise yaşama birimlerine ayrılmıştır. Bina formları, planda bina genişliğinin bina derinliğine oranı olarak tanımlanan biçim faktörüne bağlı olarak belirlenmiştir. Kare ve dikdörtgen taban alanlı plan tipleri üzerinden biçim faktörü 1.00, 2.00, 3.00 olan üç farklı biçim faktörüne sahip form alternatifleri oluşturulmuştur. Biçim faktörü 1.00 olan bina formunda 4 adet modül, kare tabanlı bir plan oluşturacak şekilde bir araya getirilmiştir. Biçim faktörü 2.00 ve 3.00 olan form alternatiflerinde ise sırasıyla 2 ve 3 adet modül bir araya getirilerek dikdörtgen bina formları oluşturulmuştur (Şekil 4.1).

Biçim Faktörü (BF) 1.00	Biçim Faktörü (BF) 2.00	Biçim Faktörü (BF) 3.00
		
Genişlik Derinlik	Genişlik Derinlik	Genişlik Derinlik
20 m 20 m	20 m 10 m	30 m 10 m

Şekil 4.1 : 3 farklı biçim faktöründe belirlenen plan tipleri ve ölçüleri.

Belirlenen bina formları çerçevesinde oluşturulacak yerleşme dokularında bina kat yüksekliği tüm alternatifler için 3.00 m kabul edilmiştir. 5 ve 10 katlı olmak üzere 2 farklı bina yüksekliği belirlenmiştir. Tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde binalar ayırık nizamda, nokta blok yerleşmeler olarak tanımlanmıştır.

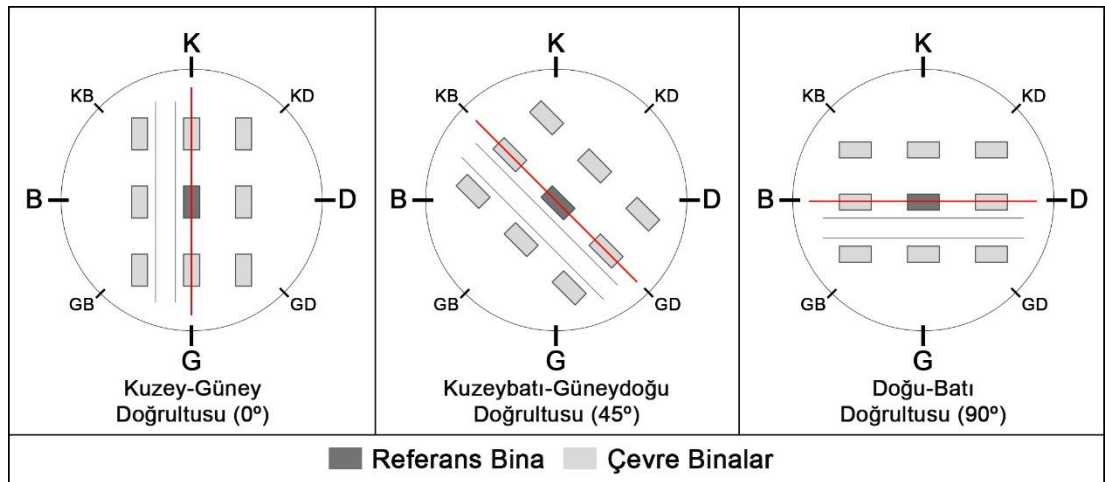
Geliştirilen yerleşme dokularının her biri 9 (3x3) adet eş formda konut binasından oluşmaktadır. Yerleşme dokusunun merkez konumunda (ortasında) bulunan binalar referans binalar olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Yerleşme dokusu ve referans binanın konumlandırılması.

Bina ve yerleşmenin yönlendiriliş durumu

Bina ve yerleşmelerin yönlendiriliş durumuna göre dış çevre koşullarının binaya etkileri değişiklik göstermektedir. Bu nedenle enerji harcamalarının azaltılmasında dış çevre koşullarının etki düzeyinin değerlendirilebilmesinde yönlendiriliş durumu önem kazanmaktadır. Çalışmadaki yerleşme dokularında, referans binaların ön cephesini belirten sokaklara paralel doğrultular esas alınarak yönlendirme yapılmıştır. Bu doğrultular 45°'lik açılarla değiştirilerek yerleşme dokusu alternatifleri üretilmiştir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi yola paralel kırmızı çizgiler, yönlelere bağlı doğrultuları belirtmektedir.



Şekil 4.3 : Yerleşme dokularında binaların yönlendiriliş durumları.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, hava sıcaklığı ve güneş ışıınımı gibi iklim elemanlarının bina üzerindeki etkisini ve buna bağlı olarak, kazanılan ve kaybedilen ısı miktarını belirleyen önemli bir parametredir. Çalışma kapsamında geliştirilen yerleşme dokularında enerji harcamaları hesaplanan referans binaların dış kabuğuna ilişkin optik ve termofiziksel özellikler TS 825-Binalarda Isı Yalıtım Kuralları adlı standartta tanımlanan toplam ısı geçirme katsayısı sınır değerleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Çizelge 4.2’de belirlenen U değerleri ve katmanlaşma detayları verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Referans binalar için belirlenen U değerleri ve katmanlaşma detayları (TS 825, 2013).

Bileşen Adı	Katmanlar	Isı İletkenlik			U değeri (w/m²K)	İstanbul Limit U Değerleri - Ts 825 (w/m²K)
		Katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m³)		
Dış Duvar	İç sıva (Kireç-çimento harcı)	0,80	0,02	1600	0,568	0,57
	Yatay delikli tuğla	0,42	0,19	900		
	Çimento harçlı sıva	1,60	0,03	2000		
	Isı yalıtım levhası (taşıünü)	0,05	0,05	92		
	Alçı sıva	0,51	0,02	1200		
İç Duvar	Alçı sıva	0,51	0,02	1200	1,265	
	Yatay delikli tuğla	0,42	0,19	900		
	Alçı sıva	0,51	0,02	1200		
İç Döşeme	Laminat parke	0,14	0,01	600	1,674	
	Katkılı şap	1,40	0,05	2000		
	Ses yalıtım şiltesi	0,04	0,01	40		
	Betonarme döşeme	2,50	0,14	2400		
	Alçı sıva	0,51	0,02	1200		
Toprağa Temas Eden Döşeme	Laminat parke	0,14	0,01	600	0,527	0,57
	Katkılı şap	1,40	0,05	2000		
	Koruma betonu	1,65	0,03	2200		
	Isı yalıtım levhası (xps)	0,04	0,04	35		
	Tesviye harcı	1,40	0,05	2000		
	Temel betonu	2,50	1,00	2400		
Çatı	Çakıl	0,36	0,01	1840	0,384	0,38
	Keçe	0,19	0,00	960		
	Isı yalıtım levhası (xps)	0,04	0,08	35		
	Su yalıtımı	0,30	0,01	1200		
	Eğim betonu	1,65	0,04	2200		
	Betonarme döşeme	2,50	0,14	2400		
	Alçı sıva	0,51	0,02	1200		
Pencere	Low-E kaplamalı düz cam	1,00	0,00	-	1,042	1,4
	Hava boşluğu (argon)	-	0,01	-		
	Low-E kaplamalı düz cam	1,00	0,00	0		
	Pvc				1,8	

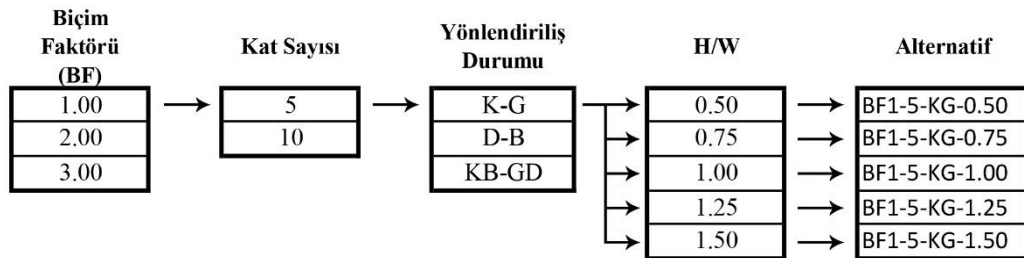
4.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri

Aktif bina alt sistemleri seçiminde Revit programı, kullanıcıya belirli sistem seçenekleri sunmaktadır. Bunun dışında manuel olarak sistem seçimleri gerçekleştirilememektedir. Bu çalışma kapsamında, Revit'in sınırlı sistem seçenekleri arasından konutlar için uygun olması nedeniyle referans binalar için "4 Borulu Fancoil, Chiller 5.96 COP, Boyler 84.5 eff" HVAC sistemi seçilmiştir. Sistemin sahip olduğu detaylı özellikler şöyledir (Url-7) :

- Su soğutmalı santrifüj chiller (COP 5.96)
- Değişken hızlı fana sahip, açık, atmosferik basınçlı soğutma kulesi
- İleri-Kavisli sabit hacimli fan ve birinci sınıf verimli motor
- 0,25 inç su saatii (62,3 pascal) statik basınç Sabit Hacimli kanal sistemi
- Çekme fanlı, doğalgazlı sıcak su kazanı
- Değişken hacimli sıcak su ve soğuk su pompası
- Sıcak ve soğuk su bobini
- Evsel sıcak su ünitesi (0.575 Energy Factor)

4.2 Yerleşme Dokusu Alternatiflerinin Geliştirilmesi

Çalışma kapsamında, yerleşme dokusunda enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan tasarım parametrelerinin optimizasyonu için yerleşme dokusu alternatiflerinin kodlanmasına ilişkin açıklama Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Yerleşme dokusu alternatifleri kodlarının açıklanması.

Farklı yerleşme dokuları biçim faktörü (Bina genişliğinin bina derinliğine oranı), kat sayısı, yönlendiriliş durumu ve H/W (Bina yüksekliğinin sokak genişliğine oranı)

parametreleri için değişken değerler kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada biçim faktörü değerleri 1.00, 2.00 ve 3.00, bina kat sayıları 5 ve 10, H/W değerleri ise 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca yerleşme dokuları kuzey-güney (KG), doğu-batı (DB) ve kuzeybatı-güneydoğu (KBGD) doğrultularında yönlendirilerek, toplam 80 yerleşme dokusu alternatifini tanımlanmıştır. Enerji simülasyonları geliştirilen yerleşme dokularında tanımlanan referans binalar için yapılarak, enerji harcamaları hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

4.3 Geliştirilen Alternatiflerde Referans Bina İçin Enerji Harcamalarının Hesaplanması

Geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir BIM programı olan Revit aracılığıyla modellenmiştir. Modellenen yerleşme dokularında enerji harcamalarına etki eden parametreler tanımlanarak, Revit programıyla koordine şekilde alışan Green Building Studio ve Insight sistemlerinde enerji analizleri yapılmıştır ve enerji harcamaları hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında oluşturulan yerleşme dokularında, referans binalar için modül başına ısıtma amaçlı enerji tüketimleri ve soğutma amaçlı enerji tüketimleri esas alınmıştır. Bunun yanında enerji kullanım yoğunluğu (EUI) değerleri de dikkate alınmıştır. Tüm yerleşme dokularındaki analizler sonucu ortaya çıkan ısıtma, soğutma enerjisi harcamaları ve enerji kullanım yoğunluğu miktarları verilmiştir (Ek A).

4.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Enerji analizleri, yerleşme dokularındaki binaları temsil eden her referans bina için ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yerleşme dokularında, analizler sonucu elde edilen enerji harcamalarına bağlı olarak değerlendirme yapılırken, ilk olarak üç farklı biçim faktörü değerine sahip alternatifler kendi aralarında 5 ve 10 katlı alternatifler olarak gruplandırılmıştır. Bu yerleşme dokuları arasında en yüksek enerji harcamalarına sahip alternatifler “en olumsuz performans gösteren alternatif”, en düşük enerji harcamalarına sahip alternatif ise “ en iyi performans gösteren alternatif” olarak kabul edilmiştir.

Geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri kapsamında, İstanbul ilinde, enerji harcamalarının azaltılmasını hedefleyen tasarım parametrelerinin optimum kombinasyonları değerlendirilmiştir.

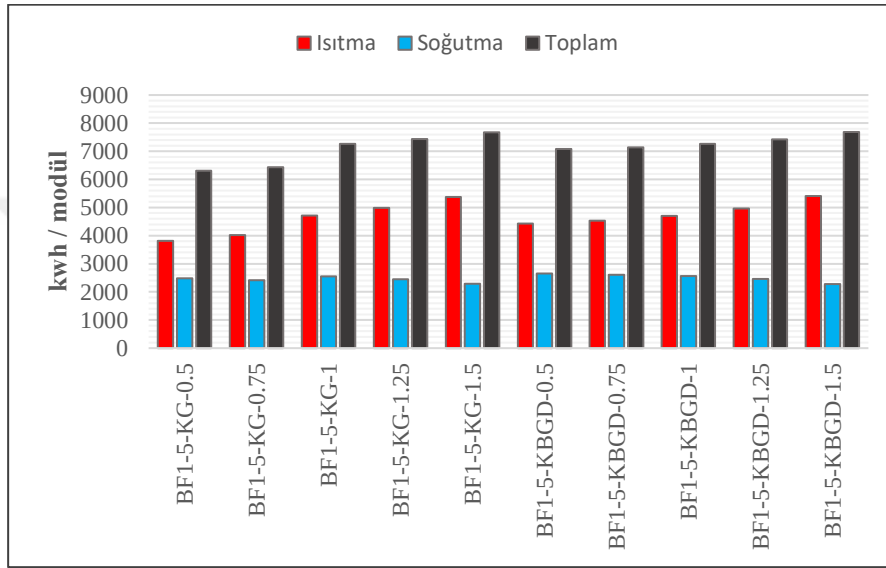
Değerlendirmeler aynı biçim faktörü ve kat yüksekliğine sahip alternatifler gruplandırılarak yapılmış ve değerlendirmelerde aşağıdaki yol izlenmiştir:

- Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırılarak, en düşük toplam enerji harcamasını sağlayan alternatif, en iyi performans gösteren alternatif, en yüksek toplam enerji harcamasını sağlayan alternatif, en olumsuz performans gösteren alternatif olarak tanımlanmıştır.
- Yönlenmenin etkisini irdelemek için yapılan değerlendirmede, aynı yönlendiriliş durumuna sahip alternatiflerden en iyi performansı gösteren alternatifler birbiri ile kıyaslanmıştır.
 - Biçim Faktörü 1.00 için Kuzey-Güney doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren alternatif Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren alternatifle karşılaştırılmıştır.
 - Biçim Faktörü 2.00 ve 3.00 için Doğu- Batı doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren alternatif Kuzey-Güney ve Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren alternatifler ile karşılaştırılmıştır.
- Yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W değerlerindeki değişime göre, yapılan değerlendirmede, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak çizelgeler hazırlanmıştır.

Biçim Faktörü 1.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF1-5-KG-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF1-5-KG-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF1-5-KG-0.5” alternatifi “BF1-5-KG-1.5” alternatifine göre ısıtma

açısından %30, toplamda %18 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %8 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirmiştir (Şekil 4.5).

Yönlenmeye göre enerji harcamalarındaki değişim incelenecek olursa, Kuzey-Güney doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren “BF1-5-KG-0.5”, Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF1-5-KBGD-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %14, soğutma açısından %7, toplamda %11 daha düşük enerji harcamaları oluşturur.



Şekil 4.5 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 1.00 ve 5 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

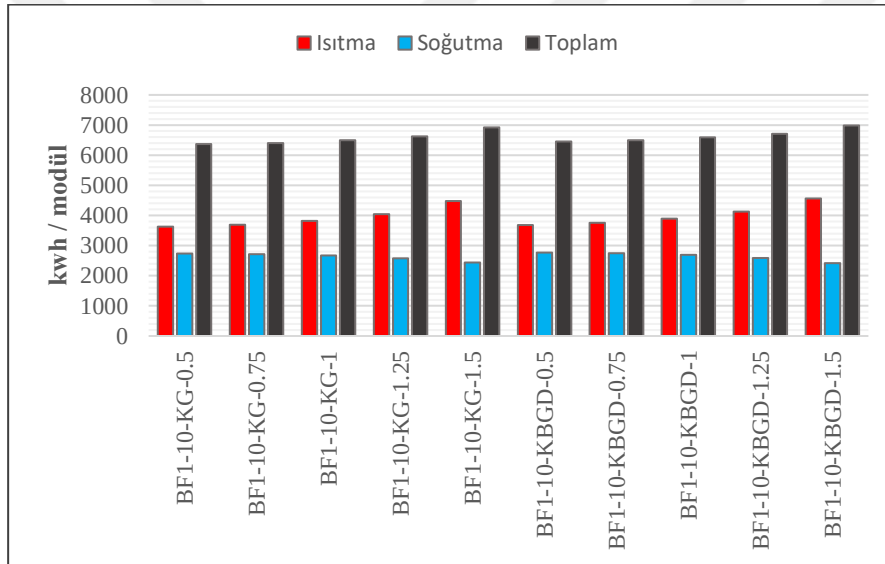
Alternatif	BF1-5-KG-1.5	BF1-5-KG-1.25	BF1-5-KG-1	BF1-5-KG-0.75	BF1-5-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5379	4984	4711	4016	3818
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%7,3	%12,4	%25,3	%29,0
Alternatif	BF1-5-KG-1	BF1-5-KG-0.5	BF1-5-KG-1.25	BF1-5-KG-0.75	BF1-5-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2548	2485	2447	2420	2292
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%2,5	%4,0	%5,0	%10,0
Alternatif	BF1-5-KG-1.5	BF1-5-KG-1.25	BF1-5-KG-1	BF1-5-KG-0.75	BF1-5-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7671	7431	7259	6436	6304
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%3,1	%5,4	%16,1	%17,8

Çizelge 4.4 : Biçim faktörü 1.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF1-5-KBGD-1.5	BF1-5-KBGD-1.25	BF1-5-KBGD-1	BF1-5-KBGD-0.75	BF1-5-KBGD-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5406	4968	4702	4531	4426
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%8,1	%13,0	%16,2	%18,1
Alternatif	BF1-5-KBGD-0.5	BF1-5-KBGD-0.75	BF1-5-KBGD-1	BF1-5-KBGD-1.25	BF1-5-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2659	2607	2558	2456	2283
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%2,0	%3,8	%7,6	%14,1
Alternatif	BF1-5-KBGD-1.5	BF1-5-KBGD-1.25	BF1-5-KBGD-1	BF1-5-KBGD-0.75	BF1-5-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7688	7424	7260	7138	7085
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%3,4	%5,6	%7,2	%7,8

Biçim Faktörü 1.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF1-10-KG-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF1-10-KBGD-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF1-10-KG-0.5” alternatifi “BF1-10-KBGD-1.5” alternatiline göre ısıtma açısından %20, toplamda %9 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %11 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirir.

Yönlenebilirliğe göre enerji harcamalarındaki değişim incelenecek olursa, Kuzey-Güney doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren “BF1-10-KG-0.5”, Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF1-10-KBGD-0.5” alternatiline göre ısıtma açısından %2, soğutma açısından %1, toplamda %1.4 daha düşük enerji harcamaları oluşturur.



Şekil 4.6 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 1.00 ve 10 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF1-10-KG-1.5	BF1-10-KG-1.25	BF1-10-KG-1	BF1-10-KG-0.75	BF1-10-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	4483	4046	3825	3693	3628
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,7	%14,7	%17,6	%19,1
Alternatif	BF1-10-KG-0.5	BF1-10-KG-0.75	BF1-10-KG-1	BF1-10-KG-1.25	BF1-10-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2737	2712	2668	2582	2440
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%0,9	%2,5	%5,7	%10,9
Alternatif	BF1-10-KG-1.5	BF1-10-KG-1.25	BF1-10-KG-1	BF1-10-KG-0.75	BF1-10-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	6923	6629	6492	6405	6365
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,2	%6,2	%7,5	%8,1

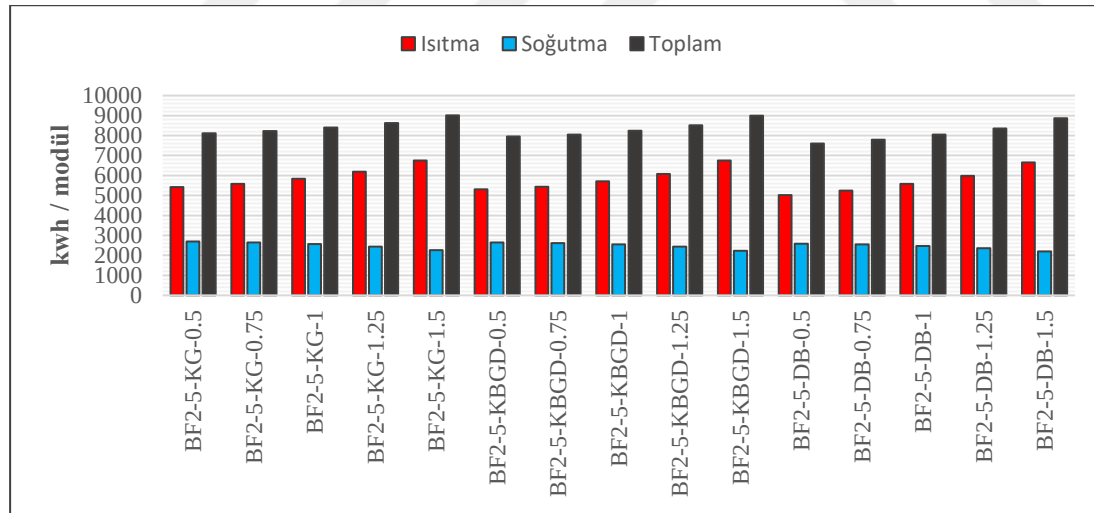
Çizelge 4.6 : Biçim faktörü 1.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF1-10-KBGD-1.5	BF1-10-KBGD-1.25	BF1-10-KBGD-1	BF1-10-KBGD-0.75	BF1-10-KBGD-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	4561	4128	3895	3752	3684
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,5	%14,6	%17,7	%19,2
Alternatif	BF1-10-KBGD-0.5	BF1-10-KBGD-0.75	BF1-10-KBGD-1	BF1-10-KBGD-1.25	BF1-10-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2773	2749	2696	2584	2423
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%0,9	%2,8	%6,8	%12,6
Alternatif	BF1-10-KBGD-1.5	BF1-10-KBGD-1.25	BF1-10-KBGD-1	BF1-10-KBGD-0.75	BF1-10-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	6984	6712	6590	6501	6458
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%3,9	%5,6	%6,9	%7,5

Biçim Faktörü 2.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF2-5-DB-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF2-5-KG-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF2-5-DB-0.5” alternatifi “BF2-5-KG-1.5” alternatifine göre ısıtma açısından %26, toplamda %16 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %13 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirir.

Yönlenebilirliğe göre enerji harcamalarındaki değişim incelendiğinde, Doğu-Batı doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren “BF2-5-DB-0.5” alternatifi;

- Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF2-5-KG-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %7, soğutma açısından %4, toplamda %6 daha düşük enerji harcamaları oluşturur.
- Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF2-5-KBGD-0.5” alternatifine göre ise ısıtma açısından %5, soğutma açısından %2, toplamda %4 daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur.



Şekil 4.7 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 2.00 ve 5 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-5-KG-1.5	BF2-5-KG-1.25	BF2-5-KG-1	BF2-5-KG-0.75	BF2-5-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	6748	6193	5829	5582	5421
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%8,2	%13,6	%17,3	%19,7
Alternatif	BF2-5-KG-0.5	BF2-5-KG-0.75	BF2-5-KG-1	BF2-5-KG-1.25	BF2-5-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2693	2650	2565	2439	2261
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,6	%4,8	%9,4	%16,0
Alternatif	BF2-5-KG-1.5	BF2-5-KG-1.25	BF2-5-KG-1	BF2-5-KG-0.75	BF2-5-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	9008	8633	8394	8232	8114
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,2	%6,8	%8,6	%9,9

Çizelge 4.8 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-5-KBGD-1.5	BF2-5-KBGD-1.25	BF2-5-KBGD-1	BF2-5-KBGD-0.75	BF2-5-KBGD-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	6757	6083	5704	5443	5310
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%10,0	%15,6	%19,4	%21,4
Alternatif	BF2-5-KBGD-0.5	BF2-5-KBGD-0.75	BF2-5-KBGD-1	BF2-5-KBGD-1.25	BF2-5-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2646	2610	2544	2437	2237
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,4	%3,9	%7,9	%15,5
Alternatif	BF2-5-KBGD-1.5	BF2-5-KBGD-1.25	BF2-5-KBGD-1	BF2-5-KBGD-0.75	BF2-5-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	8995	8520	8248	8053	7955
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%5,3	%8,3	%10,5	%11,6

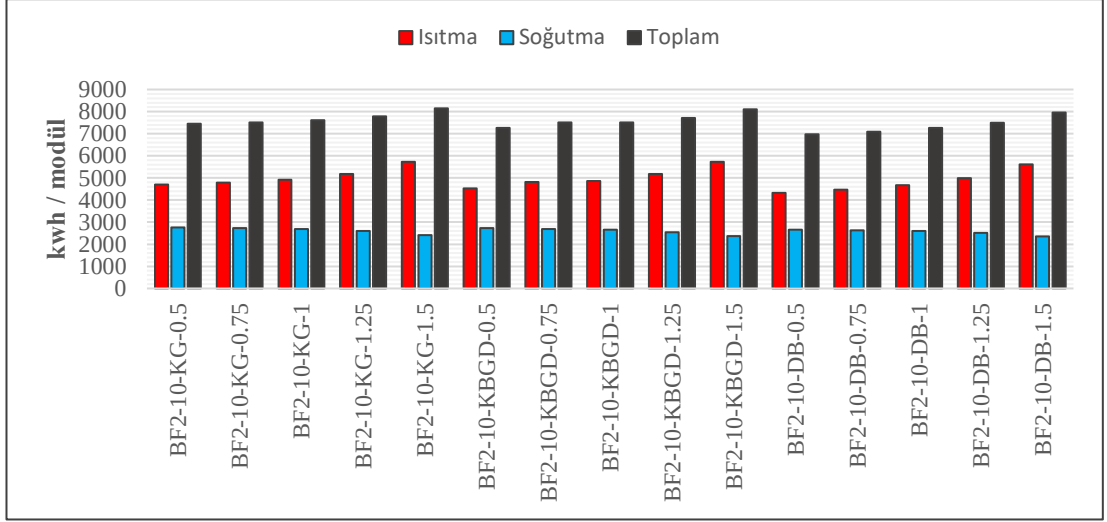
Çizelge 4.9 : Biçim faktörü 2.00, 5 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-5-DB-1.5	BF2-5-DB-1.25	BF2-5-DB-1	BF2-5-DB-0.75	BF2-5-DB-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	6659	5985	5575	5244	5020
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%10,1	%16,3	%21,2	%24,6
Alternatif	BF2-5-DB-0.5	BF2-5-DB-0.75	BF2-5-DB-1	BF2-5-DB-1.25	BF2-5-DB-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2588	2550	2472	2362	2204
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,5	%4,5	%8,7	%14,8
Alternatif	BF2-5-DB-1.5	BF2-5-DB-1.25	BF2-5-DB-1	BF2-5-DB-0.75	BF2-5-DB-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	8863	8347	8047	7795	7608
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%5,8	%9,2	%12,1	%14,2

Biçim Faktörü 2.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF2-10-DB-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF2-10-KG-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF2-10-DB-0.5” alternatifi “BF2-10-KG-1.5” alternatifine göre ısıtma açısından %25, toplamda %14 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %9 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirir.

Yönlenebilirliğe göre enerji harcamalarındaki değişim incelenecek olursa, Doğu-Batı doğrultusuna yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performansı gösteren, “BF2-10-DB-0.5” alternatifi,

- Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF2-10-KG-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %8, soğutma açısından %4, toplamda %6 daha düşük enerji harcamaları oluşturur.
- Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF2-10-KBGD-0.5” alternatifine göre ise ısıtma açısından %5, soğutma açısından %3, toplamda %4 daha düşük enerji harcamaları oluşturur.



Şekil 4.8 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 2.00 ve 10 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-10-KG-1.5	BF2-10-KG-1.25	BF2-10-KG-1	BF2-10-KG-0.75	BF2-10-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5731	5184	4921	4784	4697
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,5	%14,1	%16,5	%18,0
Alternatif	BF2-10-KG-0.5	BF2-10-KG-0.75	BF2-10-KG-1	BF2-10-KG-1.25	BF2-10-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2759	2732	2684	2596	2412
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,0	%2,7	%5,9	%12,6
Alternatif	BF2-10-KG-1.5	BF2-10-KG-1.25	BF2-10-KG-1	BF2-10-KG-0.75	BF2-10-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	8143	7780	7605	7517	7456
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,5	%6,6	%7,7	%8,4

Çizelge 4.11 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-10-KBGD-1.5	BF2-10-KBGD-1.25	BF2-10-KBGD-0.75	BF2-10-KBGD-1	BF2-10-KBGD-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5734	5172	4856	4818	4533
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,8	%15,3	%16,0	%20,9
Alternatif	BF2-10-KBGD-0.5	BF2-10-KBGD-0.75	BF2-10-KBGD-1	BF2-10-KBGD-1.25	BF2-10-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2734	2694	2658	2548	2375
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,5	%2,8	%6,8	%13,1
Alternatif	BF2-10-KBGD-1.5	BF2-10-KBGD-1.25	BF2-10-KBGD-0.75	BF2-10-KBGD-1	BF2-10-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	8109	7720	7513	7512	7267
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,8	%7,3	%7,4	%10,4

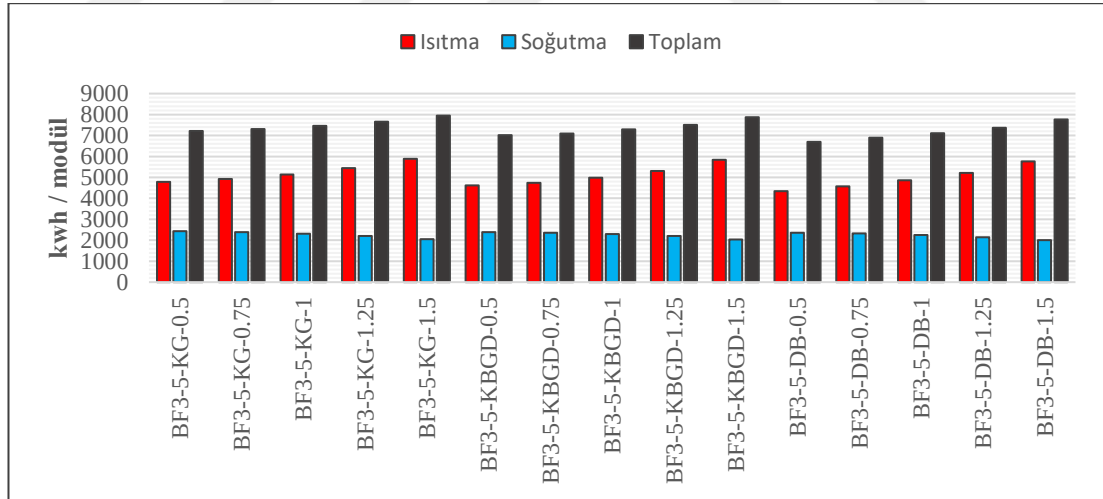
Çizelge 4.12 : Biçim faktörü 2.00, 10 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-10-DB-1.5	BF2-10-DB-1.25	BF2-10-DB-1	BF2-10-DB-0.75	BF2-10-DB-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5616	4984	4668	4462	4317
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%11,3	%16,9	%20,5	%23,1
Alternatif	BF2-10-DB-0.5	BF2-10-DB-0.75	BF2-10-DB-1	BF2-10-DB-1.25	BF2-10-DB-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2656	2635	2596	2518	2348
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%0,8	%2,3	%5,2	%11,6
Alternatif	BF2-10-DB-1.5	BF2-10-DB-1.25	BF2-10-DB-1	BF2-10-DB-0.75	BF2-10-DB-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7964	7502	7264	7097	6973
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%5,8	%8,8	%10,9	%12,4

Biçim Faktörü 3.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF3-5-DB-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF3-5-KG-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF3-5-DB-0.5” alternatifi “BF3-5-KG-1.5” alternatifine göre ısıtma açısından %26, toplamda %16 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %13 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirir.

Yönlenmeye göre enerji harcamalarındaki değişim incelenecek olursa, Doğu-Batı doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF3-5-DB-0.5” alternatifi,

- Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF3-5-KG-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %9, soğutma açısından %3, toplamda %7 daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur.
- Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF3-5-KBGD-0.5” alternatifine göre ise ısıtma açısından %6, soğutma açısından %2, toplamda %5 daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur.



Şekil 4.9 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 3.00 ve 5 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.13, Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF3-5-KG-1.5	BF3-5-KG-1.25	BF3-5-KG-1	BF3-5-KG-0.75	BF3-5-KG-0.5
Istima enerjisi harcaması (kWh/modül)	5892	5446	5143	4922	4788
Istima enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%7,6	%12,7	%16,5	%18,7
Alternatif	BF3-5-KG-0.5	BF3-5-KG-0.75	BF3-5-KG-1	BF3-5-KG-1.25	BF3-5-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2432	2391	2318	2210	2051
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,7	%4,7	%9,1	%15,7
Alternatif	BF3-5-KG-1.5	BF3-5-KG-1.25	BF3-5-KG-1	BF3-5-KG-0.75	BF3-5-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7943	7656	7461	7313	7220
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%3,6	%6,1	%7,9	%9,1

Çizelge 4.14 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF3-5-KBGD-1.5	BF3-5-KBGD-1.25	BF3-5-KBGD-0.75	BF3-5-KBGD-1	BF3-5-KBGD-0.5
Istima enerjisi harcaması (kWh/modül)	5844	5298	4987	4740	4622
Istima enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,3	%14,7	%18,9	%20,9
Alternatif	BF3-5-KBGD-0.5	BF3-5-KBGD-1	BF3-5-KBGD-0.75	BF3-5-KBGD-1.25	BF3-5-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2393	2356	2300	2206	2034
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,5	%3,9	%7,8	%15,0
Alternatif	BF3-5-KBGD-1.5	BF3-5-KBGD-1.25	BF3-5-KBGD-0.75	BF3-5-KBGD-1	BF3-5-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7878	7505	7286	7096	7014
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,7	%7,5	%9,9	%11,0

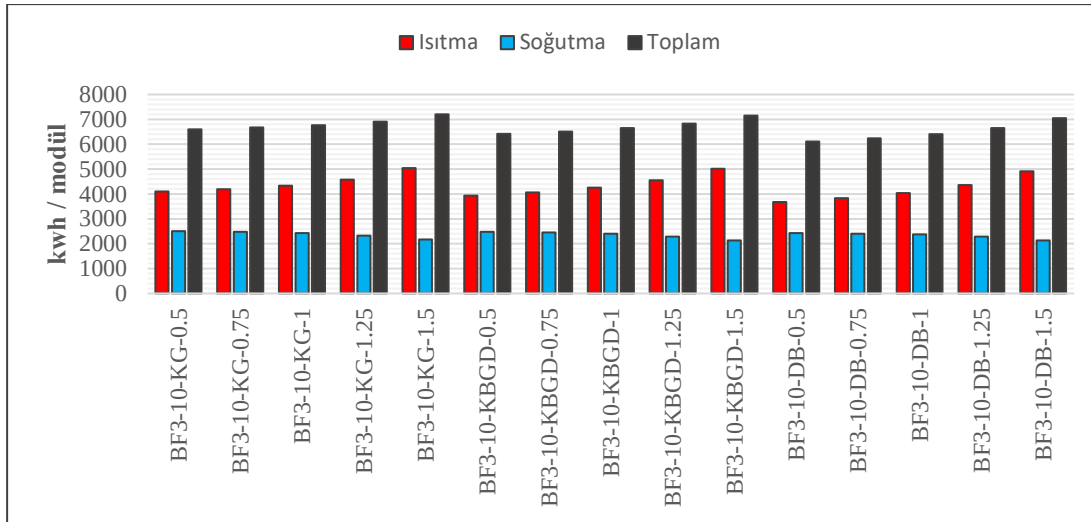
Çizelge 4.15 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF3-5-DB-1.5	BF3-5-DB-1.25	BF3-5-DB-1	BF3-5-DB-0.75	BF3-5-DB-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5763	5215	4859	4568	4343
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,5	%15,7	%20,7	%24,6
Alternatif	BF3-5-DB-0.5	BF3-5-DB-0.75	BF3-5-DB-1	BF3-5-DB-1.25	BF3-5-DB-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2354	2322	2249	2149	2010
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,4	%4,5	%8,7	%14,6
Alternatif	BF3-5-DB-1.5	BF3-5-DB-1.25	BF3-5-DB-1	BF3-5-DB-0.75	BF3-5-DB-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7773	7364	7108	6890	6697
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%5,3	%8,6	%11,4	%13,8

Biçim Faktörü 3.00, 10 Katlı yerleşme dokusu alternatifleri: Toplam enerji harcamalarına göre alternatifler karşılaştırıldığında “BF3-10-DB-0.5” en iyi performansı gösterirken, “BF3-10-KG-1.5” alternatifi en olumsuz performansı göstermektedir. “BF3-10-DB-0.5” alternatifi “BF3-10-KG-1.5” alternatifine göre ısıtma açısından %27, toplamda %15 daha düşük enerji harcamaları gerçekleştirirken, soğutma açısından %11 daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirir.

Yönlenmeye göre enerji harcamalarındaki değişim incelenecek olursa, Doğu-Batı doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren, “BF3-10-DB-0.5” alternatifi,

- Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden en iyi performans gösteren “BF3-10-KG-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %10, soğutma açısından %3, toplamda %7 daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur.
- Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda yönlendirilmiş alternatiflerden, en iyi performans gösteren “BF3-10-KBGD-0.5” alternatifine göre ise ısıtma açısından %6, soğutma açısından %2 ve toplamda %5 daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur.



Şekil 4.10 : Biçim faktörü 3.00, 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları sonuçları.

Biçim faktörü 3.00 ve 10 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, H/W değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, KG yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF3-10-KG-1.5	BF3-10-KG-1.25	BF3-10-KG-1	BF3-10-KG-0.75	BF3-10-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5040	4583	4331	4196	4099
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,1	%14,1	%16,7	%18,7
Alternatif	BF3-10-KG-0.5	BF3-10-KG-0.75	BF3-10-KG-1	BF3-10-KG-1.25	BF3-10-KG-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2501	2474	2429	2331	2166
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,1	%2,9	%6,8	%13,4
Alternatif	BF3-10-KG-1.5	BF3-10-KG-1.25	BF3-10-KG-1	BF3-10-KG-0.75	BF3-10-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7206	6914	6760	6670	6601
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,1	%6,2	%7,4	%8,4

Çizelge 4.17 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, KBGD yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF3-10-KBGD-1.5	BF3-10-KBGD-1.25	BF3-10-KBGD-1	BF3-10-KBGD-0.75	BF3-10-KBGD-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5018	4551	4250	4060	3937
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%9,3	%15,3	%19,1	%21,5
Alternatif	BF3-10-KBGD-0.5	BF3-10-KBGD-0.75	BF3-10-KBGD-1	BF3-10-KBGD-1.25	BF3-10-KBGD-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2483	2449	2401	2286	2138
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%1,4	%3,3	%7,9	%13,9
Alternatif	BF3-10-KBGD-1.5	BF3-10-KBGD-1.25	BF3-10-KBGD-1	BF3-10-KBGD-0.75	BF3-10-KBGD-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7156	6837	6651	6509	6420
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%4,5	%7,1	%9,0	%10,3

Çizelge 4.18 : Biçim faktörü 3.00, 10 Katlı, DB yönlendirmesine sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde H/W oranlarına göre azaltım yüzdeleri.

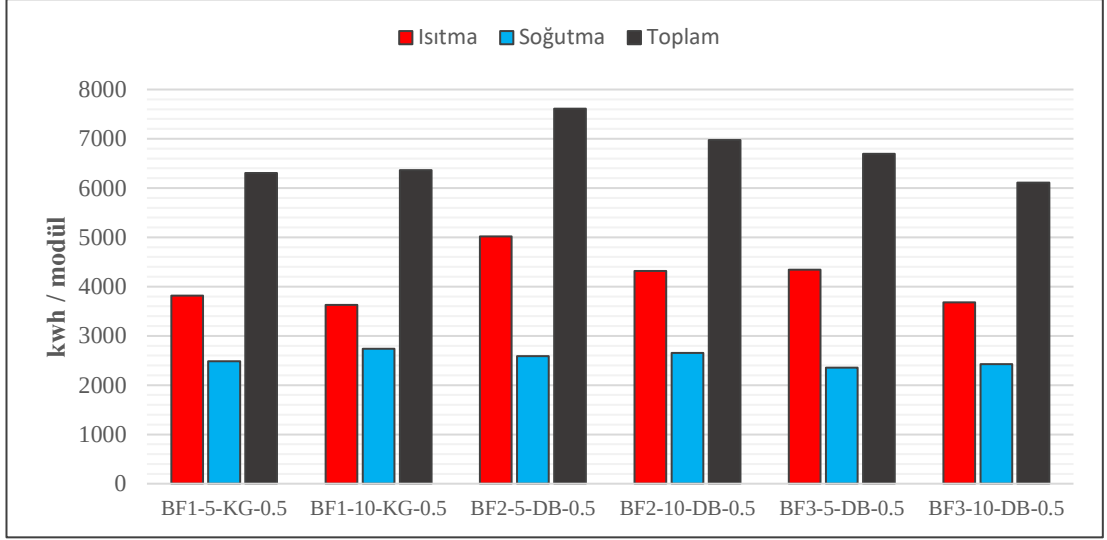
Alternatif	BF3-10-DB-1.5	BF3-10-DB-1.25	BF3-10-DB-1	BF3-10-DB-0.75	BF3-10-DB-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	4912	4357	4033	3834	3682
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%11,3	%17,9	%21,9	%25,0
Alternatif	BF3-10-DB-0.5	BF3-10-DB-0.75	BF3-10-DB-1	BF3-10-DB-1.25	BF3-10-DB-1.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2428	2408	2373	2289	2135
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%0,8	%2,3	%5,7	%12,1
Alternatif	BF3-10-DB-1.5	BF3-10-DB-1	BF3-10-DB-1.25	BF3-10-DB-0.75	BF3-10-DB-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7047	6647	6406	6242	6110
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%5,7	%9,1	%11,4	%13,3

4.4.1 En düşük enerji harcamalarına sahip alternatiflerin belirlenmesi

Yerleşme dokusunda enerji harcamalarının azaltılmasında etkili tasarım parametrelerinin optimizasyonu için geliştirilen 80 farklı yerleşme dokusu alternatifinden elde edilen analiz sonuçlarına göre “BF1-5-KG-0.5, BF1-10-KG-0.5 , BF2-5-DB-0.5, BF2-10-DB-0.5, BF3-5-DB-0.5 ve BF3-10-DB-0.5” alternatifleri kendi grupları içerisinde en iyi performansı gösteren alternatiflerdir. Sözü edilen alternatiflerin tümü H/W 0.5 değerine ve aynı yönlendiriliş durumuna sahiptir.

En iyi enerji performansı gösteren 6 yerleşme dokusu kendi içinde değerlendirildiğinde, toplam enerji harcamalarına göre “BF-3-10-DB-0.5” yerleşme dokusu en iyi performans gösteren, “BF-2-5-DB-0.5” yerleşme dokusu ise en olumsuz enerji performansı gösteren alternatiflerdir. “BF-3-10-DB-0.5” alternatifi “BF-2-5-DB-0.5” ile kıyaslandığında, ısıtma açısından %27, soğutma açısından %6 ve toplamda %20 daha az enerji tüketimi gerçekleştirmiştir (Şekil 4.11).

Kat sayısına göre enerji harcamalarının değişimi incelenecek olursa, biçim faktörü 1.00 olan alternatiflerde 5 katlı yerleşmeler, 10 katlı yerleşmelere göre daha az enerji harcamalarına sahiptir. “BF1-5-KG-0.5” alternatifi, “BF1-10-KG-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %5 daha yüksek, soğutma açısından %9 ve toplamda %1 daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. Biçim faktörü (BF) 2.00 ve 3.00 olan alternatiflerde ise 10 katlı yerleşmeler, 5 katlı yerleşmelere göre daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. “BF2-10-DB-0.5” alternatifi, “BF2-5-DB-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %14, soğutma açısından %3 ve toplamda %8 daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. “BF3-10-DB-0.5” alternatifi, “BF3-5-DB-0.5” alternatifine göre ısıtma açısından %15 ve toplamda %9 daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. Soğutmaya göre ise %3 daha yüksek enerji harcamalarına sahiptir.



Şekil 4.11 : En düşük enerji harcamalarına sahip alternatiflerin, ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları.

Analizlerden elde edilen sonuçlarda, biçim faktörü parametresinin enerji harcamalarına etkisi incelendiğinde, 5 katlı yerleşmeler arasında “BF1-5-KG-0.5” alternatifi, “BF2-5-DB-0.5” alternatifine göre ısıtmada %24, soğutmada %4 ve toplamda %17 daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. “BF3-5-DB-0.5” alternatifine göre ise ısıtmada %12, toplamda %6 daha düşük enerji harcamalarına sahipken, soğutmada %6 daha yüksek enerji harcamalarına sahiptir.

Biçim faktörüne göre 10 katlı yerleşmeler incelendiğinde, “BF3-10-DB-0.5” alternatifi, “BF2-10-DB-0.5” alternatifine göre ısıtmada %15, soğutmada %9 ve toplamda %12 daha düşük enerji harcamalarına sahiptir. “BF1-10-KG-0.5” alternatifine göre ise soğutmada %11, toplamda %4 daha düşük enerji harcamalarına sahipken, ısıtmada %2 daha yüksek enerji harcamalarına sahiptir.

En iyi enerji performansı gösteren 5 ve 10 katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, biçim faktörü değerlerindeki değişime göre, en olumsuz performans gösteren alternatif esas alınarak, en olumsuz alternatife kıyasla diğer alternatiflerin ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında oluşan azalma, yüzde olarak belirlenerek, azaltım yüzdeleri olarak Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 : En iyi enerji performansı gösteren 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde biçim faktörü değerlerine göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-5-DB-0.5	BF3-5-DB-0.5	BF1-5-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	5020	4343	3818
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%13,5	%23,9
Alternatif	BF2-5-DB-0.5	BF1-5-KG-0.5	BF3-5-DB-0.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2588	2485	2354
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%4,0	%9,0
Alternatif	BF2-5-DB-0.5	BF3-5-DB-0.5	BF1-5-KG-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	7608	6697	6304
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%12,0	%17,1

Çizelge 4.20 : En iyi enerji performansı gösteren 5 Katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde biçim faktörü değerlerine göre azaltım yüzdeleri.

Alternatif	BF2-10-DB-0.5	BF3-10-DB-0.5	BF1-10-KG-0.5
Isıtma enerjisi harcaması (kWh/modül)	4317	3682	3628
Isıtma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%14,7	%16,0
Alternatif	BF1-10-KG-0.5	BF2-10-DB-0.5	BF3-10-DB-0.5
Soğutma enerjisi harcaması (kWh/modül)	2737	2656	2428
Soğutma enerjisi harcaması azaltım yüzdesi		%3,0	%11,3
Alternatif	BF2-10-DB-0.5	BF1-10-KG-0.5	BF3-10-DB-0.5
Toplam enerji harcaması (kWh/modül)	6973	6365	6110
Toplam enerji harcaması azaltım yüzdesi		%8,7	%12,4

4.5 Yerleşme Dokusu Tasarım Parametrelerine Göre Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin optimizasyonu amacıyla geliştirilen 80 farklı yerleşme dokusunda, tanımlanan referans binalar için enerji analizleri gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, elde edilen analiz sonuçlarına göre, farklı yerleşme dokusu tasarım parametre değerlerinin enerji harcamaları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

H/W oranı

Bina yüksekliğinin, sokak genişliğine oranı olarak tanımlanan H/W, yerleşme dokularında güneş ışınlamından yarar sağlamada en önemli parametrelerden bir tanesidir. Geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinde 5 farklı (0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50) H/W oranı tanımlanmıştır. Analiz sonuçları irdelendiğinde, H/W oranı azaldıkça bina aralıkları arttığı için, yerleşmelerdeki referans binaların güneş ışınlamından yararlanma imkanı da artmıştır. Böylece ısıtma amaçlı enerji harcamalarında düşüş gözlenmiştir. Soğutma amaçlı enerji harcamaları ise ısıtmanın tersine, H/W oranı azaldıkça artış göstermiştir. Simülasyonların gerçekleştirildiği İstanbul ili, ısıtma öncelikli bir bölgede yer aldığı için H/W oranına bağlı olarak, toplam enerji harcamaları ısıtma harcamalarıyla paralel olarak düşüş veya artış göstermiştir.

Yönlendiriliş Durumu

Binaların sahip olduğu biçim faktörü değerine bağlı olarak yönlendiriliş durumunun etkisi değişmektedir. Biçim faktörü 1.00 değerine sahip olan kare planlı alternatiflerde cephe uzunluğunun sabit kalması ve güneş ışınlamından yararlanma miktarını fazla etkilememesi sebebiyle yönlenmenin etkisi daha düşüktür. Biçim faktörü 1.00 olan alternatiflerde Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilen alternatifler daha düşük enerji harcamaları oluşturmuştur. Biçim faktörü 2.00 ve 3.00 değerine sahip olan alternatiflerde ise yönlenmeye bağlı olarak uzun cephenin konumu değişiklik gösterdiği için güneş ışınlamından yararlanma oranlarında daha büyük değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu alternatiflerde en düşük enerji harcamaları uzun cephenin güney yönüne baktığı Doğu-Batı doğrultusunda yönlendirilme durumunda gerçekleşmiştir. En yüksek enerji harcamaları ise dar cephenin güneye baktığı Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş binalarda görülmüştür.

Kat sayısı (bina yüksekliği)

Elde edilen sonuçlar bina kat sayısı açısından irdelendiğinde, analiz edilen 3 farklı biçim faktörü değeri ne sahip yerleşme dokularında, bina kat sayısı arttıkça, referans binada modül başına düşen ısıtma amaçlı enerji harcamaları azalırken, soğutma amaçlı enerji harcamaları yükselmiştir. Toplam enerji harcamaları da ısıtmaya paralel olarak azalmıştır.

Biçim Faktörü (BF)

Biçim faktörünün enerji harcamaları üzerindeki etkisi incelendiğinde, biçim faktörü 1.00 olan kare planlı alternatifler, sahip oldukları kompakt formdan dolayı modül başına en düşük enerji harcamalarını vermiştir. Sonrasında, sırasıyla biçim faktörü 3.00 ve 2.00 gelmektedir. Biçim faktörü 3.00 olan dikdörtgen plan tipindeki alternatifler, 2.00 olan alternatiflere kıyasla, daha uzun cepheye sahip olduğu için güneş ışı nımından yararlanmada ve katta 3 modülden oluştukları için de ısı kayıplarını azaltma açısından avantajlıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bölümünden sorumlu olan binalar, artan insan nüfusu ve yaşam standartlarıyla beraber, gün geçtikçe sayısal olarak artmaktadır. Oluşan yeni yerleşme alanları, halihazırda büyük oranda fosil yakıtlara bağımlı olan bina sektöründe enerji tüketimlerinin artmasına ve yüksek CO2 salımlarıyla olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır. Bu nedenle çağımızda, oluşan yeni bina ve yerleşme alanlarında, sürdürülebilir ve enerji etkin tasarım yaklaşımlarının uygulanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bina sektöründe en hızlı büyüme gösteren ve insanın barınma ve konfor ihtiyacını karşılayan konut alanları, enerji etkin tasarımın uygulanması açısından öncelikli olarak ele alınması gereken bir konudur. Özellikle, birden çok konutu kapsayan ve üst ölçeği temsil eden yerleşme alanlarının enerji etkin tasarım yaklaşımına uygun tasarlanması, enerji ve maliyet konularında hem ülke ekonomisine hem de kullanıcıya büyük katkı sağlayacaktır.

Diğer taraftan, yapı sektöründe teknolojinin gelişimiyle beraber, geleneksel yöntemlerin eksiklikleri, Türkçe’de “Yapı bilgi modelleme” (YBM) veya “Bina bilgi modelleme” (BBM) isimleriyle anılan ve dünyada “Building Information Modelling” adıyla bilinen BIM kavramını ortaya çıkardı. BIM yapı tasarım sürecinde tutarlı, işlenebilir ve koordine veri yaratan, parametrik çalışma özellikleri sayesinde tasarım kararlarının ortaya çıkmasında etkili olan, maliyet, bina performansı ve planlama açısından tasarımın test edilebildiği, yüksek kalitede uygulama çıktıları elde edilebilen bir mimari tasarım süreci olarak tanımlanmaktadır.

BIM sağladığı kolaylıklar ve koordine çalışabilme imkanı sayesinde, çoğu zaman tasarım aşamasında göz ardı edilen birçok yaklaşımın kolayca tasarıma entegrasyonunu sağlamıştır. Bunlardan biri de enerji etkin tasarım yaklaşımıdır.

Çalışma kapsamında, konut üretiminin yüksek olduğu ancak, enerji etkin tasarım yaklaşımının göz ardı edilerek, plansız ve hızlı yapılaşmaya maruz kalan İstanbul için, enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olan yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin optimum değerleri BIM aracılığıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, son dönemlerde sağladıkları kolaylıklar ve yenilikler ile giderek önem kazanan BIM kavramının, enerji konularındaki etkinliği araştırılmıştır. Böylelikle, tasarımcılara yol gösterici olabilecek teknik bilgilerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada, İstanbul ili için sıkça kullanılan yerleşme dokularından hareketle farklı yerleşme dokusu alternatifleri oluşturulmuştur. Yerleşme ölçeğinde tasarım parametreleri için değişken değerler tanımlanırken, bina ölçeğinde biçim faktörü değeri değişken, diğer parametrelerin değişken olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca iklime ilişkin tasarım parametreleri, kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri dikkate alınmıştır. Yerleşme dokularında 9 adet bina (3x3) olduğu varsayılmıştır ve ortadaki bina referans bina olarak kabul edilmiştir. Binalar 100m²'lik modüllerden oluşturulmuştur. Bu modüller farklı şekillerde birleştirilerek, üç farklı biçim faktörü değerine (1.00, 2.00, 3.00) sahip bina formları belirlenmiştir. Yerleşme dokularının geliştirilmesine ilişkin sürece bağlı olarak, kat sayısı (5 ve 10), H/W (0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50) ve yönlendiriliş durumuna (KG, KBGD ve DB) göre 80 farklı yerleşme dokusu alternatifi belirlenmiştir.

Geliştirilen yerleşme dokuları simülasyon yöntemiyle analiz edilerek, modül başına düşen ısıtma enerjisi harcamaları, soğutma enerjisi harcamaları ve toplam enerji harcamaları esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Güncel bir BIM programı olan Revit ve enerji hesaplarını yapan Green Building Studio, Insight kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre biçim faktörü açısından, kare planlı biçim faktörü 1.00 değerine sahip alternatifler modül başına ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamalarında daha iyi performans göstermiştir. Ardından sırasıyla biçim faktörü 3.00 olan alternatifler ve en yüksek enerji harcamalarıyla biçim faktörü 2.00 olan alternatifler gelmektedir. Sonuçlar bina kat sayıları açısından irdelendiğinde, 10 katlı binalar, 5 katlı binalara göre modül başına düşen ısıtma ve toplam enerji harcamalarında daha düşük, soğutmada ise daha yüksek enerji harcamaları gerçekleştirmiştir. Yönlendiriliş durumuna göre sonuçlar incelendiğinde, biçim faktörü değerine bağlı olarak yönlendiriliş durumunun etkisi değişkenlik göstermiştir. Biçim faktörü 1.00 olan alternatiflerde, KG doğrultusunda yönlendirilen alternatifler daha düşük enerji harcamalarına sahipken, 2.00 ve 3.00 olan alternatifler, uzun cephenin güneye baktığı yönlendiriliş durumunda daha düşük enerji harcamalarına

sebepe olmuştur. Yerleşme dokusunu tanımlayan en önemli boyutsal parametre olan H/W oranına göre, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50 değerleri arasında en büyük sokak genişliğine sahip H/W 0.50 değeri en düşük enerji harcamalarını göstermektedir. Değer büyükçe sokak genişliğine bağlı olarak enerji harcamaları da yükselir.

Enerji simülasyonlarının gerçekleştirildiği BIM programı Revit ve hesaplamaların yapıldığı Green Building Studio, tasarım sürecinin her aşamasında, kullanıcıya enerji konularıyla ilgili bilgi alma, alternatif üretme ve analiz yapma kolaylığı sunmaktadır. Bu açıdan tasarımcının kolayca yapacağı analizler, mimari tasarıma enerji etkin tasarım konularının entegre edilmesine olanak sağlayabilmektedir.

Ancak sözü edilen BIM tabanlı programlar, Revit-GBS geliştirildikleri ülke koşullarına uygun veri gruplarına sahip olup, seçenekleri henüz sınırlıdır. Dolayısıyla nihai enerji tüketim oranlarının hesaplanması ve güncel olarak gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesinde yetersiz kalacağı söylenebilir. Diğer taraftan Revit-GBS sisteminin çok hızlı geliştiği ve karşılaştırmalı analizler yapılarak ön tasarım aşamasında, tasarımın geliştirilmesi sürecine önemli katkı sağlayacağı açıktır.

Sonuç olarak, sayısal karşılaştırmalar irdelendiğinde, referans binalardaki enerji harcamaları, yerleşme ölçeğinde ve bina ölçeğinde tasarım parametrelerine göre büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, tasarım aşamasında tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi, bina enerji performansını etkileyerek, enerji etkin ve sürdürülebilir yapma çevreler yaratılmasına katkıda bulunur. Bu amaçla, bu çalışmada, ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul için yerleşme dokusu tasarım parametrelerinin enerji harcamalarına etkisi analiz edilmiş, bulgular karşılaştırılmış ve sunulmuştur. Ancak, kabul edilebilir bir genel sonuca varmak için, benzer çalışmalar çok sayıda alternatif analiz edilerek yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akgün, A.** (2016). *Yüklenici inşaat firmalarında hakkeş düzenlemeleri ve yapı enformasyon modellemesi (BIM) uygulamaları*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkoyunlu, T.** (2015). *Kentsel dönüşüm projeleri için BIM uygulama planı önerisi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ANSI/ASHRAE Standart 55-2017.** (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ATLANTA.
- Azhar, S.** (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry ” *Leadership Manage. Eng.*, 11(3), 241–252
- Azhar, S., Hein, M., Sketo, B.** (2008). “Building information modeling: Benefits, risks and challenges.” *Proceedings of 44th Associated Schools of Construction National Conference*, Auburn, AL.
- Barlish, K., Sullivan, K.** (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach - *Automation in construction*, 149-159
- Beazley, S., Heffernan, E., McCarthy, T.J.** (2017). Enhancing energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: The case for embedding parameters during design, *Energy Procedia*, 121, 57-64.
- Berköz, B., Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G. ve diğerleri** (1995). Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı. Tübitak-Intag, Proje No:201, İ.T.Ü., İstanbul.
- Bernstein, P. G., Pittman, J. H.** (2005). Barriers to the adoption of building information modeling in the building industry. *Autodesk Building Solutions Whitepaper*, Autodesk Inc., San Rafael, CA
- Bew, M., Richards, M.** (2008). Bew-Richards BIM maturity model, *BuildingSMART Construct IT Autumn Members Meeting*, Brighton.
- BIM Building Information Modeling** (2011). *A report for the Government Construction Client Group Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy Paper*, UK: BIM Building Information Modeling.
- Briscoe, D.** (2015). *Beyond BIM Architecture Information Modeling*, 1st edition, Routledge, London.
- Cemesova, A., Hopfe, C.J., Mcleod, R.S.** (2015). PassivBIM: Enhancing interoperability between BIM and low energy design software. *Automation in Construction*, 57, 17–32.

- Chen, D. ve Chen, H. W.** (2013). Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6 (2013), Sf. 69–79.
- CRC Construction Innovation.** (2007). Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House, Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia.
- Deutsch, R.** (2011). BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice, Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.** (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, Second edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- GSA** (2007). *The National 3D-4D-BIM Program- GSA BIM Guide Overview* Office of the Chief Architect Public Buildings Service U.S. General Services Administration 1800 F Street NW, Suite 3341 Washington, DC 20405.
- GSA** (2012). GSA Building Information Modeling Guide Series 05 – Energy Performance and Operations. The National 3D-4D-BIM Program, Public Buildings Service U.S. ,General Services Administration, Washington, DC.
- Harty, J., Kouider, T., Paterson, G.** (2015). Getting to Grips with BIM: A Guide for Small and Medium-Sized Architecture, Engineering and Construction Firms, Routledge, London.
- Kamel, E., Memari, A.M.** (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions, *Automation in Construction*, 97, 164-180.
- Koçlar Oral, G.** (1998). Enerji Korunumunu Hedefleyen Bina Tasarımında Gazbeton Uygulamaları (Aerated Lightweight Concrete Applications in Energy Efficient), Proje No: 793 Sonuç Raporu, İ.T.Ü, İstanbul.
- Koçlar Oral, G.** (2010). Güneş enerjisi ve yapı. Diyarç Bülteni, Sayı 1, Sf. 8-20, TMMOB Mimarlar Odası Diyarbakır Şubesi, Diyarbakır.
- Krygiel, E., Nies, B.** (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana.
- Lamarca, C., Qüense, J., Henriquez, C.** (2018). Thermal comfort and urban canyons morphology in coastal temperate climate, Concepción, Chile, *Urban Climate*, 23, 159-172.
- Lechner, N.** (2015). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, Fourth edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- McGraw-Hill Construction.** (2010). The Business Value of BIM in Europe: Getting Building Information Modeling to the Bottom Line in the UK, France&Germany.
- McGraw-Hill Construction.** (2012). The business value of BIM in North America: multi-year trend analysis and user ratings (2007-2012). *Smart Market Report*.

- McGraw-Hill Construction.** (2014). The business value of BIM in Australia and New Zealand: How building information modeling is transforming the design and construction industry SmartMarket Report, Bedford, MA: McGraw Hill Construction. Bedford, MA: *McGraw Hill Construction*.
- McLeod, R.S., Hopfe, C.J., Rezgui, Y.** (2012). An investigation into recent proposals for a revised definition of zero carbon homes in the UK. *Energy policy*, 46, 25-35.
- NBS** (2018). National BIM Report 2018. UK.
- NBS** (2019). National BIM Report 2019: The definitive industry update. UK.
- Pezeshki, Z., Soleimani, A., Darabi, A.** (2019). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review, *Journal of Building Engineering*, 23, 1-17.
- Richards, M.** (2010). Building Information Management: A standard framework and guide to BS 1192 BSI Standards.
- Rosenlund, H.** (2000). Climatic design of buildings using passive techniques. *Building Issues*, Vol.10, No 1, Lund University, İsveç.
- Sinclair, D.** (2012). *BIM Overlay to the RIBA Outline Plan of Work*, UK:London, RIBA.
- Succar, B.** (2009). Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction* 18 (3), 357–375.
- Succar, B. (2010).** Building information modelling maturity matrix, in: J. Underwood, U. Isikdag (Eds.), *Handbook of Research on Building Information Modelling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*, Information Science Reference, IGI Publishing, 65–103.
- Succar, B., Sher, W. Ve Williams, A.** (2013). An integrated approach to BIM competency assesment, acquisition and application, *Automation in Construction*, vol.35, 174-189.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı** (2016). Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara.
- The British Standards Institution** (2014) *PAS 1192-3:2014 Incorporating Corrigendum No. 1*, Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling.
- The British Standards Institution** (2014). *PAS 1192-2:2013 Incorporating Corrigendum No.1*, Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- Thompson, D. B., Miner, R. G.** (2007). “Building information modeling—BIM: Contractual risks are changing with technology.
- TS 825** (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- YEGM** (2018). 2000-2016 Türkiye enerji verimliliği gelişim raporu, EV-2018-01-V1, Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı Ölçme ve Değerlendirme Grubu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
- Yılmaz, Z.** (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. VII. Tesisat Mühendisliği Kongresi, Sf. 387-398.
- Yılmaz, Z., Lewis, O., Ok, V., Oral, G.K. ve diğ.** (2006). Türkiye ve İrlanda'daki binaların enerji etkin tasarım ve yapımı için sürdürülebilirlik stratejileri (Proje No:30657). İ.T.Ü, İstanbul.
- Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M. ve diğerleri** (1987). Türkiyede yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma. Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi (UYGAR), İTÜ, İstanbul.
- Url-1** < <https://www.iea.org> >, erişim tarihi 01.09.2019.
- Url-2** < <https://thebimhub.com> >, erişim tarihi 05.11.2019.
- Url-3** < <https://www.ikopolymeric.com> >, erişim tarihi 15.09.2019.
- Url-4** < <http://www.bimplus.co.uk> >, erişim tarihi 21.09.2019.
- Url-5** < <https://www.bimcommunity.com> >, erişim tarihi 08.10.2019.
- Url-6** < <https://www.energy.gov> >, erişim tarihi 18.10.2019.
- Url-7** < <https://knowledge.autodesk.com> >, erişim tarihi 25.10.2019.

EKLER

EK A: Tüm yerleşme dokusu alternatifleri için enerji analiz sonuçları





EK A

Çizelge A.1 : Biçim Faktörü 1.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçları.

Biçim Faktörü	Kat Sayısı	Yönlendiriliş Durumu	H/W	Alternatif Adı	EUI (MJ/m2/yıl)	Elektrik Tüketimi (kwh)	Elektrik Tüketimi (kWh/Modül)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ/Modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh)
BF-1	5 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF1-5-KG-0.5	724	250.142	12.507	627.208	31.360	3818	2485	76368	49706
			0,75	BF1-5-KG-0.75	679	239.235	11.962	575.031	28.752	4016	2420	80314	48402
			1	BF1-5-KG-1	715	246.396	12.320	612.950	30.648	4711	2548	94216	50965
			1,25	BF1-5-KG-1.25	721	243.788	12.189	628.417	31.421	4984	2447	99685	48943
			1,5	BF1-5-KG-1.5	727	238.932	11.947	651.596	32.580	5379	2292	107581	45836
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF1-5-KBGD-0.5	710	248.518	12.426	596.993	29.850	4426	2659	88511	53186
			0,75	BF1-5-KBGD-0.75	710	248.518	12.426	596.993	29.850	4531	2607	90622	52145
			1	BF1-5-KBGD-1	715	246.242	12.312	613.857	30.693	4702	2558	94039	51164
			1,25	BF1-5-KBGD-1.25	720	243.450	12.173	629.038	31.452	4968	2456	99367	49122
			1,5	BF1-5-KBGD-1.5	727	238.180	11.909	652.095	32.605	5406	2283	108114	45650
	10 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF1-10-KG-0.5	686	505.794	12.645	1.085.121	27.128	3628	2737	145105	109482
			0,75	BF1-10-KG-0.75	687	505.235	12.631	1.091.770	27.294	3693	2712	147725	108484
			1	BF1-10-KG-1	690	503.433	12.586	1.105.966	27.649	3825	2668	152985	106708
			1,25	BF1-10-KG-1.25	695	499.620	12.491	1.129.403	28.235	4046	2582	161856	103294
			1,5	BF1-10-KG-1.5	704	492.856	12.321	1.173.909	29.348	4483	2440	179303	97606
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF1-10-KBGD-0.5	690	507.104	12.678	1.090.464	27.262	3684	2773	147372	110935
			0,75	BF1-10-KBGD-0.75	691	505.978	12.649	1.096.941	27.424	3752	2749	150076	109966
			1	BF1-10-KBGD-1	694	503.725	12.593	1.110.500	27.763	3895	2696	155780	107823
			1,25	BF1-10-KBGD-1.25	697	499.186	12.480	1.133.848	28.346	4128	2584	165108	103374
			1,5	BF1-10-KBGD-1.5	706	490.875	12.272	1.178.858	29.471	4561	2423	182445	96920

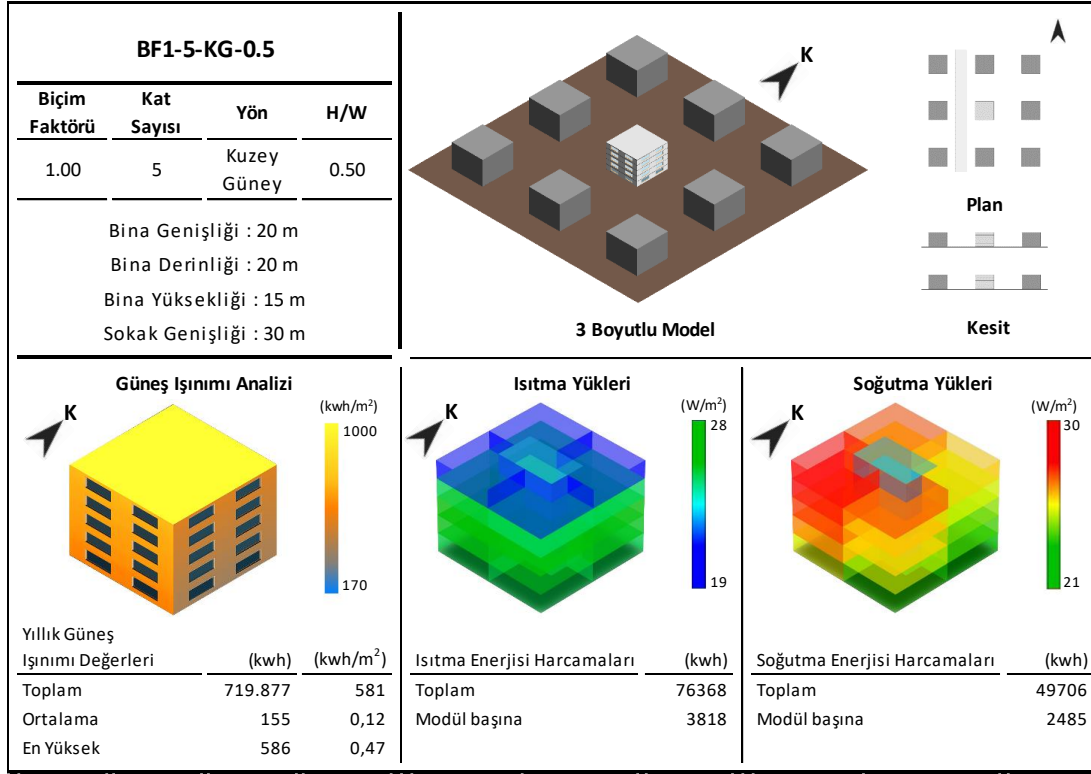
Çizelge A.2 : Biçim Faktörü 2.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçları.

Biçim Faktörü	Kat Sayısı	Yönlendiriliş Durumu	H/W	Alternatif Adı	EUI (MJ/m2/yıl)	Elektrik Tüketimi (kwh)	Elektrik Tüketimi (kWh/Modül)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ/Modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh)
BF-2	5 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF2-5-KG-0.5	749	121.508	6.075	330.640	16.532	5421	2693	54206	26930
			0,75	BF2-5-KG-0.75	753	121.060	6.053	335.447	16.772	5582	2650	55818	26504
			1	BF2-5-KG-1	759	120.041	6.002	343.945	17.197	5829	2565	58294	25646
			1,25	BF2-5-KG-1.25	766	118.678	5.934	335.039	16.752	6193	2439	61932	24394
			1,5	BF2-5-KG-1.5	778	116.391	5.820	371.521	18.576	6748	2261	67477	22606
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF2-5-KBGD-0.5	742	120.670	6.034	326.813	16.341	5310	2646	53098	26456
			0,75	BF2-5-KBGD-0.75	745	120.280	6.014	331.443	16.572	5443	2610	54432	26102
			1	BF2-5-KBGD-1	752	119.524	5.976	339.950	16.998	5704	2544	57036	25441
			1,25	BF2-5-KBGD-1.25	761	118.184	5.909	350.880	17.544	6083	2437	60825	24372
			1,5	BF2-5-KBGD-1.5	777	115.702	5.785	371.156	18.558	6757	2237	67573	22374
		Doğu-Batı	0,5	BF2-5-DB-0.5	728	120.257	6.013	318.213	15.911	5020	2588	50200	25880
			0,75	BF2-5-DB-0.75	735	119.871	5.994	325.624	16.281	5244	2550	52444	25503
			1	BF2-5-DB-1	744	118.989	5.949	335.463	16.773	5575	2472	55745	24722
			1,25	BF2-5-DB-1.25	754	117.600	5.880	348.938	17.447	5985	2362	59850	23618
			1,5	BF2-5-DB-1.5	772	115.407	5.770	369.401	18.470	6659	2204	66593	22037
	10 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF2-10-KG-0.5	725	224.362	5.609	617.661	15.442	4697	2759	93936	55176
			0,75	BF2-10-KG-0.75	727	243.928	6.098	621.729	15.543	4784	2732	95683	54648
			1	BF2-10-KG-1	730	242.812	6.070	629.154	15.729	4921	2684	98421	53679
			1,25	BF2-10-KG-1.25	736	240.791	6.020	642.059	16.051	5184	2596	103687	51917
			1,5	BF2-10-KG-1.5	748	236.730	5.918	675.160	16.879	5731	2412	114628	48231
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF2-10-KBGD-0.5	717	243.547	6.089	607.564	15.189	4533	2734	90653	54682
			0,75	BF2-10-KBGD-0.75	725	242.359	6.059	624.812	15.620	4818	2694	96351	53889
			1	BF2-10-KBGD-1	726	241.735	6.043	622.869	15.572	4856	2658	97111	53155
			1,25	BF2-10-KBGD-1.25	732	239.200	5.980	640.564	16.014	5172	2548	103441	50959
			1,5	BF2-10-KBGD-1.5	746	235.315	5.883	674.862	16.872	5734	2375	114675	47501
		Doğu-Batı	0,5	BF2-10-DB-0.5	705	241.999	6.050	593.146	14.829	4317	2656	86347	53116
			0,75	BF2-10-DB-0.75	710	241.547	6.039	601.382	15.035	4462	2635	89243	52702
			1	BF2-10-DB-1	716	240.707	6.018	612.206	15.305	4668	2596	93353	51925
			1,25	BF2-10-DB-1.25	724	238.910	5.973	628.985	15.725	4984	2518	99680	50356
			1,5	BF2-10-DB-1.5	740	235.093	5.877	669.207	16.730	5616	2348	112327	46962

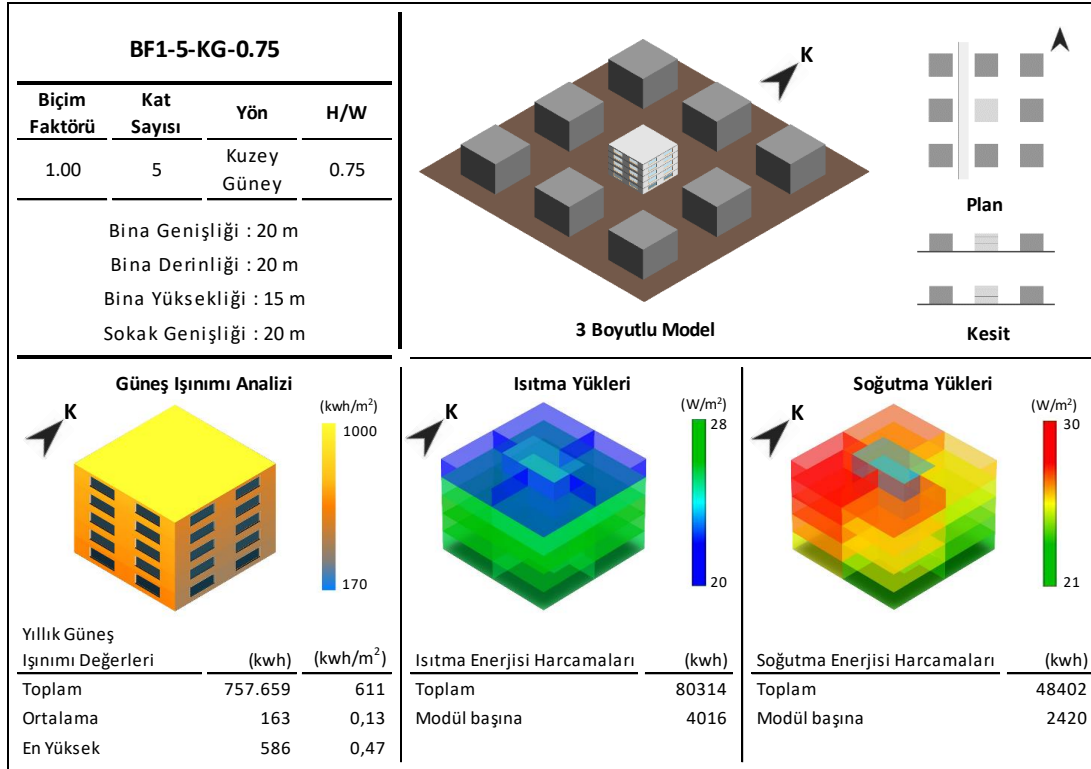
Çizelge A.3 : Biçim Faktörü 3.00 olan yerleşme dokusu alternatiflerinin detaylı enerji analiz sonuçları.

Biçim Faktörü	Kat Sayısı	Yönlendiriliş Durumu	H/W	Alternatif Adı	EUI (MJ/m2/yıl)	Elektrik Tüketimi (kwh)	Elektrik Tüketimi (kWh/Modül)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ)	Yakıt (Gaz) Tüketimi (MJ/Modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh/modül)	Isıtma Enerjisi Harcaması (kwh)	Soğutma Enerjisi Harcaması (kwh)
BF-3	5 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF3-5-KG-0.5	706	176.384	8.819	465.761	23.288	4788	2432	71815	36483
			0,75	BF3-5-KG-0.75	709	175.564	8.778	471.905	23.595	4922	2391	73826	35864
			1	BF3-5-KG-1	714	174.192	8.710	481.845	24.092	5143	2318	77152	34768
			1,25	BF3-5-KG-1.25	720	172.165	8.608	495.397	24.770	5446	2210	81689	33145
			1,5	BF3-5-KG-1.5	729	169.139	8.457	513.786	25.689	5892	2051	88382	30762
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF3-5-KBGD-0.5	697	175.825	8.791	457.738	22.887	4622	2393	69323	35890
			0,75	BF3-5-KBGD-0.75	700	175.080	8.754	464.087	23.204	4740	2356	71096	35347
			1	BF3-5-KBGD-1	706	173.988	8.699	474.618	23.731	4987	2300	74803	34493
			1,25	BF3-5-KBGD-1.25	714	172.177	8.609	487.714	24.386	5298	2206	79474	33094
			1,5	BF3-5-KBGD-1.5	726	168.953	8.448	511.469	25.573	5844	2034	87664	30506
		Doğu-Batı	0,5	BF3-5-DB-0.5	686	176.402	8.820	446.587	22.329	4343	2354	65148	35308
			0,75	BF3-5-DB-0.75	693	175.802	8.790	456.573	22.829	4568	2322	68520	34834
			1	BF3-5-DB-1	700	174.430	8.722	469.452	23.473	4859	2249	72889	33729
			1,25	BF3-5-DB-1.25	708	172.376	8.619	485.602	24.280	5215	2149	78219	32235
			1,5	BF3-5-DB-1.5	722	169.233	8.462	509.931	25.497	5763	2010	86448	30144
	10 Kat	Kuzey-Güney	0,5	BF3-10-KG-0.5	689	359.813	8.995	868.051	21.701	4099	2501	122975	75040
			0,75	BF3-10-KG-0.75	692	358.823	8.971	873.575	21.839	4196	2474	125873	74215
			1	BF3-10-KG-1	695	357.364	8.934	884.072	22.102	4331	2429	129937	72863
			1,25	BF3-10-KG-1.25	700	353.908	8.848	905.741	22.644	4583	2331	137493	69920
			1,5	BF3-10-KG-1.5	709	347.997	8.700	946.167	23.654	5040	2166	151202	64974
		Kuzeybatı-Güneydoğu	0,5	BF3-10-KBGD-0.5	682	360.645	9.016	854.874	21.372	3937	2483	118118	74488
			0,75	BF3-10-KBGD-0.75	685	359.224	8.981	863.014	21.575	4060	2449	121790	73473
			1	BF3-10-KBGD-1	690	357.470	8.937	880.325	22.008	4250	2401	127511	72023
			1,25	BF3-10-KBGD-1.25	696	352.812	8.820	905.306	22.633	4551	2286	136515	68582
			1,5	BF3-10-KBGD-1.5	707	347.399	8.685	944.538	23.613	5018	2138	150545	64136
		Doğu-Batı	0,5	BF3-10-DB-0.5	670	359.995	9.000	832.303	20.808	3682	2428	110461	72825
			0,75	BF3-10-DB-0.75	675	359.377	8.984	844.582	21.115	3834	2408	115011	72242
			1	BF3-10-DB-1	681	358.241	8.956	861.878	21.547	4033	2373	120991	71193
			1,25	BF3-10-DB-1.25	689	355.545	8.889	890.706	22.268	4357	2289	130722	68680
			1,5	BF3-10-DB-1.5	703	349.866	8.747	938.163	23.454	4912	2135	147355	64044

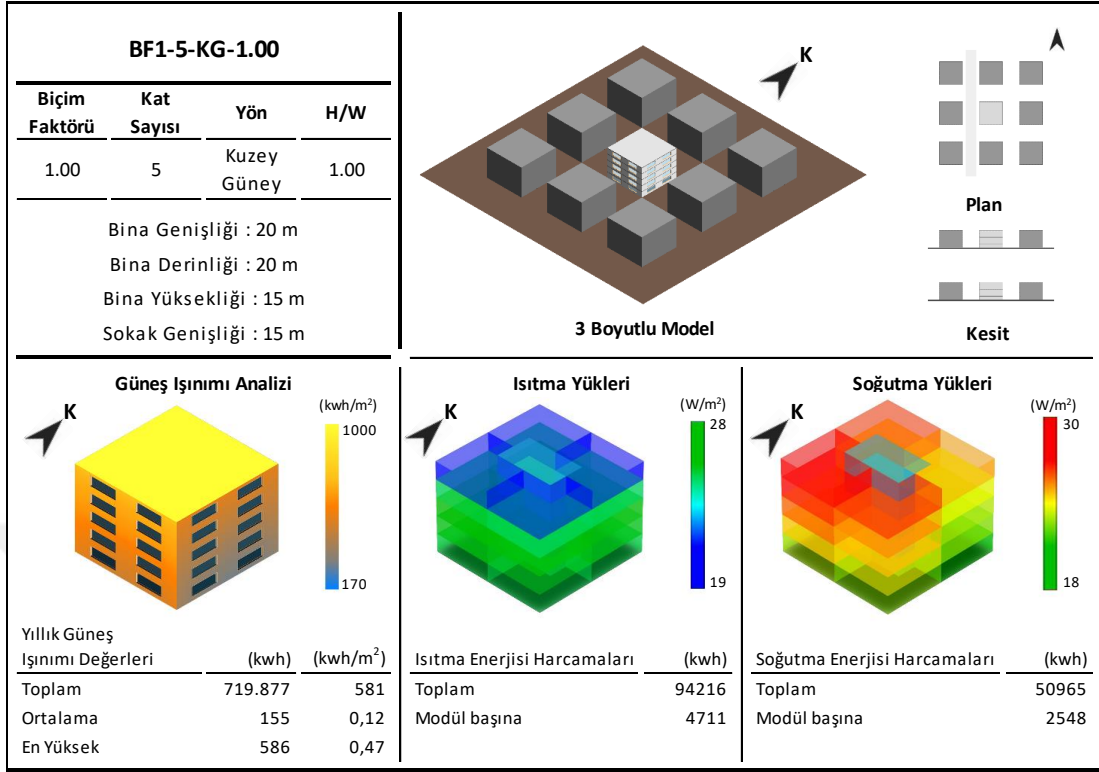
Çizelge A.4 : BF1-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



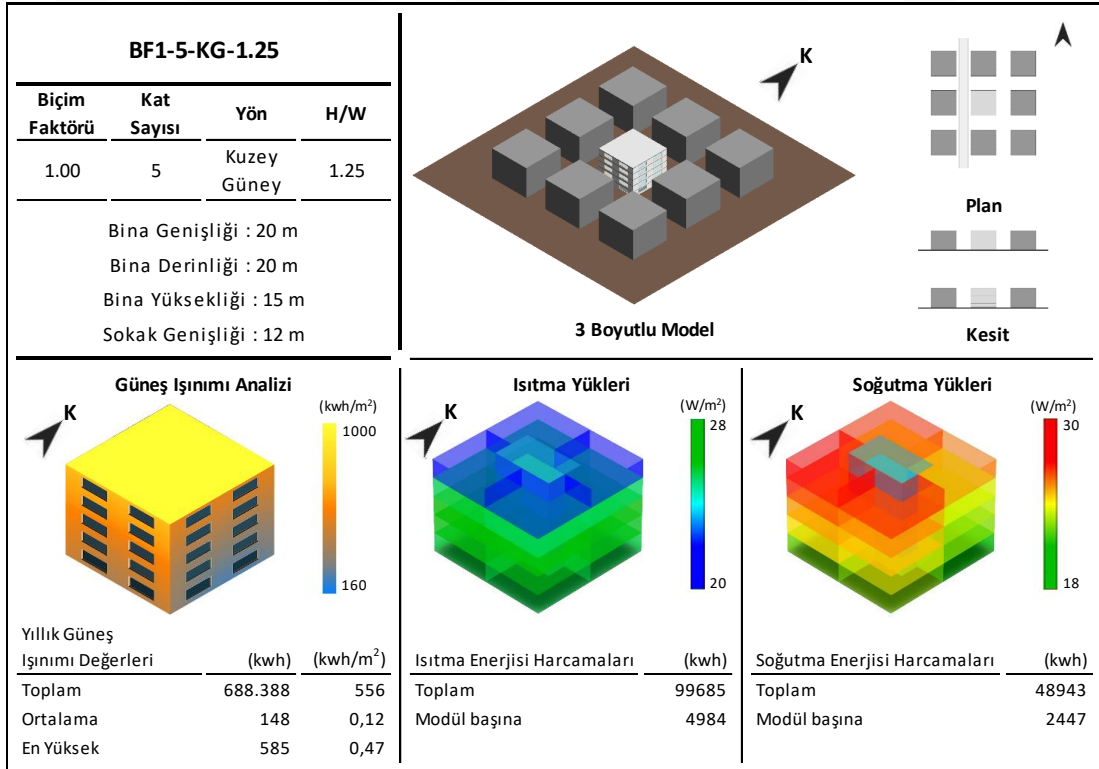
Çizelge A.5 : BF1-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



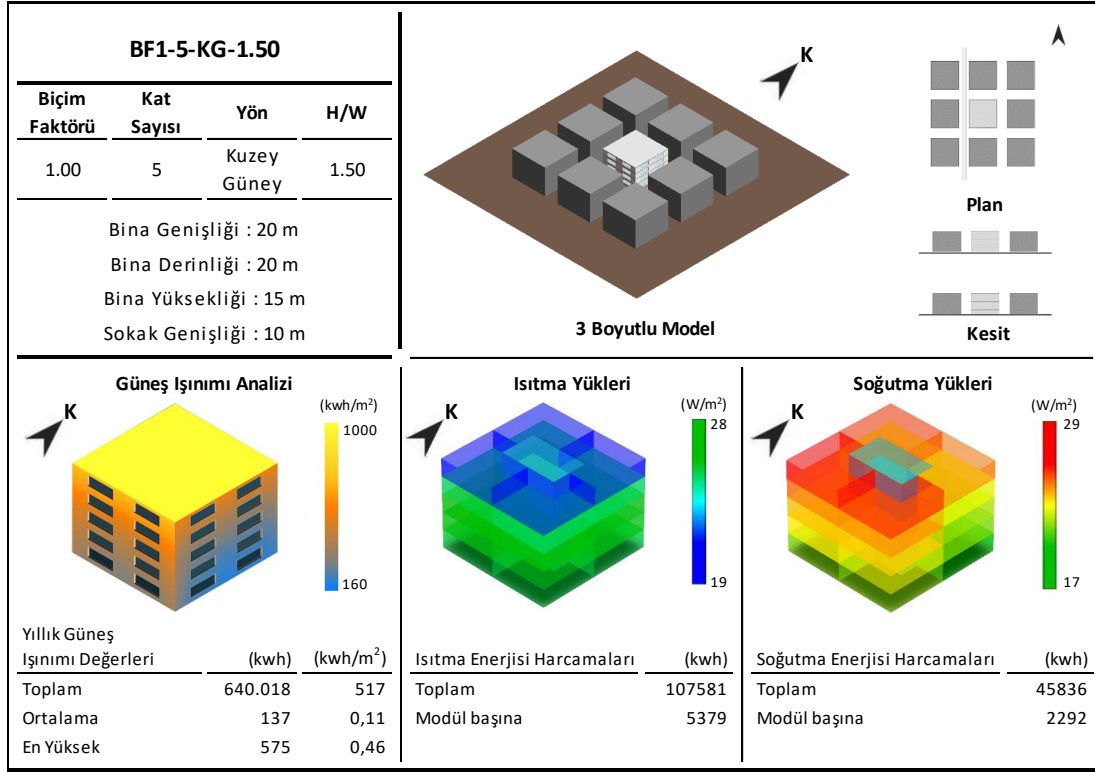
Çizelge A.6 : BF1-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



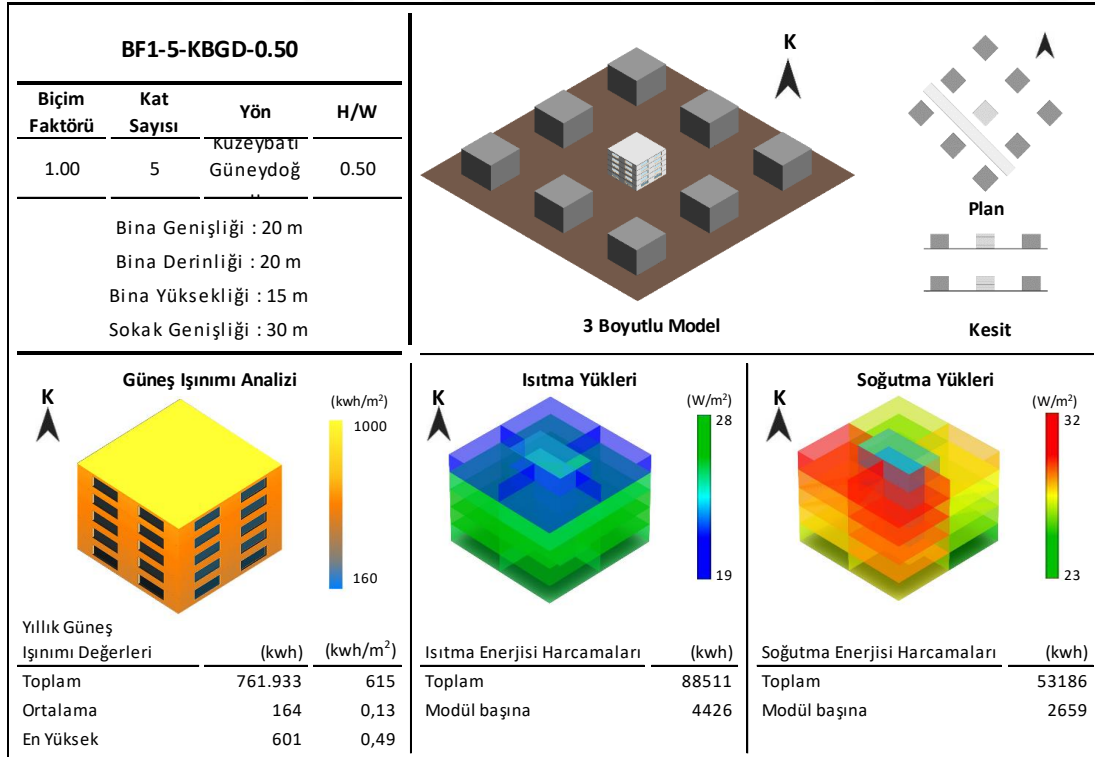
Çizelge A.7 : BF1-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



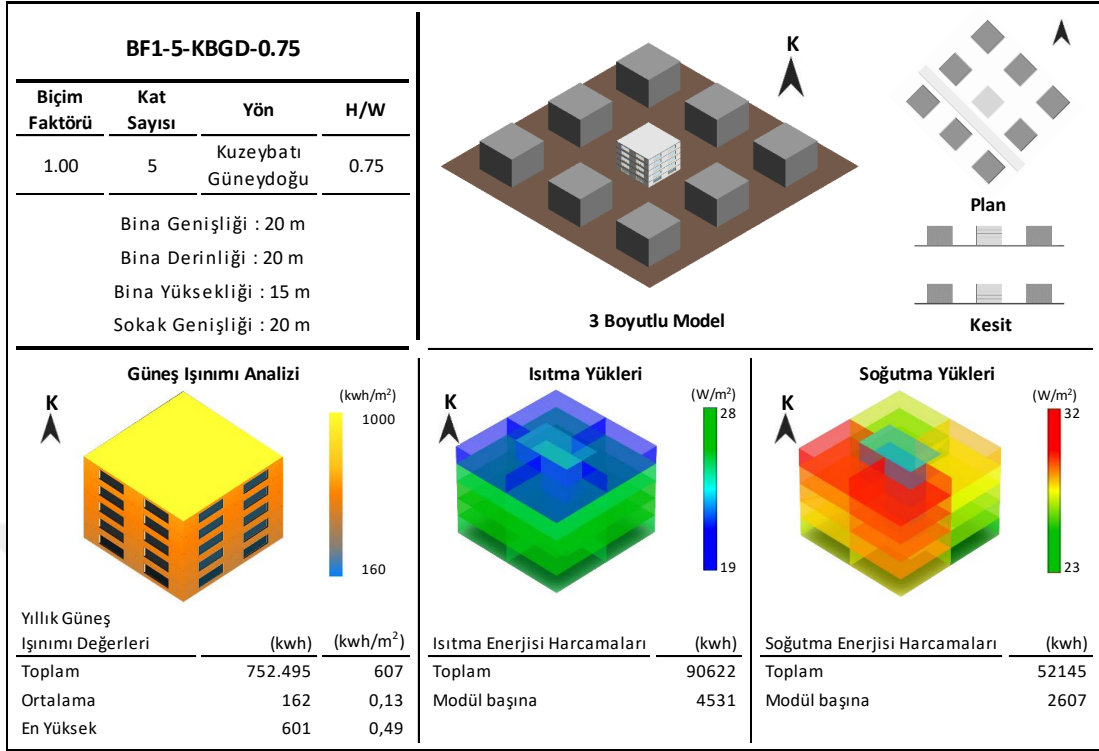
Çizelge A.8 : BF1-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



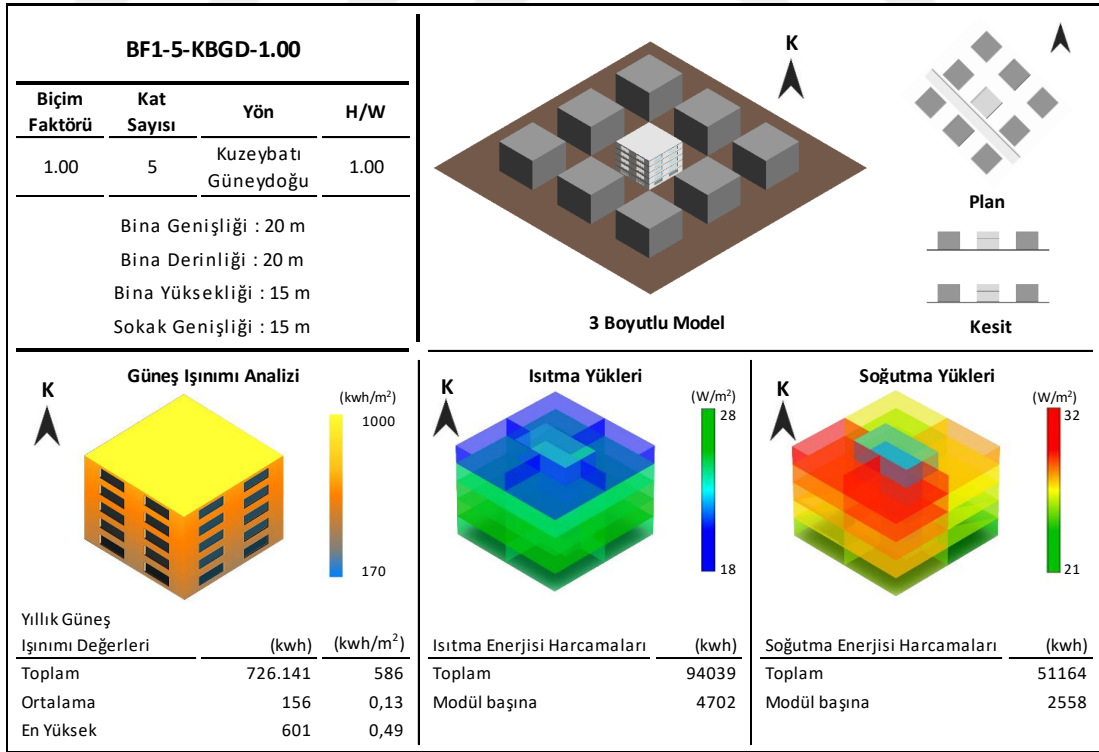
Çizelge A.9 : BF1-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



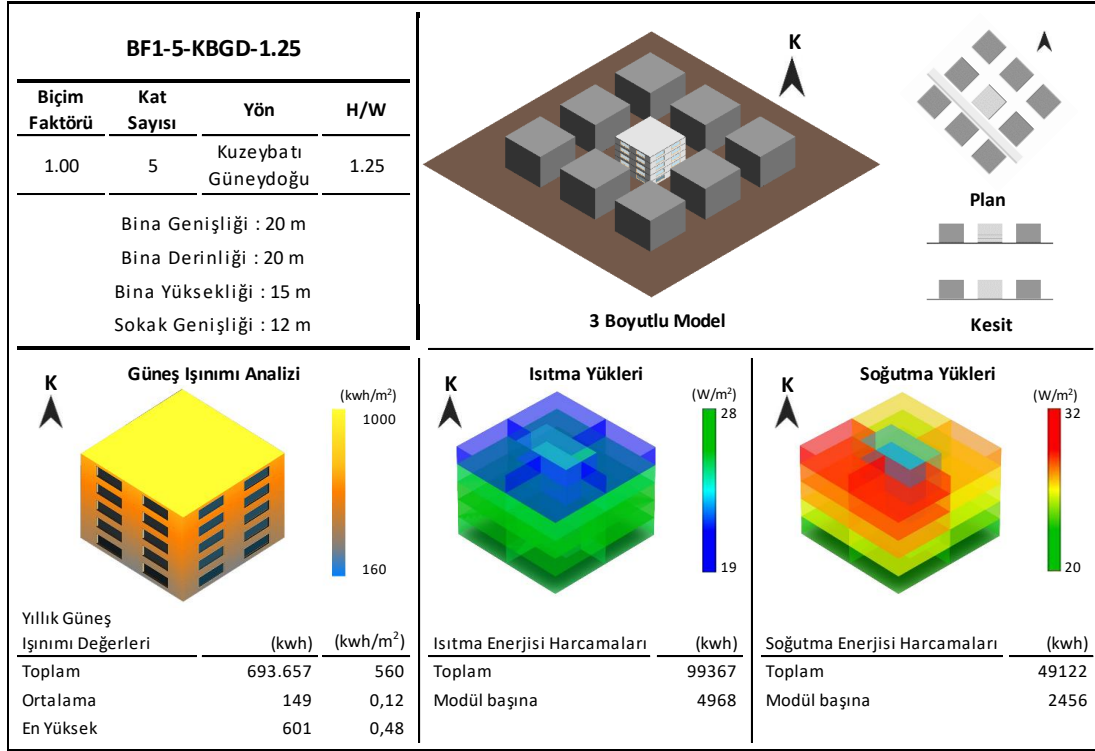
Çizelge A.10 : BF1-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



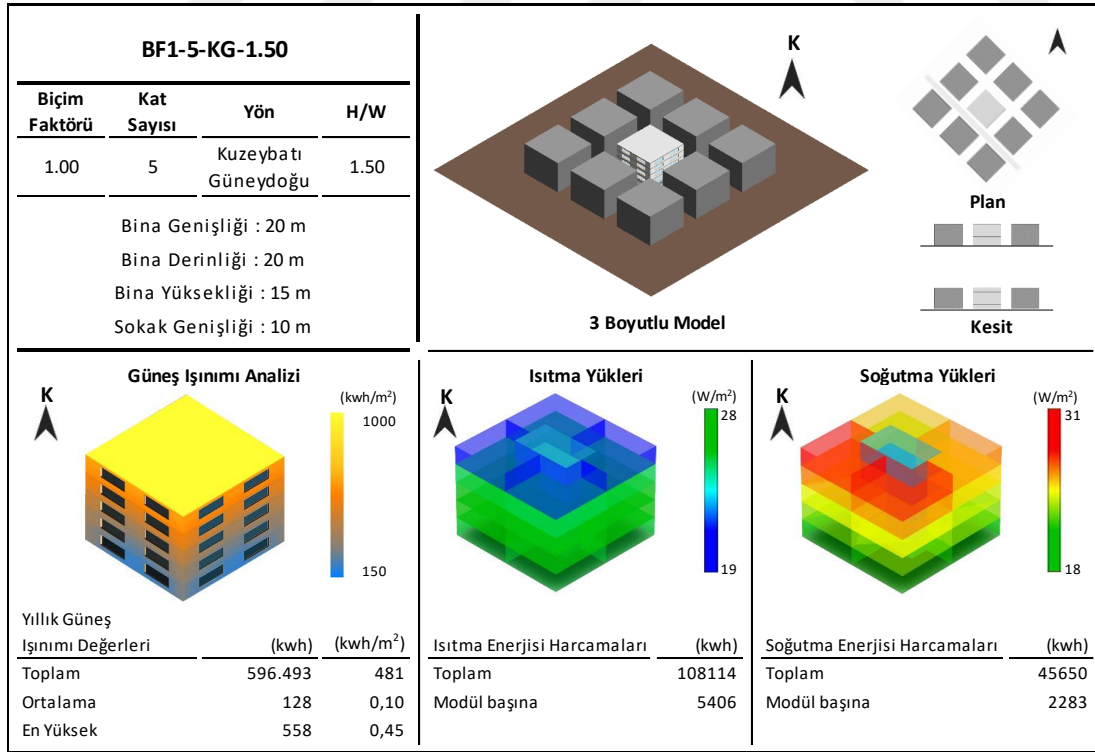
Çizelge A.11 : BF1-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



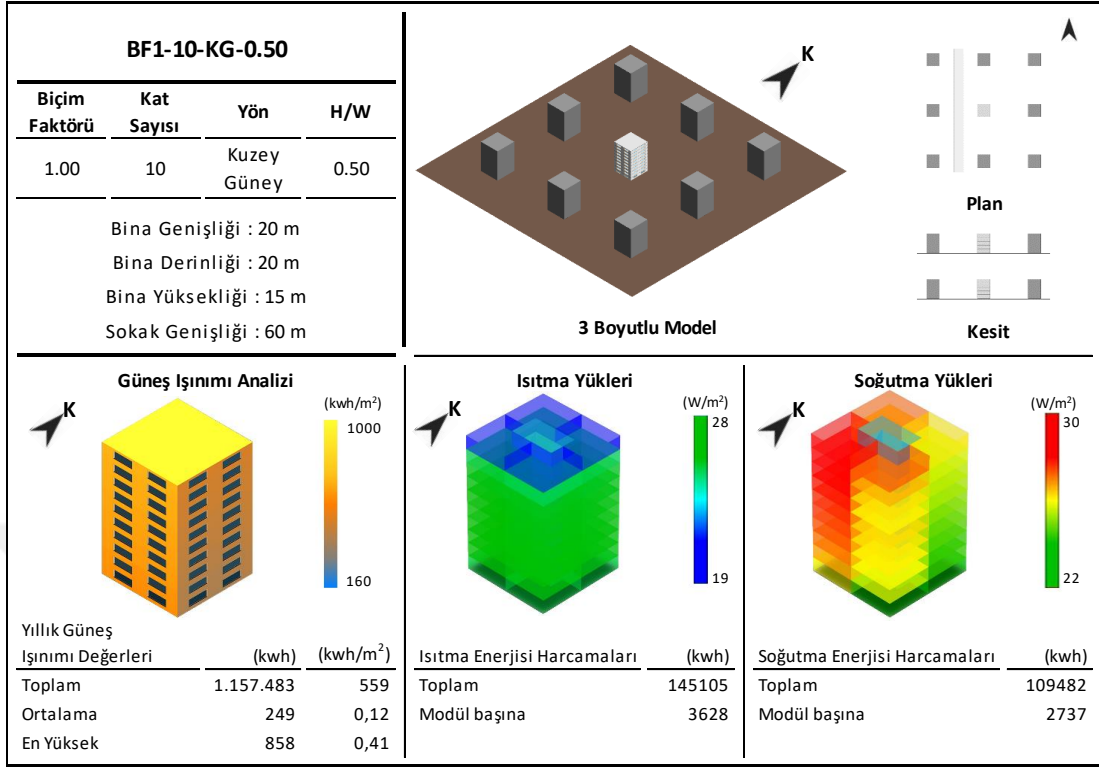
Çizelge A.12 : BF1-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



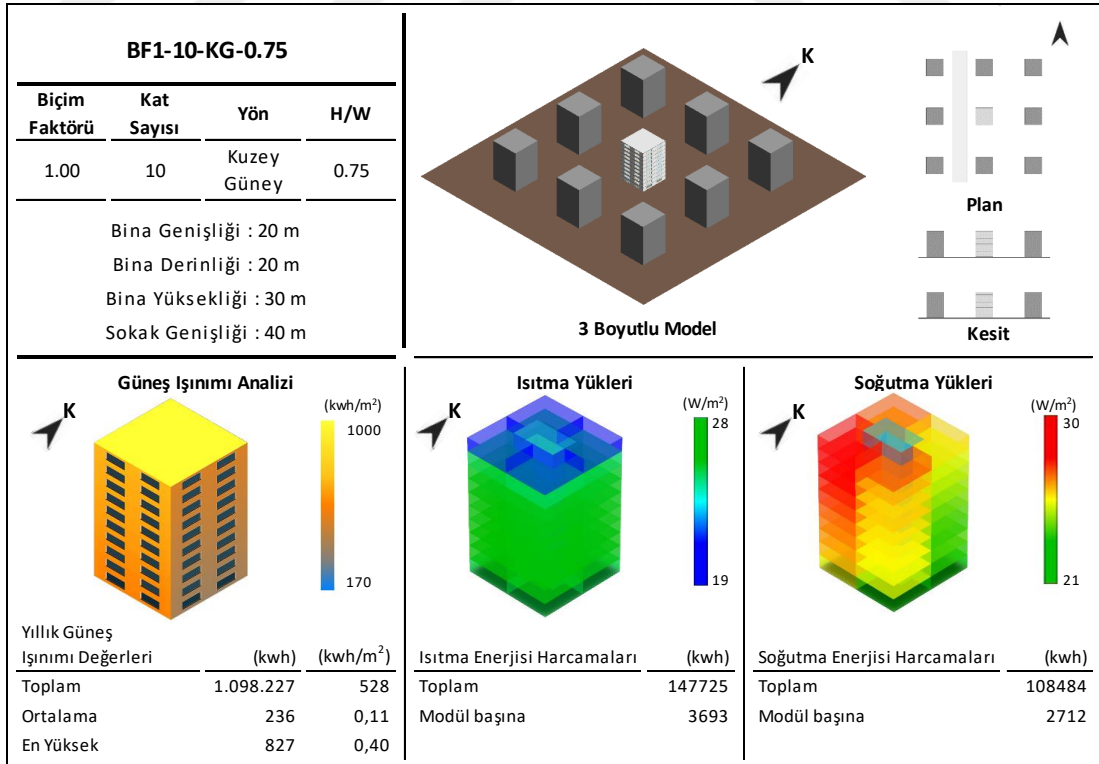
Çizelge A.13 : BF1-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



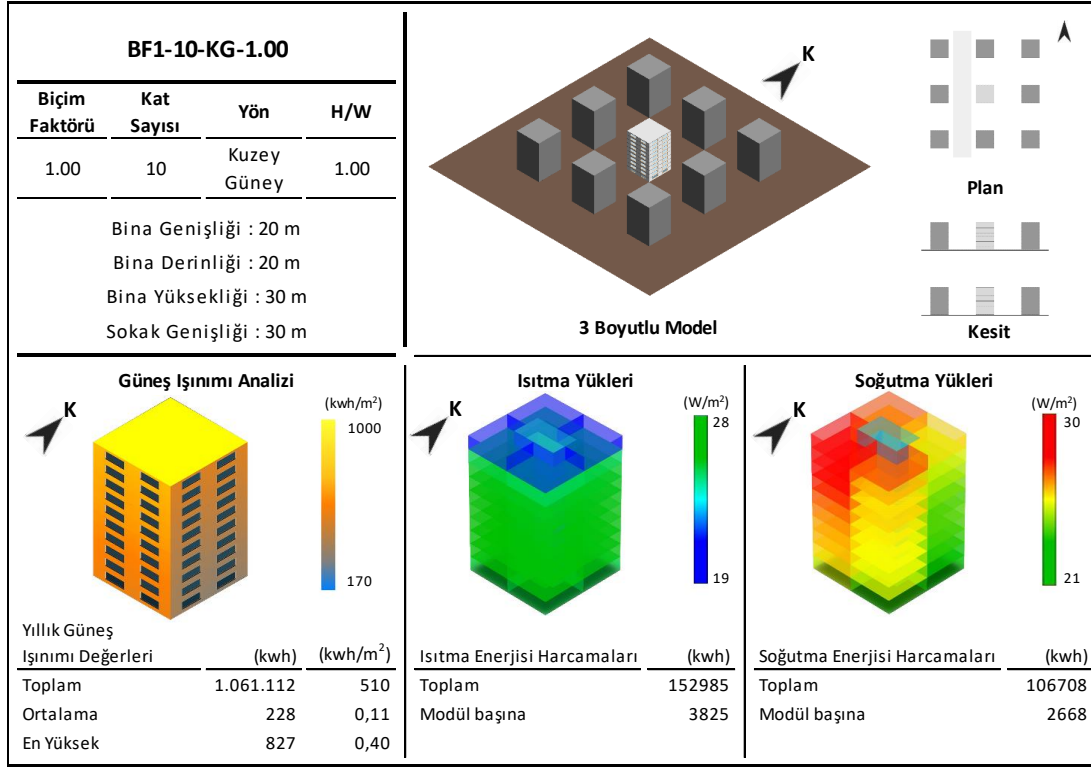
Çizelge A.14 : BF1-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



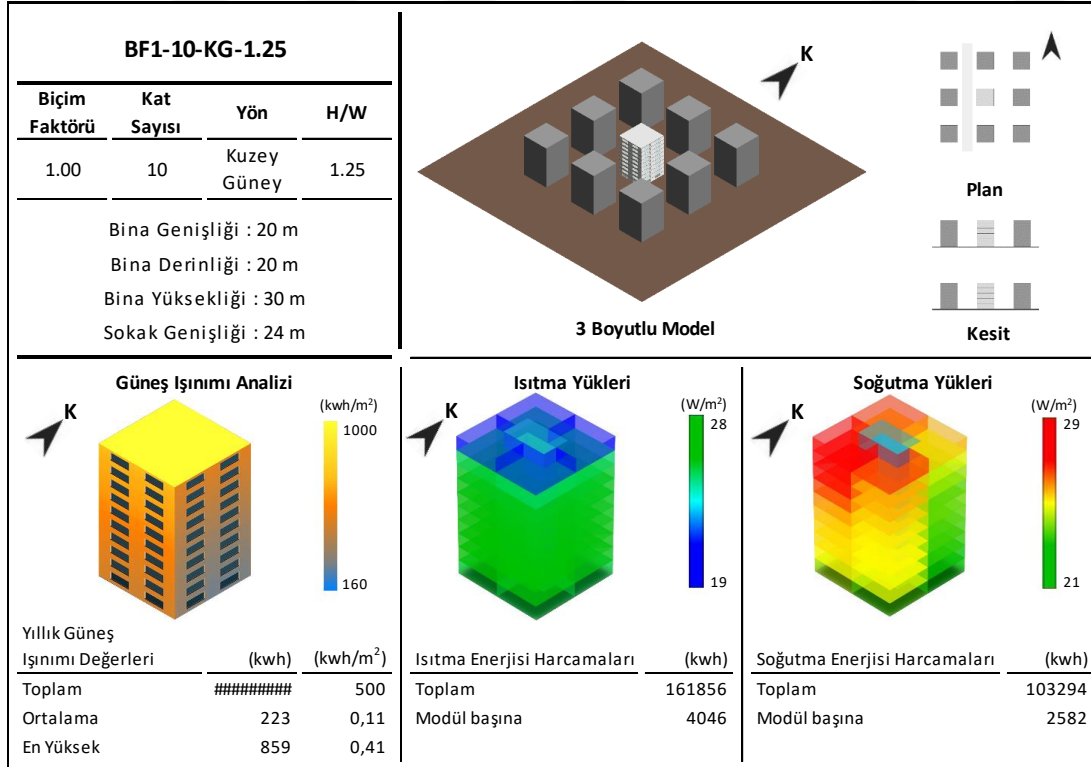
Çizelge A.15 : BF1-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



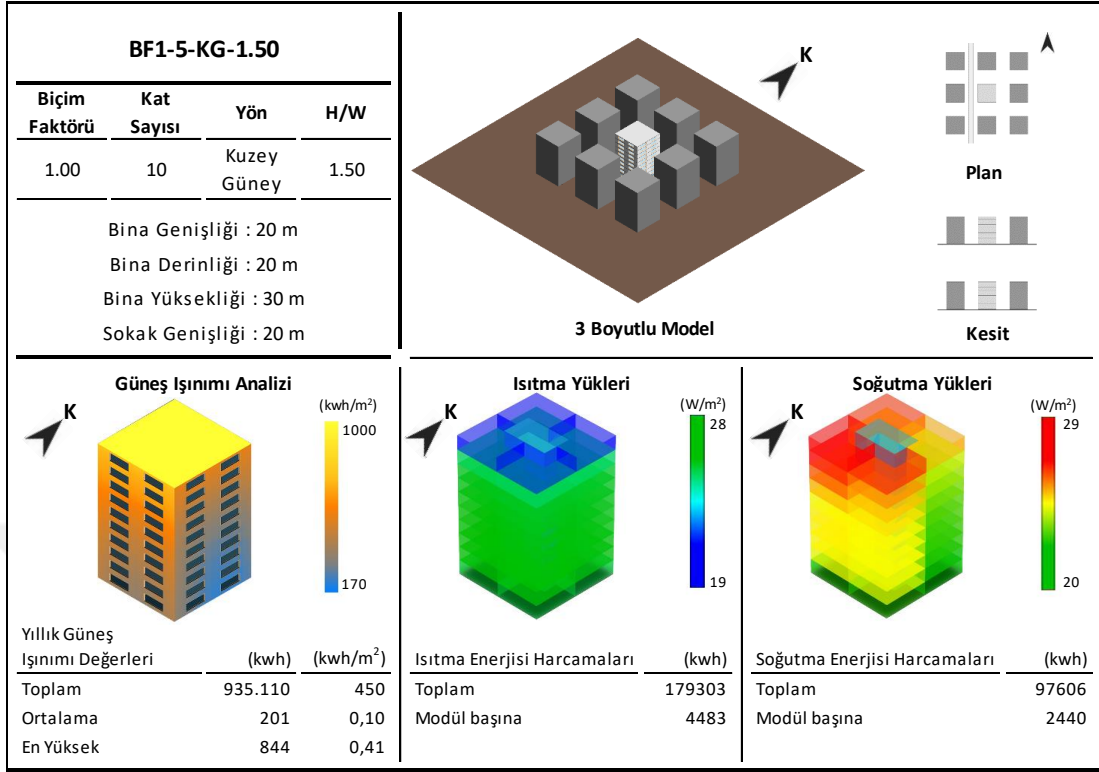
Çizelge A.16 : BF1-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



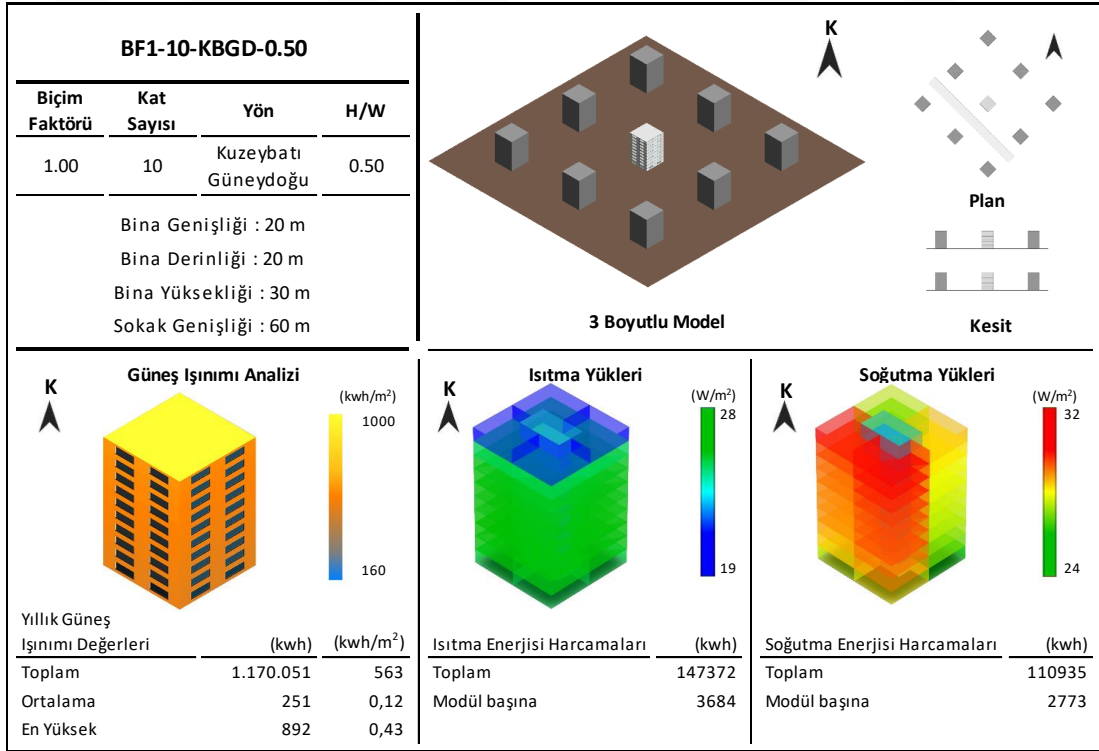
Çizelge A.17 : BF1-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



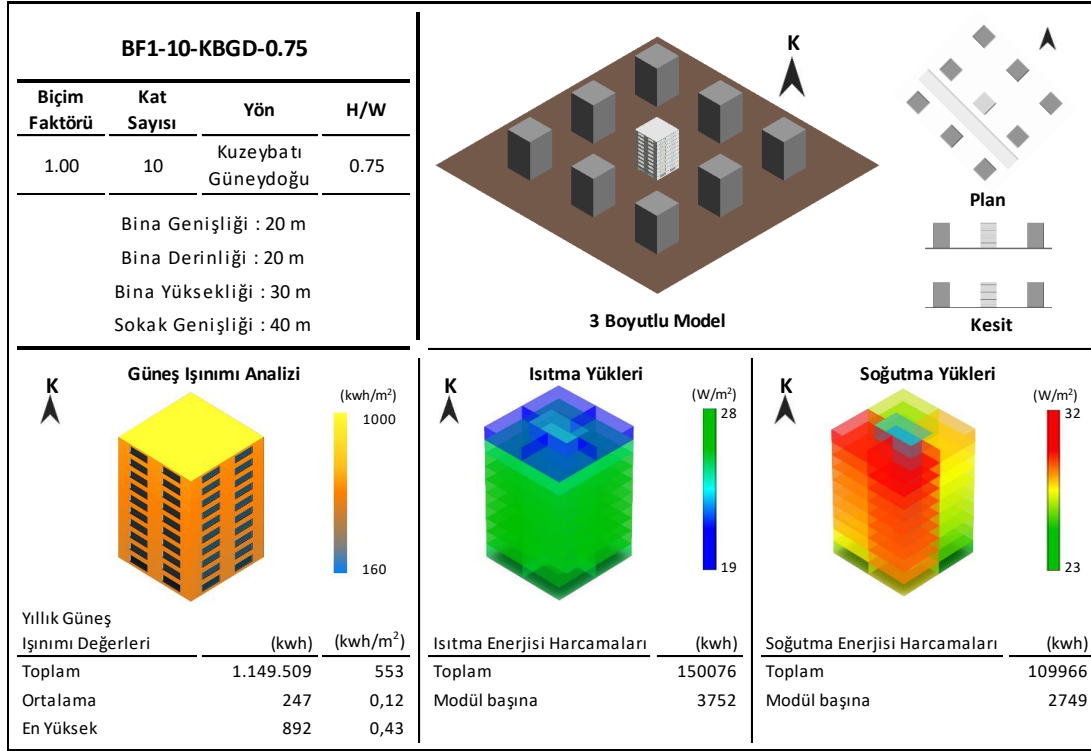
Çizelge A.18 : BF1-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



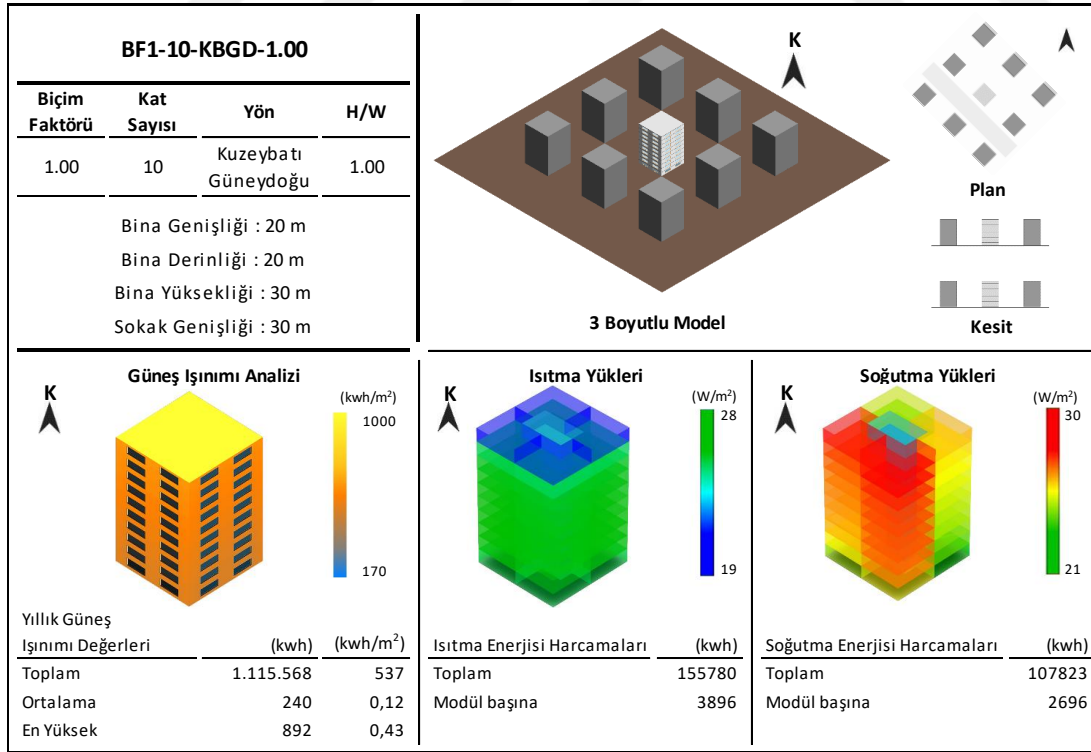
Çizelge A.19 : BF1-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



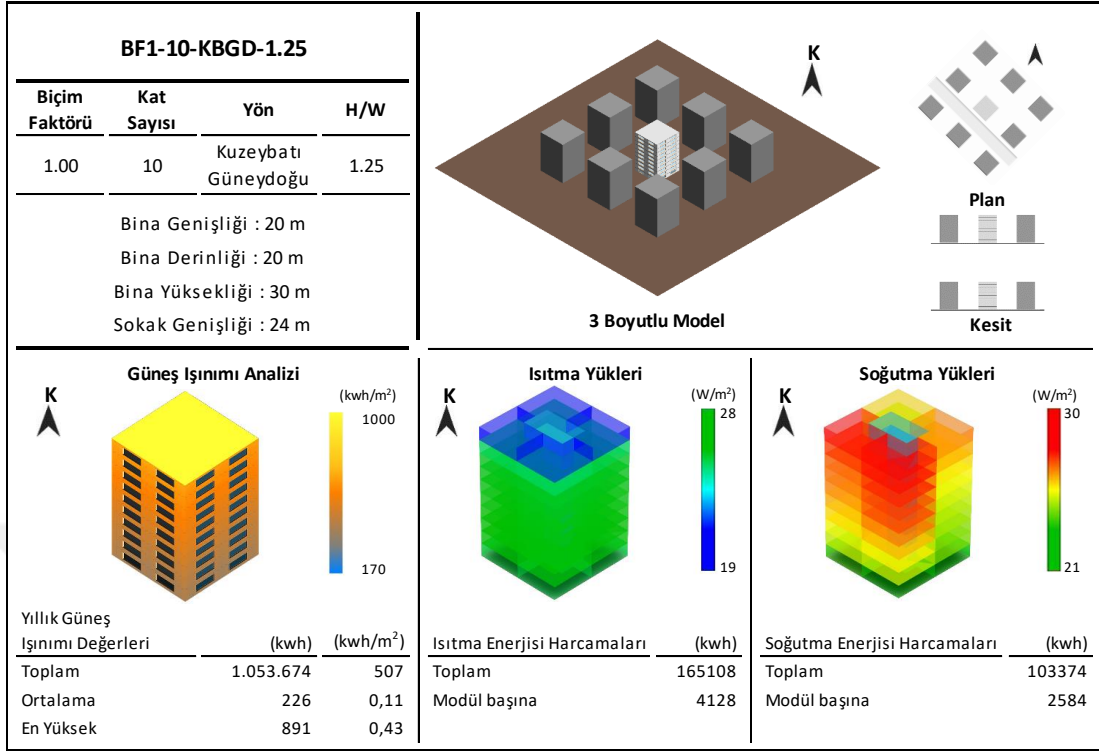
Çizelge A.20 : BF1-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



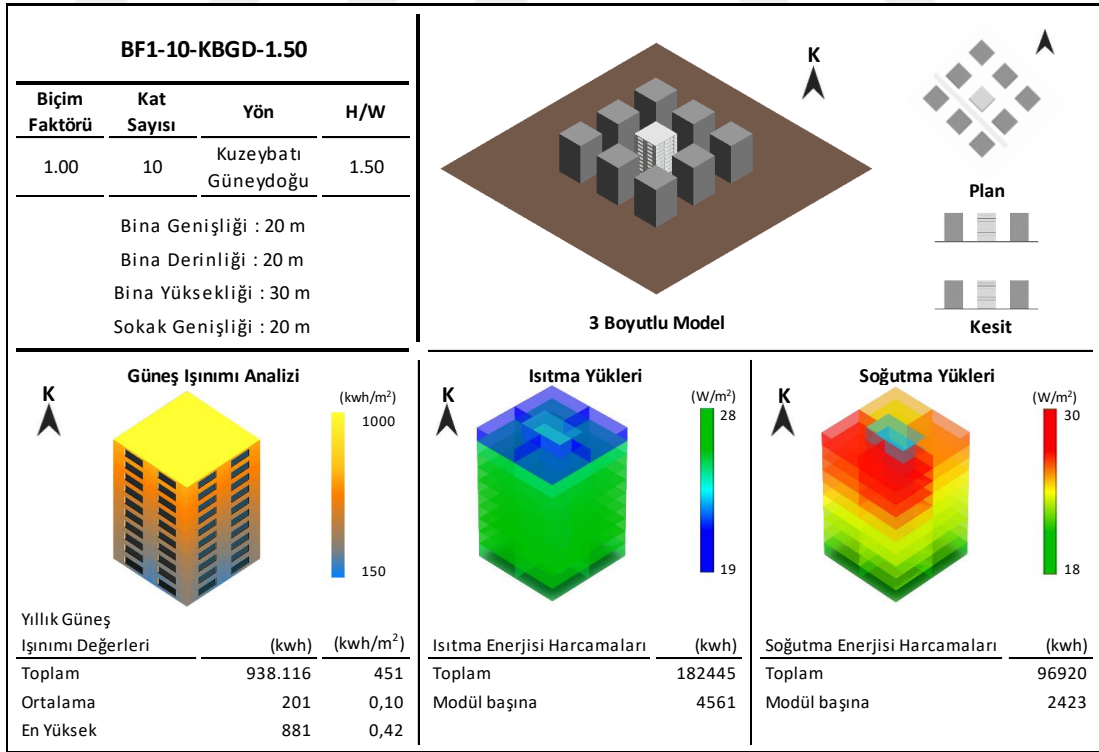
Çizelge A.21 : BF1-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



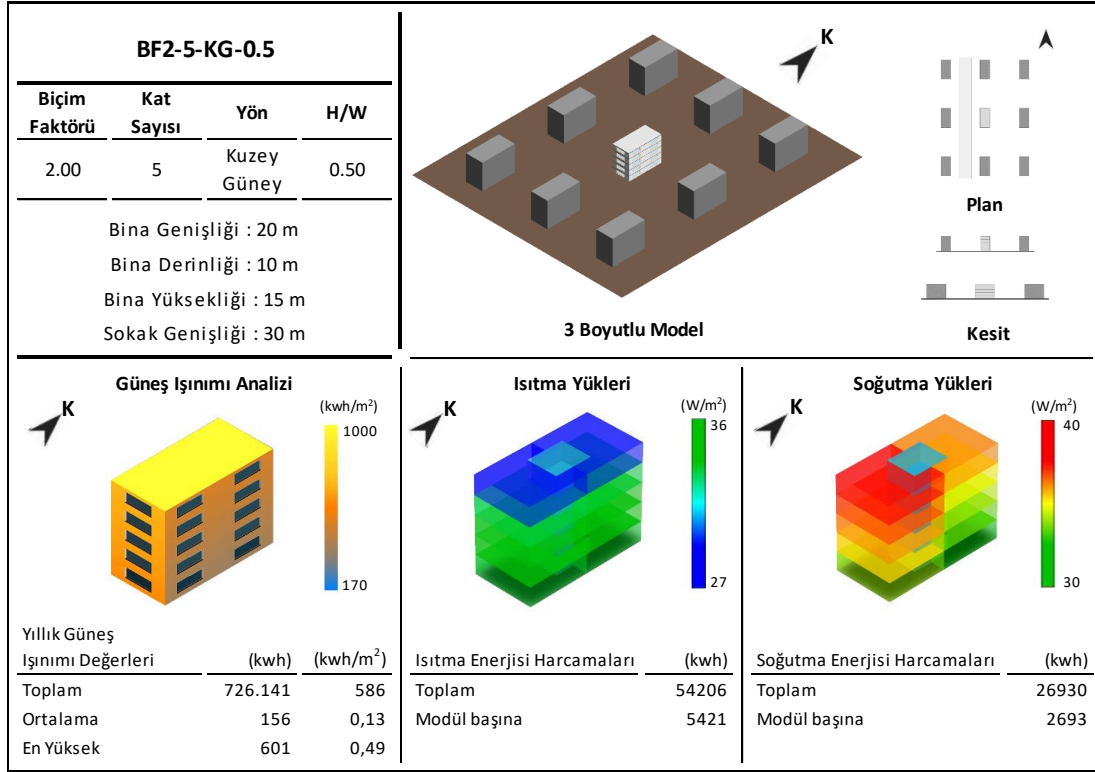
Çizelge A.22 : BF1-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



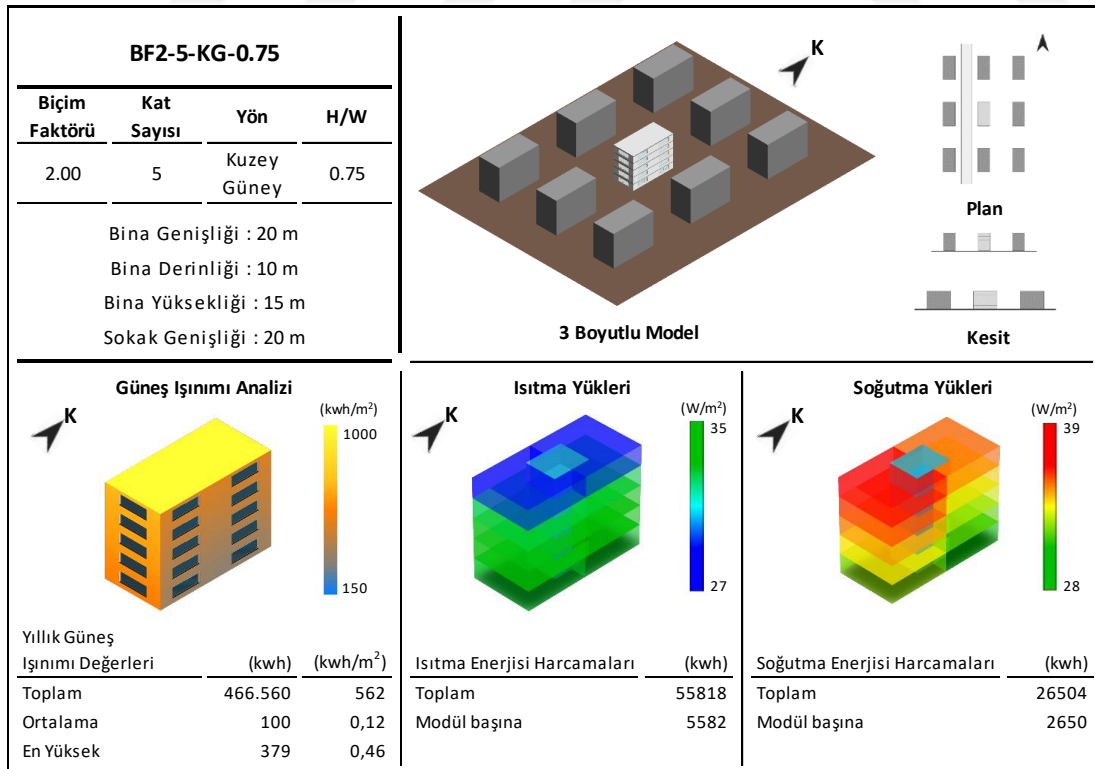
Çizelge A.23 : BF1-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



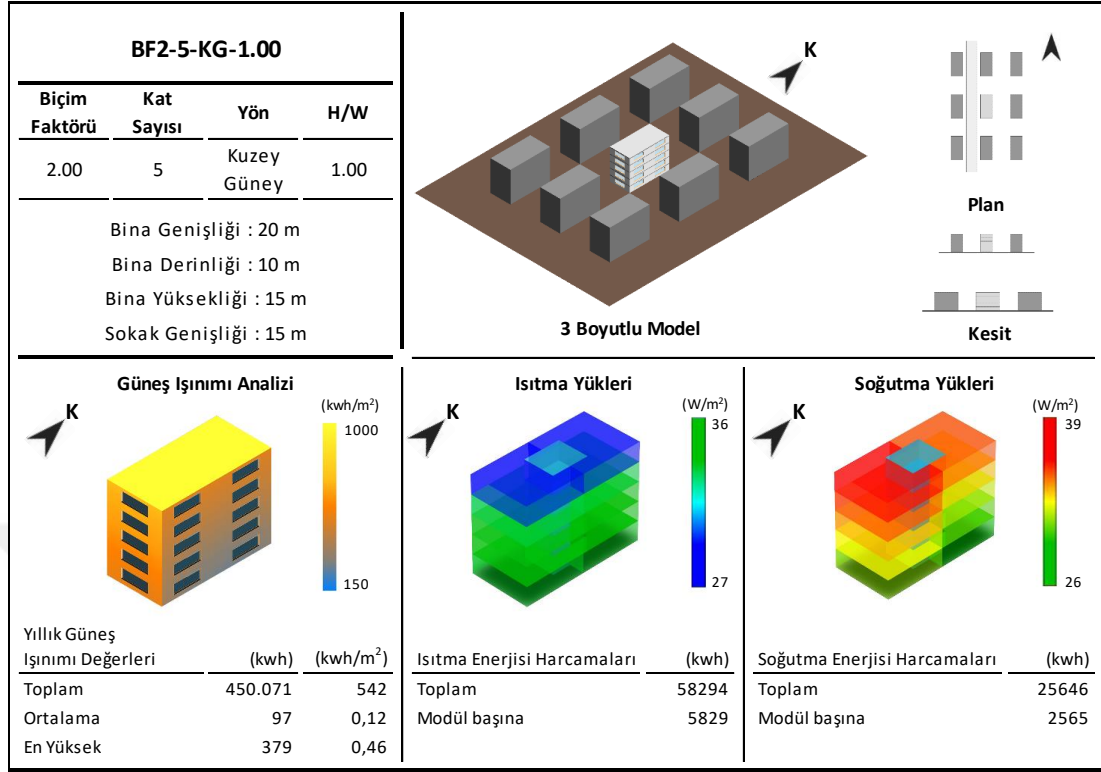
Çizelge A.24 : BF2-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



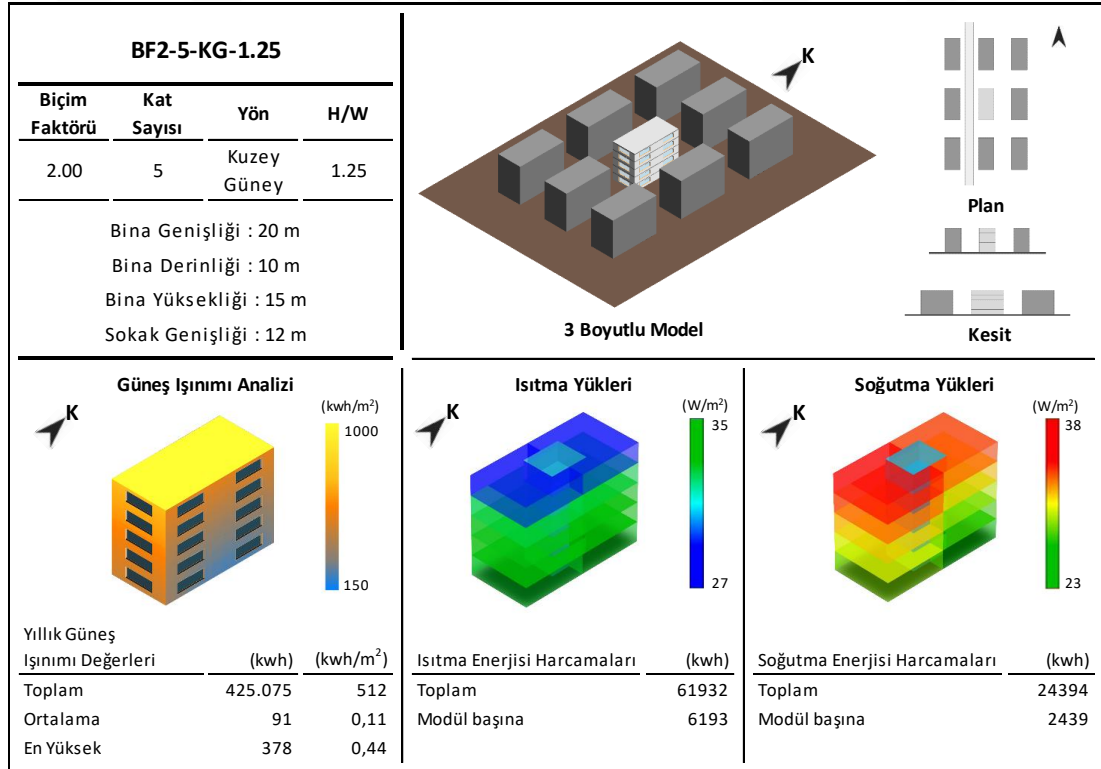
Çizelge A.25 : BF2-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



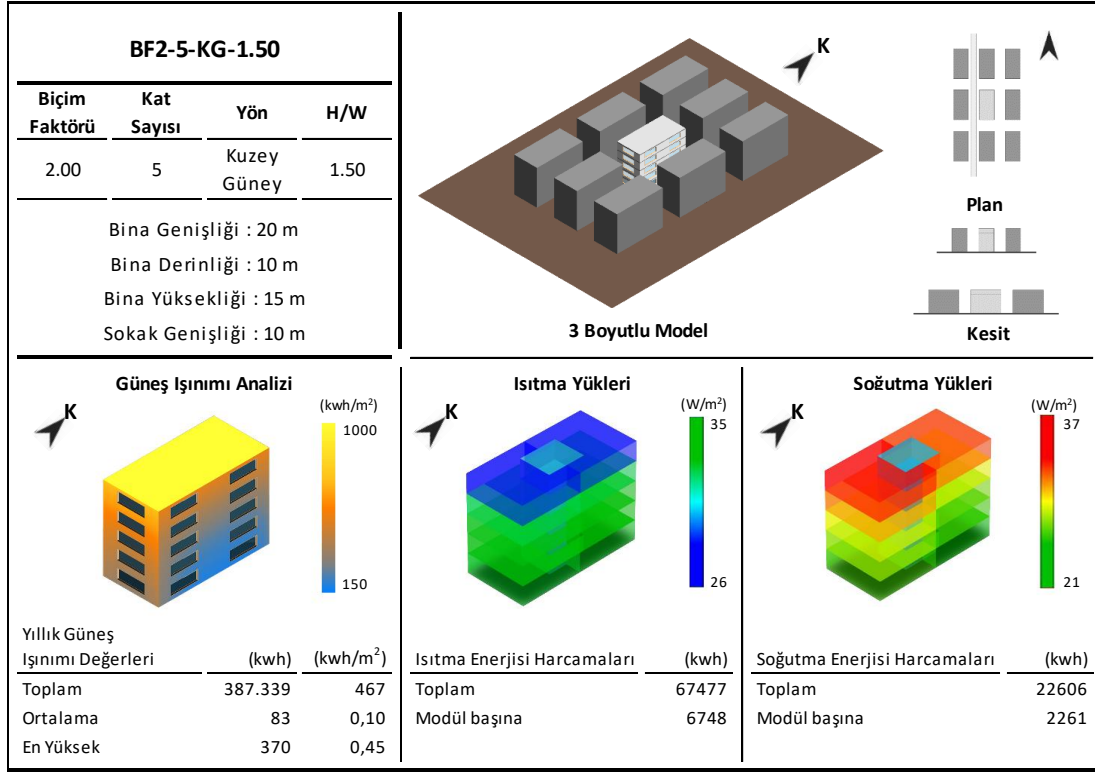
Çizelge A.26 : BF2-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



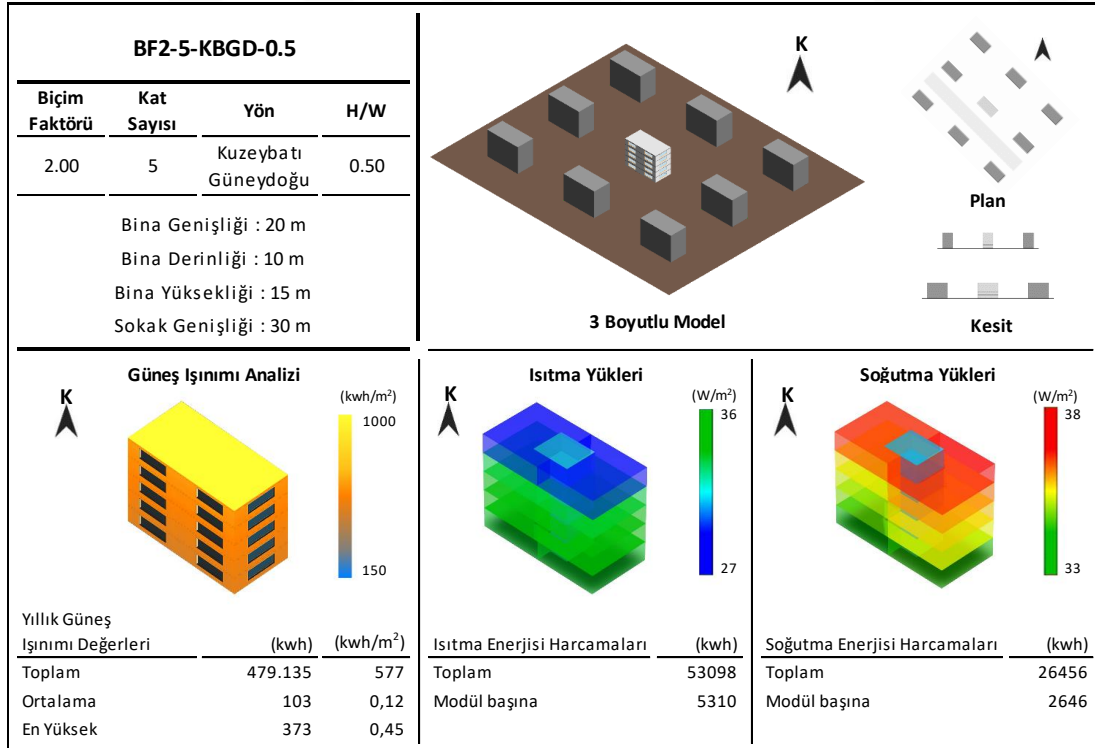
Çizelge A.27 : BF2-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



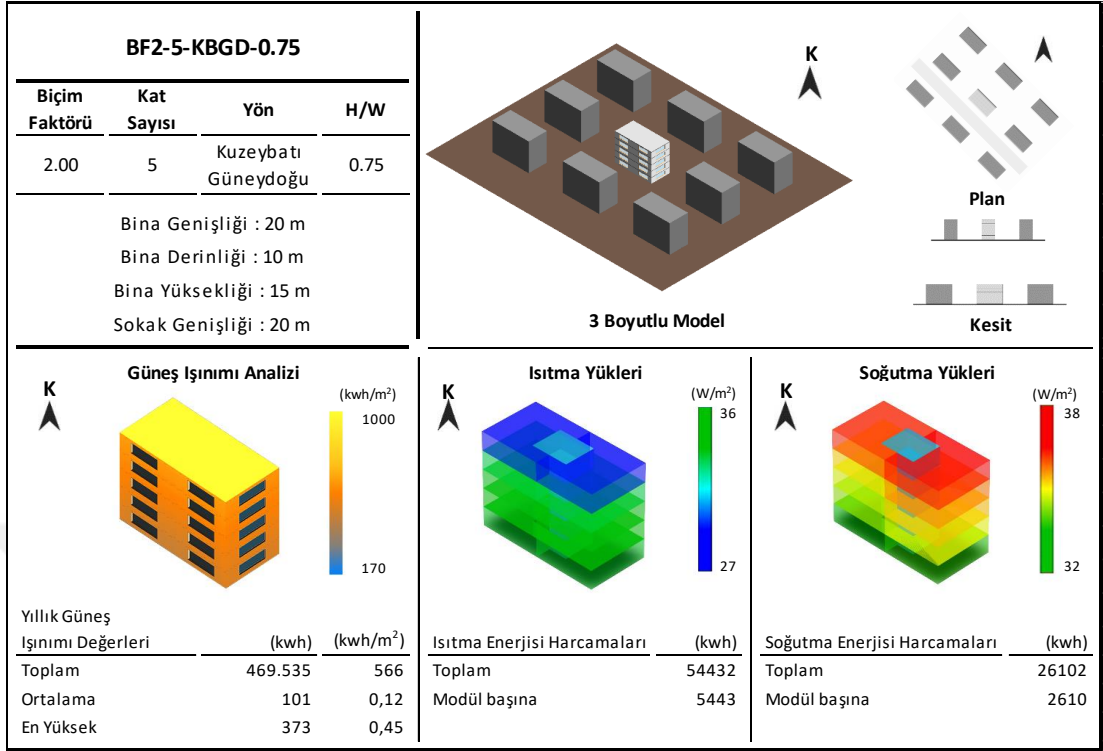
Çizelge A.28 : BF2-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



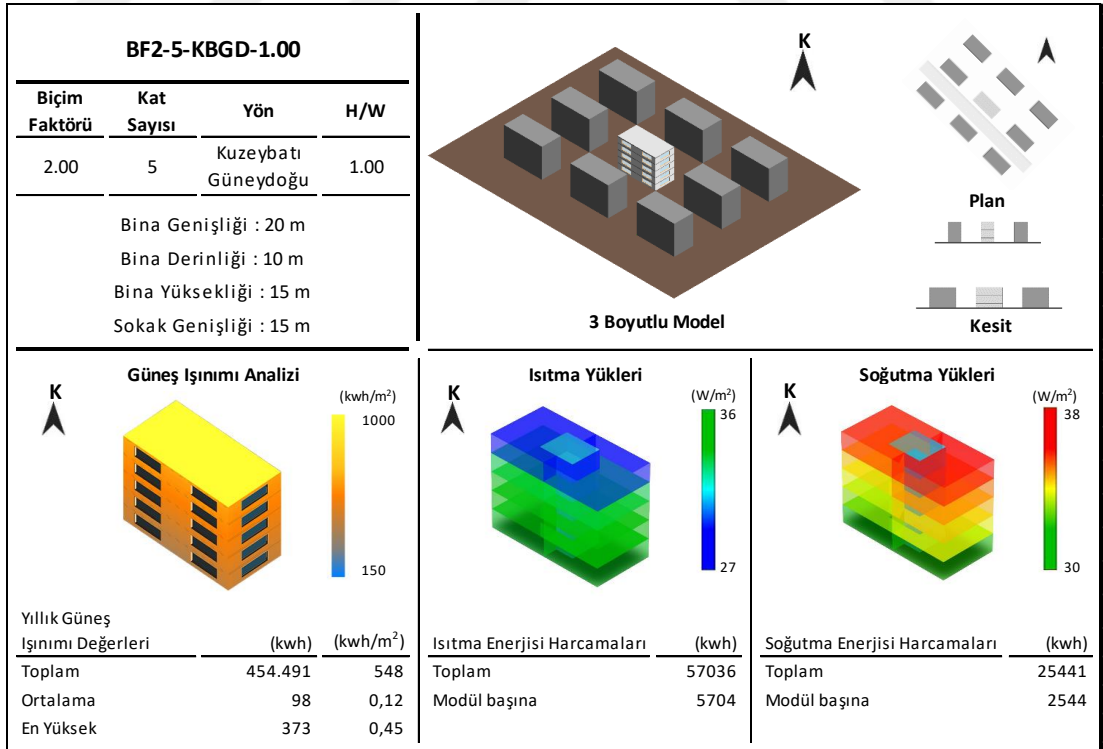
Çizelge A.29 : BF2-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



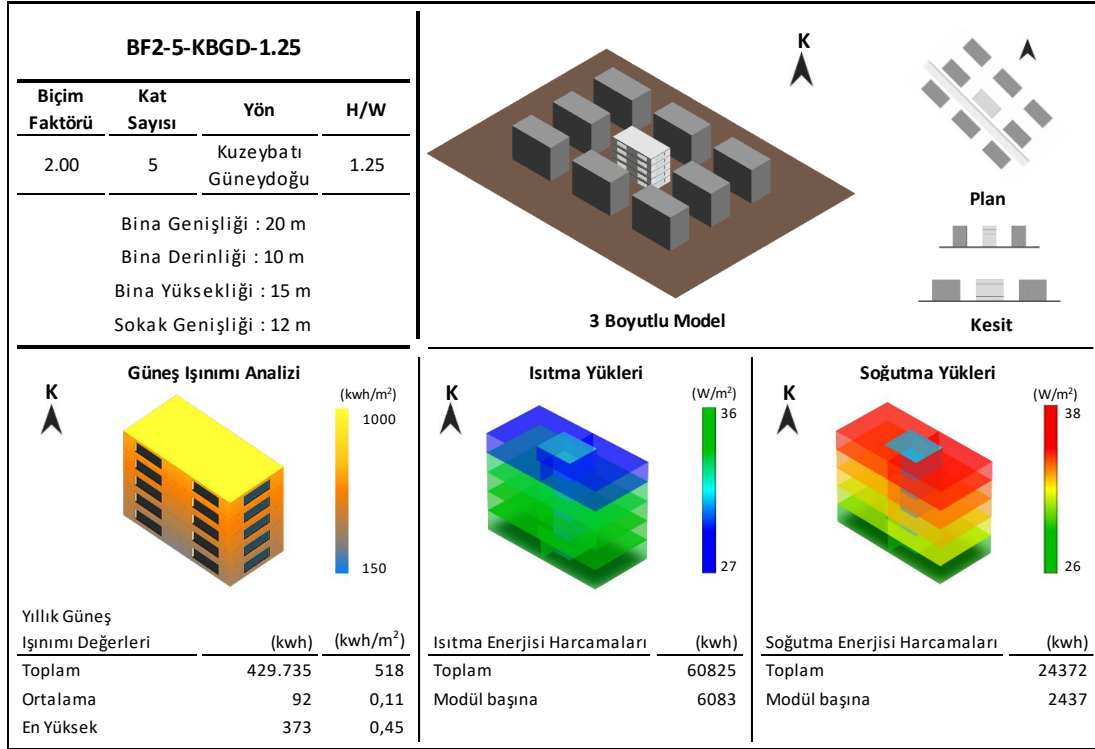
Çizelge A.30 : BF2-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



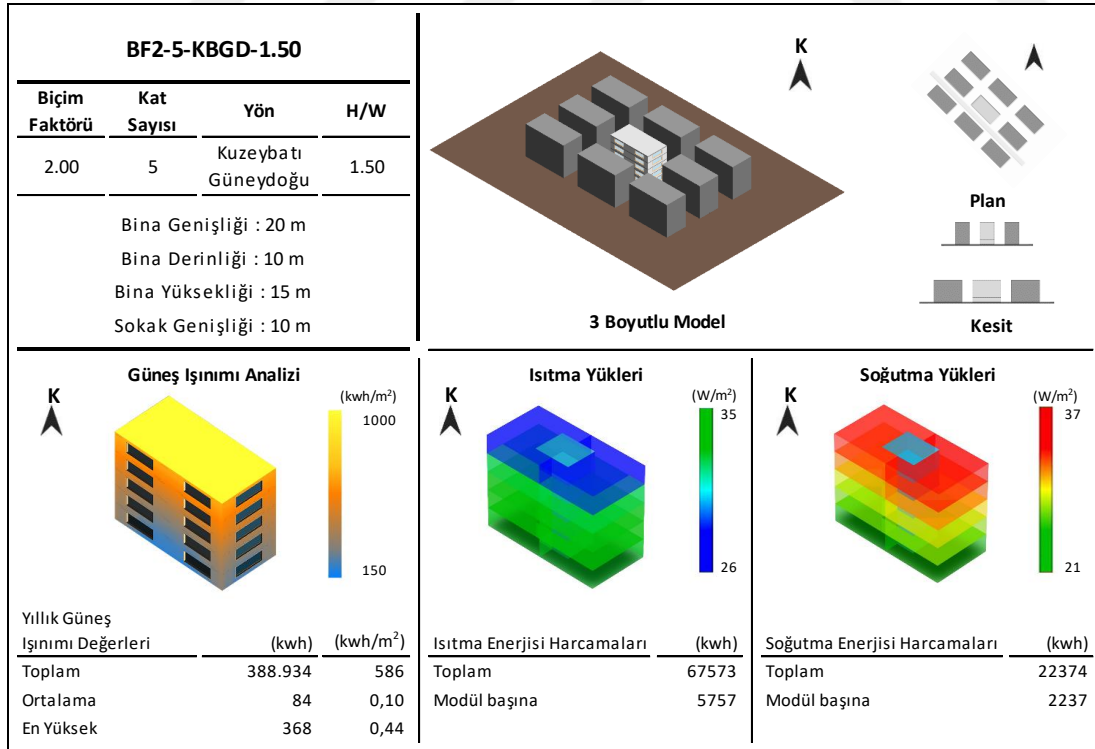
Çizelge A.31 : BF2-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



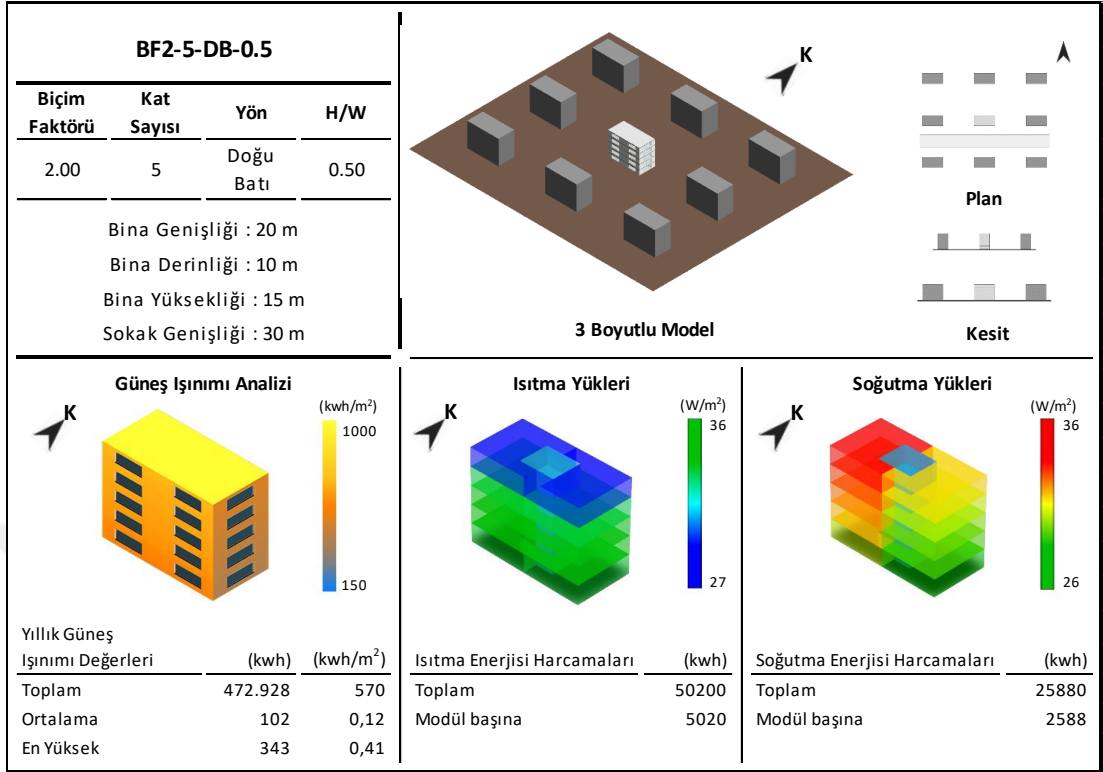
Çizelge A.32 : BF2-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



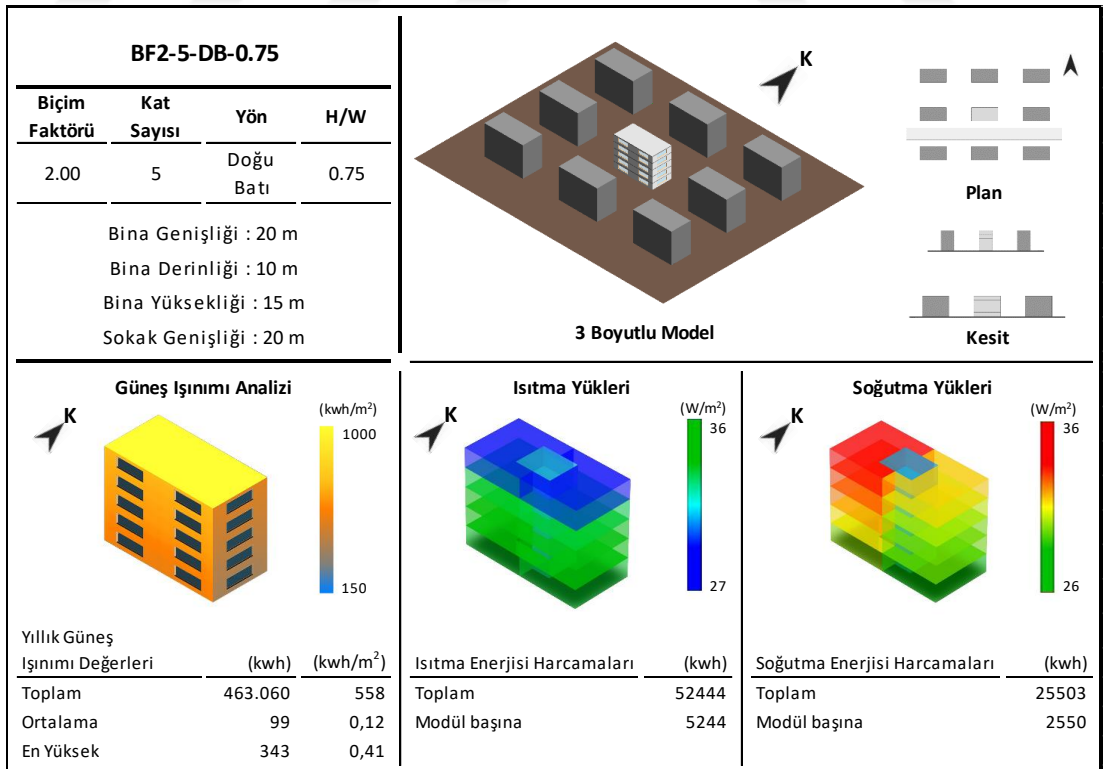
Çizelge A.33 : BF2-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



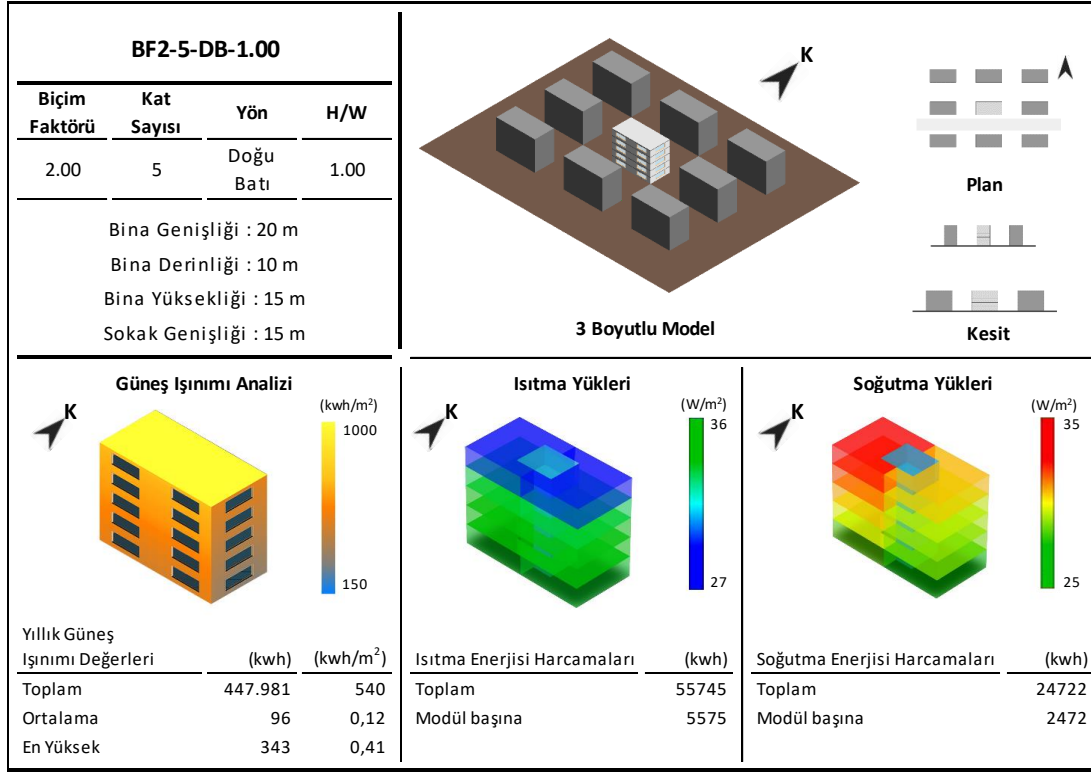
Çizelge A.34 : BF2-5-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



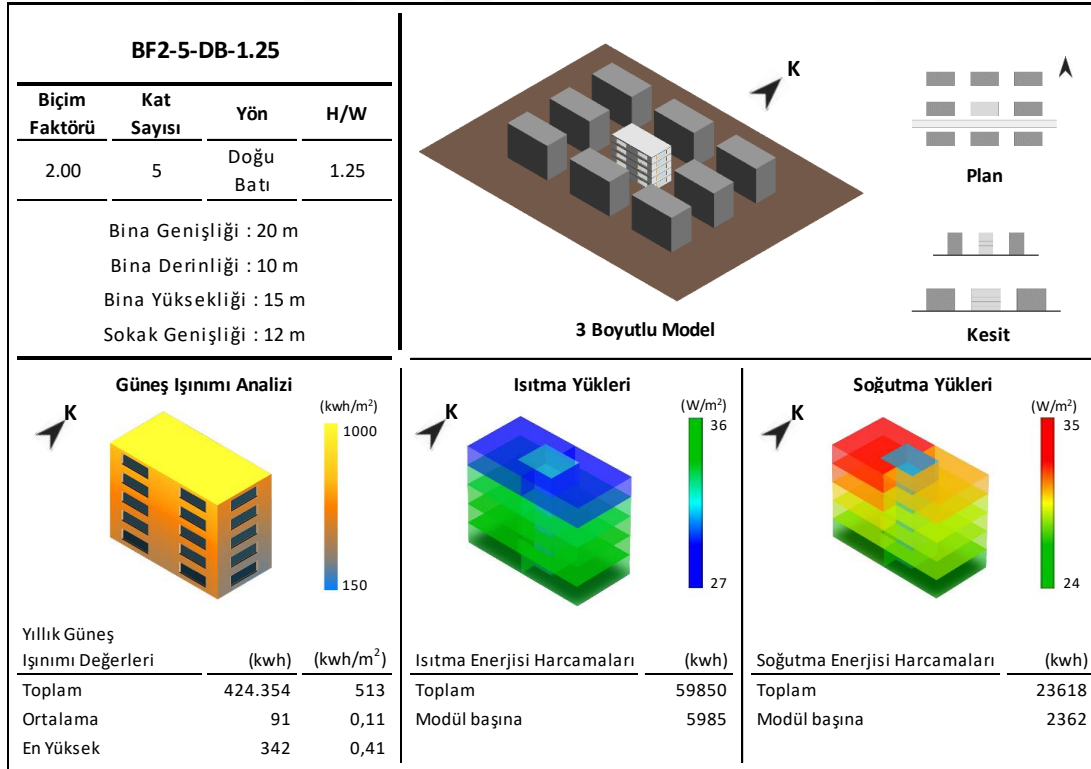
Çizelge A.35 : BF2-5-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



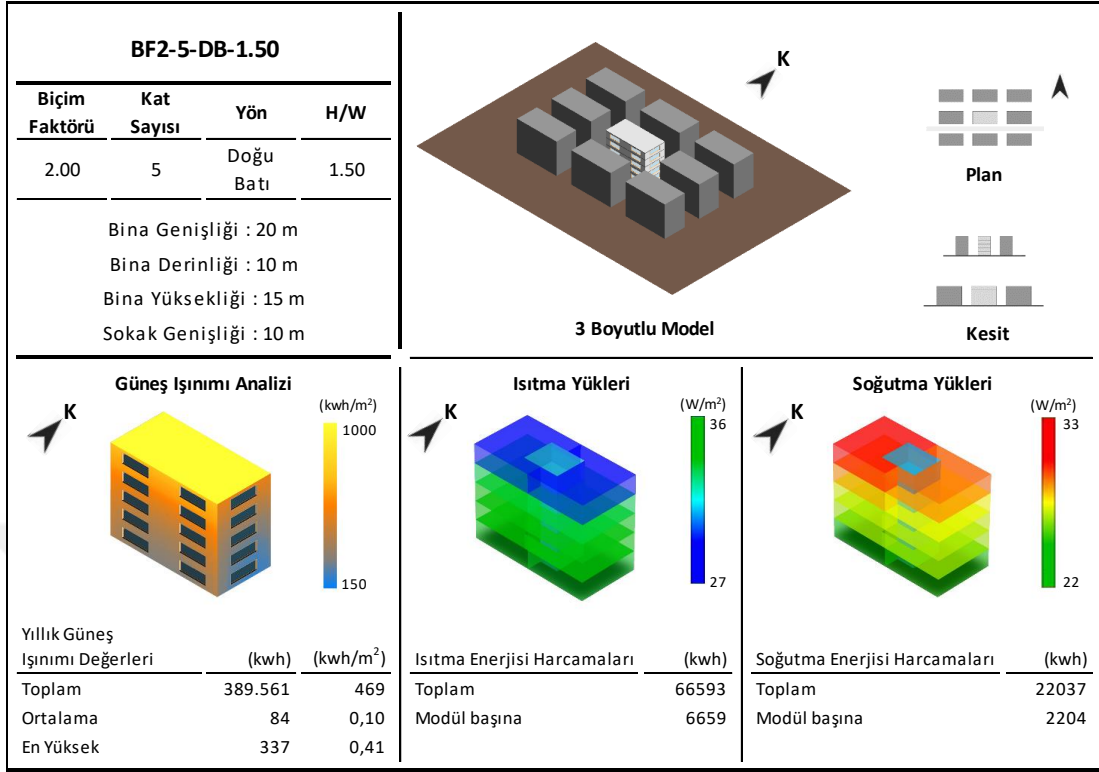
Çizelge A.36 : BF2-5-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



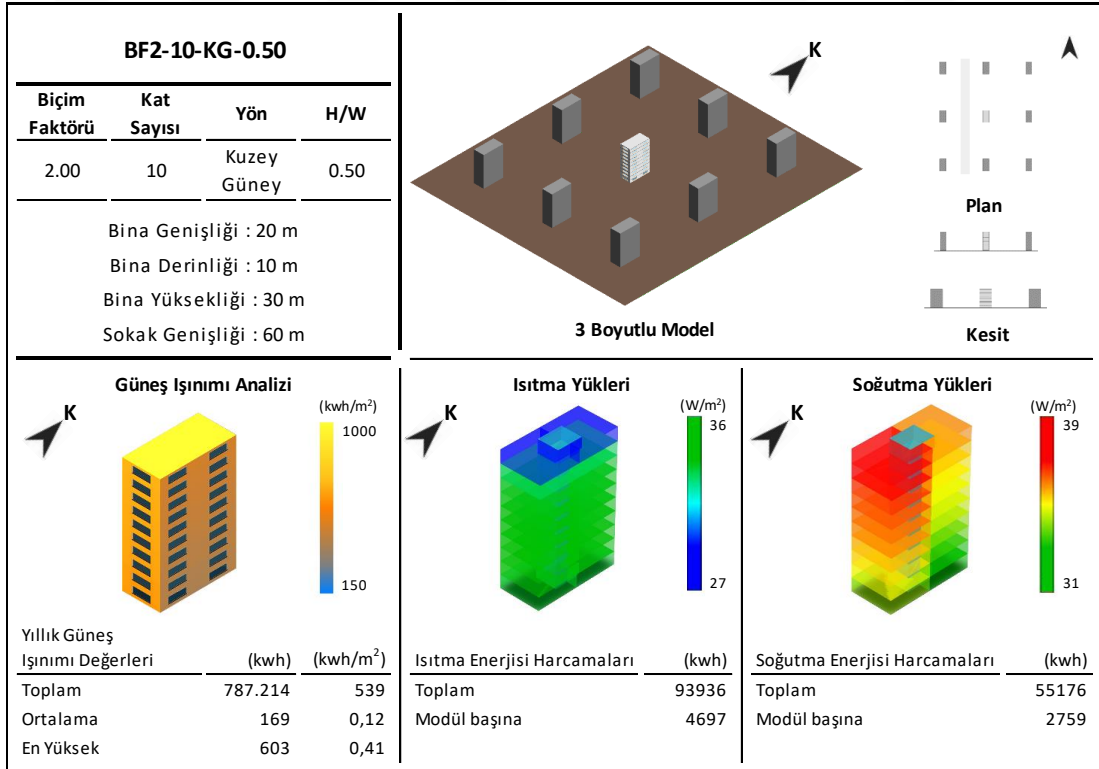
Çizelge A.37 : BF2-5-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



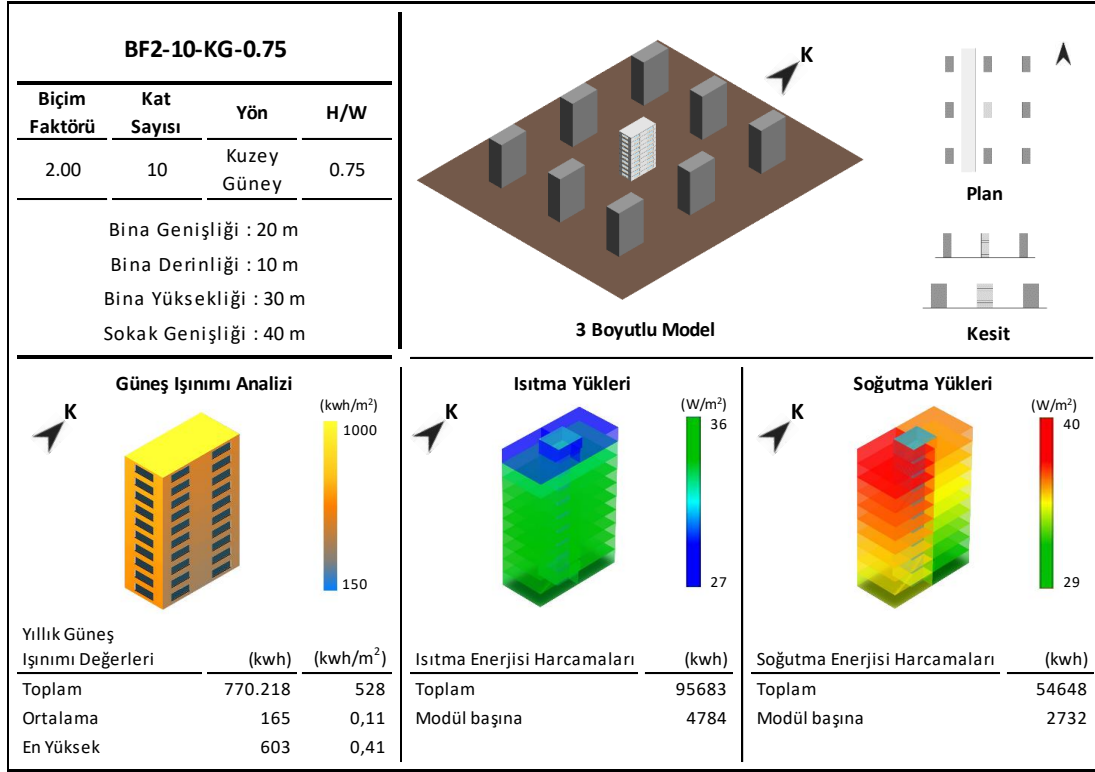
Çizelge A.38 : BF2-5-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



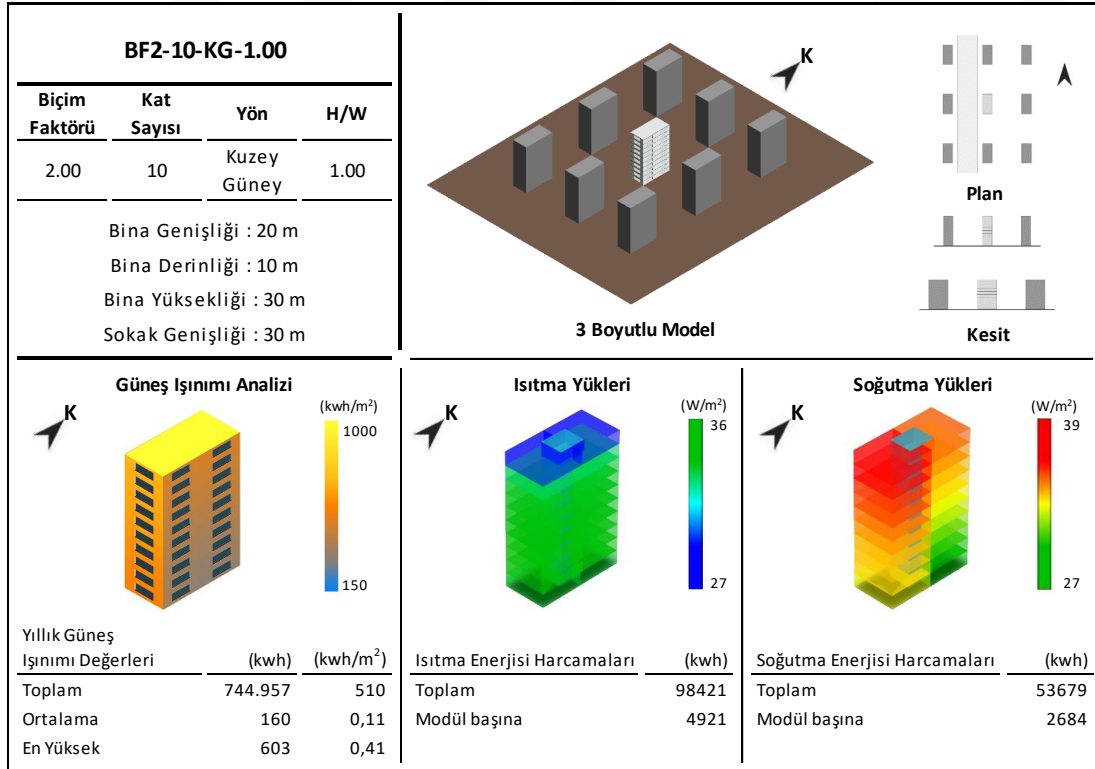
Çizelge A.39 : BF2-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



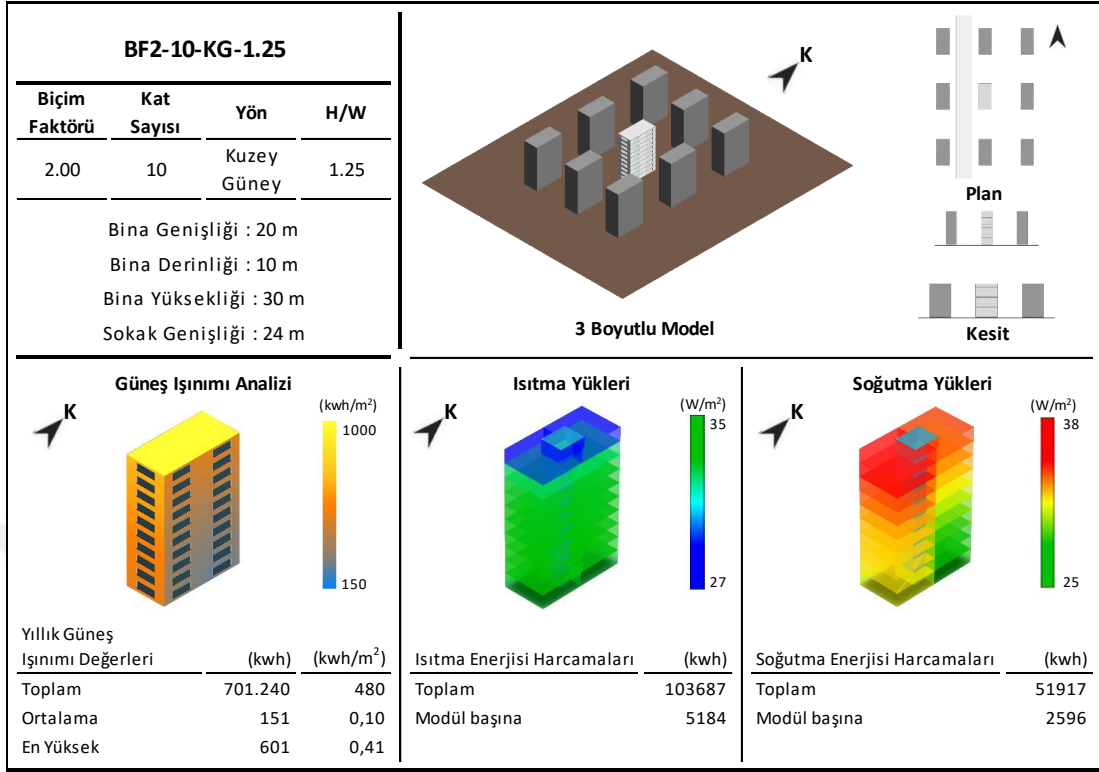
Çizelge A.40 : BF2-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



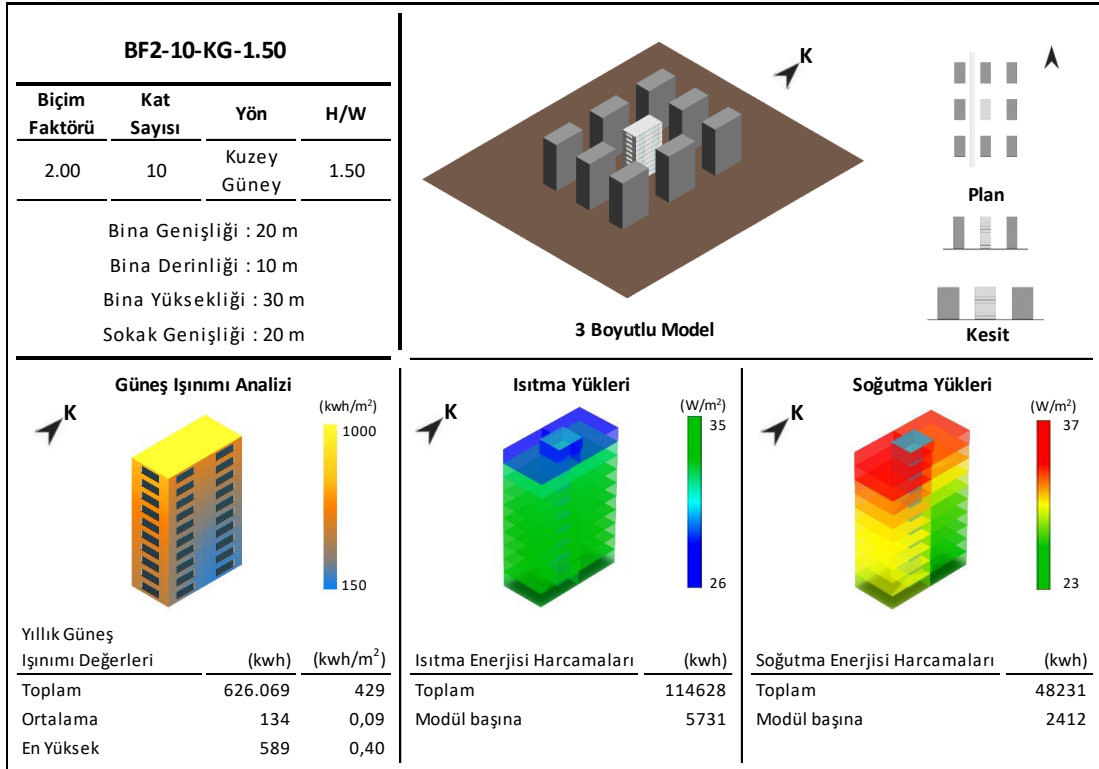
Çizelge A.41 : BF2-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



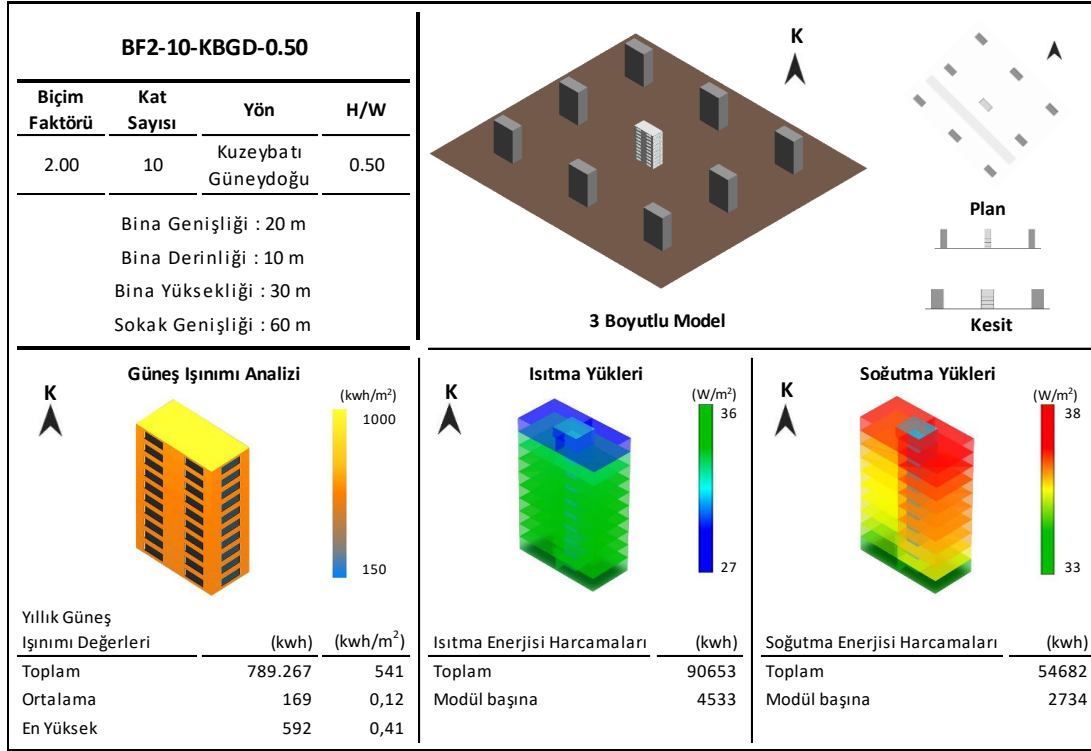
Çizelge A.42 : BF2-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



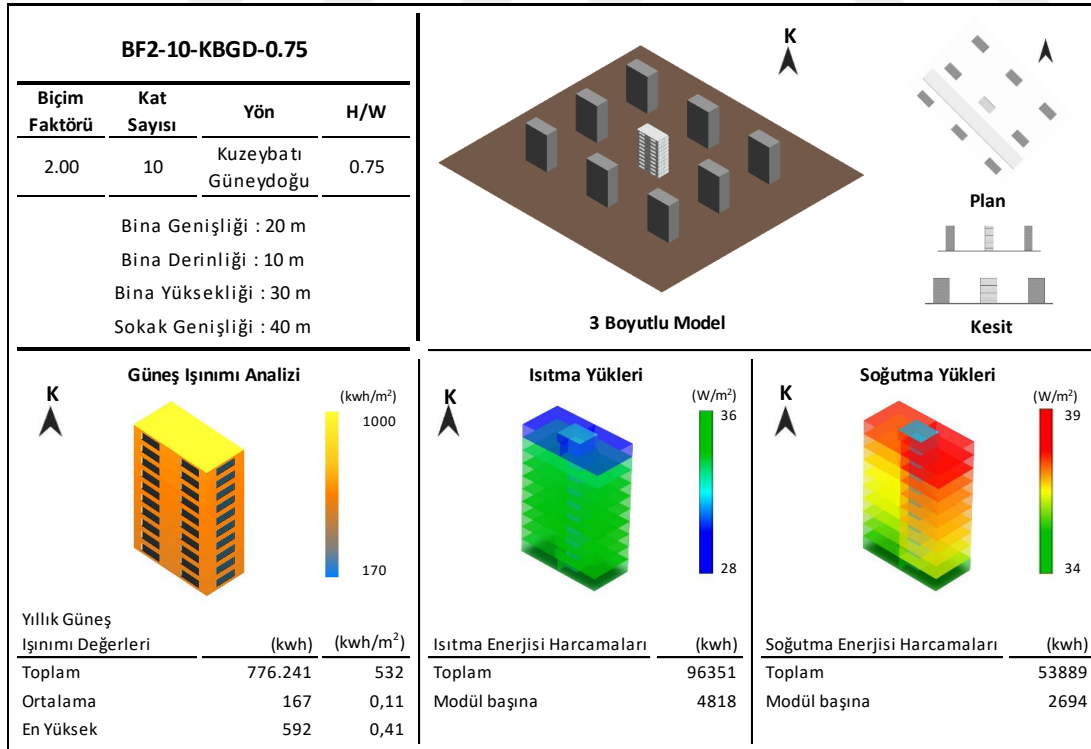
Çizelge A.43 : BF2-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



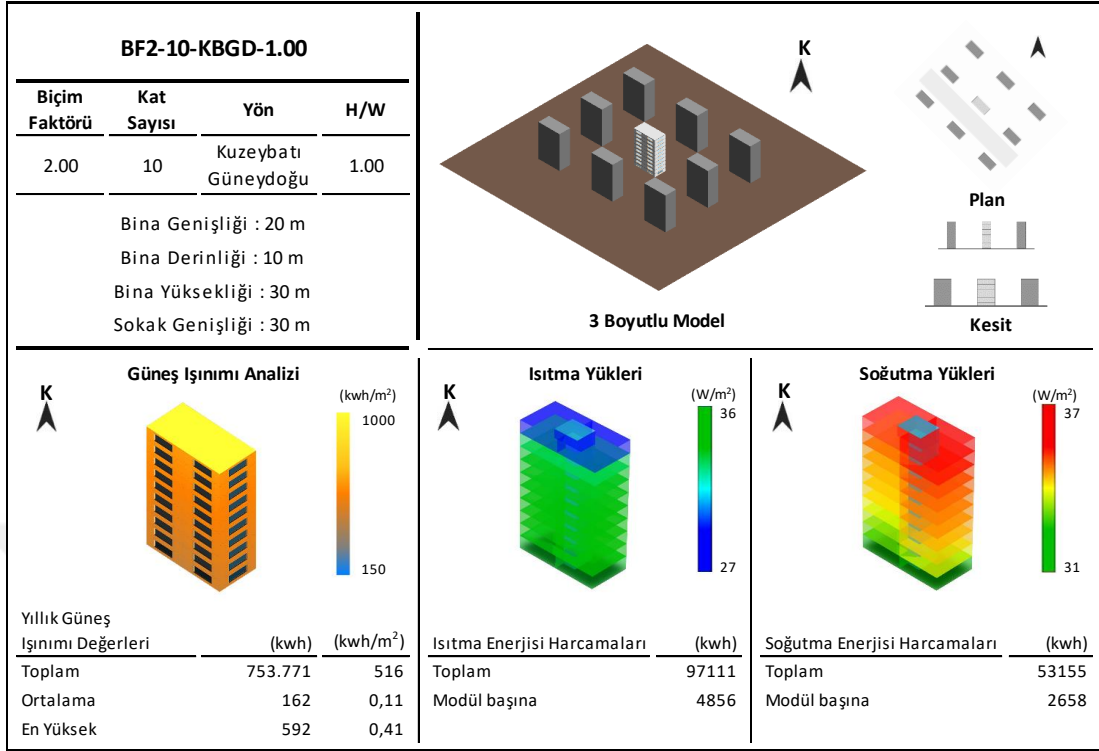
Çizelge A.44 : BF2-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınımı ve enerji analiz sonuçları.



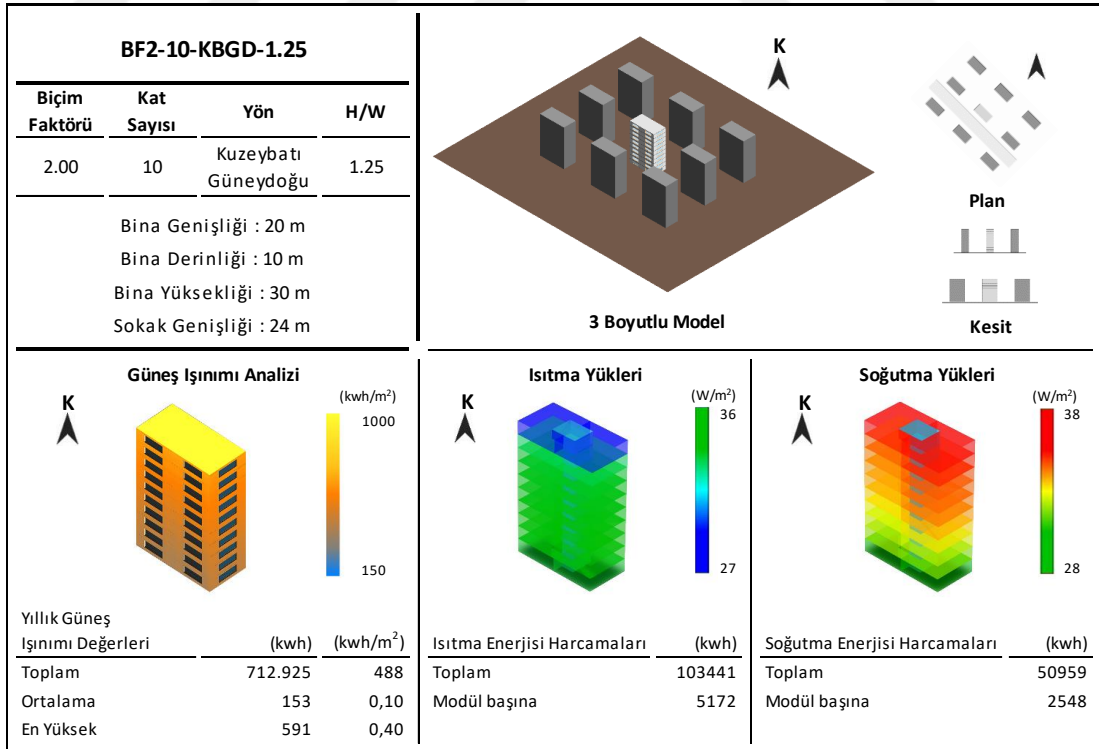
Çizelge A.45 : BF2-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınımı ve enerji analiz sonuçları.



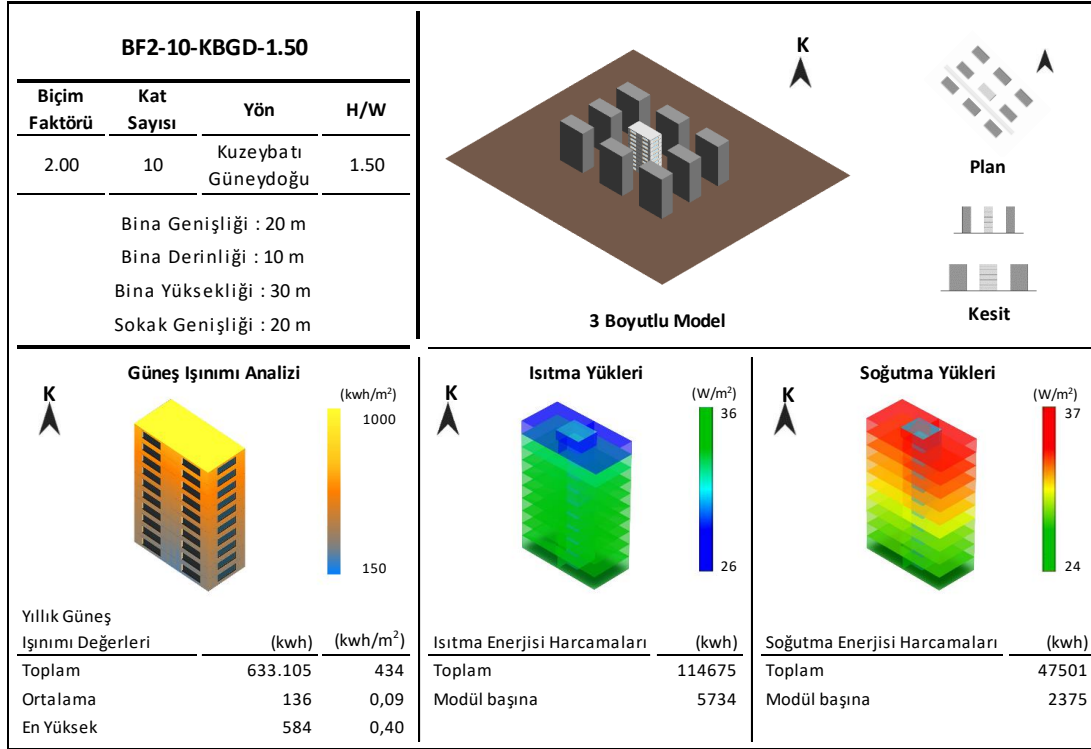
Çizelge A.46 : BF2-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifini için güneş ışınlamı ve enerji analiz sonuçları.



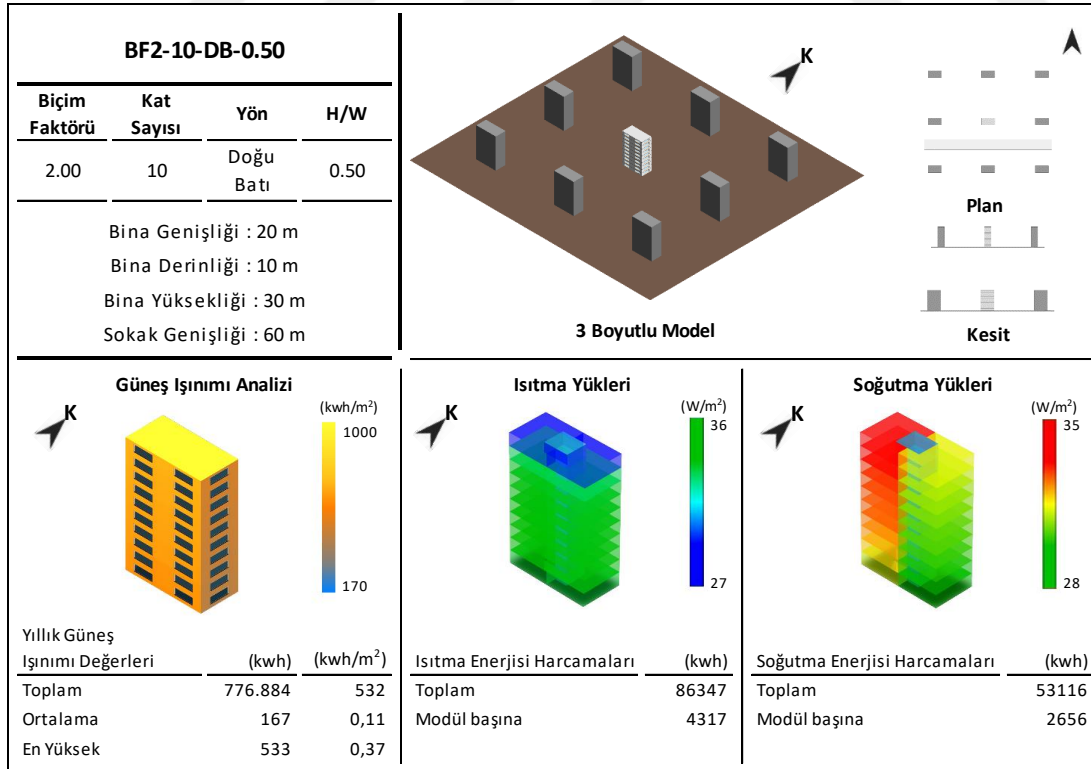
Çizelge A.47 : BF2-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifini için güneş ışınlamı ve enerji analiz sonuçları.



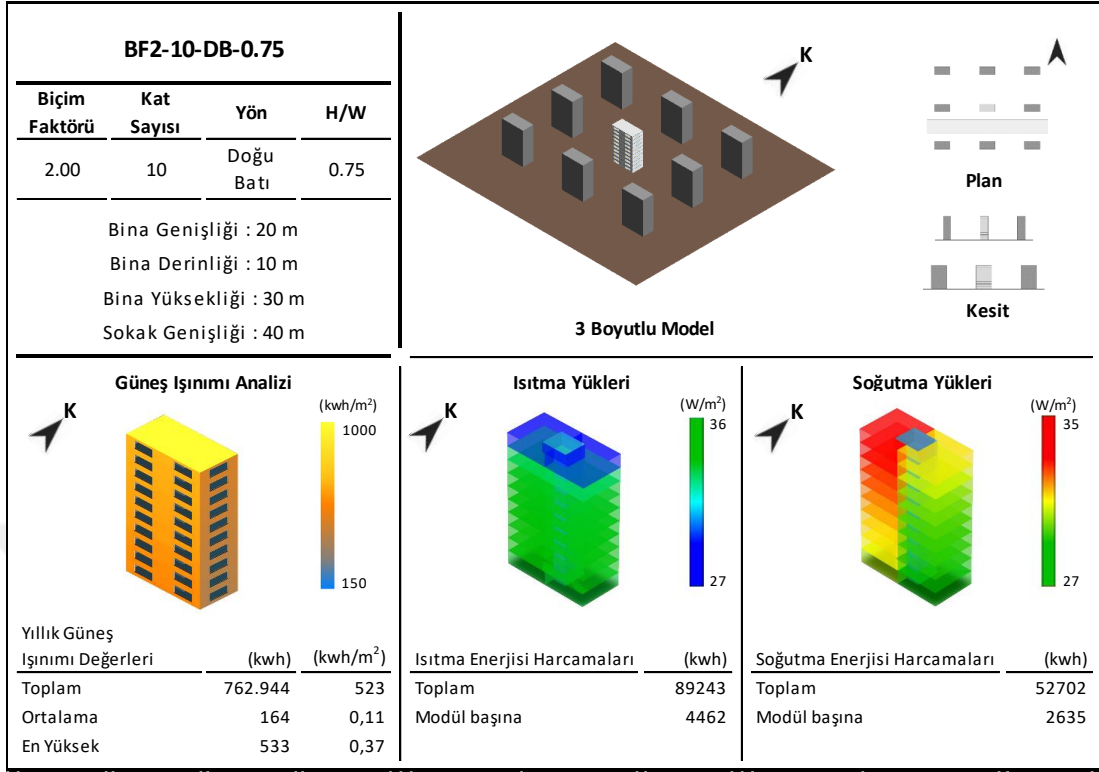
Çizelge A.48 : BF2-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



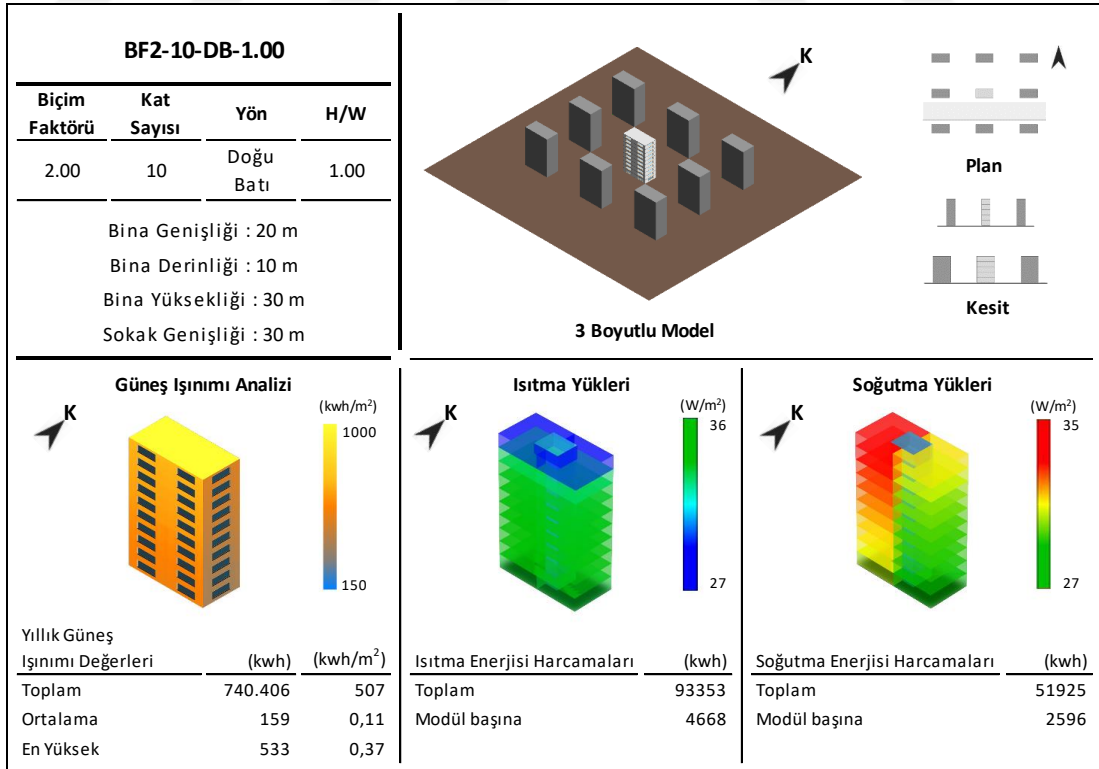
Çizelge A.49 : BF2-10-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



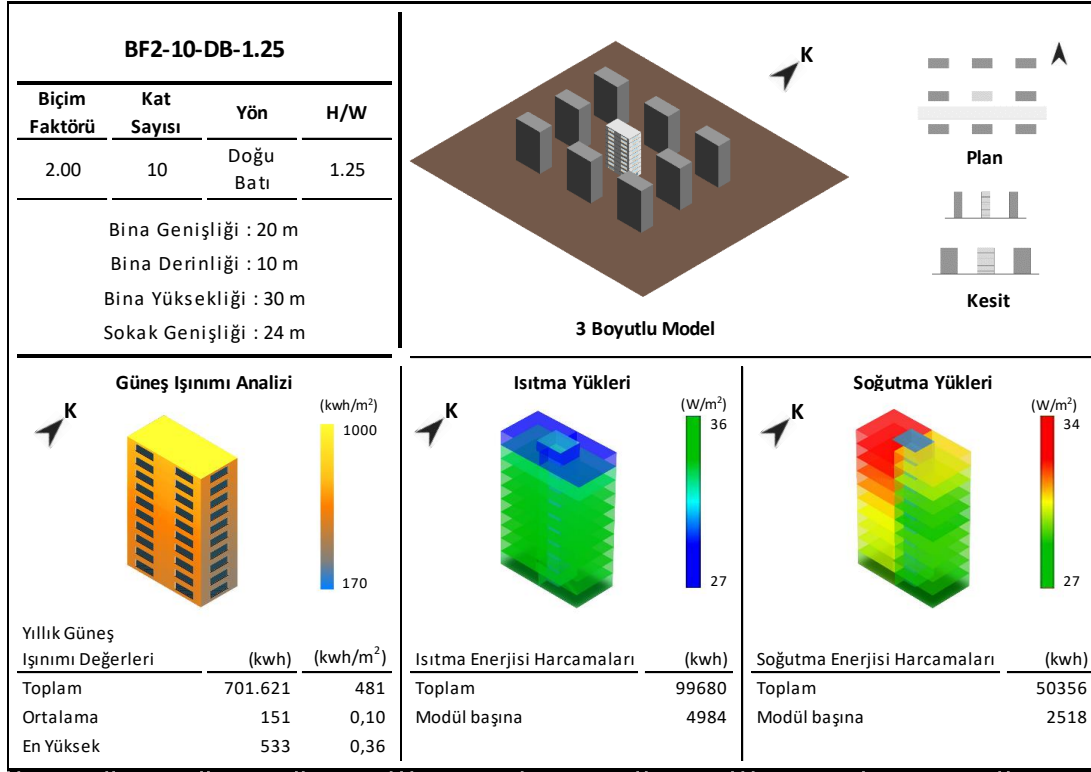
Çizelge A.50 : BF2-10-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



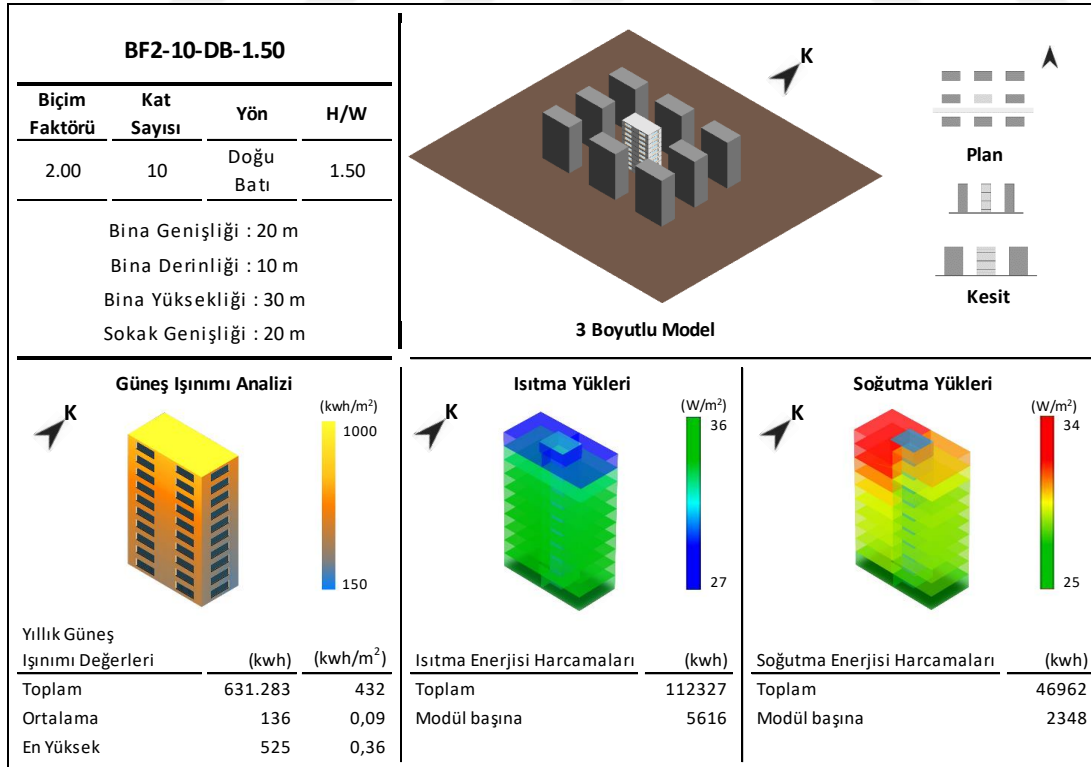
Çizelge A.51 : BF2-10-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



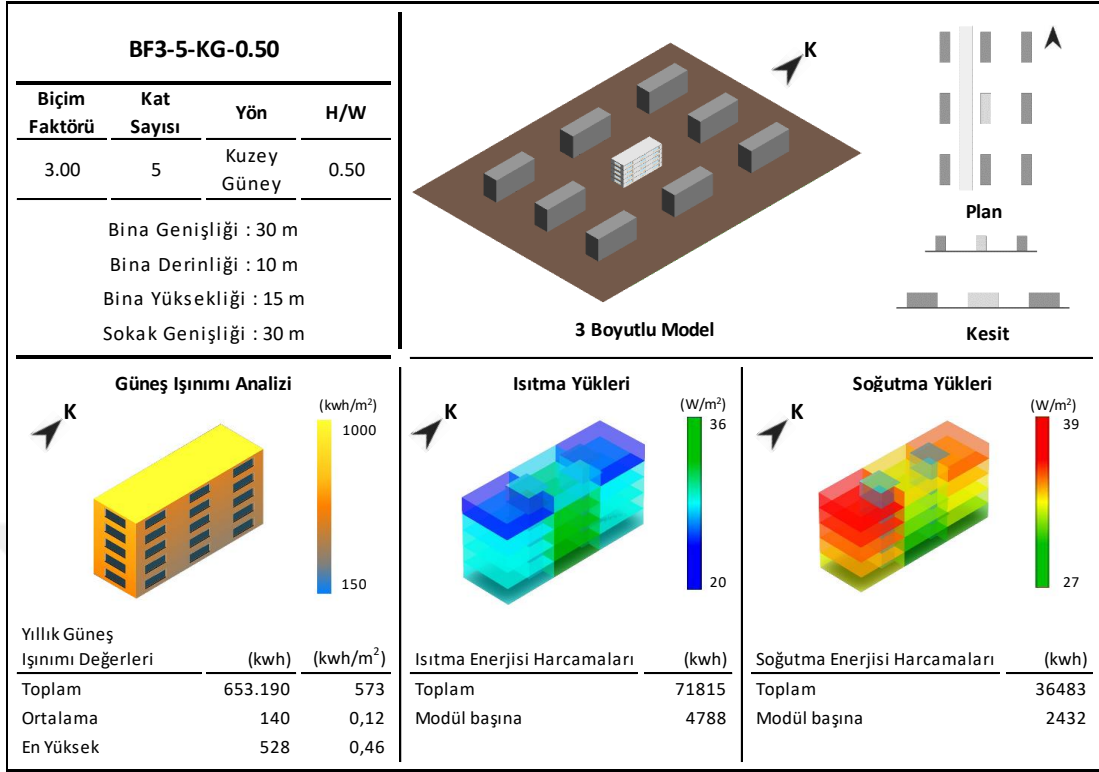
Çizelge A.52 : BF2-10-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



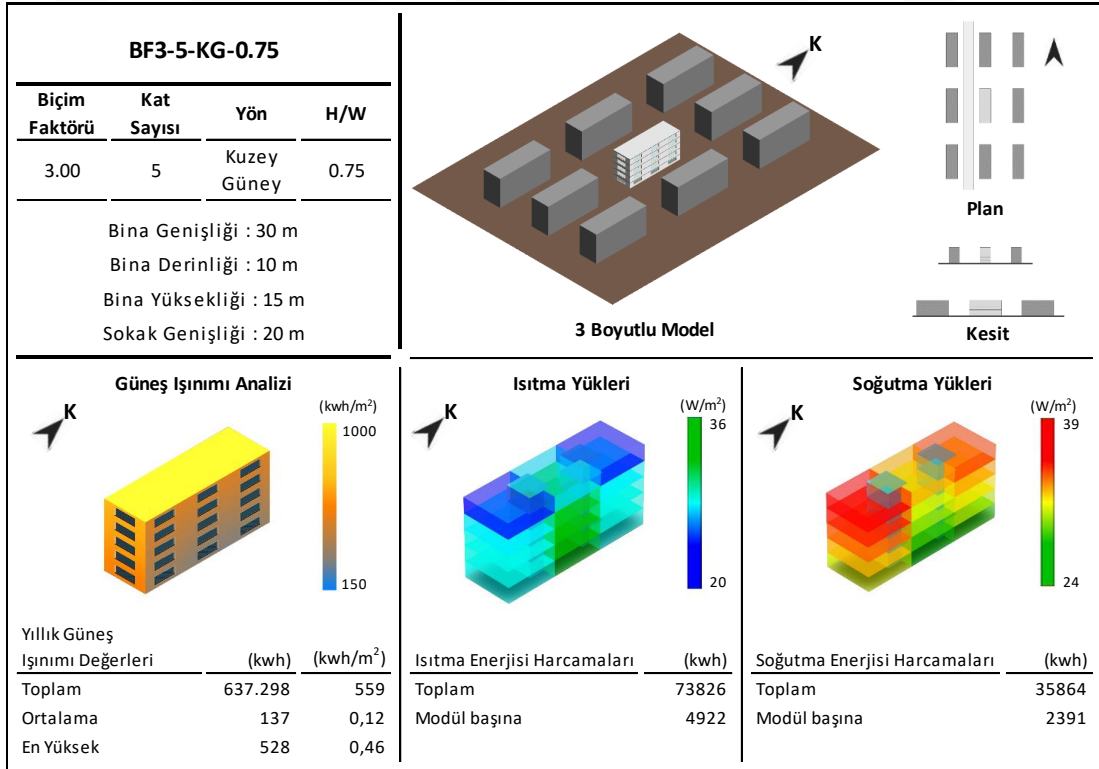
Çizelge A.53 : BF2-10-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



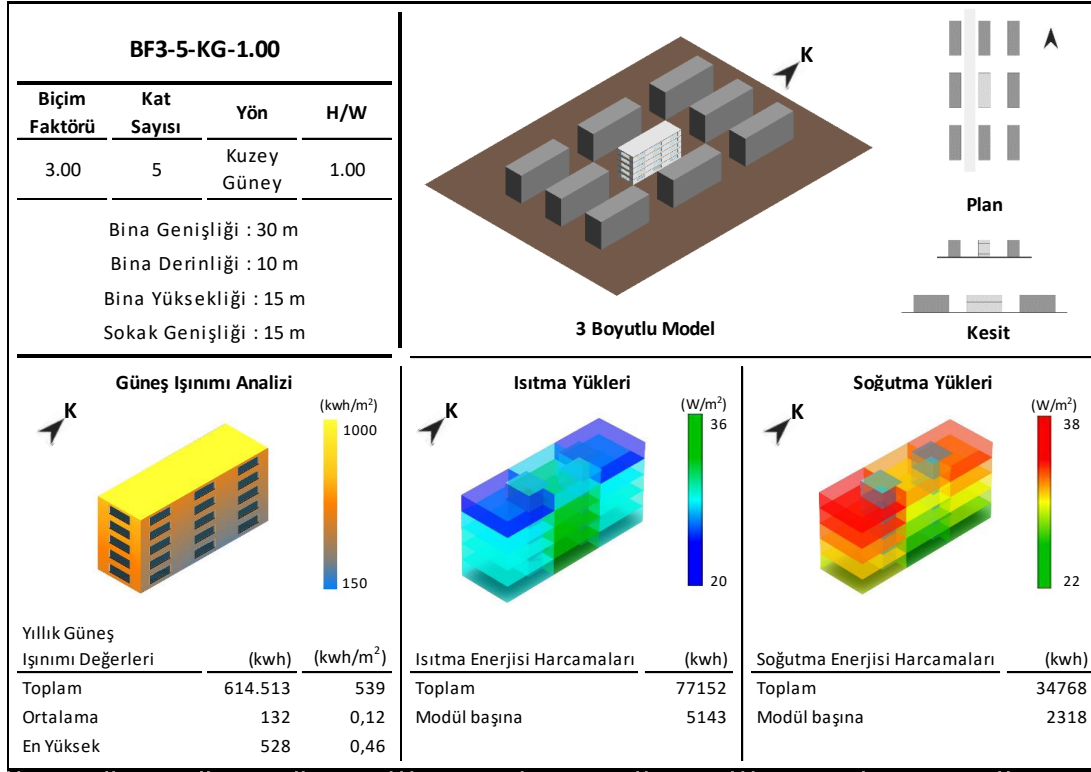
Çizelge A.54 : BF3-5-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



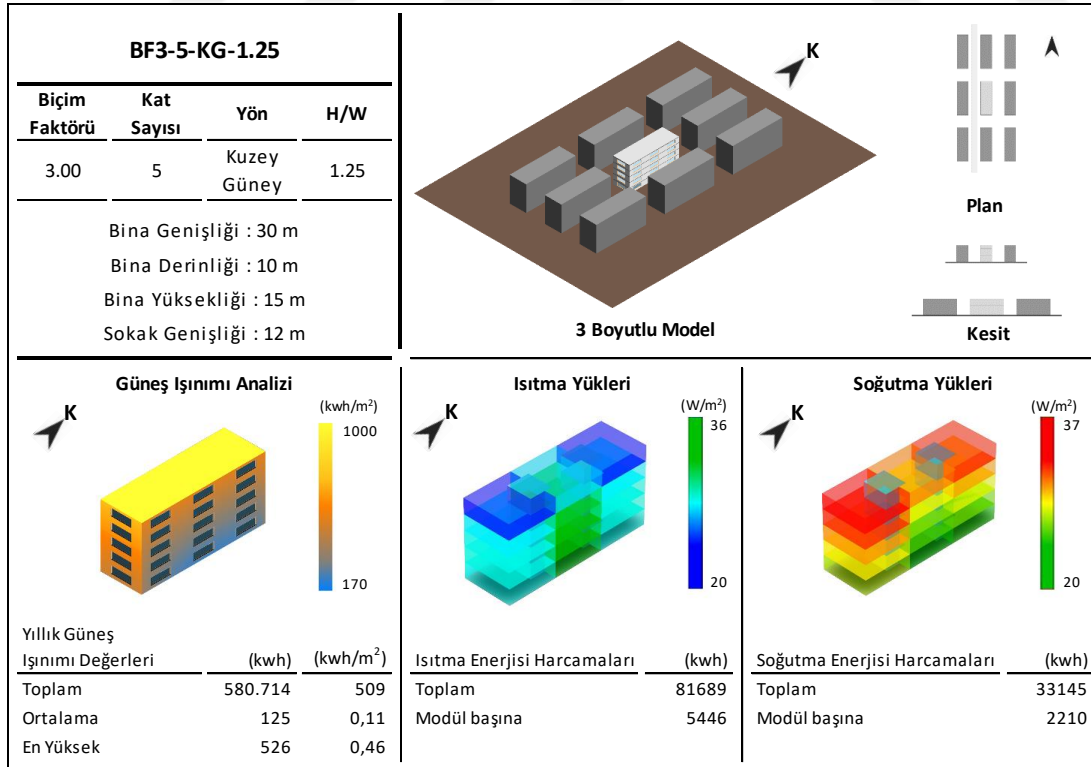
Çizelge A.55 : BF3-5-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



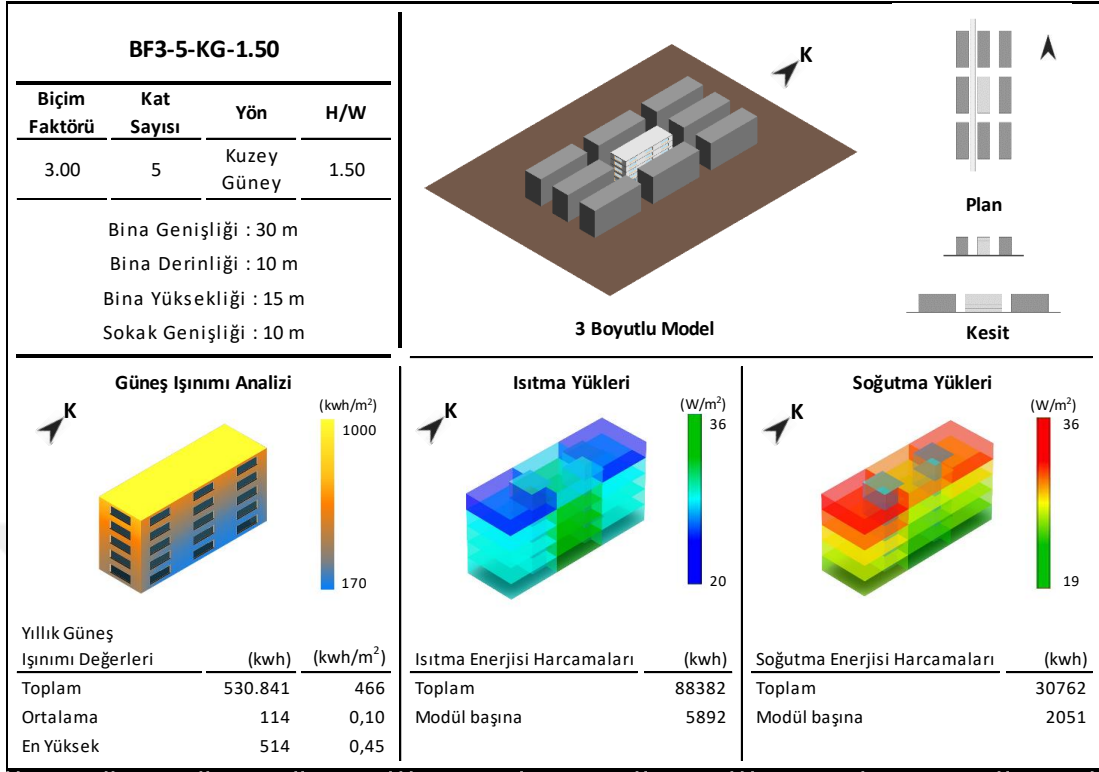
Çizelge A.56 : BF3-5-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



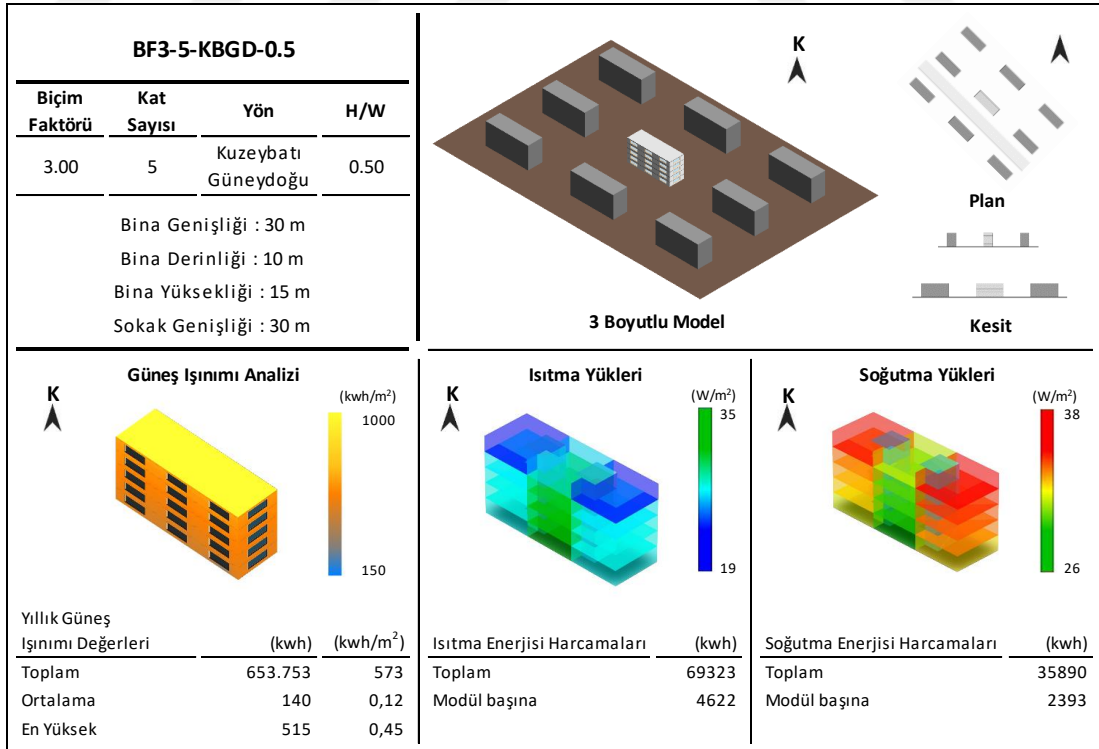
Çizelge A.57 : BF3-5-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



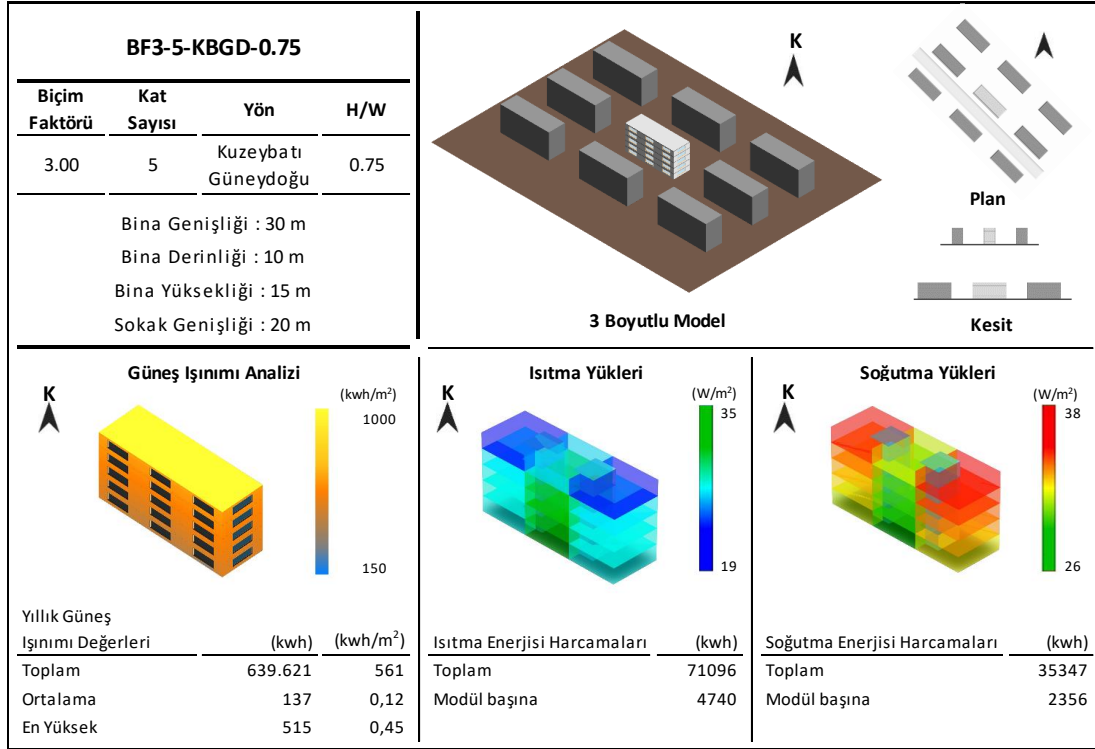
Çizelge A.58 : BF3-5-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



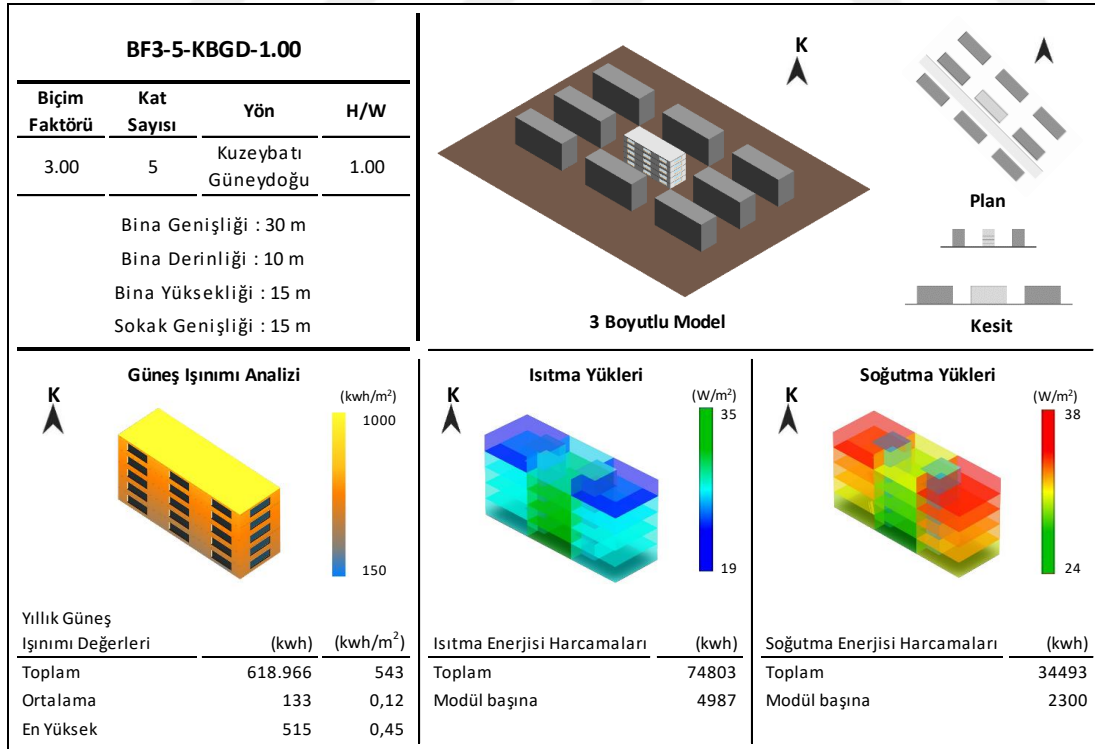
Çizelge A.59 : BF3-5-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıınımı ve enerji analiz sonuçları.



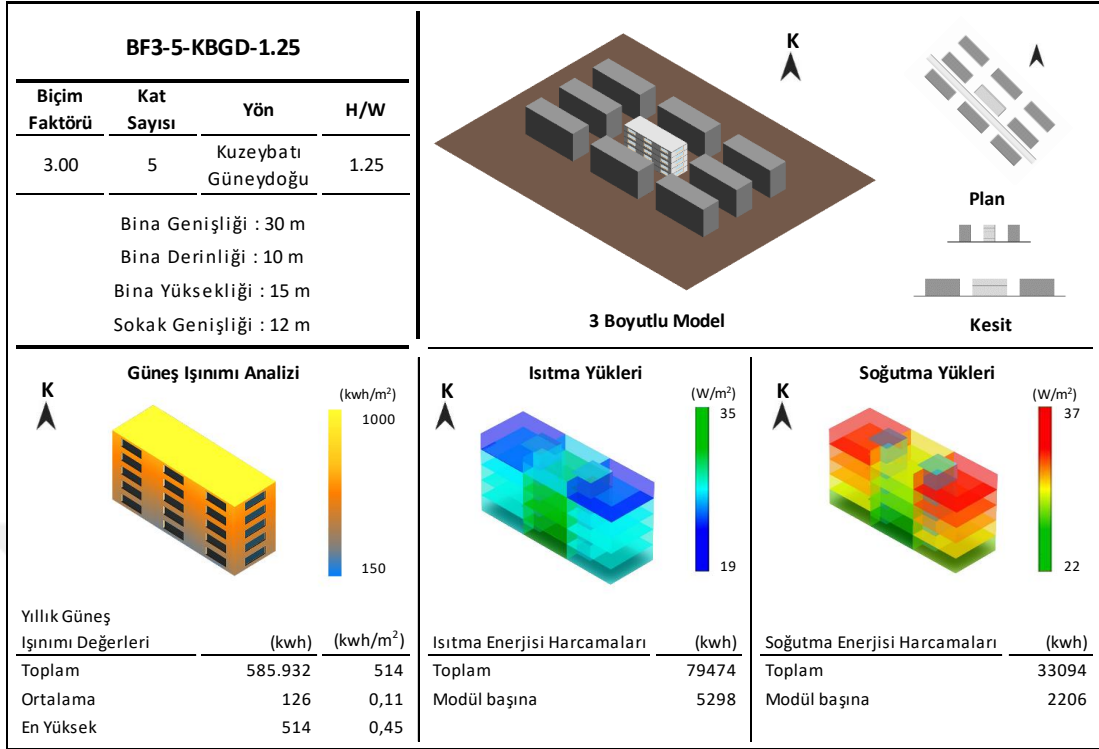
Çizelge A.60 : BF3-5-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



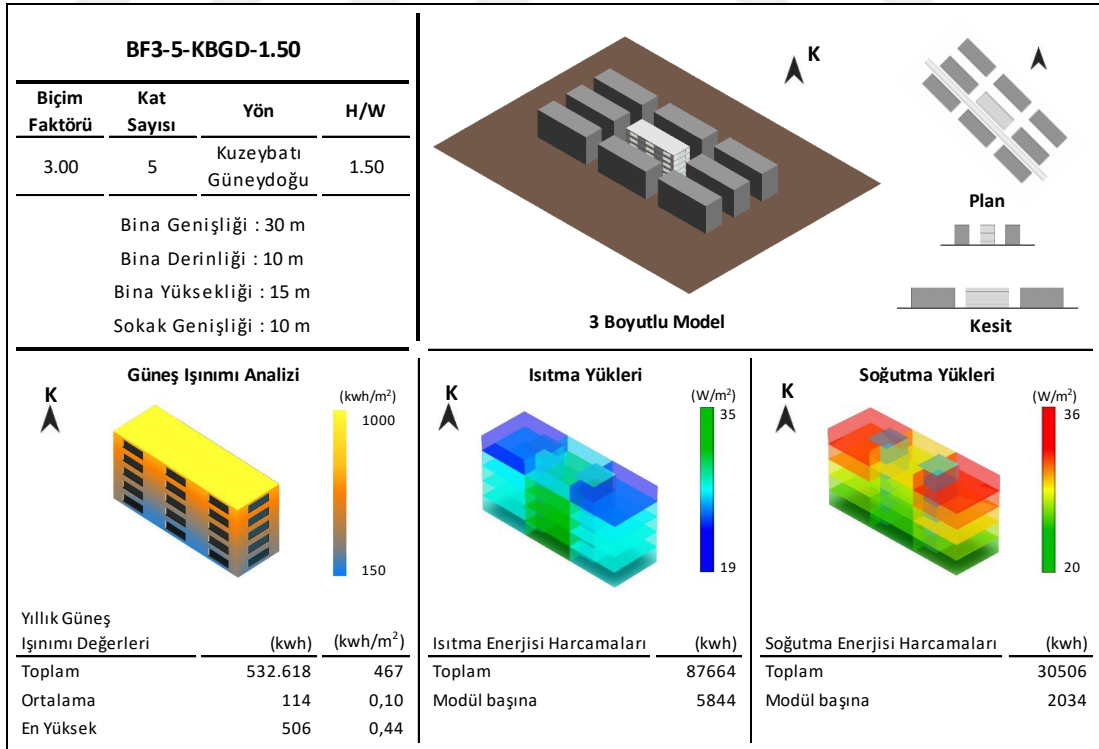
Çizelge A.61 : BF3-5-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



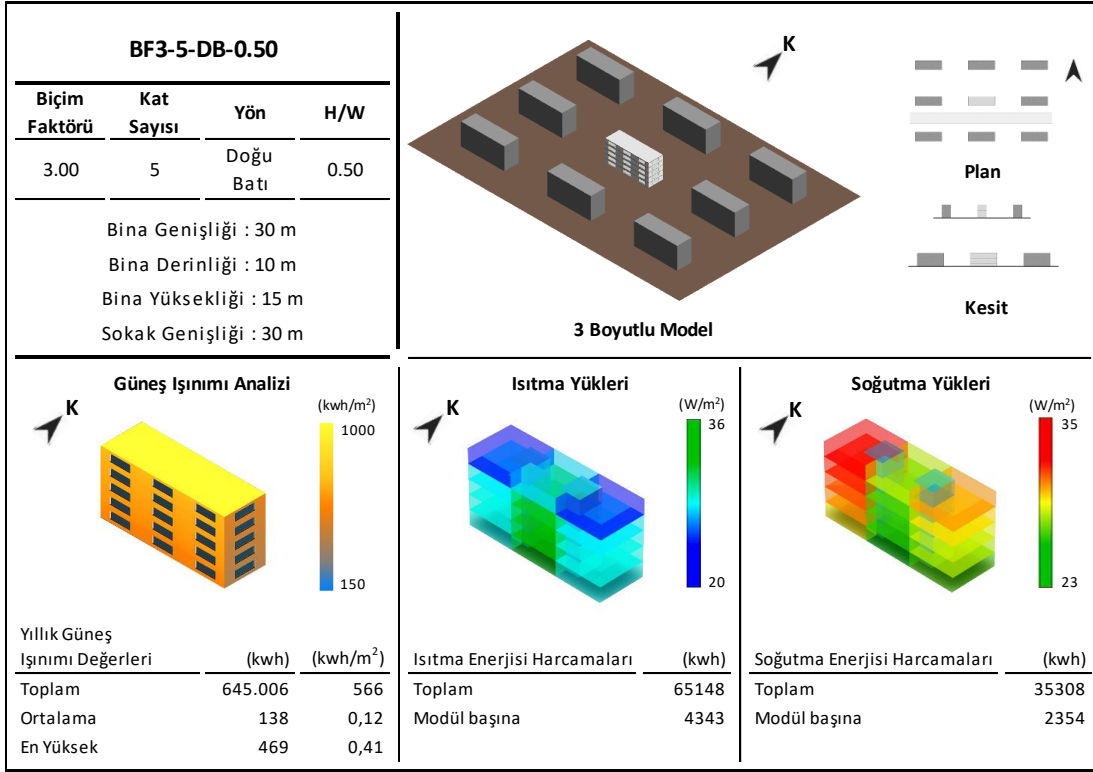
Çizelge A.62 : BF3-5-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



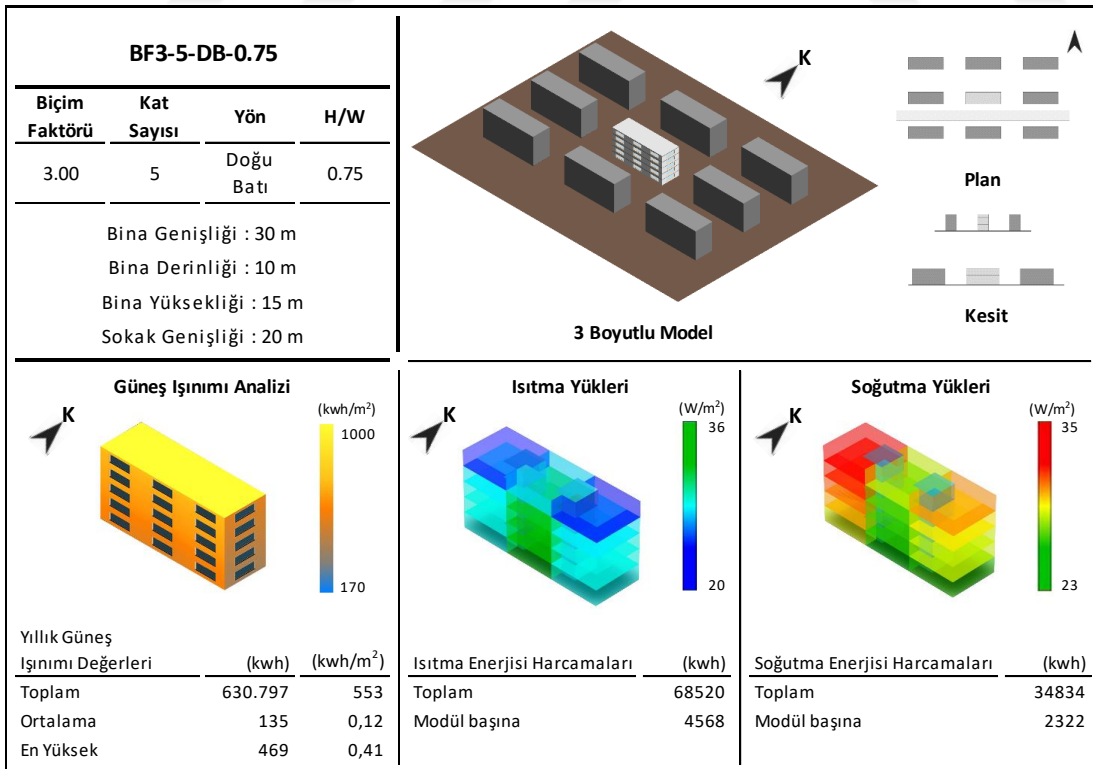
Çizelge A.63 : BF3-5-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



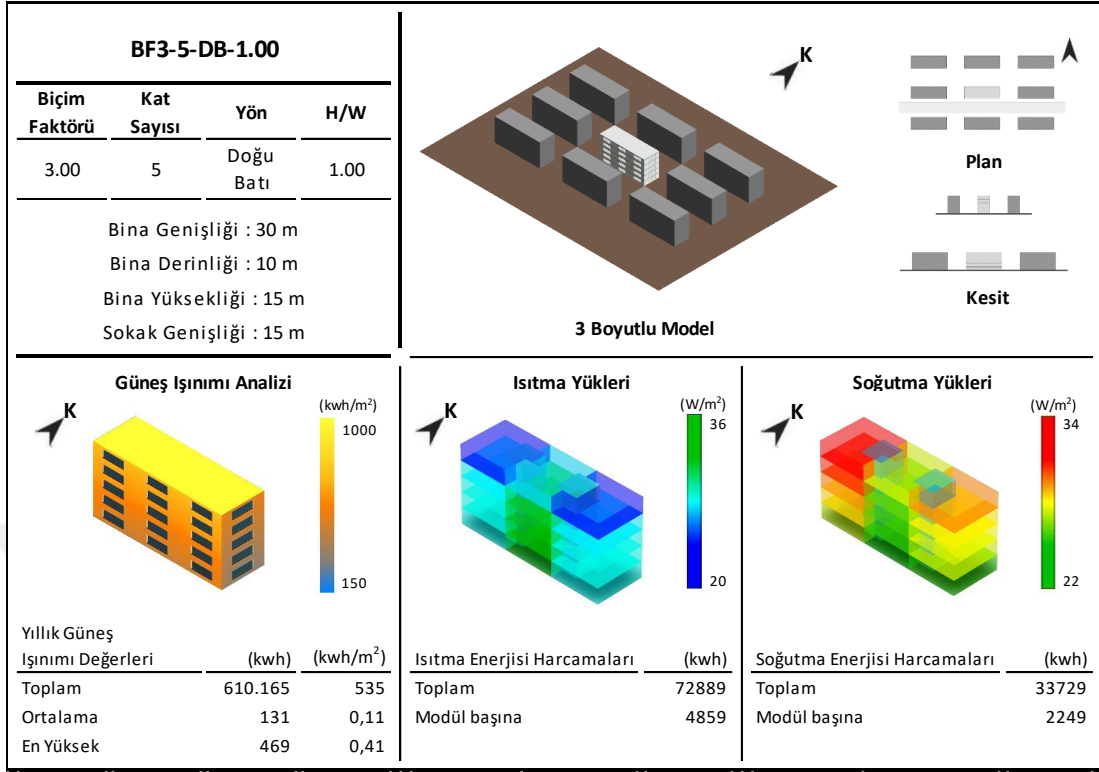
Çizelge A.64 : BF3-5-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



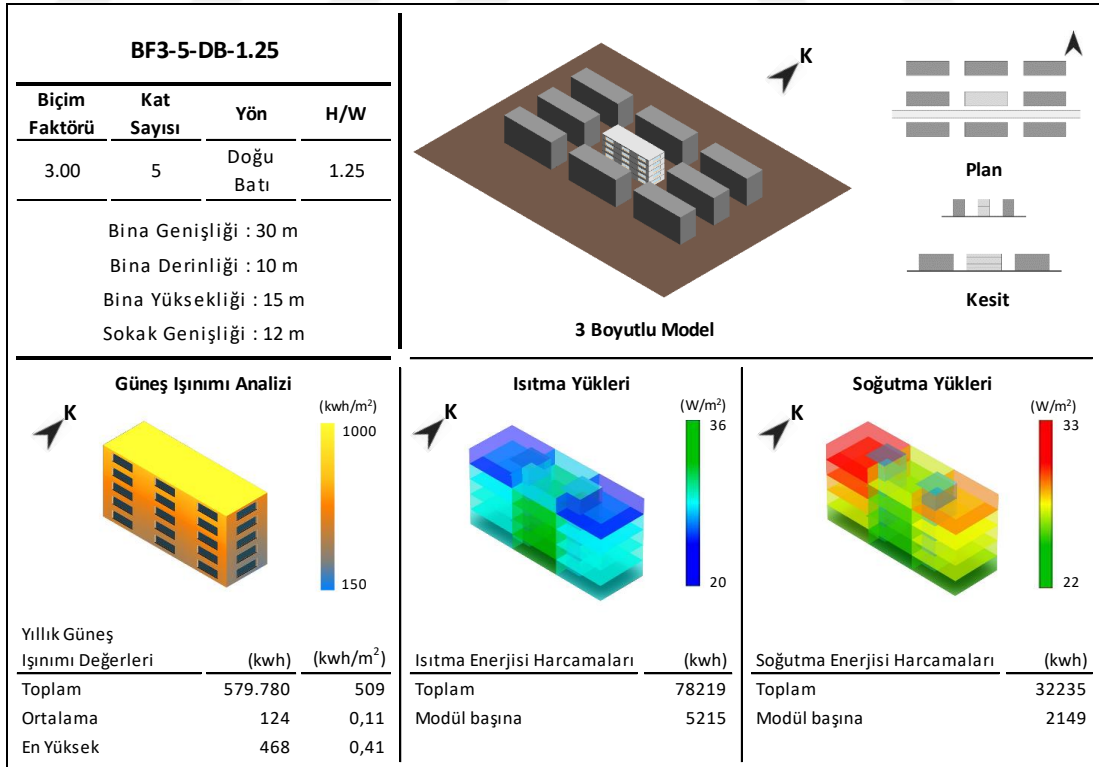
Çizelge A.65 : BF3-5-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



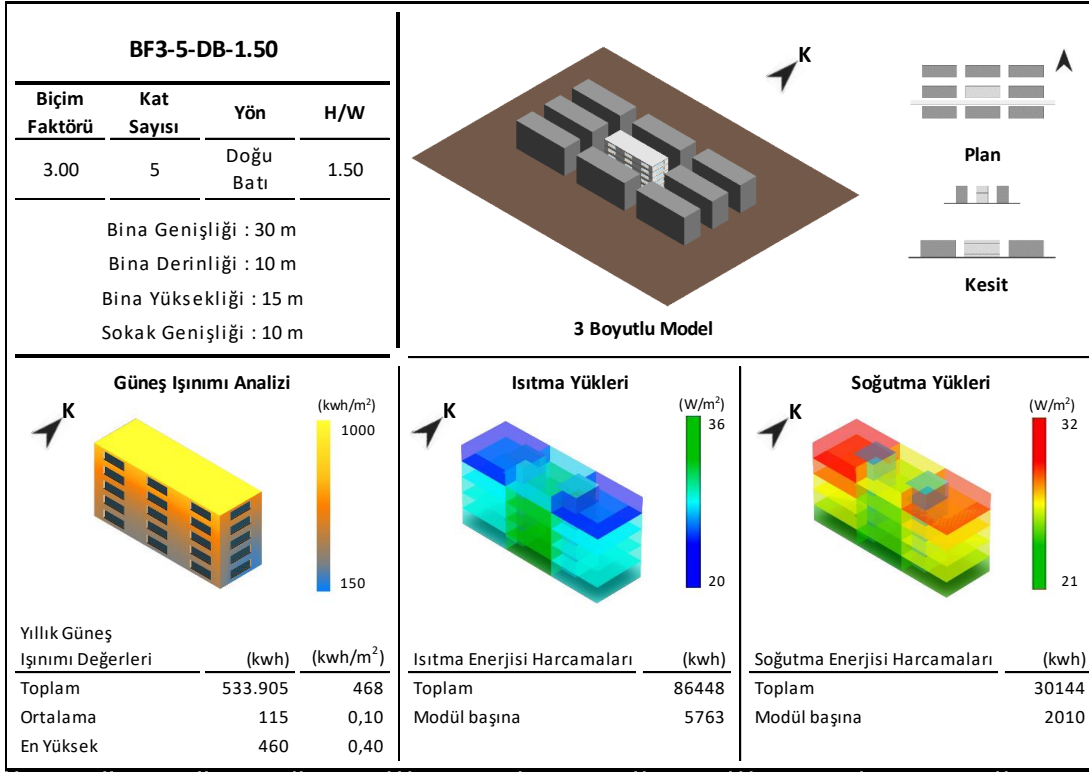
Çizelge A.66 : BF3-5-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



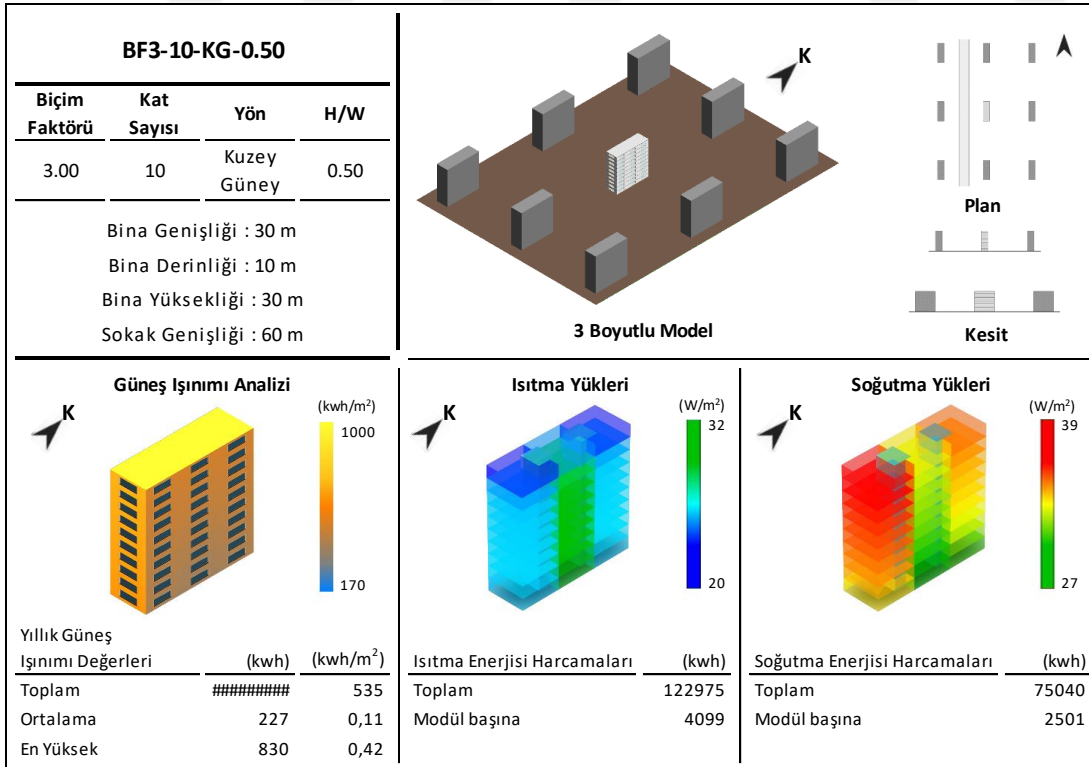
Çizelge A.67 : BF3-5-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışıını ve enerji analiz sonuçları.



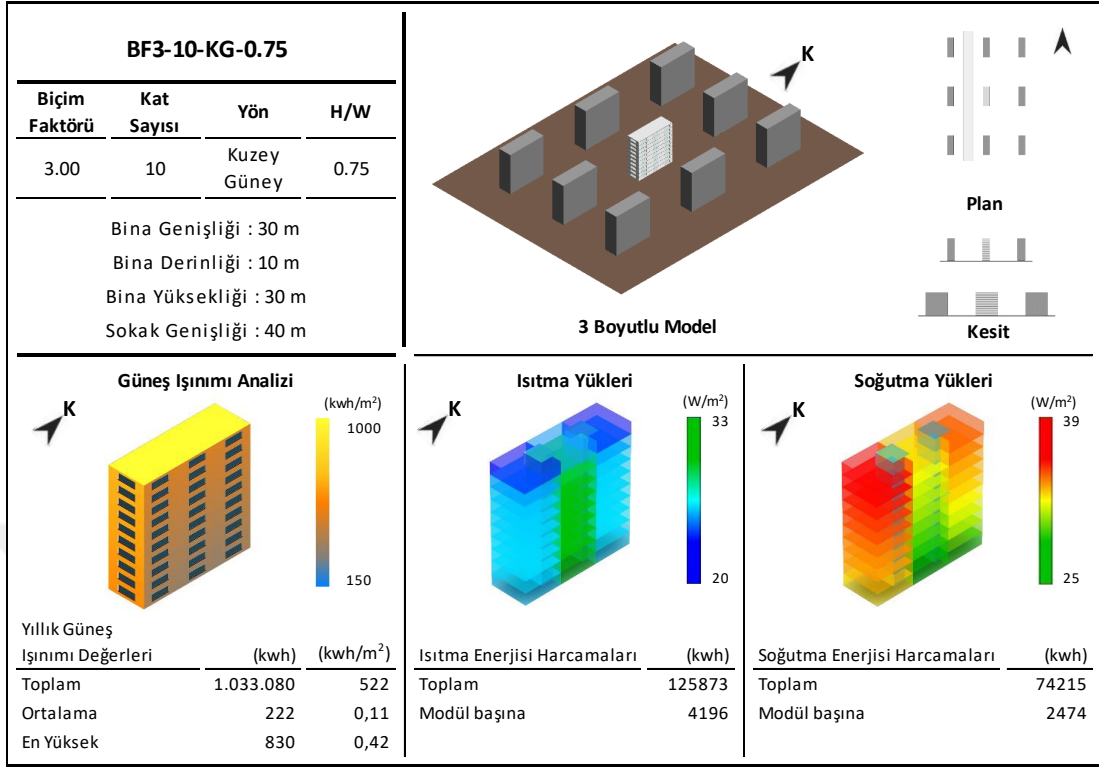
Çizelge A.68 : BF3-5-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



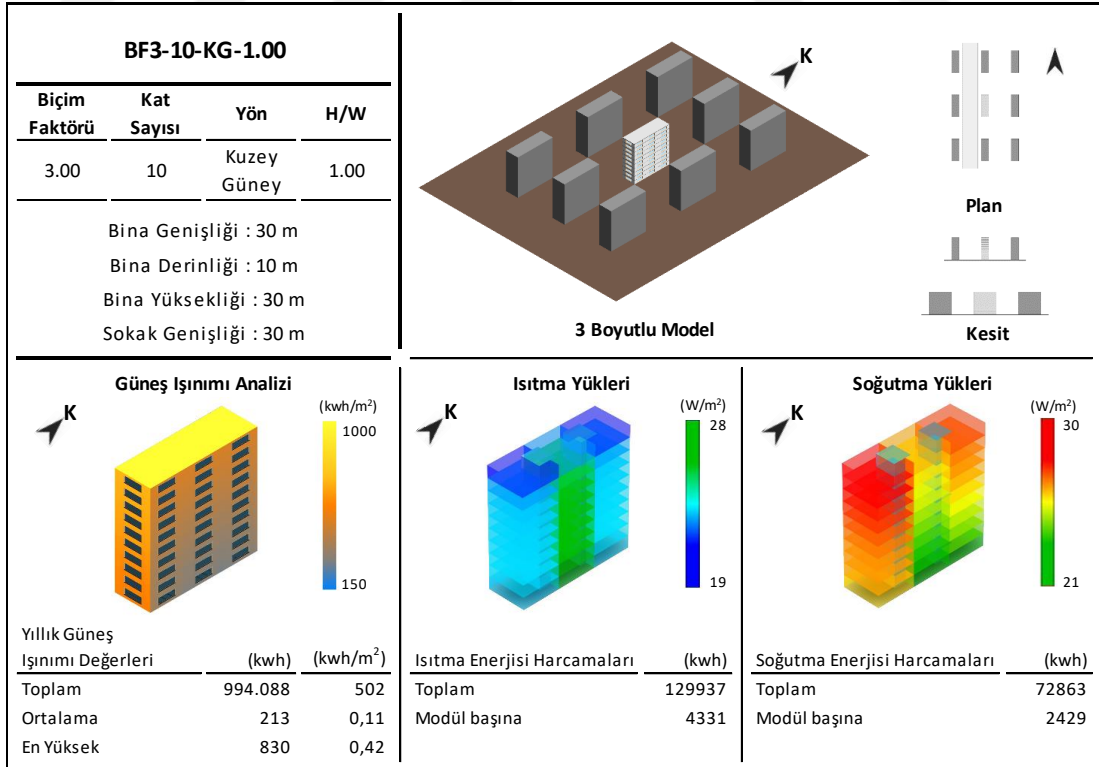
Çizelge A.69 : BF3-10-KG-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



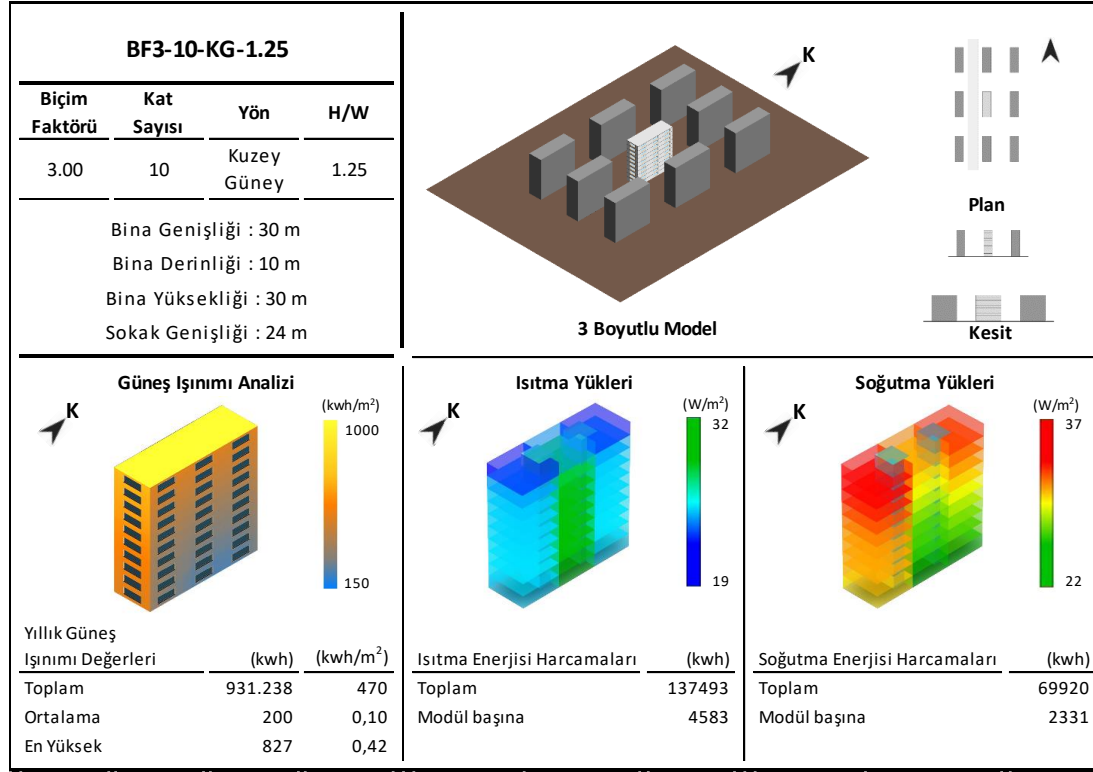
Çizelge A.70 : BF3-10-KG-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



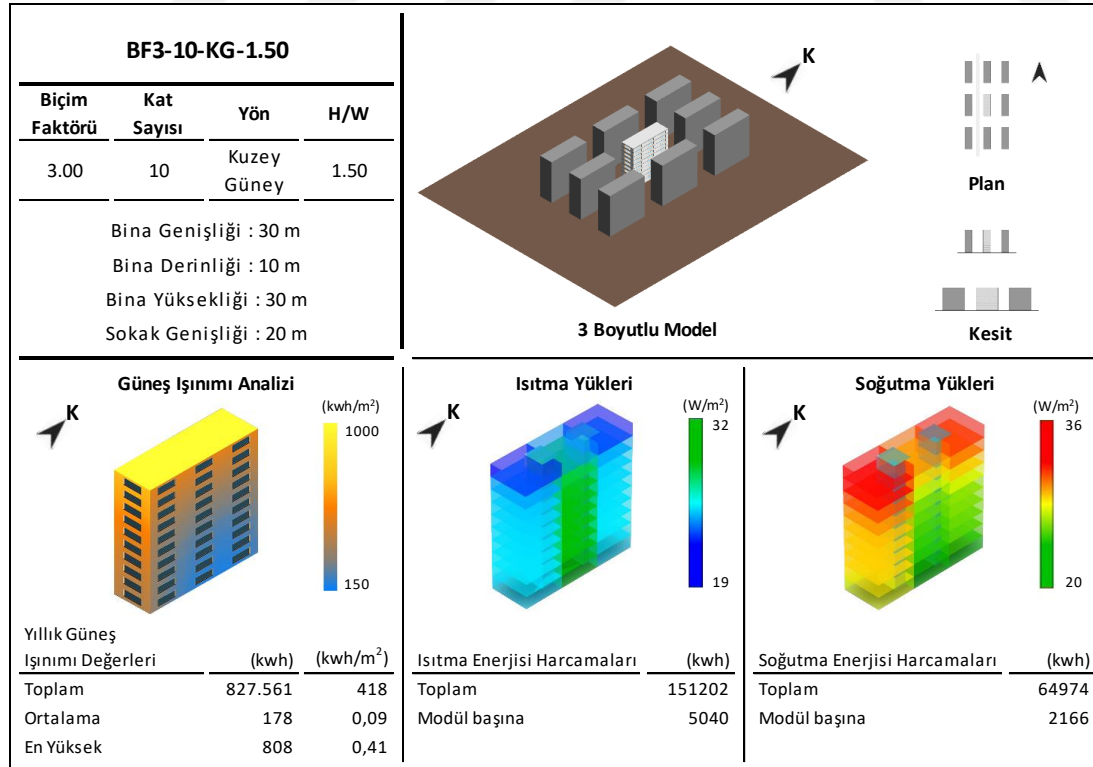
Çizelge A.71 : BF3-10-KG-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



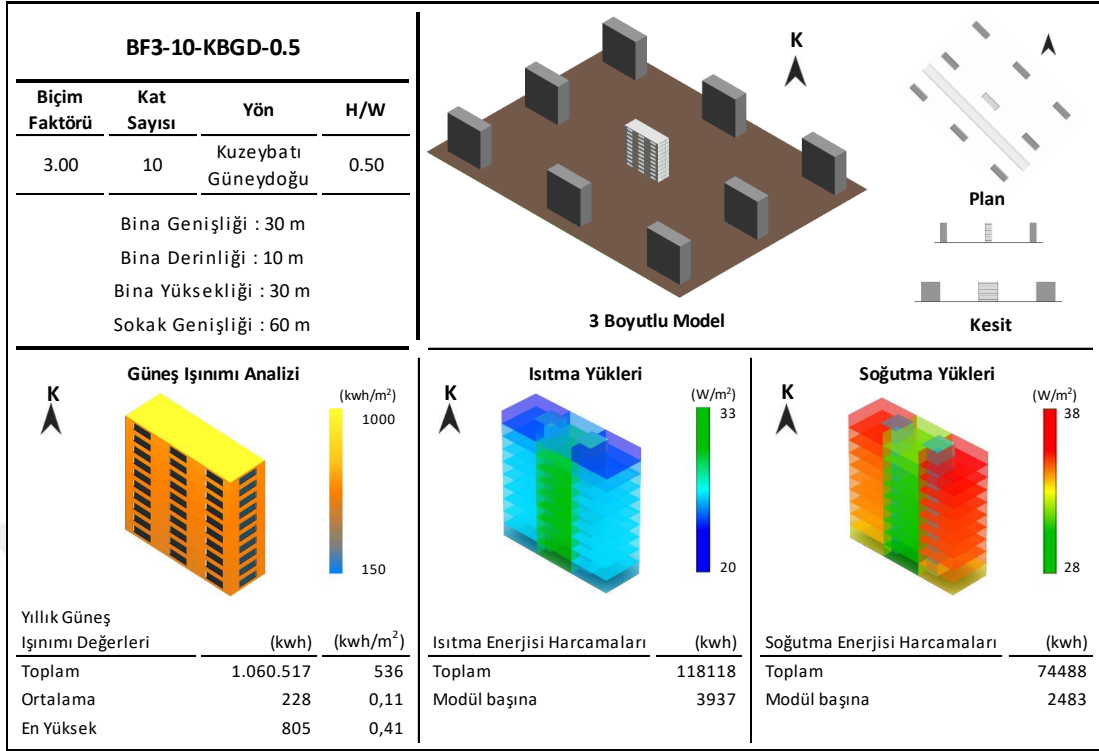
Çizelge A.72 : BF3-10-KG-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



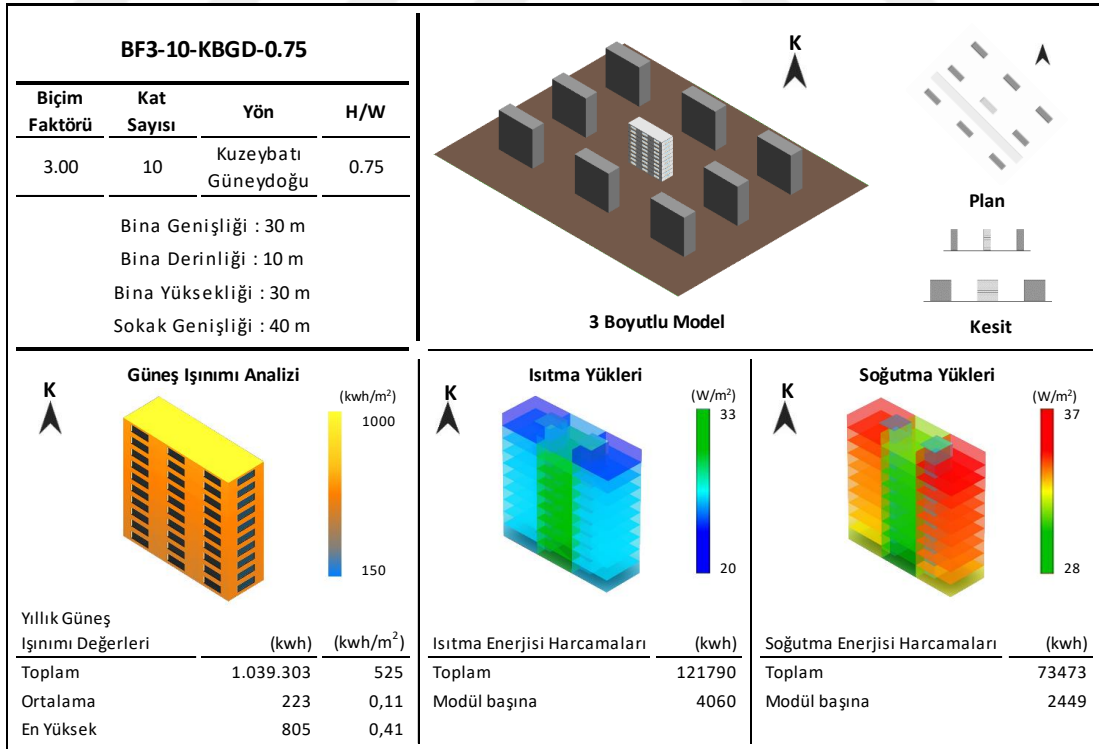
Çizelge A.73 : BF3-10-KG-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



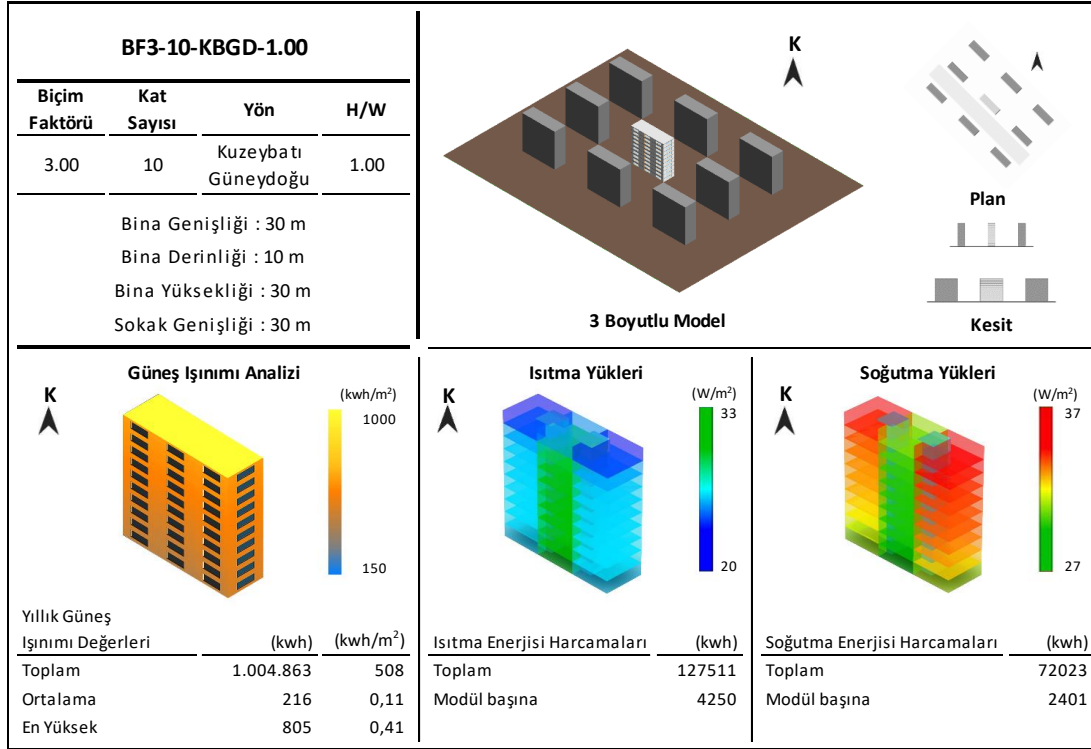
Çizelge A.74 : BF3-10-KBGD-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



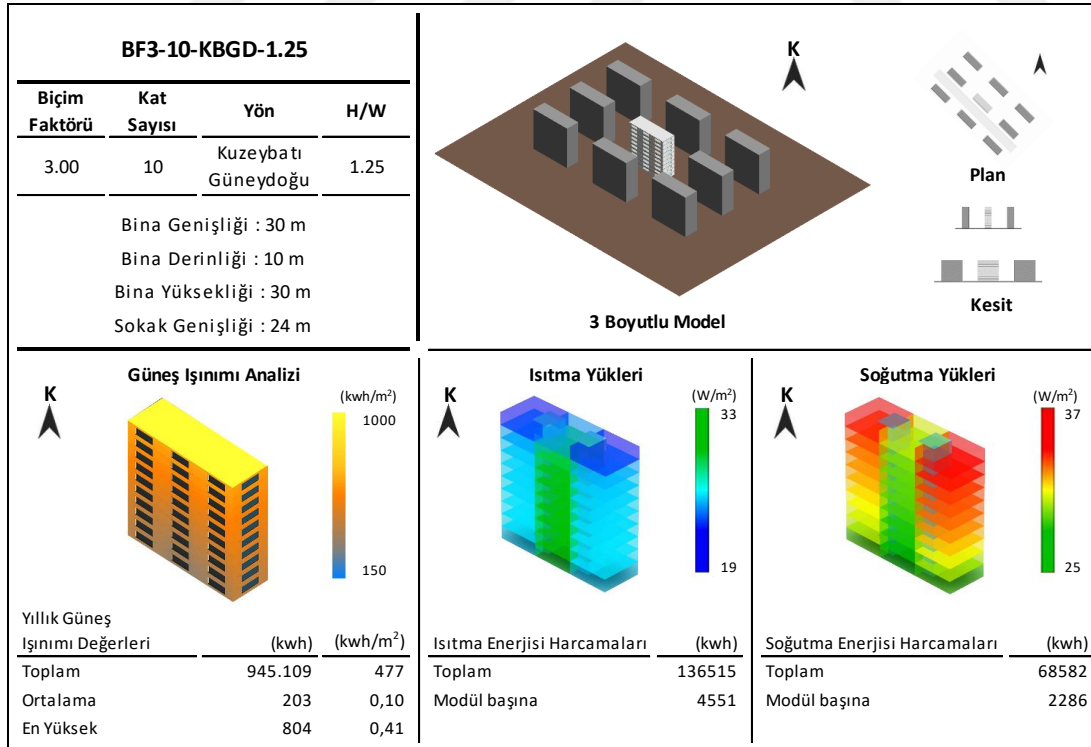
Çizelge A.75 : BF3-10-KBGD-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



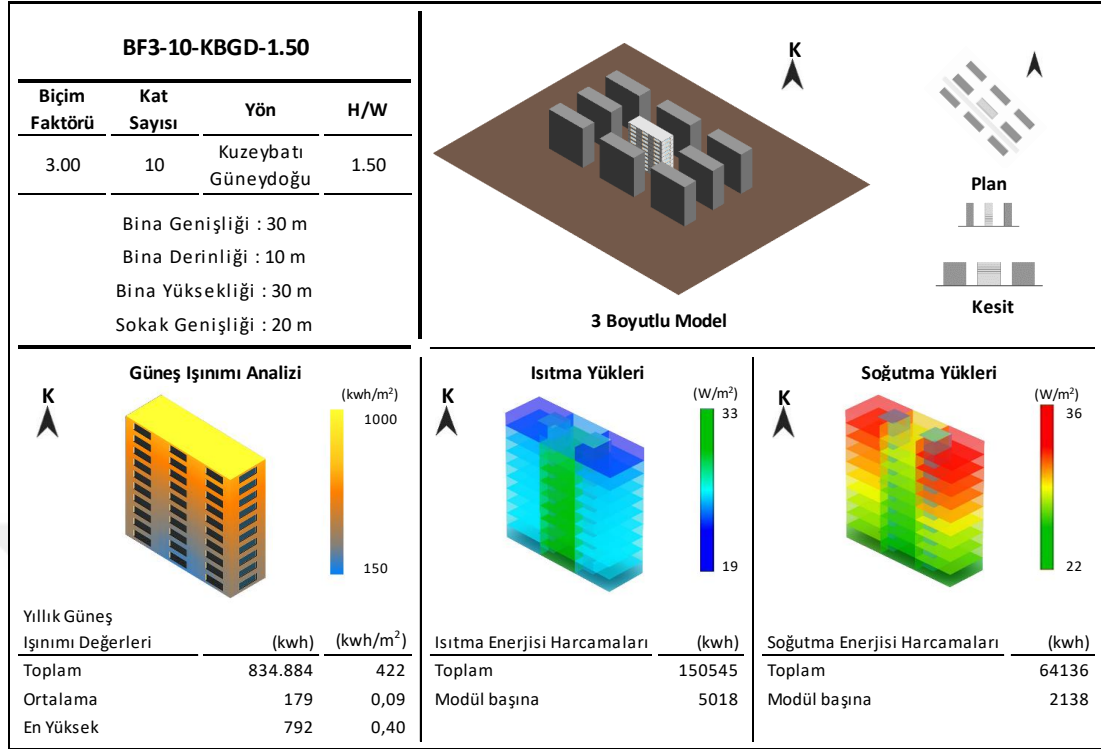
Çizelge A.76 : BF3-10-KBGD-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



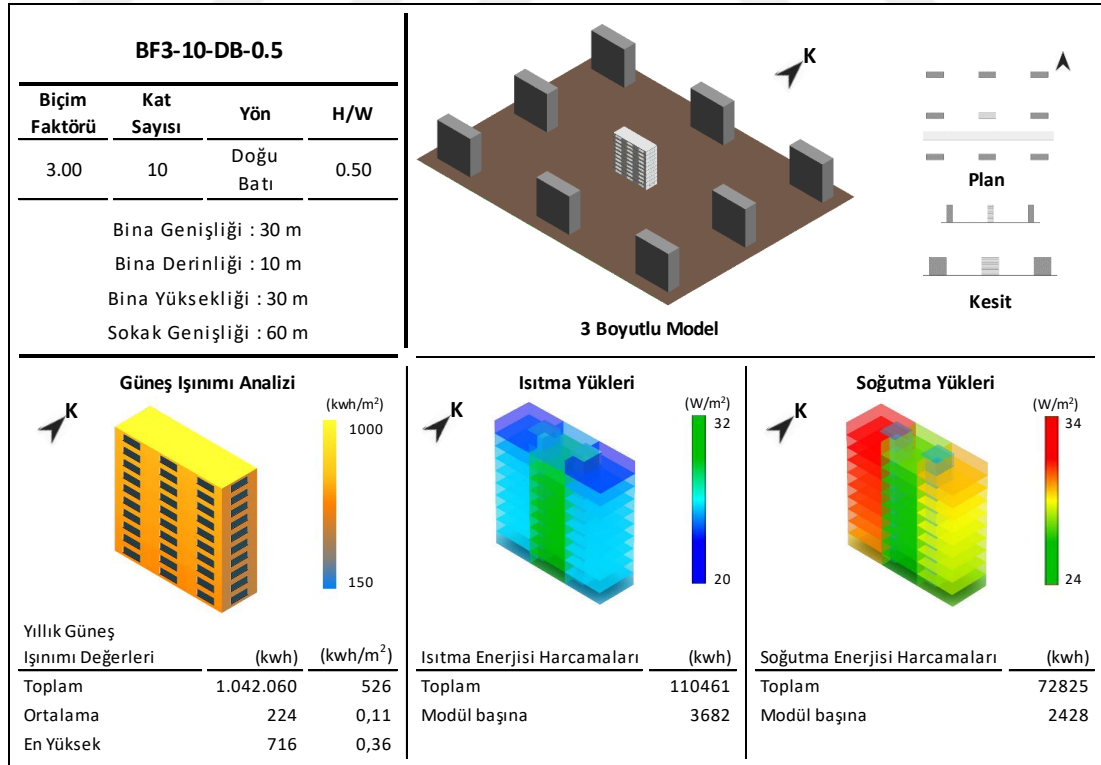
Çizelge A.77 : BF3-10-KBGD-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



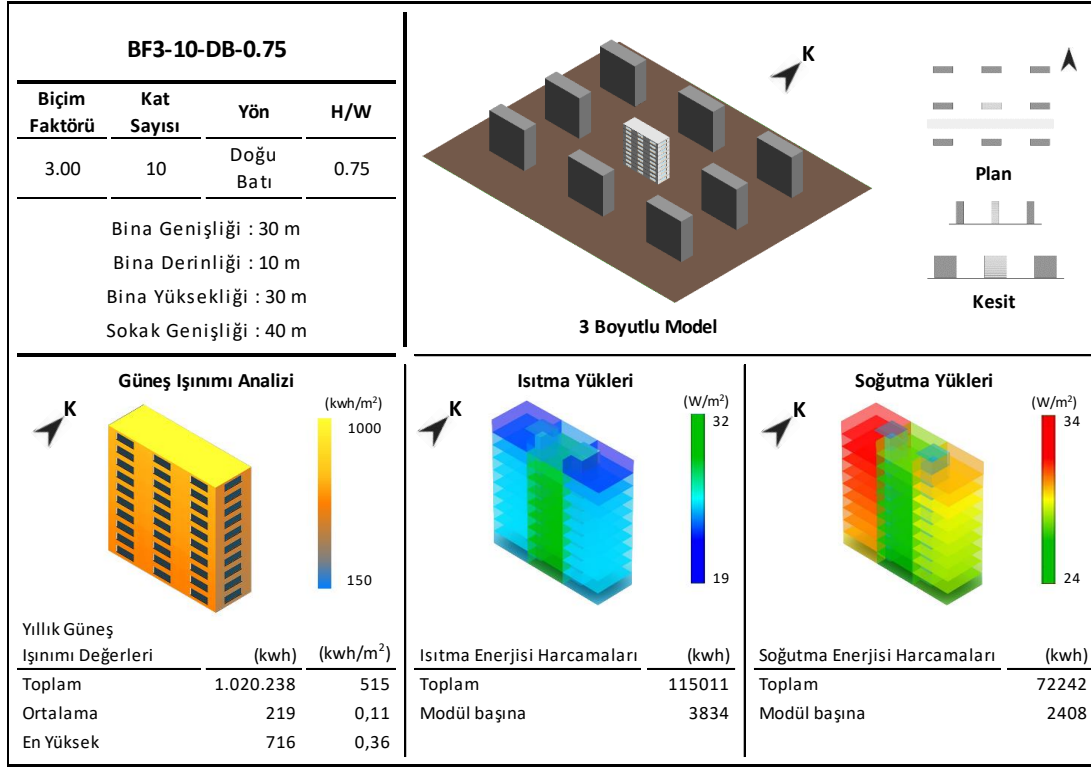
Çizelge A.78 : BF3-10-KBGD-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



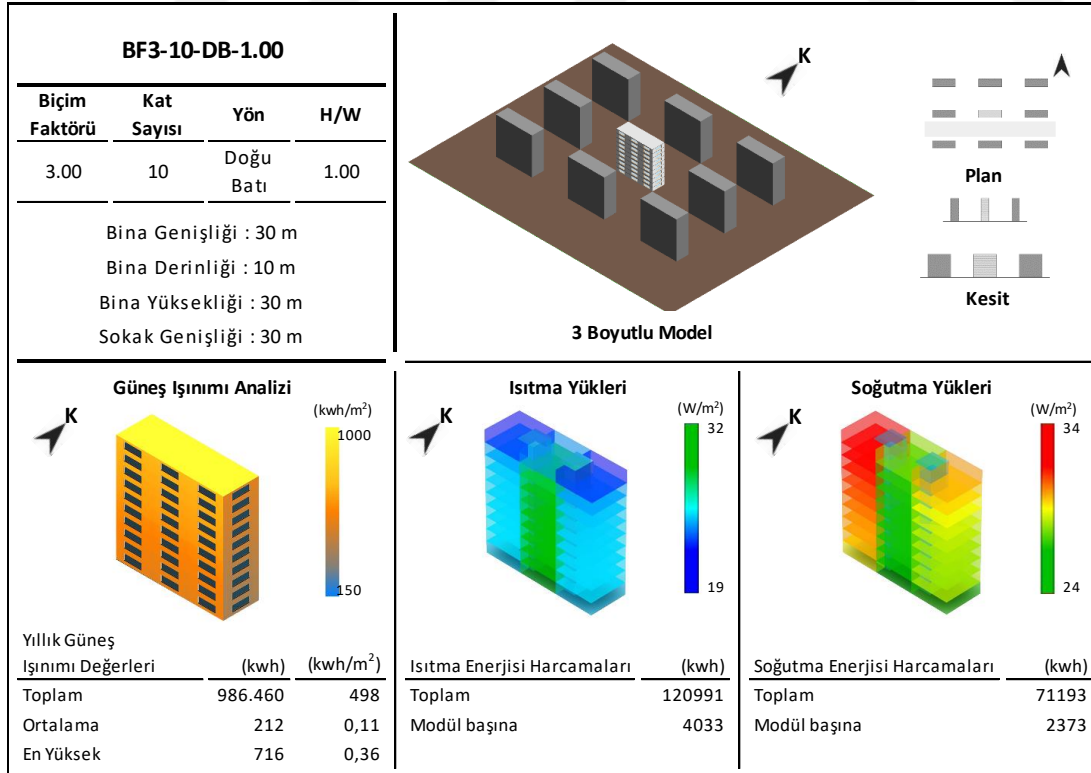
Çizelge A.79 : BF3-10-DB-0.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



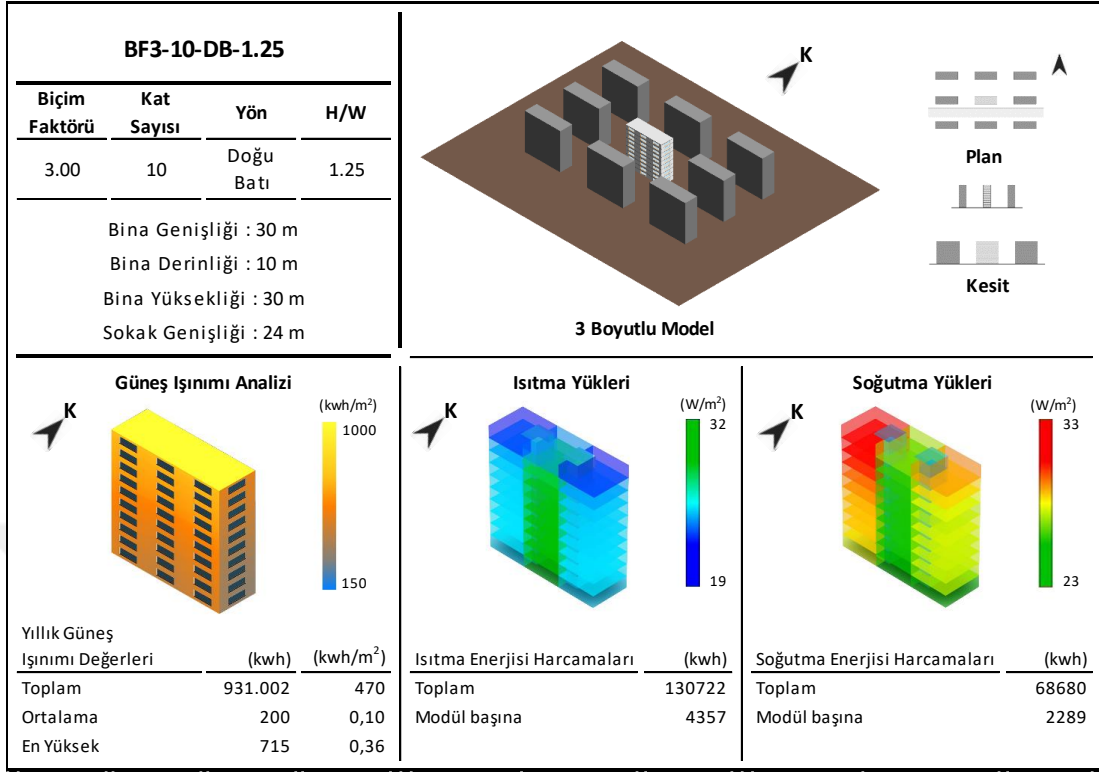
Çizelge A.80 : BF3-10-DB-0.75 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



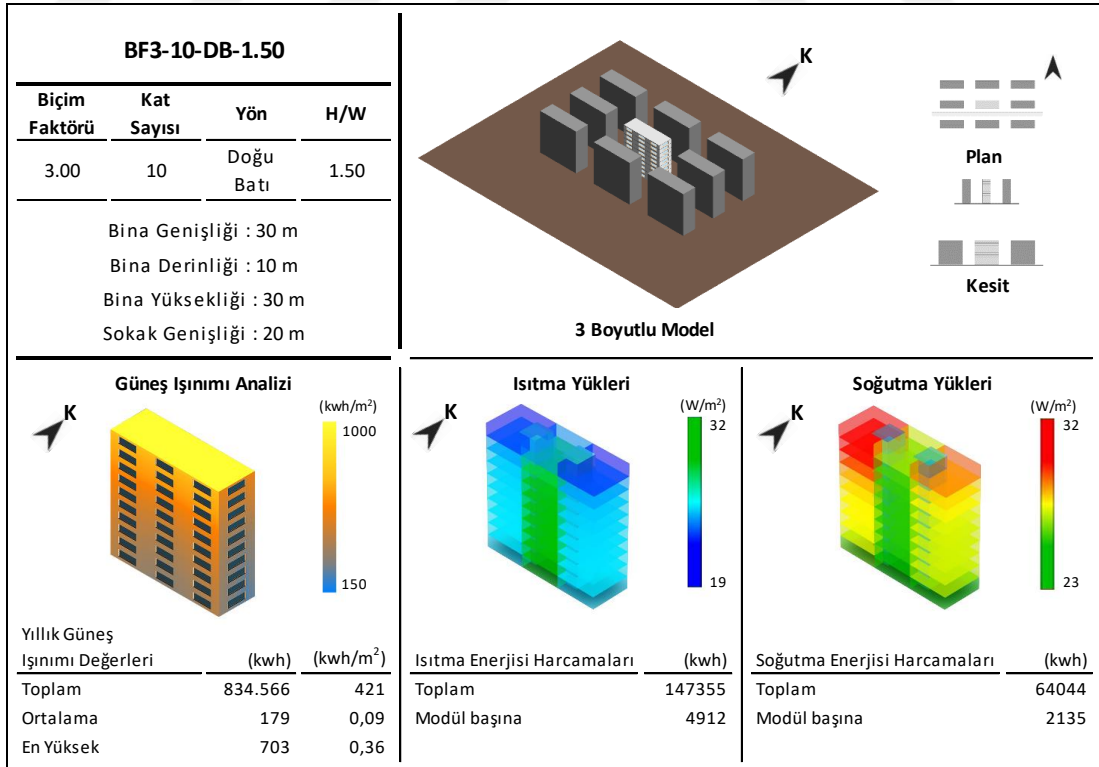
Çizelge A.81 : BF3-10-DB-1.00 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



Çizelge A.82 : BF3-10-DB-1.25 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.



Çizelge A.83 : BF3-10-DB-1.50 kodlu yerleşme dokusu alternatifi için güneş ışınlımı ve enerji analiz sonuçları.





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mehmet Akif Aydın
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.07.1994 / Trabzon
E-posta : makifaydn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi – Mimarlık Bölümü – Araştırma Görevlisi

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Aydın, M.A., Oral, G.K.** 2019, Energy Efficiency in The Settlement Texture Through the Use Of BIM, *3rd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development*, October 16-18, Krakow, Poland.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Aydın, M.A., Oral, G.K.** 2019, Evaluation of Building Energy Consumption Related to Settlement Texture, *Livenarch VI: 6th International Congress Livable Environments & Architecture*, September 21-28, Trabzon, Turkey.

