

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**YÜKSEK ÖĞRETİM BİNALARINDA ENERJİ KULLANIMI İLE**  
**MEKAN KULLANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ:**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ**

**RESUL ÖZLÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Yusuf YILDIZ (Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA  
Doç. Dr. Semiha KARTAL

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2021**

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Yüksek Öğretim Binalarında Enerji Kullanımı İle Mekan Kullanımı Arasındaki İlişkinin Analizi: Balıkesir Üniversitesi Örneği**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Resul ÖZLÜK**

(imza)

## ÖZET

### YÜKSEK ÖĞRETİM BİNALARINDA ENERJİ KULLANIMI İLE MEKAN KULLANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ANALİZİ: BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
RESUL ÖZLÜK  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YUSUF YILDIZ)

BALIKESİR, MAYIS - 2021

Tüm sektörlerde enerji tüketimi, zaman içinde önemli ölçüde artmaktadır. Bina sektörü ise toplam enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Yapılı çevrenin önemli bir bölümünü oluşturan üniversiteler, enerji tüketimine katkısı yüksek olan binalardan oluşmaktadır. Bu nedenle üniversite kampüsleri, enerji tüketimi ve karbon salımını azaltmak için uygun alanlar olarak nitelendirilebilir. Genellikle üniversite binaları, doluluk ve kullanıcı sayılarına dikkat edilmeden ısıtılıp soğutulmaktadır. Sıcaklık, iç mekan hava kalitesi ve aydınlatma seviyelerini yönetmek için doluluk ve alan kullanım verilerinin bina sistemleriyle bütünleştirilmesi günümüz teknolojileriyle mümkündür. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, mevcut bir eğitim binasında enerji korunumu ve güneşin etkileri dikkate alınarak oluşturulan farklı derslik senaryolarının enerji tüketimine olan etkisini araştırmaktır. Daha sonrasında geliştirilen derslik senaryoları için mevcut ve gelecek iklim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri bina enerji simülasyon aracı ile hesaplanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda, farklı derslik senaryoları ile mevcut yıla (TMY 2) ait ısıtma tüketiminde ortalama %15, soğutma tüketiminde %12, 2050 yılına ait ısıtma tüketiminde %17, soğutma tüketiminde %22, 2080 yılına ait ısıtma tüketiminde %18, soğutma tüketiminde %23 oranlarında enerji tasarrufu sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Üniversite binaları, enerji tasarrufu, bina doluluğu, bina enerji simülasyonu, derslik yerleşim senaryoları, iklim senaryoları.

Bilim Kod / Kodları : 80103

Sayfa Sayısı : 120

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY USE AND SPACE USE IN HIGHER EDUCATION BUILDINGS: BALIKESİR UNIVERSITY CASE**

**MSC THESIS**

**RESUL ÖZLÜK**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ARCHITECTURE**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YUSUF YILDIZ )**

**BALIKESİR, MAY - 2021**

Energy consumption in all sectors has increased significantly over time. The building sector accounts for a large part of this energy consumption. Universities, which constitute an important part of the built environment, consist of buildings with a high contribution to energy consumption. For this reason, university campuses can be qualified as suitable areas to reduce energy consumption and carbon emissions. Generally, university buildings are operated without paying attention to occupancy and usage data. According to the occupancy rates, building managers can determine the use of classrooms with appropriate scenarios. In line with these scenarios, building users can be directed to certain areas in the building and unnecessary heating and cooling of the classrooms of the building can be prevented. However, most educational structures ignore strategies to direct users to a certain field. The aim of this study is to investigate the effect of classroom scenarios created according to energy conservation principles on energy consumption in the existing education building. For this, the current occupancy rates of the building were calculated. In line with these calculations, classroom layout scenarios of the building were developed. Building simulations of current and future climate scenarios were made for the classroom scenarios developed afterwards. As a result of the simulations, energy savings of 15% in heating consumption, 12% in cooling consumption, 17% in heating consumption in 2050, 22% in cooling consumption, 18% in heating consumption in 2080, and 23% in cooling consumption can be achieved with different classroom scenarios.

**KEYWORDS:** University buildings, energy saving, building occupancy, building energy simulation, classroom layout scenarios, climate scenarios.

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESİM LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemin Tanımı .....	3
1.2 Çalışmanın Amacı.....	5
1.3 Çalışmanın Kapsamı .....	6
1.4 Literatür Taraması.....	6
<b>2. YÖNTEM</b> .....	<b>12</b>
2.1 Çalışılan Bina ve İklim Özellikleri .....	13
2.2 Anahtar Performans Göstergeleri .....	16
2.3 Verilerin toplanması.....	17
2.3.1 Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi .....	27
2.3.2 Derslik yerleşim senaryoları .....	30
2.4 İklim senaryoları .....	39
2.4.1 Simülasyon, ısı bölgeleme ve malzemelerin tanımlanması .....	47
2.4.2 Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu .....	54
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>57</b>
3.1 Doluluk oranlarının değerlendirilmesi .....	57
3.2 Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi .....	75
3.3 Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi .....	77
3.3.1 Mevcut iklim (TMY 2) verisi: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri .....	77
3.3.2 2050 iklim senaryosu: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri .....	85
3.3.3 2080 iklim senaryosu: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri .....	92
<b>4. SONUÇ</b> .....	<b>100</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>104</b>
<b>6. EKLER</b> .....	<b>114</b>
6.1 EK A: Kat doldurma stratejisine göre dersliklerin yerleşimleri .....	114
6.2 EK B: Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen örnek senaryolar .....	115
6.3 EK C: Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen örnek senaryolar.....	116
6.4 EK D: İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen örnek senaryolar.....	117
6.5 EK E: İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen örnek senaryolar.....	119
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>121</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1. 1:</b> Binaların nihai enerji tüketimi ve CO2 emisyonları içindeki küresel payı, 2019 (Kaynak: Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). ....	1
<b>Şekil 1. 2:</b> Türkiye’de yıllara göre üniversite sayılarındaki değişim (1984-20120). ....	4
<b>Şekil 1. 3:</b> Türkiye’de üniversitelerde öğrenci sayısındaki değişim (1999-2020) .....	5
<b>Şekil 2.1:</b> Metodolojik kurgu. ....	12
<b>Şekil 2. 2:</b> Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek bina kat planları. ....	14
<b>Şekil 2. 3:</b> Balıkesir yağış ve sıcaklık grafiği.....	15
<b>Şekil 2. 4:</b> Balıkesir aylık nem oranları.....	16
<b>Şekil 2. 5:</b> Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek bina doğal gaz aylık tüketim değerleri. ....	17
<b>Şekil 2. 6:</b> Gün içindeki zaman periyotları.....	19
<b>Şekil 2. 7:</b> Alanların sınıflandırılması .....	20
<b>Şekil 2. 8:</b> Hesaplamalar yapılırken kullanılan Bilgisayar Mühendisliği bölümü 2019-2020 eğitim öğretim yılı güz dönemine ait ders programı. ....	21
<b>Şekil 2. 9:</b> Excel programında verilerin gösterildiği hesaplama tablosu.....	22
<b>Şekil 2. 10:</b> 2019-2020 güz dönemi salı günü ikinci kata ait periyotlardaki doluluk oranları. ....	23
<b>Şekil 2. 11:</b> 2019-2020 güz dönemi salı günü binanın farklı katlarına ait periyotlardaki doluluk oranları.....	23
<b>Şekil 2. 12:</b> 2019-2020 güz dönemi salı günü ikinci kattaki farklı öğretilere ait doluluk oranları.....	25
<b>Şekil 2.13:</b> 2019-2020 güz dönemi salı gününe ait farklı katlardaki günlük doluluk oranları. ....	26
<b>Şekil 2.14:</b> 2019-2020 güz dönemine ait günlük doluluk oranları.....	27
<b>Şekil 2.15:</b> 2019-2020 güz dönemi Salı gününe ait temsili doluluk senaryosu. ....	28
<b>Şekil 2.16:</b> Öğrenci sayısı ve derslik kapasitesinin dağılımı. ....	29
<b>Şekil 2.17:</b> Simüle edilen binanın yerleşimi (Kaynak: K. Sethanan, 2014).....	31
<b>Şekil 2.18:</b> Kat doldurma stratejisine göre derslik yerleşim senaryosu örneği. ....	36
<b>Şekil 2.19:</b> Birinci dönem sabah güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği. ....	37
<b>Şekil 2.20:</b> Birinci dönem öğleden sonra güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği. ....	38
<b>Şekil 2.21:</b> İkinci dönem sabah güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği. ....	39
<b>Şekil 2.22:</b> İkinci dönem öğleden sonra güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği. ....	39
<b>Şekil 2.23:</b> Dikkate alınan Balıkesir ilinin coğrafi konumu ve koordinatları. ....	42
<b>Şekil 2.24:</b> Elements TM V1.0.6 programının arayüzü. ....	43
<b>Şekil 2.25:</b> Veri yolunun doğru olup olmadığının kontrol edilmesi. ....	44
<b>Şekil 2.26:</b> EPW hava durumu dosyası seçilmesi ve görüntülenmesi. ....	45
<b>Şekil 2.27:</b> 2050 senaryosu zaman çerçevesinin seçilmesi. ....	46
<b>Şekil 2.28:</b> EPW hava durumu dosyasını dönüştürülmesi .....	46
<b>Şekil 2.29:</b> Enerji simülasyon programlarının işleyiş süreci (Kaynak: Harputlugil, 2007). ....	48
<b>Şekil 2.30:</b> Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binası katlarına ait ısıtılma bölgeleme planları. ....	52
<b>Şekil 2.31:</b> DesignBuilder TM programında yapılan 3d model.....	52

<b>Şekil 2.32:</b> Mühendislik Fakültesi Ek binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.....	57
<b>Şekil 3.1:</b> Salı gününe ait periyot bazında oluşturulan doluluk modeli. ....	59
<b>Şekil 3.2:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri pazartesi günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları. ....	60
<b>Şekil 3.3:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri salı günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.....	62
<b>Şekil 3.4:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri çarşamba günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları. ...	63
<b>Şekil 3.5:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri perşembe günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları. ...	65
<b>Şekil 3.6:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri cuma günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.....	65
<b>Şekil 3.7:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri farklı günlerde bina katlarına ait doluluk oranları. ....	67
<b>Şekil 3.8:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 güz dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları. ....	70
<b>Şekil 3.9:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 bahar dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları. ....	71
<b>Şekil 3. 10:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2019-2020 güz dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları. ....	72
<b>Şekil 3.11:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasının 2019-2020 bahar dönemi haftanın beş gününe ait bina katlardaki s+ ve s- doluluk oranları. ....	73
<b>ŞŞekil 3.12:</b> Binanın tüm dönemlerine ait haftalık ortalama doluluk oranları. ....	74
<b>ŞŞekil 3.13:</b> Binaya ait öğrenci sayısı ve derslik kapasitesinin karşılaştırılması.....	76
<b>ŞŞekil 3.14:</b> İki değişken arasındaki ilişkinin yüzdeler olarak gösterilmesi.....	77
<b>ŞŞekil 3.15:</b> Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	78
<b>Şekil 3.16:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerji tüketimleri. ....	79
<b>Şekil 3.17:</b> Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	80
<b>Şekil 3.18:</b> Mühendislik Fakültesi Ek binası güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait soğutma enerji tüketimleri. ....	81
<b>Şekil 3.19:</b> Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	82
<b>Şekil 3.20:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası bahar dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerji tüketimleri. ....	83
<b>Şekil 3.21:</b> Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	84
<b>Şekil 3.22:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası bahar dönemi için geliştirilen senaryolara ait soğutma enerji tüketimleri. ....	84
<b>Şekil 3.23:</b> 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	85
<b>Şekil 3.24:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri.....	86
<b>Şekil 3.25:</b> 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	87
<b>Şekil 3.26:</b> Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ek binası 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri. ....	88

<b>Şekil 3.27:</b> 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması. ....	89
<b>Şekil 3.28:</b> Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ek binası 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri. ....	90
<b>Şekil 3.29:</b> 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	91
<b>Şekil 3.30:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri. ....	92
<b>Şekil 3.31:</b> 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	93
<b>Şekil 3.32:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri. ....	94
<b>Şekil 3.33:</b> 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	95
<b>Şekil 3.34:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri. ....	96
<b>Şekil 3.35:</b> 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	97
<b>Şekil 3.36:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri. ....	98
<b>Şekil 3.37:</b> 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması .....	99
<b>Şekil 3.38:</b> Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri. ....	99
<b>Şekil A.1:</b> Kat doldurma stratejisine göre K4, K5 ve K6'ya ait dersliklerin yerleşimleri. ....	114
<b>Şekil B.1:</b> Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 1GS2, 1GS4 ve 1GS6 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. ....	115
<b>Şekil B.2:</b> Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 1GS7 senaryosuna ait derslik yerleşimleri. ....	115
<b>Şekil C.1:</b> Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ3, 1GÖ4 ve 1GÖ6 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. ....	116
<b>Şekil C.2:</b> Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ5, 1GÖ7 ve 1GÖ8 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. ....	116
<b>Şekil C.3:</b> Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ10 senaryosuna ait derslik yerleşimleri. ....	117
<b>Şekil D.1:</b> İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS2, 2GS3 ve 2GS4 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. ....	117
<b>Şekil D.2:</b> İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS6, 2GS7 ve 2GS8 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. ....	118



- Şekil D.3:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS10, 2GS11 ve 2GS12 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. .... 119
- Şekil E.1:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 2GÖ2, 2GÖ3 ve 2GÖ4 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. .... 119
- Şekil E.2:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 2GÖ5, 2GÖ6 ve 2GÖ7 senaryolarına ait derslik yerleşimleri. .... 120

## RESİM LİSTESİ

**Resim 1.1:** Mühendislik Fakültesi ek binası..... 14

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1:</b> Mühendislik Fakültesi ek binasında bulunan mekan sayıları.....	13
<b>Tablo 2.2:</b> İki değişken arasındaki ilişki düzeyi. ....	30
<b>Tablo 2.3:</b> Birinci döneme ait geliştirilen derslik yerleşim senaryoları. ....	32
<b>Tablo 2.4:</b> İkinci döneme ait geliştirilen derslik yerleşim senaryoları. ....	34
<b>Tablo 2.5:</b> Yapı elemanlarının özelliklerinin gösterildiği tablo.....	49
<b>Tablo 2.6:</b> DesignBuilder enerji simülasyonunda kullanılan girdiler.....	53
<b>Tablo 2.7:</b> Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için kabul edilebilir sınır değerleri (Coakley, Raftery ve Keane, 2014). ....	56
<b>Tablo3.1:</b> Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki düzeyi.....	75
<b>Tablo3.2:</b> Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki determinasyon katsayısı .....	76
<b>Tablo 4.1:</b> Farklı dönemlere ait en verimli senaryoların gösterildiği tablo. ....	102

## SEMBOL LİSTESİ

**m<sup>2</sup>** : Metrekare

**%**: Yüzde

**mm**: Milimetre

**MJ/m<sup>2</sup>**: Enerji kullanım yoğunluğu

**kWh** : Kilowatt saat

**pd**: Periyot doluluk oranı

**A<sub>n</sub>**: Derslik ,ofis, laboratuvar, kafeterya alanı

**P**: Bir periyottaki toplam saat

**A<sub>t</sub>**: Toplam kat alanı

**NÖ**: 1.öğretim doluluk oranı hesaplaması

**İÖ**: 2.öğretim doluluk oranı hesaplaması

**BÖ**: Binadaki Tüm Katlara Ait Günlük Doluluk Oranı Hesaplaması

**TA**: Toplam inşaat alanı

**mi**: ölçülen gerçek değer

**si**: simüle edilmiş değer

**CO<sub>2</sub>**: Karbondioksit

**BMİDÇS**: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

**BEPD**: Binalarda Enerji Performansı Direktifi

**nZEB**: Sıfır Enerjili Bina

**AB**: Avrupa Birliği

**HVAC** : Heating, Ventilating and Air Conditioning

**RFID**: Radio Frequency Identification

**PG**: Performans Göstergeleri

**RF**: Radyo frekansı

**SPSS**: Statistical Package for the Social Sciences

**IPCC**: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline

**WMO**: World Meteorological Organization

**CDF**: Computational Fluid Dynamics

**DXF**: Data Exchange File

**MBE**: Mean Bias Error

**CV RMSE**: Coefficient of Variable Root Mean Squared Error

**ASHRAE**: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers

**s+:** Sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı

**s-:** Sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranı

**r :** Korelasyon katsayısı

**r<sup>2</sup>:** Determinasyon katsayısı

**K:** Kat kullanım stratejisi senaryoları

**GS:** Güneşin etkisine bağlı sabah derslik yerleşim senaryoları

**GÖ:** güneşin etkisine bağlı öğleden sonra derslik yerleşim senaryoları

**TL:** Türk lirası

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmaları sırasında karşılaştığım tüm sorunlarda bana yakından ilgi gösteren danışman hocam sayın Doç. Dr. Yusuf Yıldız'a değerli destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

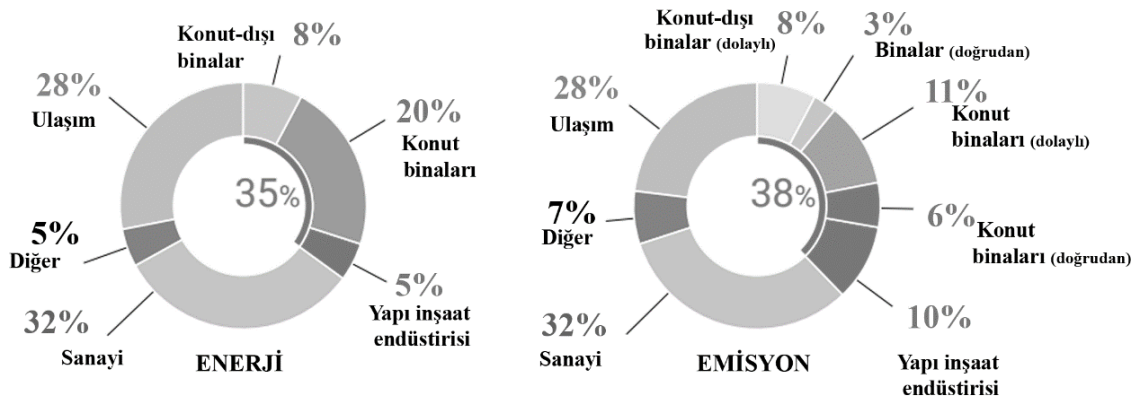
Bu çalışmayı yapabilmemde büyük emeği geçen ve benden maddi manevi hiçbir desteğini esirgemeyen babam Yahya ÖZLÜK, annem Semra ÖZLÜK'e, varlığıyla manevi destek veren tüm arkadaşlarım, kardeşlerim, ablalarım ve ağabeylerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Balıkesir, 2021**

**Resul ÖZLÜK**

## 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi, zaman içinde sektörlerde yaşanan gelişmeler dolayısıyla büyük ölçüde artmaktadır ve daha da artacağı öngörülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan Küresel Durum Raporu'na göre (Global Alliance for Buildings and Construction, Environment, & Agency, 2020) ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, yapı çevrenin küresel nihai enerji kullanımının %35'ini ve enerjile ilgili karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) %38'ini oluşturduğu ifade edilmektedir (Şekil 1.1). Raporla belirtildiği toplam emisyonların neredeyse üçte ikisi binaların enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bina sektöründeki fosil yakıtlarından kaynaklanan emisyonların 2050 yılına kadar azaltılması önem arz etmektedir. Binaların Enerji Performansı Direktifi'ne (Avrupa Komisyonu, 2010) uymak için birçok Avrupa ülkesi tüm yeni binaların Aralık 2020'den itibaren yaklaşık sıfır enerjili binalar olması gerektiğini zorunluluk haline getirmiştir. İnşaat sektöründe enerji ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının büyük ölçüde azaltılması zor olabilir ancak yüksek performanslı yeni binalar ve enerji verimli yenilemeler ile, sektördeki enerji kullanımı 2050'ye kadar yaklaşık %30 oranında azaltılabileceği bilinmektedir (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020).



**Şekil 1. 1:** Binaların nihai enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları içindeki küresel payı, 2019 (Kaynak: Global Alliance for Buildings and Construction, 2020).

Yapılı çevredeki enerji ihtiyacı için fosil yakıt kullanımı sera gazlarını arttırmakta bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu nedenle yapılı çevrede fosil kökenli enerji kullanımının azaltılması sürdürülebilir çevreye olumlu katkıda bulunacaktır (Rozendaal, 2019).

Küresel ısınmanın, iklim değişikliğine ve aşırı hava koşullarına yol açtığı kabul edilmektedir. Paris'teki Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (BMİDÇS) 21. Konferansı sırasında BMİDÇS'nin 196 üyesi dünya çapındaki sera gazı

emisyollarını azaltmak için bir anlaşmaya varmışlardır. Paris Anlaşması'nın uzun vadeli hedefi, küresel ortalama sıcaklıktaki artışı 2°C'nin altında tutmaktır. Bu hedeflere ulaşmak, fosil kökenli yakıtların yerine yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla mümkün olabilir.

Avrupa Komisyonu, Binalarda Enerji Performansı Direktifi'nde (BEPD), tüm üye ülkelerin kendi tanımlarını yaklaşık Sıfır Enerjili Bina'ya (nZEB) göre oluşturmaları ve bunu inşaat alanında uygulamaları gerektiğini belirtmiştir. Direktif ayrıca 2020 yılına kadar tüm Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin, Kyoto Protokolü'nde (Avrupa Komisyonu, 2010) belirlenen ve Paris Anlaşması'nda güncellenen hedeflere ulaşmak için enerji tüketimlerini ve sera gazı emisyonlarını 1990'lardaki seviyelere göre %20 oranında azaltmaları gerektiğini belirtmektedir (Birleşmiş Milletler, 2015). Bunu takiben, sera gazı azaltımı için yeni hedef 2030 yılına kadar %40 olarak belirlenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2014). Ayrıca küresel ısınmanın enerji kullanım modellerini, bina ısıtma ve soğutma gereksinimlerini ve emisyonları etkilemesi beklenmektedir. Bu, binalardaki enerji tüketimini doğrudan etkileyecektir (Yau ve Hasbi, 2013). Yapılı çevrede enerji tüketiminin ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının artması, çoğu ülkede enerji verimliliği ve tasarruf stratejilerini enerji politikaları için öncelikli hedef haline getirmiştir (Lombard, Ortiz, ve Pout, 2007). Buna örnek olarak bina profesyonellerine sifira yakın enerji kullanım seviyelerinde binalar üretmeleri için yasal zorunluluklar getiren Avrupa Binaların Enerji Performansı Direktifi'dir (BEPD) (Directive 2002/91/CE of the European Parliament, 2002). Ticari binalar, ofis ve üniversite binaları enerji tüketimi en yüksek olan binalar arasında sınıflandırılır (Gul ve Patidar, 2015). Bu nedenle ticari binalar, daha sürdürülebilir kalkınma elde etmek için birçok hükümetin enerji azaltma girişiminin odak noktası haline gelmiştir (E. Azar ve C. Menassa, 2012). Üniversiteler, ticari sektördeki (2015) enerji tüketiminin yaklaşık %12'sini oluşturan enerji tüketimi yoğun binalardır ve bina kullanıcılarının sınırlı sorumlulukları nedeniyle enerji tasarrufu konusunda ilk sıralarda gelmektedirler. Bu nedenle, yapı sektöründe enerji tasarrufu sağlamak için üniversiteler, yüksek enerji kullanımları nedeniyle odak noktası haline gelmiştir (Chun ve Rhee, 2014). Üniversiteler, toplumda önemli bir rol üstlenecek geleceğin profesyonellerini eğitmesiyle sürdürülebilir gelecek için önemli bir role sahiptir. Ayrıca kampüs binaları genellikle sürdürülebilirlik ile düşük karbon ekonomisini sürdürmek için sosyal sorumluluğa sahip, uzun vadeli kullanıcılar veya yöneticiler tarafından kullanılmaktadır (Robinson, Kemp ve Williams 2015). Bu nedenle üniversiteler, araştırma



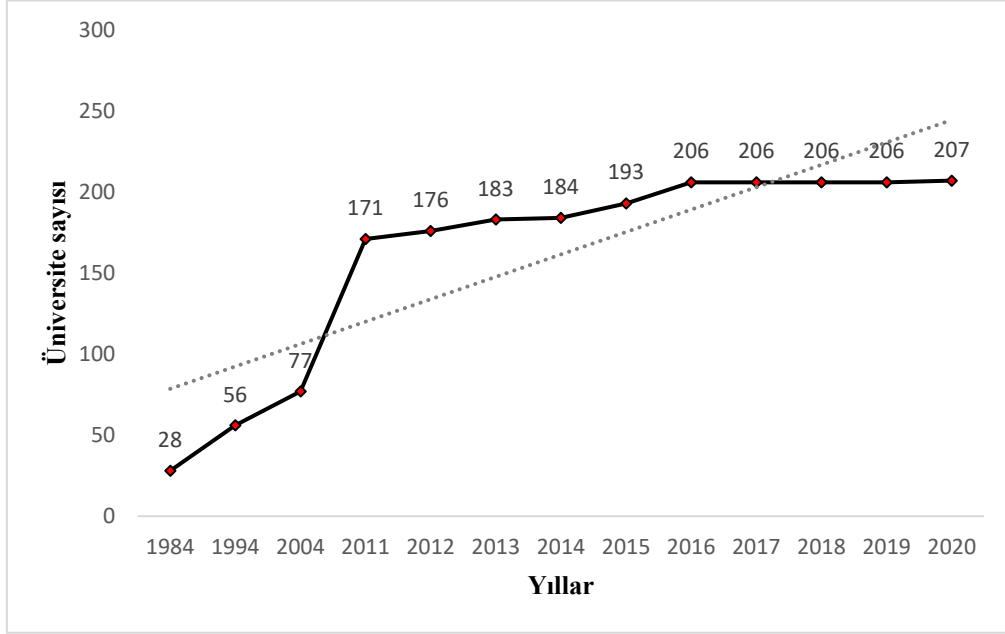
faaliyetleri yoluyla sürdürülebilirliğin öncüleri olabilir ve enerji verimli yenilikler açısından toplum için örnek bir model olabilirler (Wright ve Wilton, 2012). Bu yüzden üniversite binalarının enerji tüketimini azaltmak sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır. Üniversite binalarındaki enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yöntemler vardır (Jafarinejad, Erfani,Fathi ve Shafii, 2019). Üniversite binalarındaki enerji tüketimini azaltmak için kullanılan bu yöntemler ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar daha detaylı bir şekilde bölüm 1.4’te anlatılmıştır.

### **1.1 Problemin Tanımı**

Enerji tüketiminin artması, küresel iklimin değişikliğinin etkilerini sert bir şekilde göstermesi, düşük emisyonlu altyapı ve binalara yapılan yatırımların büyük oranda artmasıyla binalarda enerji verimliliği, en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir (M.Raatikainen, J. Skön, K. Leiviskä ve M.Kolehmainen, 2016). Daha önce değinildiği gibi üniversiteler bina enerji tüketiminde önemli bir etkiye sahiptirler. Bu nedenle, bina sektöründe yükseköğretim binalarına giderek daha fazla önem verilmelidir; çünkü üniversite binalarında sağlanacak enerji verimliliği sadece karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda yeni nesil sürdürülebilirlik profesyonellerini ve liderlerini de yetiştirmeye önemli katkı sağlar (Wright, 2002).

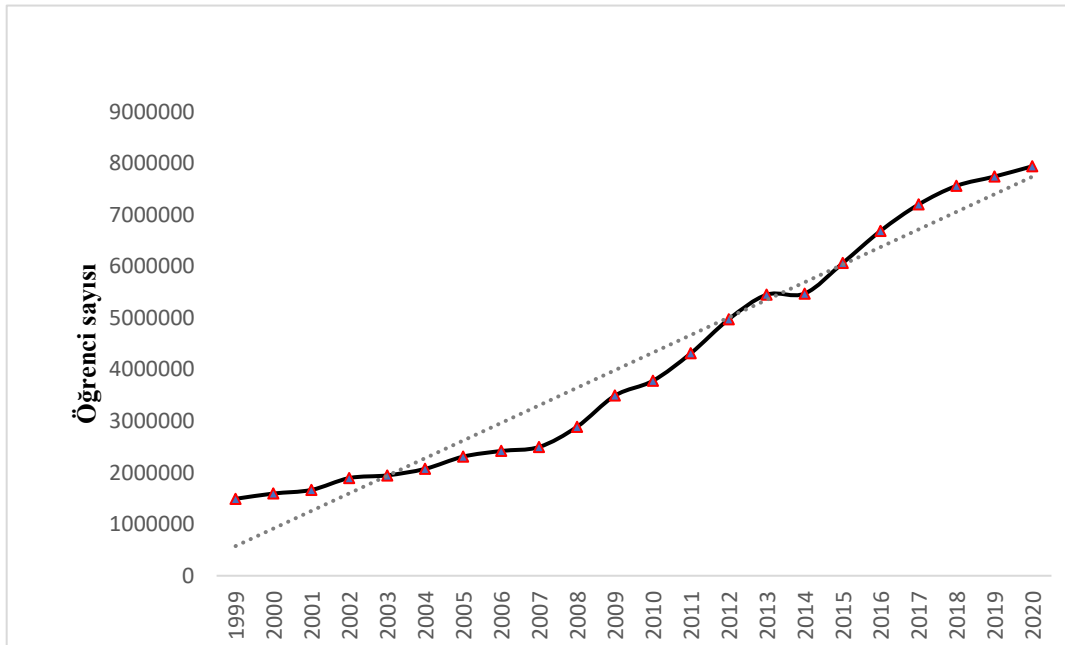
Tipik bir yükseköğretim binası genellikle ofisler, sınıflar, laboratuvarlar ve toplantı odaları gibi çeşitli mekanlardan oluşmaktadır (Klein ve Theis, 2013). Mekan kullanımının karmaşıklığı nedeniyle, bir eğitim binasının enerji kullanımını ölçmek zordur. Bu nedenle, enerji tüketimini etkileyen faktörleri belirlemek detaylı analizler yapmayı gerektirir. Ayrıca bilimsel araştırmalara ayrılan alanlar ve geçici kullanıcıları da içeren değişken doluluk şekilleri, ölçümü daha da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yükseköğretim binalarında alan kullanımının enerji tüketimi üzerindeki etkilerini anlamak için kullanıcı verilerinin analiz edilmesi ve uygun yöntemlerin bulunması ve uygulanması gerekmektedir (L. Hopkinson, N. Lenegan, T. Mcgrath, ve M. Tait, 2011). Yükseköğretim binalarında genellikle elektrik kaynaklı büyük miktarda enerji kullanılır ve enerji kullanım yoğunluğu (EUI), iklime ve bölgelere göre değişmektedir (X. Gui, Z. Gou ve F. Zhang, 2020). Ayrıca artan öğrenci sayısı, personel sayısı ve araştırma faaliyetleri de enerji talebinde artışa neden olmaktadır (Ward vd., 2008; Bourdeau vd., 2018). Öğrenci sayısındaki artış üniversite bina

sayılarındaki artışı da beraberinde getirmektedir. Ülkemizdeki üniversite sayılarının yıllara göre değişimine bakıldığında ciddi bir yükseliş görülmektedir (Şekil 1.2).



**Şekil 1. 2:** Türkiye’de yıllara göre üniversite sayılarındaki değişim (1984-20120).

Şekil 1.2’deki grafiğe göre 1984 yılında üniversite sayısı 28 iken, günümüzde üniversite sayısı 207’ye ulaşmıştır. Ülkemizde üniversite sayılarının artmasıyla birlikte kayıtlı öğrenci sayılarında da önemli bir artış görülmüştür (Şekil 1.3). 1999 yılında üniversitelere kayıtlı toplam öğrenci sayısı 1.491.806 iken 2020 yılı itibariyle 7.940.133 sayısına ulaşmıştır. Şekil 1.3’deki grafiğe bakıldığında özellikle son yıllarda üniversitelere kayıtlı öğrenci sayılarında önemli bir artış görülmektedir (<https://istatistik.yok.gov.tr/>).



### **Şekil 1. 3:** Türkiye’de üniversitelerde öğrenci sayısındaki değişim (1999-2020)

Yukarıda verilen grafiklerden anlaşılacağı üzere Türkiye’de hem öğrenci sayısında hem de üniversite sayısında önemli artış gerçekleşmiştir. Üniversite kampüsleri; içinde yer alan alışveriş merkezleri, ofis binaları, yurtlar ve oteller ile birlikte başlıca enerji kullanıcıları arasında yer almaktadır. Üniversite kampüsleri, ısıtma ve soğutma tüketimini arttıran büyük binalarıyla ve 24 saat kullanılan kütüphane ve kafeleriyle, süreklilik arz eden enerji ihtiyacıyla enerji tüketiminde etkin bir paya sahiptir (Eby, 2017). Bu binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve tüketimin azaltılması, hem karbon emisyonlarını azaltacaktır hem de daha sürdürülebilir bir çevre sağlayacaktır. Okullarda ve üniversitelerde enerji kullanımına odaklanan birçok çalışma olsa da, bu çalışmalar nadiren karmaşık alan kullanımını düşünmektedir. Genel olarak, yükseköğretim binalarında enerji tüketimi ve verimlilik ile ilgili çalışmalarda bazı ortak sınırlar vardır. Alan kullanımının tanımı net ve tutarlı değildir. Toplanan veriler genellikle mekan seviyesinden ziyade bina seviyesindedir; çalışmaların çoğu yalnızca belirli bir alanın enerji kullanımı tanımlanırken, bu alanın binanın toplam enerji kullanımını nasıl veya ne ölçüde etkileyebileceği gözden kaçmaktadır. Bu nedenle, ayrıntılı alan kullanım oranlarını göz önünde bulundurarak yükseköğretim binalarında enerji tüketimi ile ilgili daha detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir (X. Gui, Z. Gou ve F. Zhang, 2020). Mevcut binalarda, enerji kullanımına dayalı olarak derslik kullanımının planlanması üniversite binalarında enerji tasarrufuna katkıda bulunabilir çünkü tüm sınıfların farklı mekansal kapasiteleri vardır ve bu da enerji kullanımını etkilemektedir. Yükseköğretim binalarında bazı mekanlar çalışma saatlerine göre sabit bir doluluk programına sahipken, derslikler daha esnek bir doluluk programına sahiptir (Song vd., 2017). Genellikle yükseköğretim binalarında doluluk ve alan kullanım verilerine dikkat edilmeden ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri haftanın beş günü için aynı olan sabit bir programda çalıştırılmaktadır ve bu konu ile ilgili özellikle ülkemizde neredeyse hiçbir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma yükseköğretim binalarında doluluk ve alan kullanımının enerji tüketimi üzerindeki etkisine odaklanmıştır.

#### **1.2 Çalışmanın Amacı**

Üniversitelerde uygun ders programlarını oluşturmak, çok sayıda subjektif kriteri de dikkate aldığından karmaşık bir süreçtir. Özellikle ders programlarının, alan kullanımı açısından uygun stratejilerle hazırlanmaması mekan kullanımında ve enerji tüketiminde verimsizliklere yol açabilir. Örneğin, alanlar yetersiz veya gerektiğinden fazla kullanılabilir

(A. Abdelhalim ve A. El Khayat, 2016). Esnek ve uyarlanabilir ders çizelgeleri oluşturmak için alanların doluluk ve kullanımına göre ilgili stratejilerin geliştirilmesi önemlidir. Bu çalışmanın amacı, mevcut bir üniversite eğitim binasında enerji tüketimi açısından mekan kullanımını önceliğini değiştirerek potansiyel enerji tasarruflarını belirlemektir. Bunun için seçilen binanın mevcut doluluk oranları detaylı şekilde analiz edilmiştir. Bu hesaplamalar sonrasında kat kullanımına ve güneşin hareketine göre farklı derslik yerleşim senaryoları ve bunların farklı kombinasyonları geliştirilmiştir. Daha sonrasında geliştirilen farklı senaryolar için mevcut ve gelecek iklim senaryoları kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Böylelikle binanın iklim değişikliği açısından da mekan kullanımının enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### **1.3 Çalışmanın Kapsamı**

Eğitim binaları, sosyal amacı ve rolü nedeniyle diğer binalar ile karşılaştırıldığında farklı özelliklere sahiptir ayrıca bina sektöründeki enerji tüketimine önemli katkıları vardır (J. Yeo, Y. Wang, A.K. An ve L. Zhang, 2019). Bu nedenle, bu çalışma mevcut bir yükseköğretim binasında ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine odaklanmaktadır.

Bu tez kapsamında, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde bulunan Mühendislik Fakültesi ek binası seçilmiş ve incelenmiştir. Öncelikle Mühendislik Fakültesi ek binasının mekan kullanımını açısından doluluk oranları hesaplanmış ve öğrenci sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Daha sonra ise farklı senaryolara göre mekan kullanımının mevcut ve gelecekteki yıllarda enerji tüketimi ve tasarrufu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

### **1.4 Literatür Taraması**

Mevcut binalarda enerji tüketimini azaltma potansiyeli yüksektir. Bu nedenle doğru verimlilik çalışmaları ile bina kullanım aşamasında enerji tüketiminin nasıl azaltılacağı hayati önem taşımaktadır. Huovila ve arkadaşları (2017), enerji verimliliğinin farklı göstergeler kullanılarak ölçülebileceğini açıkça göstermiş ve aynı zamanda farklı göstergelerin farklı etkilere sahip olduğunu bulmuşlardır. Lindberg ve arkadaşları (2018), bina kullanımının enerji verimliliği üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için kullanım verimliliği göstergesinin kullanılmasını savunmaktadırlar. Bu çalışmada bir tasarım stratejisi olarak, mekan kullanımının enerji verimliliği üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Bu bağlamda bina sistemlerini optimize etmek için benzer kullanıma sahip odalar aynı grupta toplanmıştır. Bu amaçla, farklı kullanım varyantları üzerinde binaya ait çok sayıda simülasyon yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, bir binanın kullanım verimliliğini artırırken, enerji tüketiminin daha az arttığını ve dolayısıyla kullanımın artmasının aslında enerji verimliliği için faydalı olduğunu göstermektedir. Nguyen ve arkadaşları (2012), enerji tasarrufu ve kullanıcı faaliyetleri ile ilgili akıllı binalara ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Mevcut çalışmaları karşılaştırmak için yeni parametreler önermektedirler. Anket aracılığıyla yapılan çalışmada, binalarda kullanıcıların faaliyetlerinin ve davranışlarının enerji tüketimi ve bina kontrolleri üzerinde büyük etkisi olduğu görülmektedir. Ofis ve üniversite binaları, yüksek enerji tüketimine sahip binalar arasında sınıflandırılmaktadır. Ofis binaları, tipik olarak daha yoğun enerji tüketen yapıları temsil eder ve bina kullanıcılarının konfor ihtiyaçlarını karşılamak için önemli miktarda enerji kullanırlar. Ofis binalarında enerji verimliliğini artırmak için büyük potansiyele sahip ofis kullanıcılarının yönlendirdiği talep kontrol strateji araştırılmıştır. Wei ve arkadaşları (2016), doluluğun mekanlarda yanlış kullanımı sorunuyla başa çıkmayı ve ısı konfor kontrolünü iyileştirmeyi amaçlayan iç mekan konumlandırma sistemine dayalı büyük ölçekli odalarda klima sistemleri için bir doluluk talebi odaklı kontrol stratejisi önermektedir. Önerilen metodoloji, enerji tasarrufu potansiyelini incelemek için bina kullanıcılarının miktarına ve yaklaşık konumuna odaklanmıştır. Kullanılan bu yöntemin sonucu olarak, hava oranının doluluk modeline göre değiştiğini ve talebe dayalı HVAC işlemi uygulandığında büyük bir enerji tasarrufu potansiyeli olduğu görülmüştür. Böylece enerji tasarrufu ve bina kullanıcılarının ısı konforu da sağlanabilir. Doluluk, bir binanın HVAC sistemi için çok önemli bir faktördür. Doluluğu dahil etmek ve hesaba katmak için çoğu simülasyon aracı, büyük ölçekli bina kullanıcı anketlerini veya bir dizi benzer binadan gözlemleri kullanan istatistiksel yöntemlere dayanan sabit tasarım profillerini kullanır. Bu tür anket ve gözlemsel verilerin toplanması zaman almaktadır ve gerçek doluluk modellerini doğru bir şekilde temsil etmeyebilir. Bu nedenle, sabit tasarım profilleri bir binanın gerçek kullanımlarından farklı olabilir. Yang ve arkadaşları (2014), bina kullanıcılarının mevcut modellerini temsil etmek amacıyla kişiselleştirilmiş doluluk profillerini modellemek için bir çerçeve önermektedirler. Daha sonrasında kişiselleştirilmiş doluluk profillerinin enerji simülasyon sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kişiselleştirilmiş doluluk profillerinin, bina enerji simülasyonlarında halihazırda kullanılan sabit kullanıcı profillerinden ve gözlem tabanlı profillerden daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Yang ve arkadaşları (2014), HVAC sistemlerinin verimliliğini artırmak için odaların yeniden tahsis edilmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmalarında, bina kullanıcılarının mevcut modellerini temsil eden doluluk profillerini kullanarak bölge düzeyinde HVAC başlatma/durdurma programlarını belirleyerek merkezi olarak kontrol

edilen VAV sistemlerine sahip ofis binalarında enerji verimliliğine odaklanmaktadır. Benzer doluluk programlarına sahip mekanları yan yana yerleştirmek, HVAC sistemleri tarafından harcanan önemli miktarda enerjiyi azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Azar ve arkadaşları (2012), farklı büyüklükteki ve farklı hava koşullarındaki tipik ofis binalarının doluluk parametreleri üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı bir duyarlılık analizi çalışması yapmışlardır. Hem bina büyüklüğüne hem de hava koşullarına göre değişen önemli hassasiyet seviyeleri gözlemlenmiştir. Daha sonra her model üzerinde duyarlılık analizleri farklı doluluk parametresindeki değişikliklere olan duyarlılıkları ölçülmüştür. Ölçümlerin sonucu, bu araştırmanın bina kullanıcılarının enerji kullanımını azaltmada önemli bir rol oynadıklarını göstermektedir. Rozendaal (2019) çalışmasında, ofis otel işletmesinin enerji performansı üzerindeki etkisini araştırmış ve farklı bina özelliklerinin ve doluluk oranlarının etkisini belirlemeye çalışmıştır. Ofis otellerinin farklı bina ve iklim senaryolarına göre etkisini enerji performans simülasyonları ile belirlemiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak, ofis otelcilik binalarında uygun mekan kullanımı ile ısıtma, soğutma ve aydınlatma taleplerinde önemli derecede azalma olduğu bulunmuştur. Ayrıca iklim değişikliğinin enerji performansı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve özellikle, daha sıcak dış ortam sıcaklıklarında soğutma talebinin artacağını vurgulanmaktadır.

Dong ve arkadaşları (2011), açık plan tipi ofis ortamında büyük ölçekli bir sensör ağı kullanarak bina kullanıcılarının sayısını ve bina kullanıcılarının faaliyetlerinin süresini tahmin ederken karşılaşılan zorlukları açıklamaktadırlar. Çalışma, ölçülen çevresel koşullar ile doluluk durumu arasında önemli korelasyonlar (ilişkiler) olduğunu göstermektedir. Kullanıcı davranışı tespitine dayalı olarak ortaya çıkan enerji etkisini göstermek için gerekli modeller oluşturulmuştur. Daha sonrasında bir model içindeki bir sıcaklık ayar noktası çizelgesine karşı tahmin edilen dinamik doluluk çizelgesinin kullanılması arasında karşılaştırmalı bir simülasyon analizi yapılmıştır. Simülasyonların sonucu, kullanıcı davranışına dayalı enerji tasarrufunun %18,5 olabileceği hesaplanmıştır. Shi ve arkadaşları (2017) çalışmalarında, bir binada güvenilir doluluk ölçümü ve tahmini olmaması nedeniyle HVAC sisteminin verimsiz çalışmasının büyük miktarda enerjinin boşa harcanmasına neden olduğunu vurgulamaktadır. Bu enerji tüketimini azaltmak amacıyla, bina doluluğunun tahmini değerini doğru bir şekilde belirlemek için bir regresyon modeli ve doluluk tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, gerçek zamanlı doluluk tabanlı bina HVAC kontrol algoritmasının sadece bina sakinlerinin konfor seviyesini iyileştirmekle kalmayıp aynı zamanda elektrik tüketimini de düşürdüğünü göstermektedir. J. Zaho ve arkadaşları (2014), orta ölçekli bir ofis binasında kullanıcı davranışının etkilerini görebilmek için ofiste

kullanılan cihaz güç tüketimi verilerini kullanarak pratik bir veri madenciliği yaklaşımı geliştirmişlerdir. Daha sonrasında geliştirilen bu yöntem ile farklı iklim bölgelerinde simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sonucu, doluluk programlarının bina HVAC enerji tüketimi üzerindeki etkisinin, farklı iklim koşulları altında binalar için büyük farklılıklar gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Üniversite binaları, enerji tüketiminde önemli bir role sahiptir. Üniversite binalarında enerji tasarrufu için operasyonel önlemlerin optimize edilmesi yaygın olarak önerilmektedir (Jafarinejada, Erfania, Fathib ve Shafii, 2019). Yeo ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, eğitim binaları için enerji verimliliği ve analizi için bir çalışma önermektedirler. Bu çalışma, ilk olarak enerji tüketimi ve verimliliği üzerinde etkisi olabilecek önemli etmenleri açıklamanın yanısıra tüm faktörleri ve son kullanımları karşılaştırarak, bir eğitim kurumunun öncelikle araştırma sektörüne ve ilgili konulara ağırlık vermesi gerektiğini önermektedir. İkinci olarak, iklim özellikleri ve operasyonel hedefleri içeren fiziksel koşullar Hong Kong'daki eğitim kurumlarında benzer olduğundan önerilen model ve göstergelerin Hong Kong'daki diğer eğitim kurumlarını uygun şekilde değerlendirmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Yükseköğretim binalarında enerji tüketiminin önemli bir kısmı sınıfların aydınlatılması için kullanılır. Yükseköğretim eğitim kurumlarındaki doluluk modelleri istikrarlı değildir. Bu nedenle enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimi ile doluluk oranını eşleştirmek için alternatif çözümler gereklidir. Cabrera ve arkadaşları (2013) çalışmalarında lise sonrası bir eğitim enstitüsünde aydınlatma enerjisi tüketim değerlerini ölçmek ve anlamak üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, doluluk modelleri arasındaki olası ilişkileri ortaya çıkarmak ve sınıflarda aydınlatma ile ilgili enerji tasarrufunu arttırmak için veri madenciliği ilişkilendirmesine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Daha sonrasında doluluk ve aydınlatma ile ilgili enerji tüketimi arasındaki ilişkileri analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin, yükseköğretim eğitim kurumu sınıflarının aydınlatılmasında enerji tasarrufu için çözümler verebileceğini ve mevcut enerji kullanımının %70'i kadar önemli bir oranda tasarruf elde edilebileceğini göstermektedir. Torres ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, ortak parametreler kümesini tanımlayarak ve binalar arasındaki varyasyonlarını hesaba katarak bir bina portföyünün nasıl verimli bir şekilde modelleneceğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında 11 binanın detaylı analizi yapılmış ve normatif enerji hesaplama yöntemi kullanılmıştır. En önemli modelleme parametrelerini belirlemek ve model sonuçlarındaki belirsizlikleri ölçmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, elektrik tüketimi için bina içindeki alanların daha detaylı

bir şekilde sınıflandırılmasının önemli olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca aydınlatma ve ekipman yoğunluğunun derecelendirilmesi ve yoğunluğa göre alt kategorilere ayrıldığında daha iyi çalıştığını göstermişlerdir. Gul ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, bir üniversite binası için elektrik enerjisi talep profilleri ile kullanıcı faaliyetleri arasındaki ilişkiyi analiz etmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, binanın günlük olarak nasıl kullanıldığı, işletildiği ve yönetildiği hakkında fikir edinmek için, personele ve öğrencilere çevrimiçi bir anket yapılmıştır. Sonuç olarak, doluluk modellerine ilişkin ayrıntılı bilgilerin, binanın optimum enerji performansı için kontrol stratejilerini yeniden tasarlamasına yardımcı olabileceğini bulmuşlardır. Erikson ve arkadaşları (2014) bir kablosuz sensör ağından gelen gerçek zamanlı doluluk verilerinin, kullanım tabanlı talep kontrol stratejileri için bina iklimlendirme sistemine entegre edilebilecek doluluk modellerinin nasıl oluşturulacağı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Sensör ağı doluluk modeli tahminlerine dayalı stratejiler kullanarak yıllık %42 oranında enerji tasarrufu elde etmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir. X.Gui ve arkadaşları (2020), üniversite kampüslerinde çeşitli alan kullanımının bina enerji tüketimi üzerindeki etkisini anlamak amacıyla, subtropikal Avustralya'da bulunan 122 üniversite binasını seçmiş ve haftalık elektrik verilerini ve ayrıntılı alan kullanım bilgilerini toplamışlardır. Enerji kullanımı ve alan kullanımını birbirine bağlamak için çoklu doğrusal regresyon modelleri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın sonucu olarak, laboratuvarların enerji yoğun ekipmanları ve yüksek mekanik ventilasyon ihtiyaçları nedeniyle büyük miktarda enerji kullandığını göstermişlerdir. Bourdeau ve arkadaşları (2017), Paris şehrinde bulunan ve 50.000 m<sup>2</sup>'den fazla kullanılabilir zemin alanını kapsayan üç kampüs binasının enerji tüketiminin karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmışlardır. Temel enerji parametrelerini ve bunların genel enerji tüketimindeki göreceli etkilerini belirlemek için istatistiksel analiz araçları kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ekipmanla birlikte, doluluğun elektrik enerjisi tüketiminin ana faktörü olduğu bulunmuştur. Jafarinejada ve arkadaşları (2019), üniversite binalarında zaman çizelgelerinin ve doluluk profillerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucu, zaman çizelgesini optimize etmenin enerji talebinde düşüşe yol açabileceğini göstermektedir. Sethanan ve arkadaşları (2014), sınıf planlaması ile sınıflarda enerji verimliliğini artırmak amacıyla, Tayland'daki bir üniversitede ders çizelgeleme problemini çözmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. Zaman çizelgesine yönelik diğer tüm algoritmalardan farklı olarak Tabu Arama Algoritması kullanmışlardır. Algoritma; her sınıftaki öğrenci sayısını, ders saatini, sınıf büyüklüğünü hem her sınıfa kaydolun öğrenciler hem de sınıflardan sorumlu öğretim üyeleri için mevcut zamanı ve sınıfın her zaman dilimindeki enerji



tüketimini hesaba katmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın sınıflarda enerji tüketimini azalttığını doğrulamıştır. Ders çizelgesinin dersliklerde enerji tüketimi üzerindeki etkisinin araştırılması hakkında çok az şey bilindiğini vurgulayan Song ve arkadaşları (2017), çalışmaları kapsamında enerji kullanımı açısından en uygun zaman çizelgesini belirleyen enerji verimliliğine dayalı bir ders çizelgeleme algoritması önermektedirler. Önerilen algoritmaların kullanıldığı deneysel sonuçlar, optimum zaman çizelgesinin mevcut zaman çizelgesine kıyasla soğutma ve ısıtma dönemleri boyunca %4 oranında enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir. Laura ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, ders odalarının Potansiyel Enerji Karşılaştırması (PEK), zaman çizelgesinde enerji açısından en verimli ders odalarına öncelik atayacak şekilde tanımlamışlardır. Ders zaman çizelgesi problemini çözmek ve enerji tüketimini en aza indirmek için algoritma önermişlerdir ve PEK kullanılarak bir zaman çizelgesi önerisi sunmuşlardır. Yeni zaman çizelgesi ile öğretim etkinlikleri için kullanılan enerjide %20'ye yakın bir azalma sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Abdelhalim ve arkadaşları (2016) çalışmalarında RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisini kullanarak üniversite ders çizelgeleme sorununu çözmeye bilgi görünürlüğünün oynayabileceği önemli rolü araştırmışlardır. Bu çalışmada, genetik algoritmalar ve veri yakalama teknolojilerini kullanarak üniversite zaman çizelgeleri oluşturmak için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmanın sonucu, mevcut uygulamalarla karşılaştırıldığında yeni konsept üniversitelerdeki zaman çizelgelerini ve kaynakları yönetmek için etkili bir araç olduğunu göstermiştir.

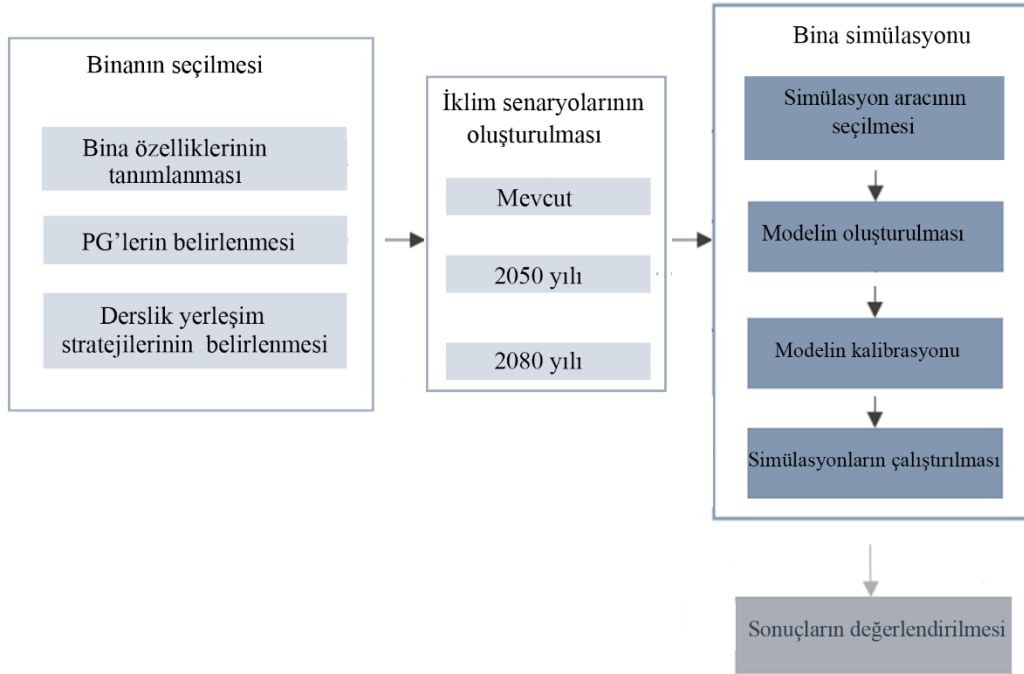
Tassopoulos ve arkadaşları (2012) çalışmalarında, Yunanistan'daki liseler için uygun ve verimli ders çizelgeleri oluşturmuşlardır. Bu çalışma için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu'na (PSO) dayalı yeni bir uyarlanabilir algoritma geliştirilmiş ve lise ders çizelgeleme problemine uygulanmıştır. Çalışmanın sonucu, önerilen PSO algoritmasının çoğu durumda aynı problemi çözmek için mevcut diğer girişimlerden daha iyi performans göstermiştir. Ders çizelgelemesinin potansiyel faydalarına rağmen ders çizelgelemesinin sınıflarda enerji kullanımını nasıl etkilediğine dair çok az araştırma yapılmıştır. Ders çizelgeleme yöntemleri üzerine çok sayıda çalışma, enerji tüketimiyle ilgili mekansal kapasiteleri hesaba katsa da (örneğin oturma kapasitesi) optimum enerji verimli zaman çizelgesi bulmak zordur. Çünkü sınıflarda enerji tüketen klimalar ve aydınlatma gibi faktörler tarafından tüketilen enerji miktarını dikkate almamışlardır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir sınıf planlama algoritmasında, ders gereksinimleri enerji kullanımına ilişkin mekansal ve işlevsel

kapasitelerle eşleştirilmediğinden hala sınırlamalar vardır (V. Cacchiani, A. Caprara, R. Roberti ve P. Toth, 2013).

Şimdiye kadar açıklandığı gibi literatür, uygun oda tahsisinin bina sakinlerinin memnuniyetini ve enerji verimliliğini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Ancak sınıf dağılımının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin nicelleştirilmesi, önceki çalışmalara rağmen hâlâ belirsizliğini korumaktadır. Daha spesifik olarak, sınıflardaki enerji tüketimiyle ilgili mekansal ve işlevsel kapasiteleri değerlendirmek için hala çok az çalışma bulunmaktadır.

## 2. YÖNTEM

Bu bölümde, izlenen yöntem aşama aşama gösterilmiştir (Şekil 2.1). İlk olarak çalışılan binanın özellikleri ve bina hakkında genel bilgi (Bölüm 2.1), ikinci olarak; temel performans göstergesi (PG) (bölüm 2.2), üçüncü olarak; bina ile ilgili mevcut doğal gaz tüketim değerleri, ders programları, binaya ait kullanım/doluluk verileri, mekan kullanımı ilişkisi, ve derslik yerleşim stratejileri (bölüm 2.3), daha sonra ise; iklim senaryoları ve son olarak (bölüm 2.5) binanın DesignBuilder TM programı ile modellenmesi ve kalibrasyonu açıklanmıştır.



Şekil 2. 1: Metodolojik kurgu.

## 2.1 Çalışılan Bina ve İklim Özellikleri

Bu çalışma için, Balıkesir Üniversitesi Çağış kampüsünde bulunan, Mühendislik Fakültesi ek binası seçilmiştir (Resim 1.1). Bu bina 2015 yılında inşaa edilmiş ve 2017 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Yeni bir bina olması ve binanın tüm projelerine (Mimari, statik ve mekanik) ve diğer gerekli bilgilere kolaylıkla ulaşılabilirdiği için tercih edilmiştir. Öğrenci sayısının yüksek olduğu bölümler tarafından kullanılan bir bina olmasında tercih sebepleri arasındadır. Binada; Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Gıda Mühendisliği (Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği ve Çevre Mühendisliği bölümlerinin 2. öğretimi vardır.) olmak üzere beş farklı bölüm bulunmaktadır. Mühendislik Fakültesi ek binasının alanı yaklaşık olarak 20.400 m<sup>2</sup>'dir. Bina bodrum katı ile birlikte altı kattan oluşmaktadır ve üç ayrı kütle şeklinde tasarlanmıştır. Kat planları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

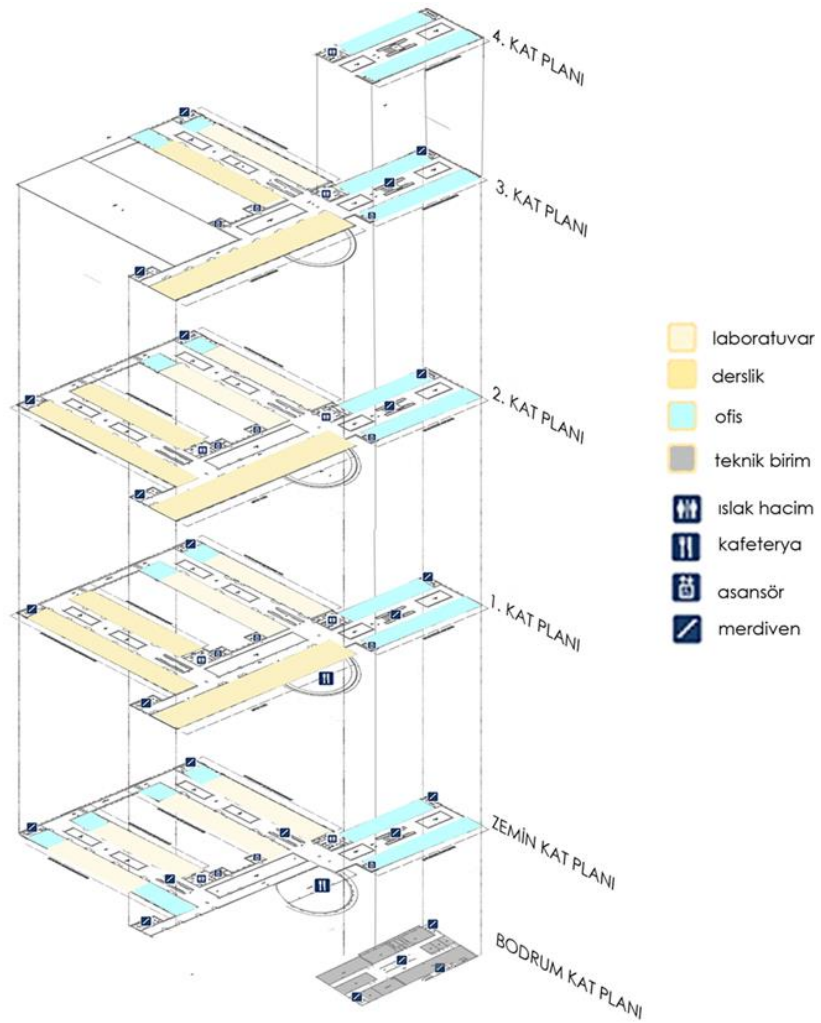
Bina; öğrenciler, personeller ve öğretim üyeleri için; hücrel ofis alanları, amfi, seminer odaları, toplantı odaları, derslikler, laboratuvarlar, kafe ve çalışma alanları sunmaktadır. Güney cephesinde derslikler, laboratuvarlar ve ofis mekanları bulunmaktadır. Batı cephesinde kafe, ofisler, derslikler, laboratuvarlar ve toplantı odaları yer almaktadır. Kuzey ve doğu cephelerde genellikle derslikler ve ofis mekanları vardır. Orta bölgede ise merdivenler, tuvaletler ve depolar bulunmaktadır. Mühendislik Fakültesi ek binasında 40 adet derslik, 122 adet ofis, 18 adet depo, 28 adet laboratuvar, 10 adet WC, 1 adet kafeterya ve 1 adet okuma salonu bulunmaktadır (Tablo 2.1).

**Tablo 2.1:** Mühendislik Fakültesi ek binasında bulunan mekan sayıları.

Mekanlar	Zemin kat	1. kat	2.kat	3.kat	4.kat
Derslik	1	15	15	9	—
Laboratuvar	5	8	9	6	—
WC	3	3	2	1	1
Ofis	37	32	91	—	—
Kafeterya	1	—	—	—	—
Depo	4	4	4	4	2
Okuma salonu	—	—	—	1	—

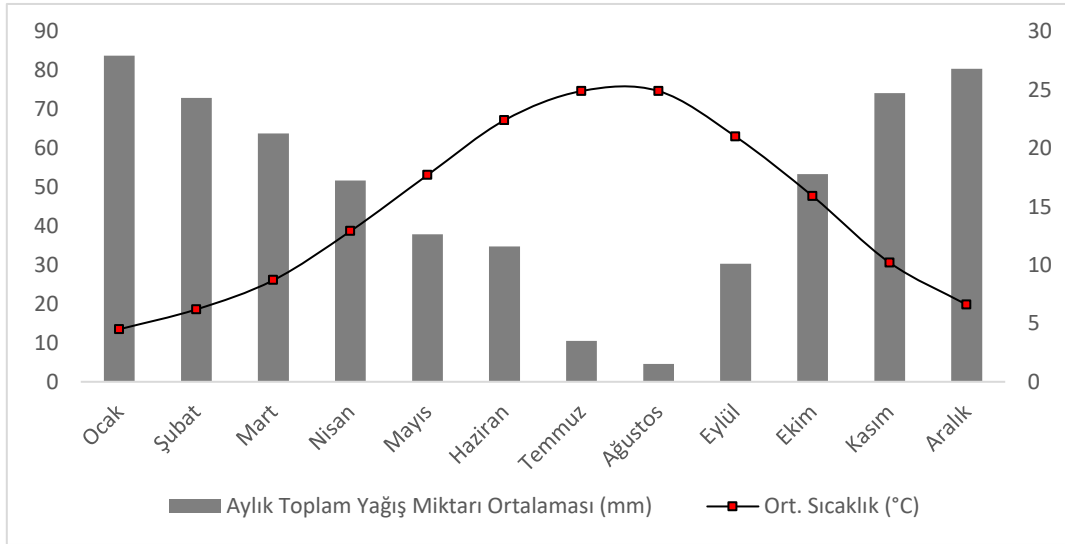


Resim 1.1: Mühendislik Fakültesi ek binası.



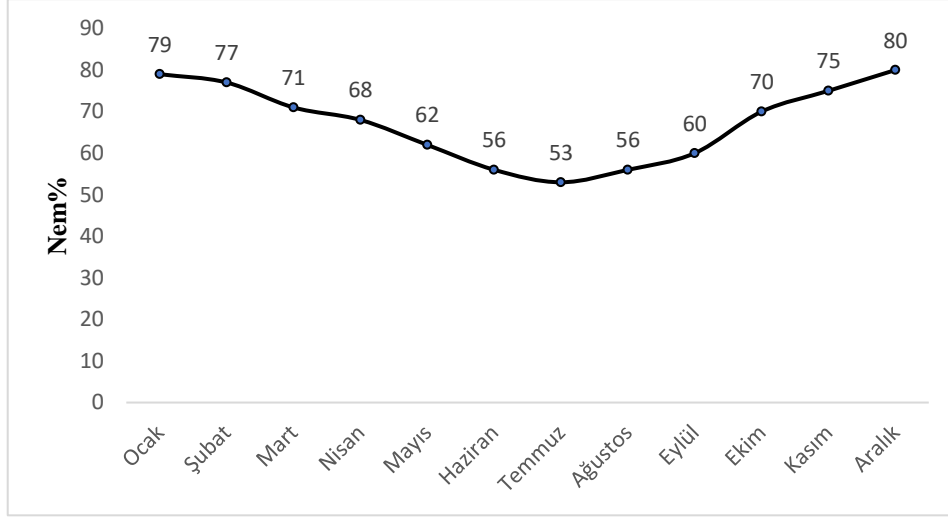
Şekil 2. 2: Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek bina kat planları.

Balıkesir'de üç iklim bir arada görülür. Ege kıyılarında Akdeniz, kuzeyde Marmara ve iç bölgelerde kara iklimi görülmektedir. Kıyılarda yaz ve kış arasındaki ısı farkı azdır. İç kısımlarda ise bu fark büyüktür. Dağlık doğu bölgede kışlar sert ve yazlar serin geçer, (<https://www.cografya.gen.tr/tr/balikesir/iklim.html> ). Yıl boyunca ortalama sıcaklık 20,2°C dolaylarındadır. En soğuk ay Ocak (ortalama maksimum 4,6 °C) ve en sıcak ay Temmuz ayıdır (ortalama maksimum 24,8 °C). Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir. Yılın en kurak ve en yağışlı ayı arasındaki fark 77 mm'dir (Şekil 2.3). Hâkim rüzgâr yönü kuzey, mevsimsel değişimlere bağlı olarak ikincil hâkim rüzgâr yönü ise kuzeydoğudur (<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=BALIKESIR> ).



**Şekil 2. 3:** Balıkesir yağış ve sıcaklık grafiği.

Balıkesir'in bağıl nem oranları ise Şekil 2.4'te verilmiştir. 2020 yılı aylık ortalama sis ve nem oranlarına göre Aralık ayındaki nem seviyesi %80 ile en yüksektir ve kış ayları boyunca nem oranının yüksek olduğu görülmektedir. En düşük nem oranı %53 ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Genel olarak yaz aylarında iklim daha kuru hale gelmektedir. 2020 yılı yıllık ortalama nem oranı %67,25 olmuştur.



**Şekil 2. 4:** Balıkesir aylık nem oranları.

Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre ise Balıkesir Csa iklim kuşağında yer almaktadır. (<https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/bal%C4%B1kesir/bal%C4%B1kesir-177/>). Köppen İklim Sınıflandırması, 5 ana grupta toplanmıştır. Bunlar: Tropikal İklimler (A), Kurak İklimler (B), Sıcak Ilıman İklimler (C), Soğuk Kar İklimleri (D) ve Polar İklimler (E) dir. Köppen İklim Sınıflandırması'nın ikinci harfi yağış rejimini gösterir. C iklim tipinde 2'inci harfinin bulunması için yaz ve kış aylarındaki yağışın minimum ve maksimumları Yaz aylarındaki en düşük yağış, kış aylarındaki en düşük yağıştan küçükse ve kış aylarındaki en yüksek yağış, yaz aylarındaki en düşük yağışın en az üç katı ise ve yaz aylarındaki en düşük yağış, 40 mm'den küçükse, "Cs" Kurak Yaz ile Sıcak Ilıman İklim tipi bulunur. Sınıflandırmanın üçüncü harfi bölgenin sıcaklık durumuna göre tespit edilir (Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 2016).

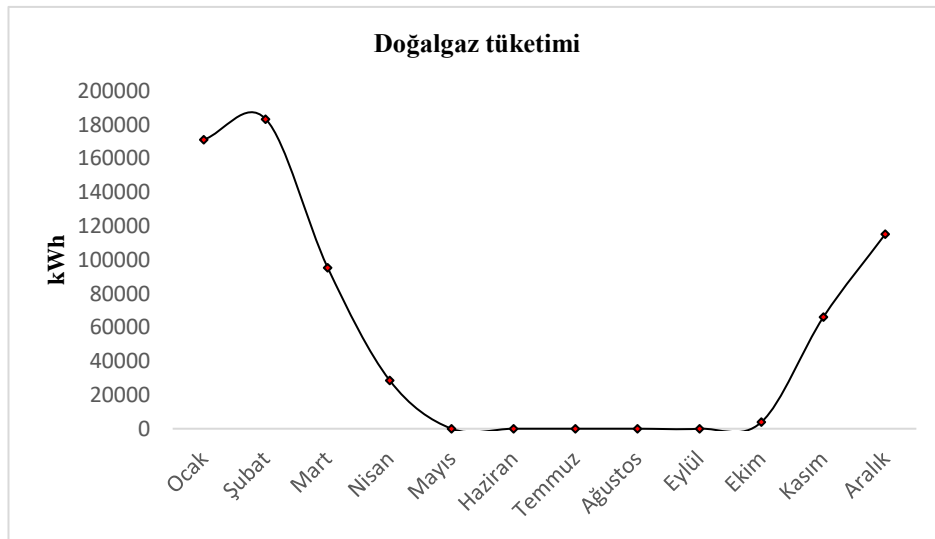
## 2.2 Anahtar Performans Göstergeleri

Binaların farklı tasarım değişkenleri ve senaryolar üzerindeki performansını değerlendirmek için bazı metrik değerlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle bina performansı genellikle çeşitli performans göstergeleriyle (PG) ifade edilir. Performans göstergeleri, objektif olarak ölçülebilir göstergelerdir ve zaman içindeki bina performansını analiz etmek için kullanılır. Ayrıca, tasarım aşamasında performans gereksinimlerini test etmek ve çalışma sırasındaki gerçek performansı ölçmek için de kullanılabilirler (Augenbroe ve Soo Park, 2005). Bu durumda bir performans göstergesinin, nicel kriterler kullanarak bina için performans hedeflerini temsil etmesi amaçlanmaktadır. Binalar için enerji tüketimi konusunda en yaygın kullanılan gösterge MJ/m<sup>2</sup>'deki enerji kullanım yoğunluğudur. Bu gösterge ile farklı bina

tipleri ve boyutları karşılaştırılabilir (IEA, 2013). Bu çalışmada ise ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri için literatürde sıkça kullanılan kWh gösterge olarak seçilmiştir.

### 2.3 Verilerin toplanması

Mevcut çalışma için, Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğünden, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binası 2018 yılına ait doğal gaz tüketim verileri temin edilmiştir (Şekil 2.5). Bu yıla ait verilerin seçilmesinde 2019-2020 bahar döneminde meydana gelen pandemi (COVID-19) etkili olmuştur. COVID-19'un etkisiyle 2019-2020 bahar döneminde yüz yüze eğitim yapılamamıştır. Bu nedenle yüz yüze eğitim yapılan tüm bir yıla ait verilerin olduğu 2018 yılı güz ve bahar dönemlerine ait veriler seçilmiştir. Ancak elektrik tüketim değerleri elde edilememiştir çünkü; Rektörlük, Mühendislik Fakültesi ek binası ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binalarının toplam elektrik tüketim değerleri vardır. Elde edilen verilere göre en yüksek doğal gaz tüketimi Ocak, Şubat ve Aralık aylarında görülmüştür. Doğal gaz tüketim değerlerinin bu aylarda yüksek olması kış aylarındaki ısıtma talebi ile açıklanabilir.



**Şekil 2. 5:** Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek bina doğal gaz aylık tüketim değerleri.

Enerji tüketimi kadar bina kullanımı yani doluluk oranıda önemlidir ve çeşitli şekillerde ifade edilebilir. Örneğin bina doluluğu, yıllık çalışma süreleri ile ortalama doluluk seviyelerinin çarpımı olarak veya toplam kişi saatlerinin (her bina kullanıcısının çalışılan alanda harcadığı saatlerin toplamı) sayılmasıyla hesaplanabilir. Genellikle doluluk tasarım

aşamasında öngörülebilir ve binaların kullanım süreleri ise binanın amacına göre değişkenlik göstermektedir (Huovila, Tuominen ve Airaksinen, 2017).

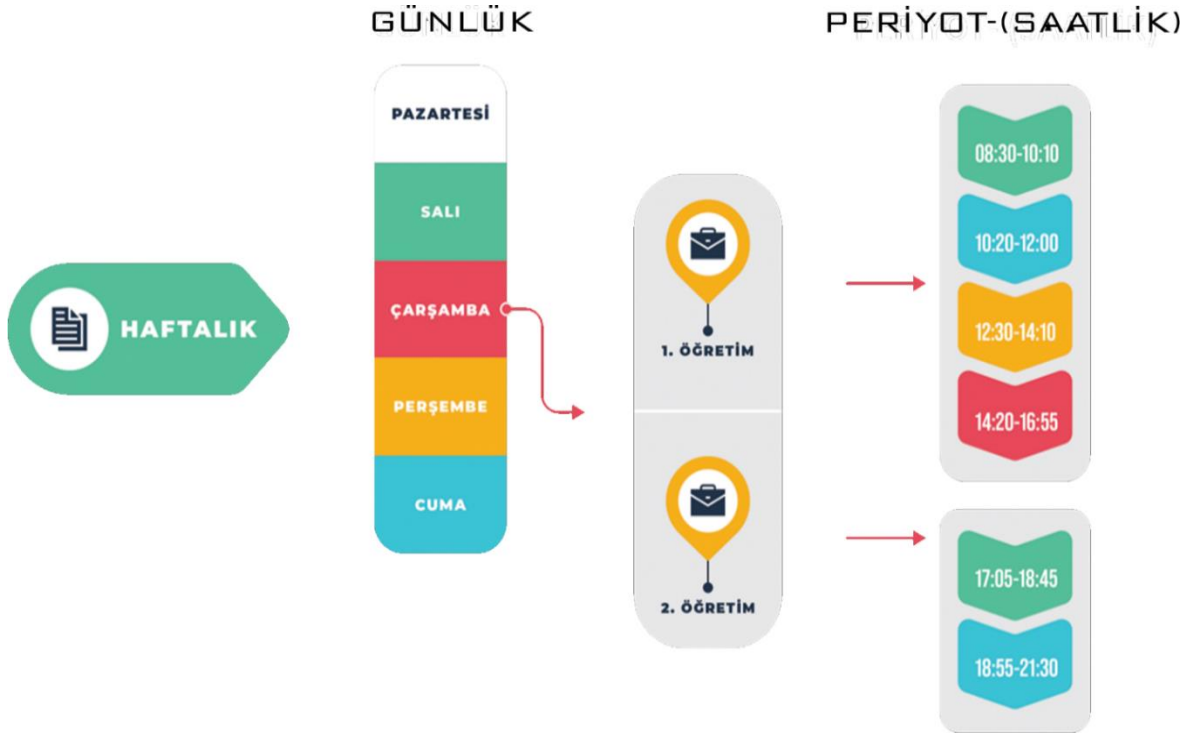
Doluluk, hem enerji tüketimi hem de iç ortam kalitesi ile ilgili kritik bir bilgidir (Azar ve C. Menassa, 2012). Enerji tüketimini uygun şekilde analiz etmek ve karşılaştırmak için incelenen binanın doluluk verilerinin bilinmesi gerekmektedir. Kurumsal binalardaki doluluk profillerini ölçmek ve modellemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (J. Yang, Santamouris ve S.E. Lee, 2016). Kullanılan en temel ve basit yöntem ankettir. Bu yöntem mekandaki günlük aktiviteleri ve binanın doluluk modelini haritalandırmaya odaklanır. Ancak bu yöntemde verilerin toplanması çok zaman alabilir ve binanın gerçek doluluk modelini temsil etmeyebilir. Radyo frekanslı (RF) doluluk sensörleri, iç mekandaki doluluğun ve kullanıcı sayısının tespiti için kullanılan bir araçtır. Bu sensörler, mekan içerisindeki faaliyetleri algılar ve doluluk durumunu gösteren bir kontrol sinyali göstermektedir. Doluluk tespiti ve modeli için kullanılan diğer yöntemler; kızılötesi, ultrason veya video kameralardan gelen bilgilere dayanmaktadır. Bilgilerin doğruluğu ortam değişiklikleri nedeniyle sabit olmayabilir. Bu doluluk sensörleri, sadece kapsama alanındaki faaliyetleri algılar (Gu vd., 2009). Bir mekanda bulunanların sayısını tahmin etmek için karbondioksit (CO<sub>2</sub>) sensörleri kullanılan bir diğer araçtır. Bu sensör pencerelerin ve kapıların konumları ile yolcuların sensöre yakınlığı gibi faktörlerden etkilenebilir. Ayrıca tahmin hatalarındaki belirsizlikler ve CO<sub>2</sub> sensörü yanıtlarının gecikmesi doluluk hesaplaması için sınırlayıcı olabilir (Meyn vd., 2009). Ek olarak Global Positioning System (GPS), hücresel veri, Wireless Local Area Network (WLAN) ve Bluetooth gibi modern bilgi teknolojileri de doluluk tespiti ve sayma araştırmalarında uygulanan yöntemlerdir (Hallberg vd., 2009; Wahl vd., 2012).

Bu çalışmada, Mühendislik Fakültesi ek binasına ait doluluk bilgileri, personel sayısı, derslere kayıtlı öğrenci sayısı ve bu binada bulunan bölümlere ait ders programlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Ders programları genellikle her bölüm tarafından her yarıyıl için hazırlanır. Her bölüm istenilen zaman dilimi için, derse kayıtlı öğrencileri seçtiği sınıfa atamaktadır. Toplam öğrenci sayısı, her bir zaman dilimi için programda görünen farklı bölümlerdeki derslere kayıtlı öğrenci sayılarının toplanmasıyla elde edilir. Öğrencilerin kullandığı mekanlara ek olarak üniversite personellerinin de kullandığı mekanlar doluluk hesaplamalarında kullanılmıştır. Doluluk hesaplamaları aşağıda verilen aşamalar izlenerek yapılmıştır:



### Aşama 1: Zaman kullanımının sınıflandırılması:

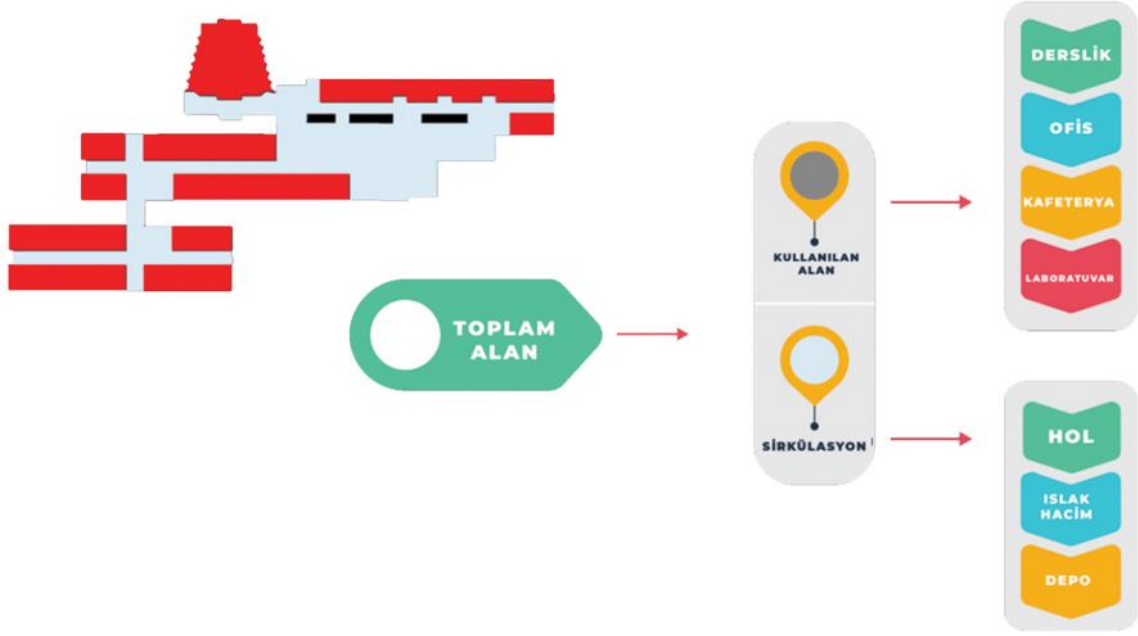
Bir hafta günlük bazda incelenmiştir. Her gün ise birinci öğretim ve ikinci öğretim olarak ele alınmıştır ve bu öğretimler ders saatlerine uygun bir şekilde periyotlara bölünmüştür (Şekil 2.6). Birinci öğretim dört farklı (08:30-10:10, 10:20-12:00, 12:30-14:10 ve 14:20-16:55) periyotta incelenirken ikinci öğretim ise iki farklı (17:05-18:45 ve 18:55-21:30) periyotta incelenmiştir.



Şekil 2. 6: Gün içindeki zaman periyotları.

### Aşama 2: Alanların sınıflandırılması:

Alanlar sınıflandırılırken toplam alan, kullanılan alan ve sirkülasyon olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Kullanılan alanı derslikler, ofis alanları, kafeterya ve laboratuvar olarak tanımlanırken, sirkülasyon alanı hol, ıslak hacim ve depo olarak belirlenmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7: Alanların sınıflandırılması

### Aşama 3: Doluluk oranı hesaplaması:

Mekan kullanımı bazlı doluluk oranı hesaplamaları için binada bulunan bölümlere ait ders programlarından yararlanılmıştır (Şekil 2.8). Daha sonra hesaplamalar periyodik (saatlik), günlük ve haftalık olarak formülize edilmiştir.

Ders programlarına ait derslik kullanım saatleri bilgileri excel programına aktarılmıştır. Daha sonra bu programda mekanların ismi, mekanların alanları, bir gün içerisinde bulunan birinci ve ikinci öğretime ait toplamda altı periyot ve saatleri, doluluk hesaplaması yapılacak olan kata ait alan ve hacim bilgileri düzenlenmiştir (Şekil 2.9). Bu bilgiler doğrultusunda doluluk-boşluk oranları hesaplanmıştır. Bu bölümde örnek olarak 2019-2020 güz dönemi salı günü ikinci kata ait hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Tüm dönemlere ait verilerin daha detaylı analizi ve sonuçları bölüm 2.3'te açıklanmıştır.

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 2019-2020 EĞİTİM ÖĞRETİM YILI GÜZ DÖNEMİ DERS PROGRAMI							
GÜN	DERS	SAAT	1. SINIF	2. SINIF	3. SINIF	4. SINIF	
PAZARTESİ	1	08.30-09.15					Bil. Müh. Tas.
	2	09.25-10.10					Bil. Müh. Tas.
	3	10.20-11.05	BIL1107 Bilgisayar Mühendisliğine Giriş	BMT2101 Bilgisayar Destekli Teknik Çizim	BIL3105 Bilgisayar Ağları Lab C106		Bil. Müh. Tas.
	4	11.15-12.00					Bil. Müh. Tas.
	5	12.30-13.15					Bil. Müh. Tas.
	6	13.25-14.10	BIL1105 Lineer Cebir	BIL2107 Veri Yapıları Ve Algoritmalar	BIL3103 Bilgisayar Ağları	BMM410 Sinyaller ve Sistemler	Bil. Müh. Tas.
	7	14.20-15.05					Bil. Müh. Tas.
	8	15.15-16.00	M9305	M9302	M9307	M9308	Bil. Müh. Tas.
	9	16.10-16.55					Bil. Müh. Tas.
SALI	1	08.30-09.15					Bil. Müh. Tas.
	2	09.25-10.10		BIL2103 Elektronik Devreler	BMM3103 Java Programlama		Bil. Müh. Tas.
	3	10.20-11.05	AIT1101 Atatürk İlkeleri Ve İnkılap Tarihi I	M9306	M9307		Bil. Müh. Tas.
	4	11.15-12.00					Bil. Müh. Tas.
	5	12.30-13.15			BIL3101 Bilgisayar Organizasyonu		Bil. Müh. Tas.
	6	13.25-14.10	MAT1101 Matematik I M9305	BIL2109 Nesneye Yönelik Programlama	M9307	BMM4103 Mobil Programlama	Bil. Müh. Tas.
	7	14.20-15.05		M9302		M9303	Bil. Müh. Tas.
	8	15.15-16.00			Teknik İngilizce* Endüstri Müh. K8204		Bil. Müh. Tas.
	9	16.10-16.55					Bil. Müh. Tas.
ÇARŞAMBA	1	08.30-09.15				BMS4101 Girişimcilik I	Bil. Müh. Tas.
	2	09.25-10.10					Bil. Müh. Tas.
	3	10.20-11.05	TDI1101 Türk Dili I M9305	BMS2101 Girişimcilik M9306	BIL3109 Veritabanı Yönetim Sistemleri M9307	ISG4101 İş Sağlığı ve Güvenliği I	Bil. Müh. Tas.
	4	11.15-12.00					Bil. Müh. Tas.
	5	12.30-13.15	FIZ1102 Fizik Lab. I FizikLab FizikLab				Bil. Müh. Tas.
	6	13.25-14.10					Bil. Müh. Tas.
	7	14.20-15.05	FIZ1101 Fizik I M9305				Bil. Müh. Tas.
	8	15.15-16.00			USD0039 Web Tasarımı** M9302		Bil. Müh. Tas.
	9	16.10-16.55					Bil. Müh. Tas.
PERSEMBE	1	08.30-09.15					Bil. Müh. Tas.
	2	09.25-10.10	BIL1103 Programlama I	BIL2101 Diferansiyel Denklemler	BIL3107 Biçimsel Diller Ve Otomatlar	BMM4105 Gömülü Sistemler	Bil. Müh. Tas.
	3	10.20-11.05					Bil. Müh. Tas.
	4	11.15-12.00	C106	M9306	M9307	M9308	Bil. Müh. Tas.
	5	12.30-13.15					Bil. Müh. Tas.
	6	13.25-14.10	MAT1101 Matematik I M9305	BIL2105 Elektronik Devreler Lab H7204		BMM4101 Yapay Zeka Teknikleri	Bil. Müh. Tas.
	7	14.20-15.05					Bil. Müh. Tas.
	8	15.15-16.00	YDI1101 Yabancı Dil I M9305			M9308	Bil. Müh. Tas.
	9	16.10-16.55					Bil. Müh. Tas.
CUMA	1	08.30-09.15					Bil. Müh. Tas.
	2	09.25-10.10					Bil. Müh. Tas.
	3	10.20-11.05	BIL1109 Programlama Lab I (A) M9302				Bil. Müh. Tas.
	4	11.15-12.00					Bil. Müh. Tas.
	5	12.30-13.15					Bil. Müh. Tas.
	6	13.25-14.10					Bil. Müh. Tas.
	7	14.20-15.05	BIL1109 Programlama Lab I (B) M9302				Bil. Müh. Tas.
	8	15.15-16.00					Bil. Müh. Tas.
	9	16.10-16.55					Bil. Müh. Tas.

Şekil 2. 8: Hesaplamalar yapılırken kullanılan Bilgisayar Mühendisliği bölümü 2019-2020 eğitim öğretim yılı güz dönemine ait ders programı.

Bu hesaplamalar aşağıda gösterildiği şekilde yapılmıştır;

1- Periyotlara göre doluluk oranı (pd)

$$pd = \frac{(A_1 * P + A_2 * P \dots \dots \dots A_n * P)}{(A_t * P)} \quad (2.1)$$

pd = Periyot doluluk oranı

$A_1, A_2 \dots A_n$  = Derslik ,ofis, laboratuvar, kafeterya alanı

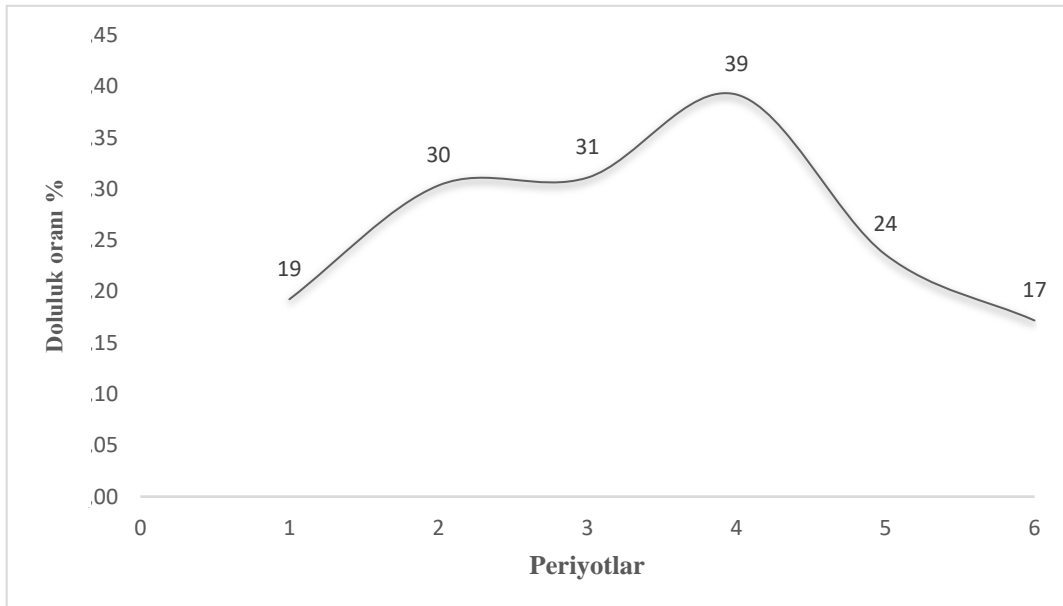
$P$  = Bir periyottaki toplam saat

$A_t$  = Toplam kat alanı

PERİYOTLAR		ALAN																										
		m <sup>2</sup>																										
		16,25	17,5	19,3	15,8	15,8	24	23,6	22,8	24,07	16	31,2	16	16,7	23,5	24	24	24,5	15,7	16,7	17,6	84,7	70,9	72,25	115	27	27	2
		G-6201	G-6202	G-6203	G-6204	G-6205	G-6206	G-6207	G-6208	G-6209	G-6210	G-6211	G-6212	G-6213	G-6214	G-6215	G-6216	G-6217	G-6218	G-6219	G-6220	H 7201	H 7202	H 7203	H 7204	H 7205	H 7206	H 7207
P1	1 8:30-09:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2 9:25-10:10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3 10:20-11:05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4 11:15-12:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5 12:30-13:15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6 13:25-14:10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P2	7 14:20-15:05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	8 15:15-16:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	9 16:10-16:55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10 17:05-17:50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	11 18:00-18:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	12 18:55-19:40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P3	13 19:50-20:35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	14 20:45-21:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	P1-Toplam saat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	P1-Saatm2	32,5	35	38,6	31,6	31,6	0	47,2	45,6	0	32	62,4	0	0	0	0	48	48	49	31,4	33,4	35,2	0	0	0	0	0	0
	P2-Toplam saat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	P2-Saatm2	32,5	35	38,6	31,6	31,6	0	47,2	45,6	0	32	62,4	0	0	0	0	48	48	49	31,4	33,4	35,2	0	0	0	0	0	0
P3-Toplam saat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
P3-Saatm2	32,5	35	38,6	31,6	31,6	0	47,2	45,6	0	32	62,4	0	0	0	0	48	48	49	31,4	33,4	35,2	0	0	0	0	0	0	
P4-Toplam saat	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
P4-Saatm2	48,75	0	0	0	0	0	70,8	68,4	0	48	93,6	0	0	0	0	72	72	73,5	47,1	50,1	52,8	0	0	0	0	0	0	
P5-Toplam saat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P5-Saatm2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P6-Toplam saat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P6-Saatm2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Toplam saat	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Saatm2	146,25	157,5	173,7	142,2	142,2	0	212,4	205,2	0	144	280,8	0	0	0	0	216	216	220,5	141,3	150,3	158,4	0	0	0	0	0	0	
Toplam inşaat alanı (S <sub>i</sub> )	5105																											
Toplam inşaat alanı (S)	2940																											
Toplam hacim	20420																											

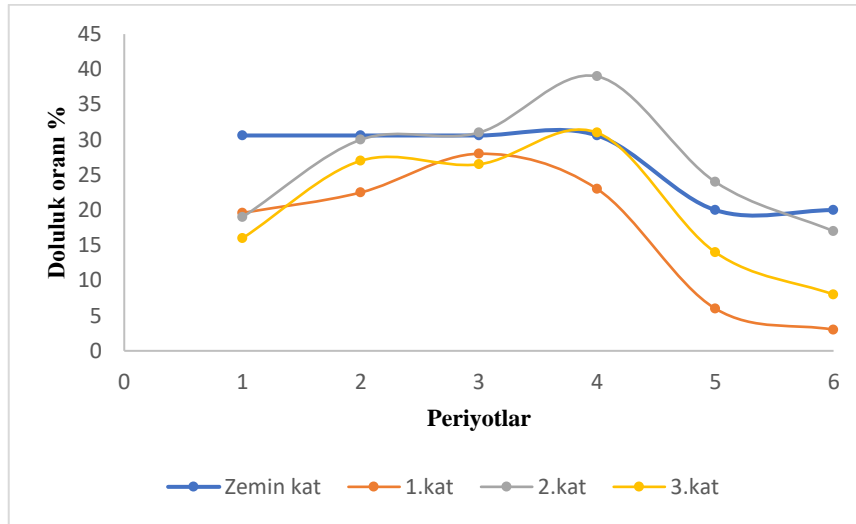
Şekil 2. 9: Excel programında verilerin gösterildiği hesaplama tablosu.

Bu hesaplamalar binaya ait haftanın beş günü için altı farklı periyot için yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda örnek olarak seçilen 2019-2020 güz dönemi binanın ikinci katına ait periyotlardaki doluluk oranları Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



**Şekil 2. 10:** 2019-2020 güz dönemi salı günü ikinci kata ait periyotlardaki doluluk oranları.

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi 2019-2020 güz döneminde bir kata ait periyotlardaki doluluk oranları birbirinden farklılık göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı %39 ile 4. Periyotta (14:20-16:55) görülürken en düşük doluluk oranının 6. periyotta (18:55-21:30) olduğu görülmüştür. 2019-2020 güz dönemi salı gününe ait binanın farklı katlarındaki tüm periyotlara ait doluluk oranları Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Şekil 2.11’de görüldüğü üzere 2019-2020 güz döneminde binanın farklı katlarına ait periyotlardaki doluluk oranları birbirinden farklılık göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı 2. kata ait 4. periyotta (14:20-16:55) görülürken en düşük doluluk oranının 1. kata ait 6. periyotta (18:55-21:30) olduğu görülmüştür.



**Şekil 2. 11:** 2019-2020 güz dönemi salı günü binanın farklı katlarına ait periyotlardaki doluluk oranları.

Tüm katların doluluk oranları karşılaştırıldığında en yüksek doluluk oranının genellikle 2.katta olduğu görülür. Ek olarak zemin katın doluluk oranında çok fazla değişkenliğin olmadığı gözlemlenmiştir çünkü zemin katta alanı büyük olan bir kafeterya bulunmaktadır. Bu kafeterya günün tüm periyotlarında çalıştığı kabul edilmiştir.

2- 1.ve 2. Öğretime göre Doluluk Oranı Hesaplaması

a- 1.Öğretim (NÖ) Doluluk Oranı Hesaplaması:

$$NÖ = \frac{pd_1 + pd_2 + pd_3 + pd_4}{A_t \times pt_1} \quad (2.2)$$

NÖ = 1.öğretim doluluk oranı hesaplaması

$pd_1$  = 1. Periyot doluluk oranı

$pd_2$  = 2. Periyot doluluk oranı

$pd_3$  = 3. Periyot doluluk oranı

$pd_4$  = 4. Periyot doluluk oranı

$A_t$  =Toplam kat alanı

$pt_1$  = 9 (1,2,3,4. periyotlardaki toplam saat ) olacak şekilde formülize edilmiştir.

#### b- 2. Öğretim (İÖ) Doluluk Oranı Hesaplaması

$$İÖ = \frac{pd_5 + pd_6}{A_t \times pt_2} \quad (2.3)$$

İÖ = 2.öğretim doluluk oranı hesaplaması

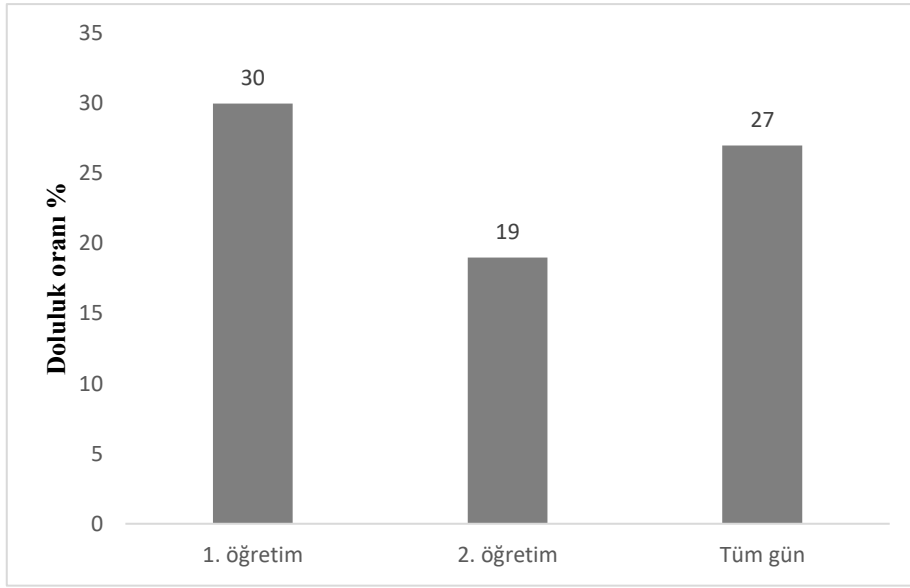
$pd_5$  = 1. Periyot doluluk oranı

$pd_6$  = 2. Periyot doluluk oranı

$A_t$  =Toplam kat alanı

$pt_2$  = 5 (5.ve 6. periyotlardaki toplam saat ) olacak şekilde formülize edilmiştir.

Bu hesaplamalar binaya ait bir gündeki (altı farklı periyot) hem birinci öğretim hem de ikinci öğretim için yapılmıştır. Daha sonra iki ayrı öğretim toplanarak bir güne ait bir katın doluluk oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 2019-2020 güz dönemine ait birinci öğretim, ikinci öğretim ve iki öğretimin toplamının tüm periyotlardaki toplam doluluk oranları Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



**Şekil 2. 12:** 2019-2020 güz dönemi salı günü ikinci kattaki farklı öğretime ait doluluk oranları.

Şekil 2.12’de de görüldüğü gibi 2019-2020 güz döneminde ikinci kata ait farklı öğretimlerdeki toplam doluluk oranları birbirinden farklılık göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı %30 ile birinci öğretimde görülürken en düşük doluluk oranının ise %19 ile ikinci öğretime ait olduğu görülmüştür. İkinci öğretimdeki doluluk oranının düşük olması binada bulunan farklı bölümlerin bazılarının ikinci öğretimi olmamasından kaynaklanmaktadır.

### 3- Binadaki Tüm Katlara Ait Günlük Doluluk Oranı Hesaplaması (BÖ)

$$BÖ = \left( \frac{TÖ_{zemin\ kat} \times zemin\ kat\ alanı + TÖ_{1.kat} \times 1. kat\ alanı \dots \dots TÖ_{n\ kat} \times n. kat\ alanı}{TA} \right) \quad (2.4)$$

$$TÖ = \frac{pd_1 + pd_2 + pd_3 + pd_4 + pd_5 + pd_6}{A_t \times (pt_1 + pt_2)}$$

$TA$  = Toplam inşaat alanı

$pd_1$  = 1. Periyot doluluk oranı

$pd_2$  = 2. Periyot doluluk oranı

$pd_3$  = 3. Periyot doluluk oranı

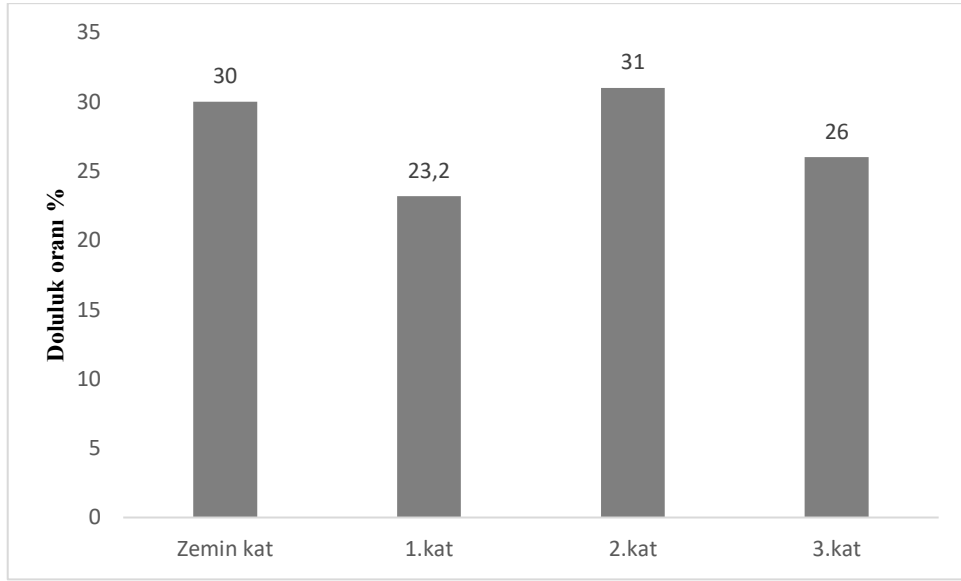
$pd_4 = 4$ . Periyot doluluk oranı

$A_t$  =Toplam kat alanı

$pt_1 = 9$  (1,2,3,4. periyotlardaki toplam saat )

$pt_2 = 5$  (5. ve 6. periyotlardaki toplam saat ) olacak şekilde formülize edilmiştir.

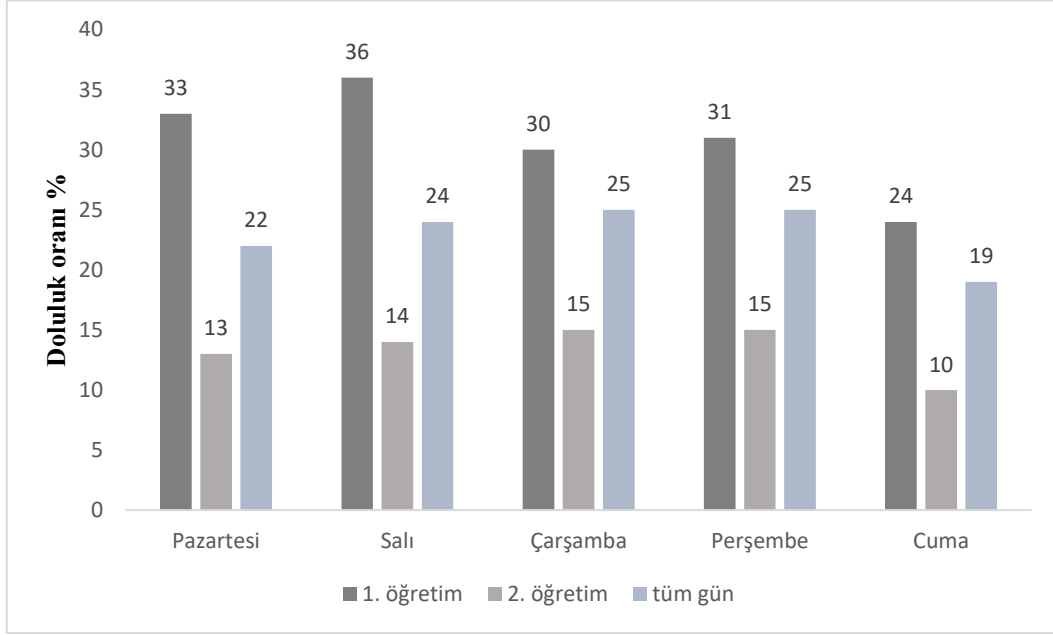
Bu hesaplamalar binanın tüm katlarına ait haftanın beş günü için yapılmıştır. Bunun sonucunda 2019-2020 güz dönemi salı gününe ait farklı katlardaki günlük doluluk oranları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.13:** 2019-2020 güz dönemi salı gününe ait farklı katlardaki günlük doluluk oranları.

Şekil 2.13'te görüldüğü üzere 2019-2020 güz dönemi salı gününe ait farklı katlardaki günlük doluluk oranları birbirinden farklıdır. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı %31 ile 2. katta olduğu görülürken en düşük doluluk oranının ise %23,2 ile 1. katta olduğu görülmüştür. Son olarak hesaplamalar bir haftadaki farklı günlere ait doluluk oranları hem birinci öğretim hem de ikinci öğretim için yapılmıştır. Daha sonra iki ayrı öğretimin doluluk oranları toplanıp ortalamasının alınmasıyla farklı günlere ait doluluk oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda 2019-2020 güz dönemine ait birinci öğretim, ikinci öğretim ve tüm gün toplam doluluk oranları Şekil 2.14'te verilmiştir. Daha sonra tüm günlerin toplam doluluk oranlarının ortalaması alınarak binaya ait haftalık oranlar hesaplanmıştır.





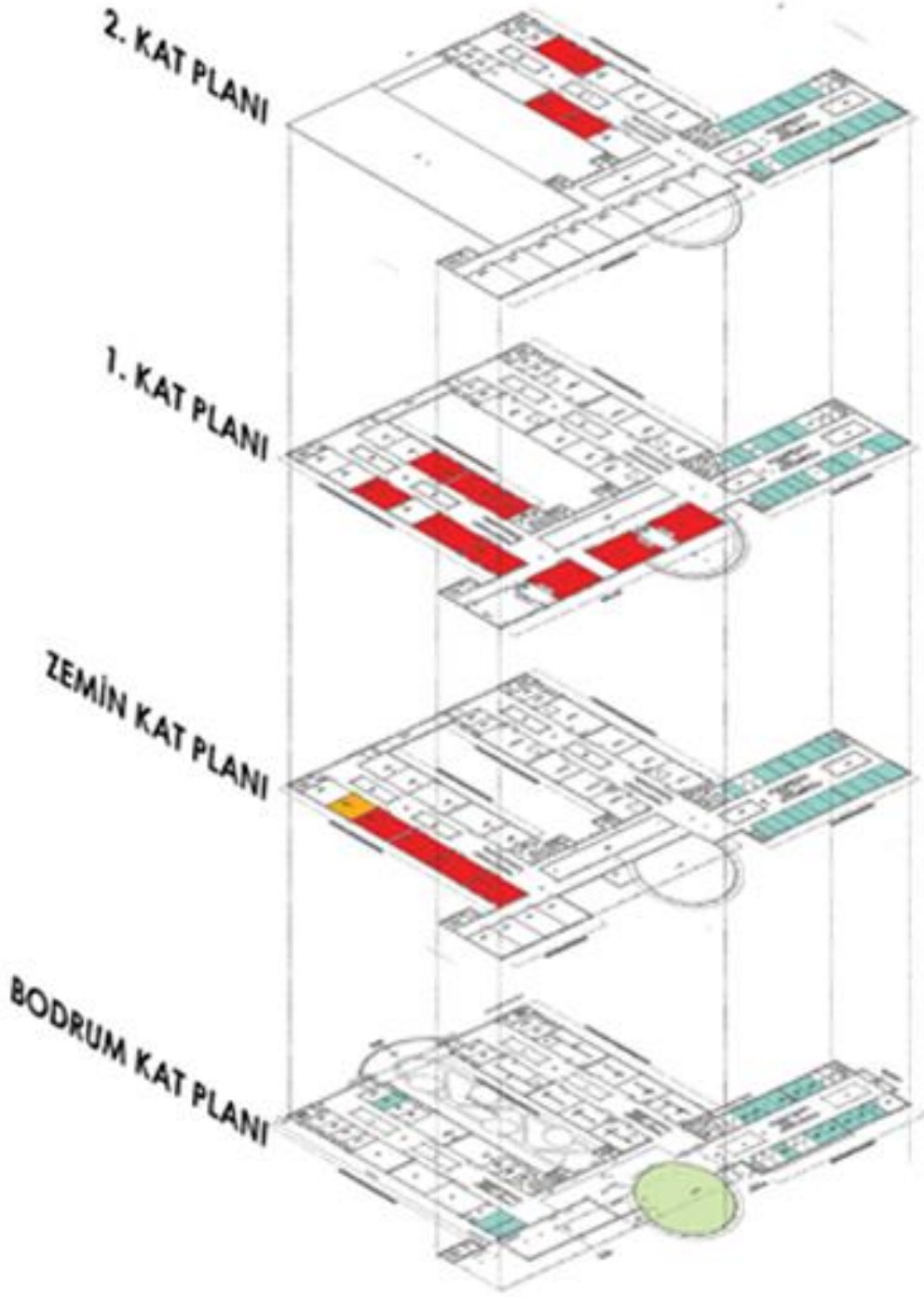
**Şekil 2.14:** 2019-2020 güz dönemine ait günlük doluluk oranları.

Şekil 2.14’te de görüldüğü gibi 2019-2020 güz döneminde farklı günlere ait farklı öğretimlerdeki toplam doluluk oranları birbirinden farklıdır. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı %36 ile birinci öğretimdeki salı gününde görülürken en düşük doluluk oranının ise %10 ile ikinci öğretimdeki cuma gününe ait olduğu görülmektedir. Daha önce ifade edildiği gibi ikinci öğretimdeki doluluk oranının düşük olması binada bulunan farklı bölümlerin bazılarının ikinci öğretime ait ders saatlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Gerekli tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra binaya ait kullanım senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar sayesinde binanın günün herhangi bir zaman diliminde nasıl kullanılacağı, dersliklere ve binanın diğer mekanlarına yerleşimlerin nasıl yapılacağı temsili olarak Şekil 2.15’te verilmiştir.

### **2.3.1 Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi**

Derslerin dersliklere nasıl yerleştirildiğini daha iyi anlayabilmek için derse kayıtlı öğrenci sayısı ile derslik kapasitesi arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını incelenmiştir. Bunun için ilgili bölümlerin ders programlarından yararlanılmıştır. Daha sonra dersliklerin kapasiteleri mimari proje üzerinden tespit edilmiştir. Bu veriler ile ilgili dağılımlar Şekil 2.16’ da verilmiştir. Elde edilen veriler önce excel programına aktarılmış daha sonra derse alan öğrenci sayısı ile derslik kapasitesi arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını incelemek için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı kullanılmıştır.

SPSS sosyal bilimcilerin kullanımı amacıyla hazırlanmış bir istatistik programıdır.

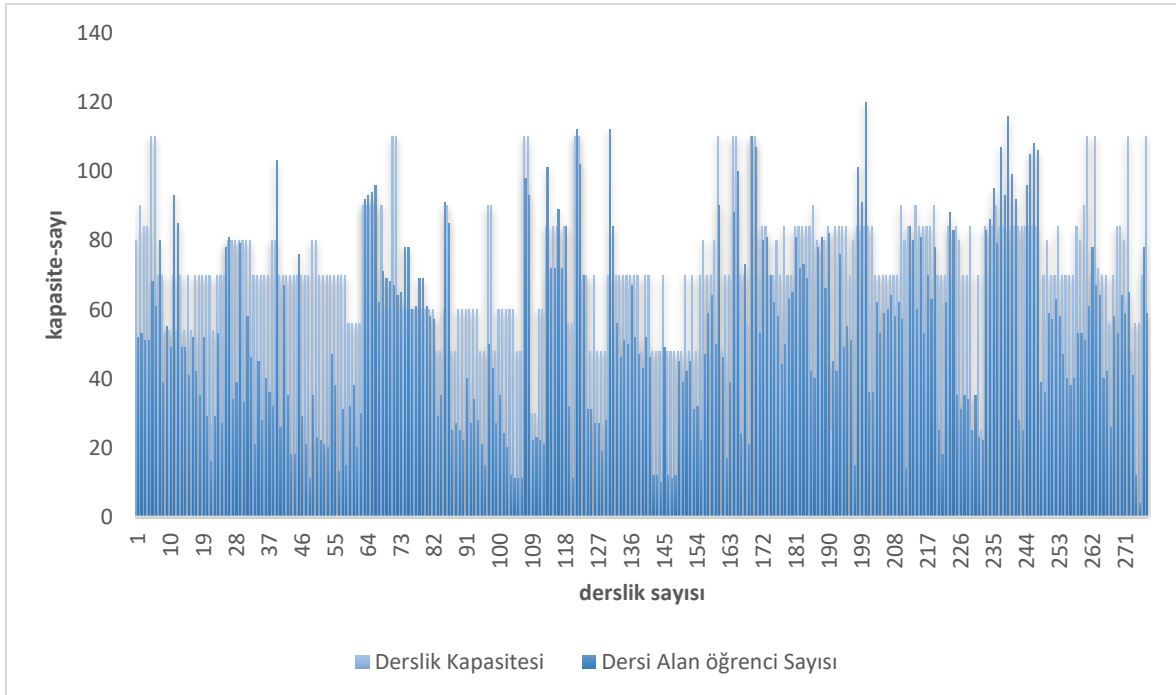


Şekil 2.15: 2019-2020 güz dönemi Salı gününe ait temsili doluluk senaryosu.

Bu program, basit yöntemlerle veri analizi gerçekleştirebilen en popüler istatistiksel yazılımlardan biridir. SPSS neredeyse her tür dosyadan veri alabilir ve bunları tablolar halinde raporlar. SPSS hem nitel hem de nicel veriler için faydalıdır. SPSS araştırmacılar tarafından istatistiksel analiz yapmak için kullanılır. SPSS; veri hazırlama, analiz ve raporlamaya kadar analitik tüm süreçleri ele alır. Regresyon ve tahmini maksimizasyonu kullanarak eksik değerleri tahmini değerlerle ilişkilendirmeyi ve doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerin doğru modellemesini sağlar. Ayrıca sonuçları etkili bir şekilde göstermek için tablolar ve görselleştirmeler sunar.

SPSS ile,

- Faktör analizi,
- İki veri arasında korelasyon yani ilişki olup olmadığının tespiti,
- Regresyon eşitliğinin bulunması,
- t-testi, ANOVA, Mann Whitney U, Kruskal Wallis, Ki-kare gibi testler,
- Geo-mekansal analiz,
- Güç analizi,
- En yakın komşu analizi,
- Monte Carlo simülasyonu gibi analizler yapılabilmektedir  
(<https://www.ibm.com/tr-tr/products/spss-statistics/details>).



Şekil 2.16: Öğrenci sayısı ve derslik kapasitesinin dağılımı.

Bu çalışmada, iki değişken arasında korelasyon yani ilişki olup olmadığının tespiti (pearson r) yapılmıştır. Korelasyon analizi sonucunda, ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı (r) ile gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değerler alabilir. Korelasyon katsayısı  $r = -1$  ise tam negatif doğrusal bir ilişki vardır,  $r = +1$  ise tam pozitif doğrusal bir ilişki vardır ve  $r = 0$  ise iki değişken arasında ilişki yoktur anlamına gelmektedir. İki değişken arasındaki ilişkinin negatif olması, değişkenlerden birine ait ölçümler artar iken diğer değişkene ait ölçümlerin azaldığını gösterir ( $\uparrow\downarrow$ ). İki değişken arasındaki ilişkinin pozitif olması, değişkenlerden birine ait ölçümler artar iken diğer değişkene ait ölçümlerin de arttığını gösterir ( $\uparrow\uparrow$ ). (Büyüköztürk, Çokluk ve Köklü, 2018). Bu ilişkinin düzeyinin ne kadar olduğu ile ilgili değerler Tablo 2.2' de verilmiştir.

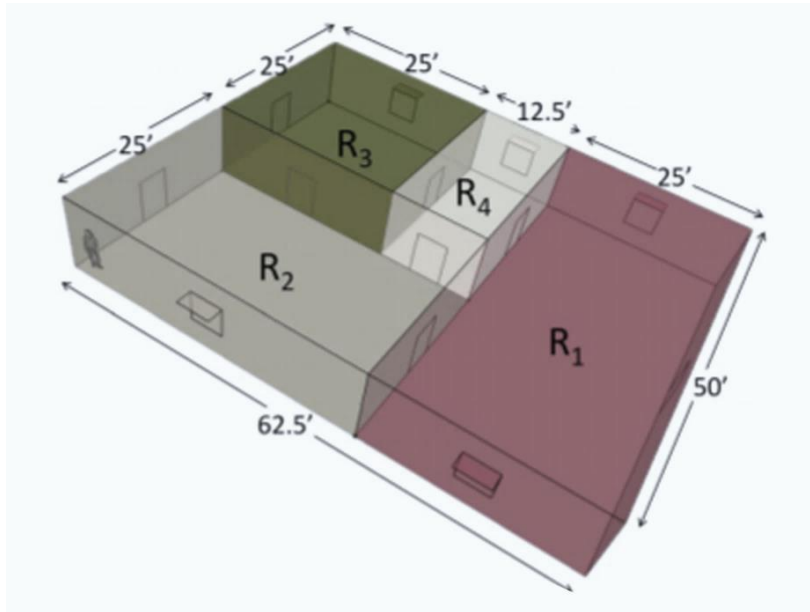
**Tablo 2.2:** İki değişken arasındaki ilişki düzeyi.

<b>r</b>	<b>İlişki düzeyi</b>
0.01	ilişki yok
0.01-0.29	düşük düzeyde ilişki
0.30-0.70	orta düzeyde ilişki
0.71-0.99	yüksek düzeyde ilişki
1.00	mükemmel ilişki

### 2.3.2 Derslik yerleşim senaryoları

Binalar, bina kullanıcılarının faaliyetlerini gerçekleştirebilecekleri çok çeşitli mekanlardan oluşur (yaşama, ticari, eğitim, cerrahi, idari, vb.). Bununla birlikte, tüm odaların farklı büyüklük ve işlevsel kapasiteleri olduğundan, konfor gereksinmelerini sağlayabilmek için kullanıcıların uygun şekilde yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, oda büyüklüğünün ve konumunun ısıtma ve soğutma yükleriyle ilişkisi nedeniyle enerji tüketimini azaltmak için uygun oda tahsisi yapılmalıdır. Büyük odalar daha fazla hacme sahip olduğundan, daha fazla ısıtma ve soğutma enerjisine ihtiyaç duyarlar (K. Song vd., 2017). Eğitim binaları için, derslerin gereksinimlerine bağlı olarak daha uygun sınıflara tahsis eden çeşitli teknikler geliştirilmiştir (E. Burke ve Sanja Petrovic, 2002). Ayrıca, enerji tasarrufu sağlamak için

kullanıcıların odalara yerleşimi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sınıf planlamasıyla enerji verimliliğini arttırmak amacıyla, Tayland'daki bir üniversitede ders çizelgeleme problemini çözmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Kullanılan algoritma, zaman çizelgesine yönelik diğer tüm algoritmalardan farklı olarak, sınıf enerji tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır. Algoritma, her sınıftaki öğrenci sayısını, ders saatini, sınıf büyüklüğünü, hem her sınıfa kaydolan öğrenciler hem de sınıflardan sorumlu öğretim üyeleri için mevcut zamanı ve sınıfın her zaman dilimindeki enerji tüketimini hesaba katmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmanın sınıflarda enerji tüketimini azalttığını göstermiştir (K. Sethanan, S. Theerakulpisut ve C. Benjapiyaporn, 2014). Majumdar ve arkadaşları (2016), toplantı odaları ile ilgili olarak bina enerji tüketimini etkileyen temel faktörleri belirleyerek enerji tasarruflu modeller geliştirmişlerdir. Amaç, toplantı odası yerleşimlerini belirlemektir (Şekil 2.17). Bu yerleşim, hem ısı konforu korurken hem de tüm toplantı odalarında toplam HVAC kaynaklı enerji tüketimini en aza indirmiştir. Sonuçta toplantı odaları için enerji açısından verimli bir program belirlemenin enerji tüketiminde önemli bir azalmaya katkıda bulunduğu ortaya konulmuştur.



**Şekil 2.17:** Simüle edilen binanın yerleşimi (Kaynak: K. Sethanan, 2014).

Toplantı odalarını hedef sıcaklığa yeniden soğutmak için gereken enerjiyi en aza indirmek amacıyla bir oda programlama algoritması önerilmiştir ve gerçek programa kıyasla, odalar için doluluk programlarının yeniden düzenlenmesi yoluyla çizilen programlarda yüksek enerji tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir (Y. Yuan vd., 2013). Başka bir çalışmada enerji

verimliliğini artırmak için odaların yeniden tahsis edilmesi için benzer doluluk programlarına sahip işlevleri bitişik odalara yerleştirmek, HVAC sistemleri tarafından harcanan önemli miktarda enerjiyi azalttığı görülmüştür (Z. Yang ve B.Gerber, 2014). Benzer çalışmalarda da açıklandığı gibi uygun oda tahsisinin bina sakinlerinin konforunu ve enerji verimliliğini önemli ölçüde olumlu yönde etkilediği ortaya konulmuştur. Ancak, sınıf dağılımının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin nicelleştirilmesi, önceki çalışmalara rağmen hala belirsizliğini korumaktadır. Daha spesifik olarak, sınıfların nasıl kullanılacağına bina enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için çok az girişim vardır. Bu çalışma kapsamında derslik yerleşimleri için birinci dönem ve ikinci döneme ait farklı senaryolar geliştirilmiştir (Tablo 2.3 ve Tablo 2.4).

**Tablo 2.3:** Birinci döneme ait geliştirilen derslik yerleşim senaryoları.

<b>SENARYOLAR</b>	<b>AÇIKLAMA</b>	<b>DOLULUK</b>
1K1	Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
1K2	Güneşin yönü esas alınmadan 2. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
1K3	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
1K4	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 1.kat ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (1. katın arka cephesi)	08:30-17:05
1K5	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 1.kat ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (1. katın ön cephesi)	08:30-17:05
1K6	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (2. katın ön cephesi)	08:30-17:05
1GS1	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30

1GS2	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
1GS3	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır	08:30-12:30
1GS4	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
1GS5	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp sırasıyla 2. kata ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır	08:30-12:30
1GS6	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
1GS7	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp sırasıyla 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır	08:30-12:30
1GÖ1	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı cephesi) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ2	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 3. Kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ3	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ4	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ5	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ6	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (batı cephesi) sırasıyla 3. kata ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05

1GÖ7	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ8	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ9	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 1. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
1GÖ10	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05

**Tablo 2.4:** İkinci döneme ait geliştirilen derslik yerleşim senaryoları.

<b>SENARYOLAR</b>	<b>AÇIKLAMA</b>	<b>DOLULUK</b>
2K1	Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
2K2	Güneşin yönü esas alınmadan 2. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
2K3	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-17:05
2K4	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 1.kat ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (1. katın arka cephesi).	08:30-17:05
2K5	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 1.kat ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (1. katın ön cephesi).	08:30-17:05
2K6	Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır (2. katın ön cephesi).	08:30-17:05



2GS1	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS2	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı cephesi) 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS3	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS4	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (güney cephesi) 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS5	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (batı cephesi) 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS6	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS7	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS8	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (batı cephesi) 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS9	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS10	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp (batı cephesi) 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS11	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp (batı cephesi) 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GS12	Güneşin yönü esas alınarak 3. kattan başlanıp 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	08:30-12:30
2GÖ1	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (kuzey cephesi) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
2GÖ2	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (kuzey cephesi) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
2GÖ3	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05

2GÖ4	Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
2GÖ5	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp (kuzey cephesi) sırasıyla 3. kata ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
2GÖ6	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05
2GÖ7	Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.	12:30-17:05

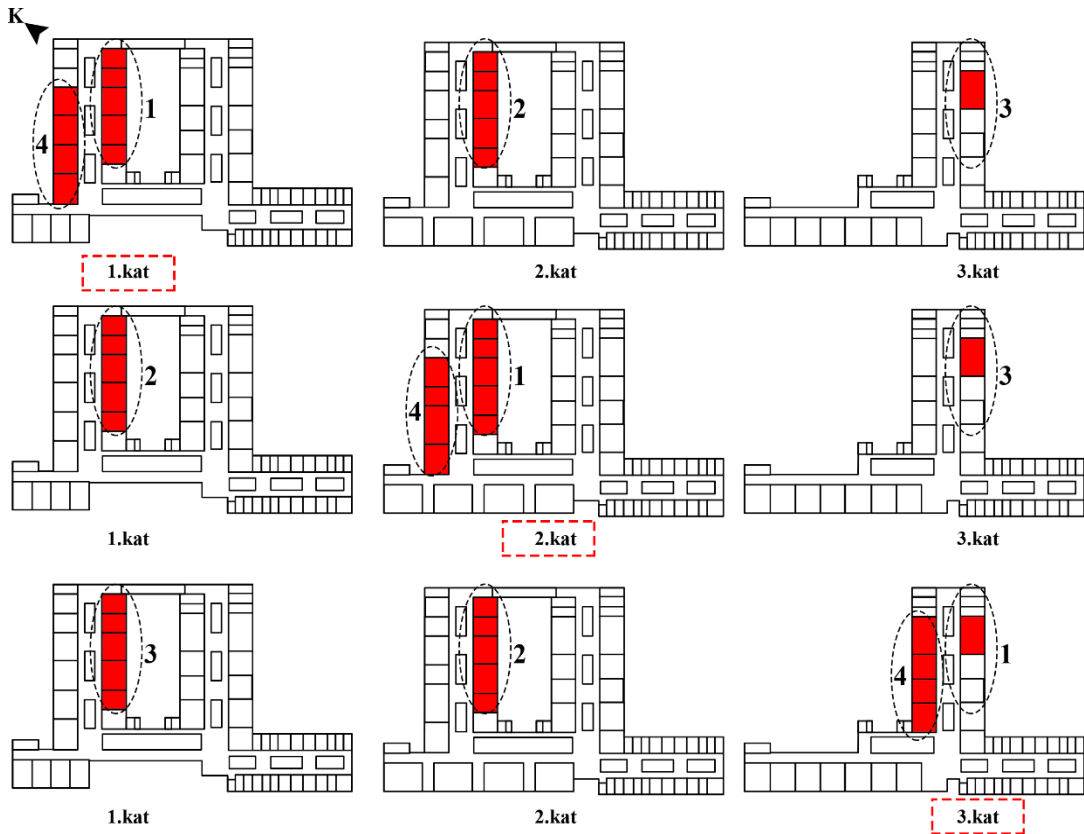
Bu senaryolar güneşin hareketi ve kat kullanım prensibine ( Şekil 2.18) göre hazırlanmıştır.



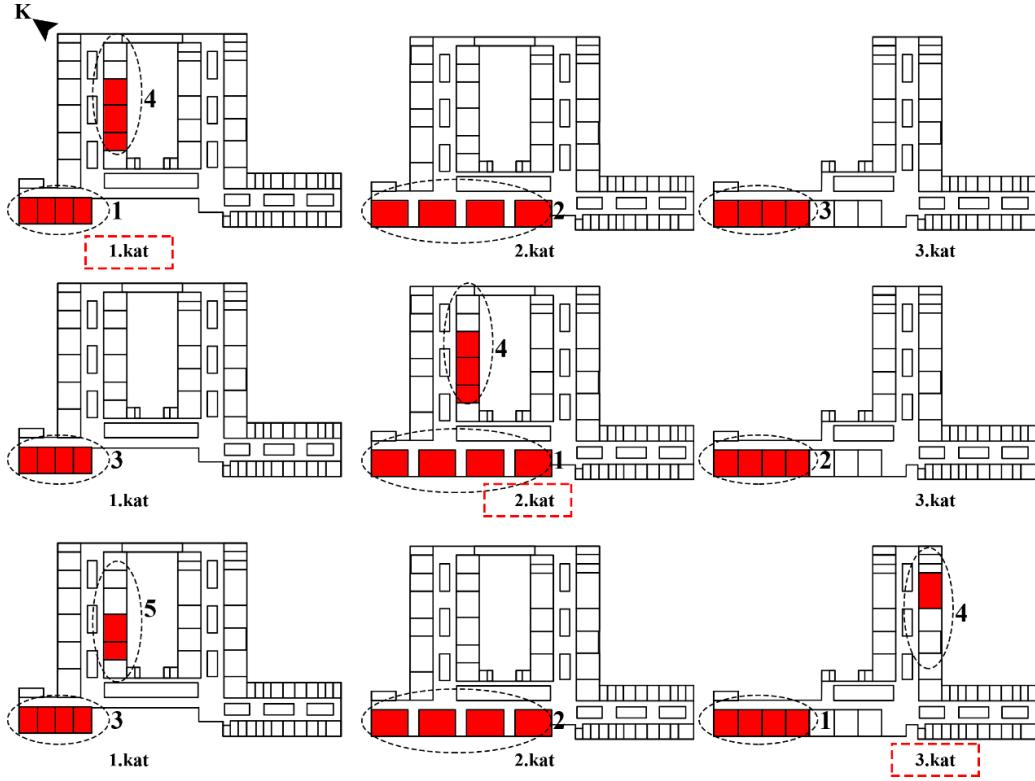
**Şekil 2.18:** Kat doldurma stratejisine göre derslik yerleşim senaryosu örneği.

Kat kullanım stratejisine göre derslik yerleşimi yapıldığında hangi kattan derslikler yerleştirilmeye başlanırsa o kattaki tüm derslikler dolmadan diğer katlara yerleşim yapılmayacaktır. Güneşin yönüne bağlı olarak geliştirilen senaryolarda ise gün sabah ve öğleden sonra olarak ikiye ayrılarak senaryolar geliştirilmiştir. İlk dönem kış mevsimi, ikinci

dönemin ise yaz mevsiminin ağırlıklı olduğu kabul edilmiştir. Kış döneminde güneşten ısı kazancı etkisinden yararlanmak, yaz döneminde güneşten ısı kazancı etkisinden kaçınmak üzerine derslik yerleşimi yapılmıştır. Birinci dönem (Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat) için derslik yerleşimi yapıldığında güneşin hareketine bağlı olarak derslikler sabah için geliştirilen senaryolarda doğu ve güneydoğu cephelerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.19). Öğleden sonra için geliştirilen senaryolarda derslik yerleşimleri batı ve güney yönlerine göre yapılmıştır (Şekil 2.20).

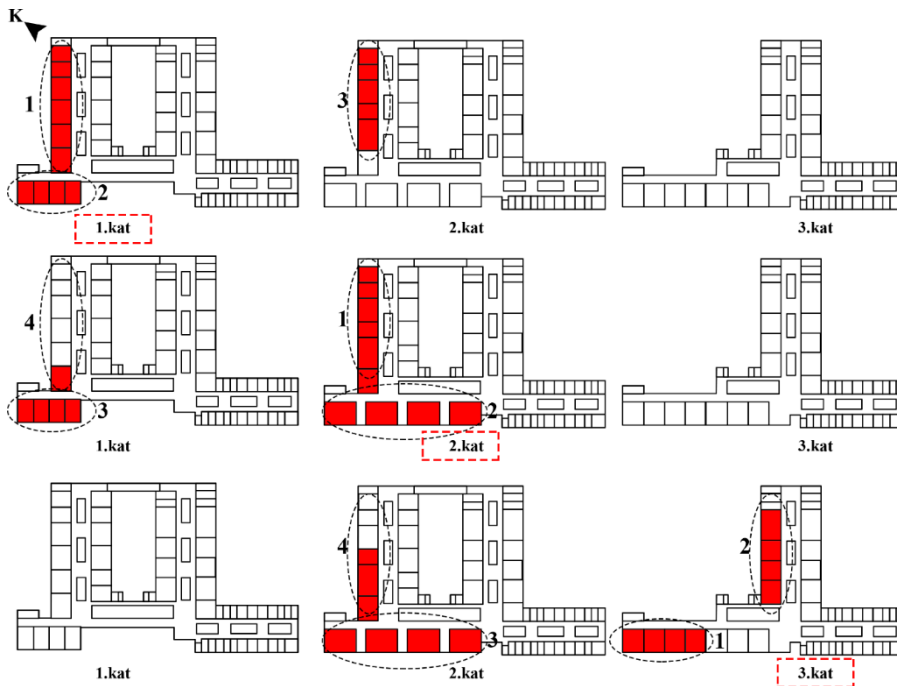


**Şekil 2.19:** Birinci dönem sabah güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği.



**Şekil 2.20:** Birinci dönem öğleden sonra güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği.

İkinci dönem (Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran) için derslik yerleşimi yapıldığında ise güneşin hareketine bağlı olarak derslikler sabah senaryolarında kuzey ve batı cephelerine yerleştirilirken (Şekil 2.21), öğleden sonra senaryolarında derslikler kuzey ve doğu cephelerine (Şekil 2.22) yerleştirilmiştir.



**Şekil 2.21:** İkinci dönem sabah güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği.



**Şekil 2.22:** İkinci dönem öğleden sonra güneşin etkisine bağlı derslik yerleşim senaryosu örneği.

Farklı dönemlere ait derslik yerleşimleri verilen şekillerde görüldüğü gibi hangi katta derslik yerleşimine başlandıysa öncelikle başlanan katın ve güneşin yönüne uygun bir şekilde yerleşim yapıp daha sonra diğer katlara derslik yerleşimi yapılmıştır. Bu kriterler dikkate alınarak birinci döneme ait 23 ve ikinci döneme ait 25 tane farklı senaryo geliştirilmiştir (EK A, EK B, EK C, EK D ve EK E).

#### 2.4 İklim senaryoları

İklim değişikliği, insanlığın karşı karşıya olduğu büyük zorluklardan biri olup iklim değişikliğinin sonuçlarından en önemlisi küresel ısınmadır. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) küresel iklim raporuna göre, son yıllarda sera gazı konsantrasyonu, küresel ortalama sıcaklık, küresel deniz seviyesi ve eriyen kriosferde sürekli bir artış görülmüştür (WMO, 2019). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneline (IPCC) göre, çeşitli sera gazı emisyon

senaryoları kullanılarak 1960-2100 döneminde 1-7°C'lik bir sıcaklık artış tahmin edilmektedir (Metz, Meyer ve Bosch, 2007).

Küresel ısınma nedeniyle binalarda, kullanıcı ısı konfor ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli enerji ihtiyacında değişim olması muhtemeldir. Bu değişiklikler esas olarak coğrafi bölgeye ve iklim türüne bağlıdır. Küresel ve uzun vadeli bir perspektiften bakıldığında, iklim değişikliğinin olumsuz etkisi, soğutma enerjisi talebinin bugüne göre daha fazla olacağını göstermektedir (H.W. Li, Yang ve C. Lam, 2012). Özellikle sıcak iklimlerde bu durum daha belirgin olacaktır. Soğuk veya çok soğuk iklimlerde, ısıtma amaçlı enerjideki azalma, soğutma için enerji artışını büyük ölçüde aşacaktır (H.W. Li, Yang ve C. Lam, 2012). Bu eğilim, ısıtma ihtiyacındaki azalmanın %20, soğutma ihtiyacındaki artışın ise 21. yüzyılın ortalarında %5 olacağı tahmin edilmektedir ve ılıman iklimlerde de benzer sonuçlar görülecektir (Collins, Natarajan ve G. Levermore, 2010). Farklı iklim bölgelerinde, mevcut binalarda artan enerji tüketimi nedeniyle sera gazı emisyon oranında artmaktadır. Bu nedenle, mevcut ve yeni binaları daha enerji verimli hale getirecek ortak ve stratejik bir yaklaşım oluşturmak için iklim değişikliğinin farklı iklimler üzerindeki etkisini bölgesel bir perspektiften incelemek yararlı olacaktır. Bu, mimarların binaların enerji taleplerini optimize etmelerine ve üretilen CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmalarına olanak tanıyacaktır (V. Rodríguez vd., 2020). İklim değişikliğinin binaların enerji tüketimine etkisi ile ilgili araştırmalar 1995 yılından beri yapılmaktadır. Bunu değerlendirmek için kullanılan genel yaklaşım; bir enerji simülasyon yazılımına gelecekteki hava durumu dosyası ve bir bina modeli tanımlamaktır (J. Scott, E. Donald ve L. Hadley, 1994). Dünyanın farklı bölgelerinde binalarda gelecekteki enerji tüketimini hesaplamak için gelecek iklim veri kaynaklarının, bina tiplerinin ve simülasyon araçlarının çeşitliliği önemlidir (Lam vd., 2010). İklim değişikliğine yönelik çalışmalar, Çin'deki farklı şehirleri nasıl etkileyeceğini (Wan vd., 2012), Amerika Birleşik Devletleri'ni nasıl etkileyeceğini (Wang vd., 2017), Birleşik Krallık'ı nasıl etkileyeceğini (Mavrogianni vd., 2017) ve bunun dünyanın diğer bölgelerini nasıl etkileyeceğiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bir çalışmada ABD'deki yedi iklim bölgesi için 56 senaryodan oluşan dört farklı gelecek iklim modeli kullanarak bir kampüs binasının enerji tahmini yapmışlardır (Z. Zhai ve J. Helman, 2018). Sonuçlar, soğutma enerjisinin farklı senaryolar için çeşitli şekillerde (%5, %28, %20 ve %52) arttığını göstermiştir. Başka bir çalışmada Çin'in tipik iklim bölgelerinde net sıfır enerjili bir binanın yaşam döngüsü analiz edilmiştir (J. Chai ,P. Huang ve Y. Sun, 2019). Farklı iklim bölgelerinde, iklim değişikliğinin enerji dengesi ve ısı konfor üzerindeki etkisinin önemli ölçüde değiştiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla değişen iklimde, bina kullanıcıları için

sağlık riskleri getiren aşırı ısınma ve elektrik kesintisi gibi sorunlardan kaçınmak için farklı senaryolar göz önünde bulundurularak bölgesel ölçekte ileriye dönük bina tasarımları önemli hale gelmektedir (P.Tootkaboni, 2021). Bu çalışmalar, iklim değişikliğinin etkisinin, soğuk ve sıcak iklim bölgelerinde bulunan konutlarda enerji kullanımındaki dengesizliği azaltacağını göstermektedir. Şu anda, soğuk bölgelerde bulunan binalar, mekanları soğutmaktan çok ısıtmak için daha fazla enerji kullanmaktadır. Sıcak bölgelerde bulunan binalar için bunun tam tersi geçerlidir. İklim değişikliğinin etkisi tüm bölgelerde sıcaklığı artıracak, bu nedenle soğuk bölgelerde bulunan binalar, soğutma gereksinimleri arttıkça tüketim modellerini uyarlamak zorunda kalacaklardır. Sıcak bölgelerde bulunan şehirlerde, ısıtma gereksinimleri (bugün zaten düşük olan) kademeli olarak azalacaktır (V. Rodríguez vd., 2020).

Gelecek iklim verilerinin oluşturulabilmesi için ücretsiz olarak erişilebilen güvenilir araçlar bulunmaktadır ve bu veri oluşturma sürecinde araştırmacının zamanından tasarruf sağlar. En bilinen gelecek iklim veri oluşturucu yazılım araçları şunlardır: WeatherShift TM, CCWorldWeatherGen TM ve WeatherMorph: Climate Change Weather File Generator TM (V. Rodríguez vd., 2020). WeatherShift TM aracı, gelecekteki iklim verilerini oluşturmak için Arup ve Argos Analytics tarafından morphing metodolojisi üzerine geliştirilmiştir. Bu araç; Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) beşinci değerlendirme raporunun RCP 4.5 ve 8.5 emisyon senaryolarına dayanmaktadır. CDF'lerin (Computational Fluid Dynamics) oluşturulması yüzdelik bir dağılıma izin verir (ısınma yüzdelik faktörü olarak adlandırılır) ve modlar arası belirsizliği ve stokastik iklim davranışını yumuşatır (<http://www.weather-shift.com>). Program, 2011'den başlayıp 2100'de biten 20 yıllık zaman periyotları için gelecekteki iklim verilerini üretebilir. Bu araçtaki dönüşüm yöntemi, referans TMY'nin 8 iklim değişkenine uygulanır. Bu değişkenler; ortalama, maksimum ve minimum günlük sıcaklık, bağıl nem, günlük toplam güneş ışınması, rüzgar hızı, atmosferik basınç ve yağıştır. Gelecekteki iklim verileri tahminleri, 1976-2005 dönemini referans almıştır. Bu yazılımlar, bina enerji performans simülasyon programlarında yaygın olarak kullanılan saatlik iklim dosyalarını (.EPW, .TMY2 veya .TMY3 uzantılarında) kullanır. Bu dosyalar, 10 yıldan fazla bir süredir ölçülen ve temsili bir yılda temsil edilen farklı meteorolojik parametrelerin (kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi) saatlik değerleri cinsinden iklimsel verileri toplar. Otomatik olarak bir dönüşüm yöntemini uygulayan, birkaç hesaplamanın gerçekleştirilmesi yoluyla, yukarıda ifade edilen yazılım araçları, bina enerji tüketimi simülasyon programlarında kullanılmak üzere gelecek iklim

dosyalarını üretirler (Belcher, Hacker ve Powell, 2005). Bazı çalışmalarda, birkaç şehrin gelecekteki iklim verilerini değerlendirmek için bu yazılım paketleri kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Balıkesir (39.62 N, 27.92 E) ili için (Şekil 2.23) mevcut durumu temsil eden TMY2 saatlik iklim verisini oluşturmak için Meteonorm ve gelecek iklim verilerini oluşturmak için ise CCWorldWeatherGen TM yazılımları kullanılmıştır. İklim veri setleri, mevcut yıl, 2050 yılı ve 2080 yılı için geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan Meteonorm programı, iklim veritabanını temel iklim değişkenlerinin uzamsal enterpolasyonu ve bir stokastik iklim oluşturucu ile entegre ederek, dünyadaki herhangi bir bölge için saatlik hava durumu verilerini üretebilir. Daha sonra bu veriler, bina performans simülasyonu için bir girdi olarak kullanılabilir. Zemin seviyesinde yatay bir düzlemde küresel ışık şiddeti, kuru termometre sıcaklığı, çiy noktası sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi hava değişkenleri Meteonorm programı tarafından sağlanır. Bu araç aynı zamanda iklim değişikliği çalışmaları için de kullanılabilir (P.Tootkaboni, 2021).



**Şekil 2.23:** Dikkate alınan Balıkesir ilinin coğrafi konumu ve koordinatları.

IPCC dördüncü değerlendirme raporu (AR4) kapsamındaki GCM'ler, 2010'dan 2100'e kadar 10 yıllık aralıklarla farklı emisyon senaryoları (B1, A1B ve A2) için gelecek iklim verilerini oluşturmak üzere CCWorldWeatherGen aracı kullanılabilir (J. Remund, 2010). Bu çalışmada kullanılan gelecek iklim veri seti oluşturucu yazılımı Southampton Üniversitesi



Sürdürülebilir Enerji Araştırma Grubu tarafından geliştirilen CCWorldWeatherGen, Microsoft® Excel tabanlı bir araçtır. Tüm dünyadaki farklı konumlar için oluşturulmuş EPW uzantılı saatlik iklim dosyalarına Morphing metodolojisini uygular. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) A2 emisyon senaryoları ile Birleşik Krallık Met-ofisi, Hadley Center Coupled Model 3 (HadCM3) küresel iklim modelinin çıktı verileri bu araçta kullanılmaktadır. Diğer 29 iklim modeliyle karşılaştırıldığında bu model, morphing prosedürü için gerekli tüm iklim değişkenlerine sahip olan tek modeldir. HadCM3'ün CCWorldWeatherGen'deki Morphing prosedürü için girdi olarak 1961–1990 dönemine ilişkin göreceli değişikliklerin aylık değerleridir. Excel aracı, bu girdiyi bir EPW dosyasında depolanan temel iklim verileri değişkenlerinin üzerine ekler. Araç, üç zaman dilimi için gelecekteki hava durumu veri setlerini oluşturur: 2001–2040 ('2020'ler' olarak adlandırılır), 2041–2070 ('2050'ler' olarak adlandırılır) ve 2071–2100 ('2080'ler' olarak adlandırılır) (<https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>).

Bu çalışmada, gelecek iklim veri setleri, 2050 ve 2080 dönemleri için geliştirilmiştir. CCWorldWeatherGen TM yazılımının gelecekteki iklim senaryolarını geliştirebilmesi için Rocky Mountain Institute (Basalt, CO, ABD) işbirliğiyle Big Ladder Software (Los Angeles, CA, ABD) tarafından geliştirilen Elements TM V1.0.6 aracı (Şekil 2.24), çalışılan iklim dosyalarında alt parametre varyasyonlarını analiz etmek için kullanılmıştır (<https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>).

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [kPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [Wh/m2]	Normal Solar [Wh/m2]	Diffuse Solar [Wh/m2]	Wind Speed [m/s]
2005/01/01 @ 00:00:00	3.3	2.18	99.9	83	0.67	0	0	0	1.5
2005/01/01 @ 01:00:00	2.8	1.7	99.9	83	0.18	0	0	0	1.5
2005/01/01 @ 02:00:00	1.7	0.59	99.9	82	-0.91	0	0	0	1
2005/01/01 @ 03:00:00	1.1	-0.04	99.9	81	-1.58	0	0	0	0.5
2005/01/01 @ 04:00:00	0.6	-0.49	99.9	81	-2.01	0	0	0	0.5
2005/01/01 @ 05:00:00	0	-1.09	99.9	80	-2.68	0	0	0	0
2005/01/01 @ 06:00:00	0	-1.09	99.9	80	-2.68	0	0	0	0.5
2005/01/01 @ 07:00:00	0	-1.09	99.9	80	-2.68	0	0	0	1
2005/01/01 @ 08:00:00	1.1	-0.04	99.9	81	-1.58	113.16	423	49	0.5
2005/01/01 @ 09:00:00	2.8	1.1	99.9	74	-1.2	240.18	565	77	0.5
2005/01/01 @ 10:00:00	5	3.87	99.9	84	2.52	330.81	580	105	0
2005/01/01 @ 11:00:00	7.2	5.57	100.24	79	3.82	378.92	533	141	0.5
2005/01/01 @ 12:00:00	9.4	7.72	100.24	80	6.15	378.65	429	183	1.5
2005/01/01 @ 13:00:00	10.6	9.47	100.24	87	8.56	330.66	454	141	1.5
2005/01/01 @ 14:00:00	10.6	8.94	100.24	81	7.51	240.25	360	120	1

Şekil 2.24: Elements TM V1.0.6 programının arayüzü.

Bu araç, bina enerji simülasyon araçları için .EPW uzantılı iklim dosyalarının görselleştirilmesine, oluşturulmasına ve düzenlenmesine izin vermektedir. Düzenlenen .EPW uzantısında değişiklikler veya veri kontrolleri yapılması gerekiyorsa bu uzantı Weather Statistics and Conversions yardımcı programı ile düzenlenebilecek uzantılara dönüştürülebilir. Bu çalışmada da Meteonorm programı kullanılarak oluşturulan saatlik iklim dosyasında Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsünde bulunan hava istasyonunda kaydedilen dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile değiştirilmiştir.

Bina enerji simülasyon araçları için gerekli .EPW uzantısının gerekli dönüştürmeleri yapıldıktan sonra CCWorldWeatherGen TM yazılımı ile gelecek iklim dosyaları aşağıdaki aşamalara göre üretilmiştir;

- Aşama 1: Programın başlatılması

Giriş ekranı kapatıldıktan sonra, ekranınız aşağıdaki gibi görünmelidir. HadCM3 veri dosyası yolunun (A) HadCM3 verilerinin indirme konumuna karşılık geldiğinden emin olunmalıdır. (Varsayılan yol "C: \ CCWorldWeatherGen \ HadCM3data" şeklindedir). HadCM3 veri yolunun doğru olup olmadığını kontrol edilmelidir (Şekil 2.25).

**CCWorldWeatherGen climate change weather file generator V1.9** [manual](#)  
For transforming EPW weather files into climate change TMY2/EPW files. (Acknowledgements & disclaimer of warranties below)

Specify the HadCM3 data file path:

Summary of combined HadCM3 A2 ensemble climate change predictions for the selected weather site

No scenario selected

			JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
Daily mean temperature	TEMP	(°C)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum temperature	TMAX	(°C)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum temperature	TMIN	(°C)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Horizontal solar irradiation	DSWF	W/m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total cloud cover	TCLW	% points	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total precipitation rate	PREC	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Relative humidity	RHUM	% points	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mean sea level pressure	MSLP	hpa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wind speed*	WIND	%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

\* Please note that wind speed resides on a 96x72 grid whilst all the other data is on a 96x73 grid

Şekil 2.25: Veri yolunun doğru olup olmadığının kontrol edilmesi.

- Aşama 2: EPW iklim dosyasının seçilmesi

Sabit sürücünüzden Balıkesir iklim dosyası seçilmiştir. Hava durumu istasyonu adı ve konum ayrıntıları (enlem, boylam, yükseklik) gibi yüklenen dosyayla ilgili temel bilgiler "EPW hava durumu dosyası seçimi" kutusunda (D) görüntülenir.

Seçilen hava istasyonuna en yakın dört HadCM3 grid noktasının koordinatları "HadCM3 senaryosu zaman dilimi seçimi" kutusunda (E) görüntülenir. Yüklenen hava durumu dosyası verileri, "EPW" çalışma sayfası sekmesine (F) tıklanarak görülebilir (Şekil 2.26).

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

EPW Balikesir, TUR	Latitude:	39.62 N
	Longitude:	27.92 E
	Elevation:	1609.34m

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

2020's  2050's  2080's Load Scenario

Closest four HadCM3 96x73 grid points to EPW Balikesir, TUR

	Latitude:	Longitude:
A	90.00 N	176.25 E
B	85.00 N	180.00 E
C	90.00 N	180.00 E
D	87.50 N	180.00 E

No scenario selected

(3) Click button to start morphing procedure

Start Morphing Procedure

Current morphed EPW weather file:

No morphed weather file

(4) Click the appropriate button for EPW / TMY2 file generation

Generate Climate Change EPW Weather File

Generate Climate Change TMY2 Weather File

To create a TMY2 file of the original EPW file click the button below:

Generate Present-Day TMY2 Weather File form EPW data

Copyright notes and disclaimer of warranties

This tool is provided free of charge and WITHOUT the required baseline weather files and/or climate change scenario data!

Convert File EPW HadCM3 Morphed Weather CC EPW CC TMY2 PD TMY2

Şekil 2.26: EPW hava durumu dosyası seçilmesi ve görüntülenmesi.

- Aşama 3: Bir HadCM3 A2 senaryosu zaman çerçevesinin seçilmesi

"HadCM3 senaryosu zaman aralığı seçimi" kutusunda (G) kullanmak istediğiniz HadCM3 A2 senaryosu zaman çerçevesini seçilmelidir. CCWorldWeatherGen aracı daha sonra, seçilen hava verisine (E) en yakın dört grid noktası için HadCM3 A2a, A2b ve A2c deneylerinin sonuçlarını oluşturur ve yükler. Sonuçlar, "HadCM3" çalışma sayfası sekmesi seçilerek görüntülenebilir. Dört grid noktasının ortalama sonuçlarının daha sonra üç deney için ortalaması alınır ve "HadCM3 senaryosu zaman aralığı seçimi" kutusunun (J) üzerindeki "Özet" kutusuna gönderir. Aşağıdaki örnek, 2050'lerde A2 emisyon senaryosu kapsamında Balıkesir için değerleri göstermektedir (Şekil 2.27).

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

EPW Balikesir, TUR	Latitude:	39.62 N
	Longitude:	27.92 E
	Elevation:	1609.34m

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

2020's  2050's  2080's Load Scenario

Closest four HadCM3 96x73 grid points to EPW Balikesir, TUR

	Latitude:	Longitude:
A	90.00 N	176.25 E
B	85.00 N	180.00 E
C	90.00 N	180.00 E
D	87.50 N	180.00 E

No scenario selected

(3) Click button to start morphing procedure

Start Morphing Procedure

Current morphed EPW weather file:

No morphed weather file

(4) Click the appropriate button for EPW / TMY2 file generation

Generate Climate Change EPW Weather File

Generate Climate Change TMY2 Weather File

To create a TMY2 file of the original EPW file click the button below:

Generate Present-Day TMY2 Weather File form EPW data

Copyright notes and disclaimer of warranties

This tool is provided free of charge and WITHOUT the required baseline weather files and/or climate change scenario data!

Convert File EPW HadCM3 Morphed Weather CC EPW CC TMY2 PD TMY2

Şekil 2.27: 2050 senaryosu zaman çerçevesinin seçilmesi.

- Aşama 4: EPW iklim dosyasını dönüştürme

UKCIP02 veri çıktısına göre Belcher ve arkadaşları, CIBSE TRY ve DSY hava dosyalarını iklim değişikliği gelecek yıllarına dönüştürmek için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bir iklim değişikliği EPW veya TMY2 dosyası oluşturmadan önce, orijinal EPW dosyasının HadCM3 A2 senaryo verileri kullanılarak "biçimlendirilmesi" gerekmektedir. Bu işlemi başlatmak için "EPW iklim dosyası dönüşüm" kutusundaki (K) "Dönüşüm Prosedürü Başlat" düğmesine basılmalıdır. Hava durumu istasyonu adı ve seçilen iklim değişikliği senaryosu zaman çerçevesi gibi değiştirilmiş iklim dosyası hakkındaki temel bilgiler "EPW hava durumu dosyası geçiş" kutusunda (L) görüntülenebilir. Biçimlendirilmiş hava durumu verileri, "Morphed Weather" çalışma sayfası sekmesi (M) altındadır.

EPW weather file selection

(1) Please specify the EPW file you want to transform

Select EPW File for Morphing

Current EPW baseline weather file for morphing:

EPW Balıkesir, TUR	Latitude:	39.62 N
	Longitude:	27.92 E
	Elevation:	1609.34 m

HadCM3 scenario timeframe selection

(2) Please select a HadCM3 A2 scenario ensemble timeframe

2020's  2050's  2080's

Closest four HadCM3 96x73 grid points to EPW Balıkesir, TUR	Latitude:	Longitude:
A	90,00 N	176,25 E
B	85,00 N	180,00 E
C	90,00 N	180,00 E
No scenario selected	D	87,50 N 180,00 E

EPW weather file morphing

(3) Click button to start morphing procedure

Start Morphing Procedure

Current morphed EPW weather file:

No morphed weather file

EPW/TMY2 weather file generation

(4) Click the appropriate button for EPW / TMY2 file generation

Generate Climate Change EPW Weather File

Generate Climate Change TMY2 Weather File

To create a TMY2 file of the original EPW file click the button below:

Generate Present-Day TMY2 Weather File form EPW data

Copyright notes and disclaimer of warranties

Convert File EPW HadCM3 Morphed Weather CC EPW CC TMY2 PD TMY2

Şekil 2.28: EPW hava durumu dosyasını dönüştürülmesi

- Aşama 5: Gelecek iklim için EPW veya TMY2 dosyası oluşturma

"EPW / TMY2 hava durumu dosyası oluşturma" kutusundaki (N) "İklim Değişikliği EPW Hava Durumu Dosyası Oluştur" veya "İklim Değişikliği TMY2 Hava Durumu Dosyası Oluştur" butonlarıyla oluşturulabilir. Daha sonra iklim dosyası bina enerji simülasyon programlarında kullanıma hazırdır (Şekil 2.28).

#### 2.4.1 Simülasyon, ısı bölgeleme ve malzemelerin tanımlanması

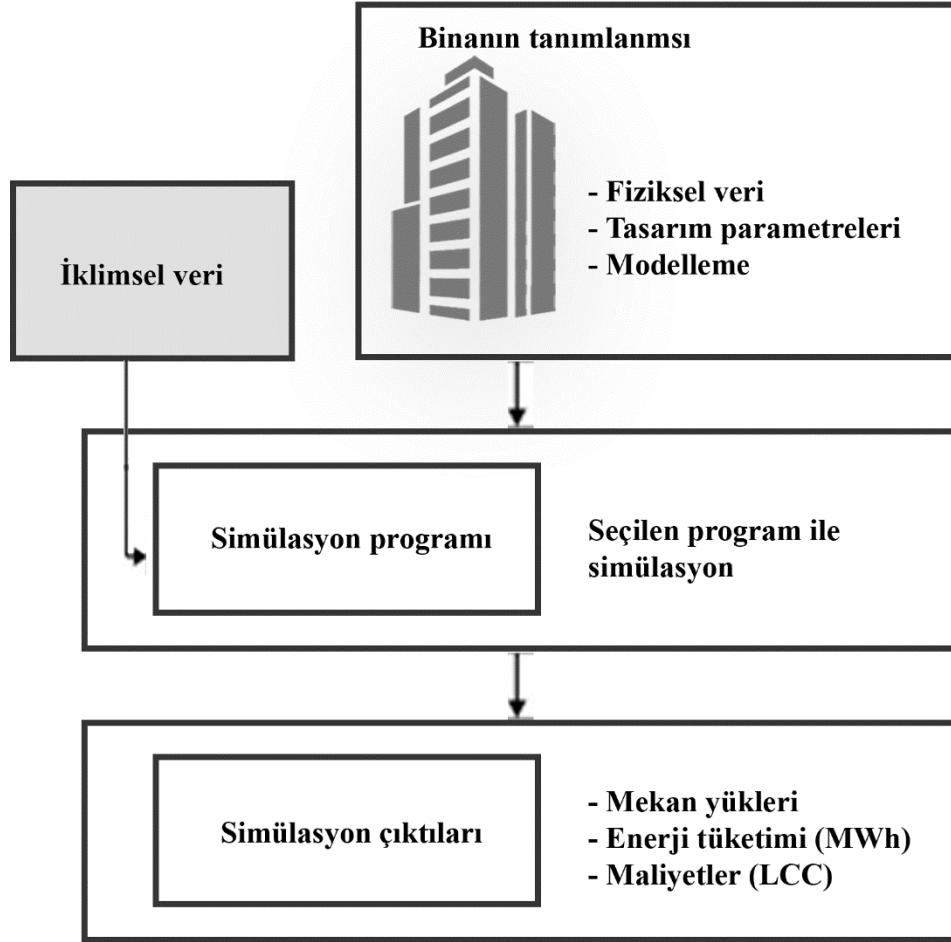
“Benzeşim olarak da türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve onu analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir” (Hensen, 2002).

“Simülasyonun temel amacı, gerçek sistemden dikkatlice çekip çıkartılarak, sadece belirli gereklerle ilgili elemanların dikkate alınması ve görelilik olarak daha önemsiz olanların göz ardı edilmesi ile, gerçek sistem davranışını doğru olarak tahmin etmek üzere kullanılabilen bir model geliştirmektir”(Aburdene, 1988; Hensen, 2002). “Bina enerji simülasyonu tekrarlanarak adım adım yürüyen bir süreçtir ve aşağıda sıralanan adımlardan biri veya bir kaçını içermektedir (Hensen, 2002):

- Problemin veya tasarımın ne tür gerekleri olduğunun belirlenmesine yönelik analiz,
- Bu gereklere bağlı olarak oluşturulan modelden beklenen performans verilerini tam olarak sağlayacak uygun simülasyon yazılımının seçilmesi,
- Binanın ve sistemlerinin gerçekçi, ilgili elemanlarına ve niteliklerine uygun modellenmesinin sağlanması,
- Modelin, yazılımın gereklerine uydurulması (modelin kalibrasyonu),
- İlgili koşulların (iç ortam konfor koşulları, iklim verisi, vb.) düzenlenerek simülasyonun gerçekleştirilmesi,
- Bir çok değişken (enerji gerekliliği, maksimum yük, konfor parametreleri, emisyonlar, vb.) yardımıyla simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi,
- Sonuçların ilgili tasarım bilgisine dönüştürülmesi”.

Bina enerji simülasyon programları, öncelikle binanın 3d modellenmesini gerektirir. Bu, bazen sadece kütle formu, boyut, bileşen ve malzemelerle sınırlı kalabildiği gibi, detaylı simülasyon programları için HVAC sistemlerinin özellikleri ve işletim stratejilerine kadar çoğu bilginin tanımlanması gerekmektedir. Bu tasarım parametrelerinin bina biçimine yönelik olan kısmı için bazı enerji simülasyon programları farklı CAD (Computer Aided Design/Drafting) verilerini (çoğunlukla DXF-Data Exchange File) programlarında oluşturulmuş modelleri kabul etmektedir. Program içinde de binanın iki ya da üç boyutlu modellenmesi yapılabilir. Programın çalıştırılabilmesi için binanın yapılacağı bölgeye ait saatlik iklimsel verinin elde edilebilmesidir. Bu verileri, bazı programlarda, programın içine manual olarak girebilmek mümkün olabildiği gibi, çoğu program bir kaç farklı formatta (TRY, TMY, BIN, WYEC, vb.) elde edilebilen paket iklim verilerini de kabul etmektedir.

Gerekli minimum verilerin eksiksiz ve hatasız girilmesi ile simülasyon çalıştırılabilir. Simülasyonların sonuçları programların özelliklerine ve girilen veri düzeyine bağlı olarak, farklı sonuçlar elde edebilmek mümkündür (Harputlugil, 2007). Bu programların işleyiş süreci Şekil 2.29'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.29:** Enerji simülasyon programlarının işleyiş süreci (Kaynak: Harputlugil, 2007).

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binası simüle edilmiştir. Katlar hücresel bir plan düzeninden oluşmaktadır. Yapı elemanlarına ait detaylı malzeme bilgisi Tablo 2.5'te verilmiştir. Malzemelerin sayısal bilgileri için DesignBuilder TM programının malzeme kütüphanesi kullanılmıştır. İç duvarların, ve döşemelerin temas ettiği benzer mekanlarda sıcaklığın aynı olduğu varsayılmıştır. Bu elemanlarda ısı birikebilir ve daha sonra dağılabilir, fakat bir ısı akışı yoktur. Bu, yalnızca bitişik odaların kullanımının benzer bir işleve ve sıcaklığa sahip olması durumunda kullanılan bir varsayımdır (D. Ramon vd., 2019). Binanın yapı elemanlarının özellikleri tanımlandıktan sonra binanın simülasyonu yapılacak katların ısı bölgelemesi yapılmıştır.

**Tablo 2.5:** Yapı elemanlarının özelliklerinin gösterildiği tablo.

<b>ZEMİN</b>			
malzeme	kalınlık (d)	$\lambda$	SHGC
Grobeton (cast concrete)	0,15	1,13	
XPS Köpük Isı Yalıtımı (XPS extruded polystyrene CO2 blowing)	0,12	0,034	
Betonarme Temel (cast concrete)	0,5	1,13	
Koruma Betonu (cast concrete (dense))	0,05	1,40	
Grobeton (cast concrete)	0,10	1,13	
Sıkıştırılmış Toprak (soil-earth ,common)	0,25	1,28	
<b>DIŞ DUVAR</b>			
Dış sıva (plaster dense)	0,03	0,50	
Taş Yünü (rock wall at 10c degrees)	0,03	0,033	
Bims Blok (AAC blok)	0,3	0,11	
İç Sıva (gypsum plastering )	0,02	0,40	
<b>İÇ DUVAR</b>			
Alçı sıva	0,03	0,25	
BİMS Blok Duvar (AAC blok)	0,19	0,11	
Alçı sıva	0,03	0,25	
<b>ARA DÖŞEME</b>			
Seramik Zemin Kap.(ceramic clay tiles-ceramic floor tiles dry)	0,01	0,80	
B.A Döşeme (cast concrete)	0,15	1,40	
Sıva (plaster dense)	0,02	0,50	
<b>TERAS</b>			
Granit (concrete blocks/ tiles-tiles )	0,02	1,10	
Koruma Betonu (cast concrete (dense))	0,10	1,40	
XPS Isı Yalıtımı (XPS extruded polystyrene CO2 blowing)	0,12	0,12	
B.A Döşeme (cast concrete)	0,15	1,13	
<b>PENCERELER</b>			
Çift Cam	3-13-3	1,924 (U)- 0,744 (VLT)	0,691

Isıl bölgeleme, bir bina içerisinde benzer alan koşullandırma gereksinimine sahip, aynı ısıl etkilere maruz kalan mekân veya mekânların gruplandırılmasıdır. Bir ısıl bölge, aynı ısıtma ve soğutma değerlerine sahip mekânları birleştiren ve binanın modellenmesinde kullanılan temel ısıl birimdir. Bina enerji simülasyon modeli mümkün olduğu kadar az, ancak ihtiyaç

duyulduğu kadar çok sayıda ısıl bölge içermelidir. Bir binayı ısıl bölgelere ayırmak, enerji modelleme sürecinin önemli ölçüde muhakeme gerektiren bir adımdır (<https://www.comnet.org/22-thermal-blocks-hvac-zones-and-space-functions>). Çeşitli simülasyon araçlarının uygulanmasındaki ve sınırlamalarındaki farklılıklar ve derecelendirme yönteminin uygulanabileceği binaların boyutu ve karmaşıklığındaki aşırı çeşitlilik nedeniyle, ısıl bölgeleri tanımlamak için katı bir kurallar dizisi oluşturmak mümkün değildir. Bir binayı alt bölümlere ayırmanın ve modellemenin en uygun yolunu belirlemek için çoğu durumda kullanıcı deneyimine bağlı kararlar gerekecektir. Uygun ısıl bölgelerin tanımlanması, kullanıcı için zaman kazandıracak ve doğru sonuçların alınmasına yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, kullanıcının binayı nasıl alt bölümlere ayırmayı seçtiğine bakılmaksızın, çoğu amaç için, temel yapının modellenmesinde aynı alt bölümler kullanılacaktır. Hatalı bir kararın enerji performansı üzerinde nasıl bir etkisi olacağını tahmin etmek zordur (<https://www.comnet.org/22-thermal-blocks-hvac-zones-and-space-functions>). Bu çalışmada Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binasının simülasyonu ait ısıl bölgeleme Şekil 2.30'da verilmiştir.

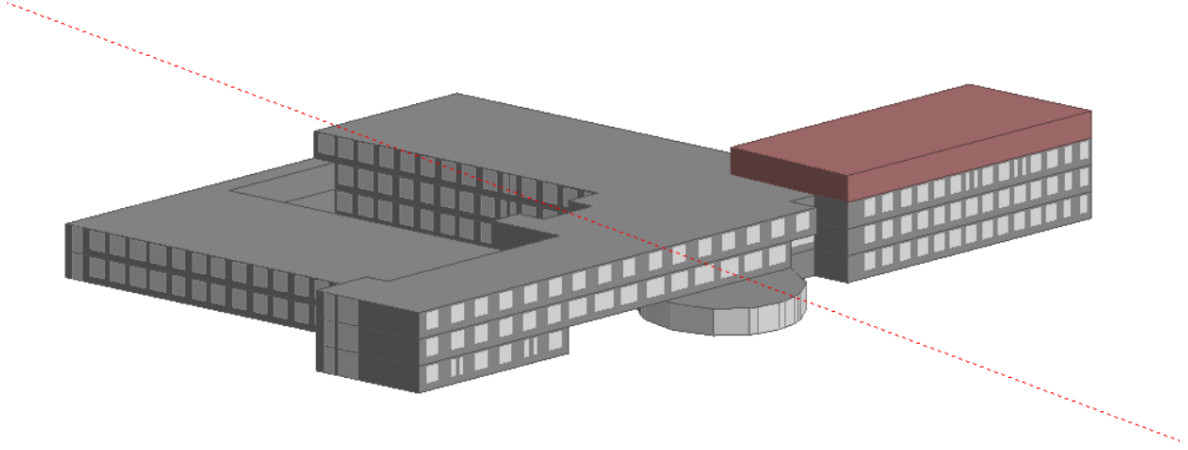






**Şekil 2.30:** Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binası katlarına ait ısıtılma bölgeleme planları.

Bina enerji simülasyonları genellikle geçmiş ortalama hava durumu verileri dosyaları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu nedenle yapılan simülasyonlar, iklim değişikliği nedeniyle gelecekteki olası durumlar hakkında bilgi verememektedir (V. Ciancio, 2019). Bu çalışmada, iklim değişikliğinden kaynaklanan bina enerji taleplerinin gelecekteki eğilimlerini görebilmek için üç farklı zaman dilimi (mevcut, 2050 ve 2080) incelenmiştir. Bina modellemesi ve enerji performansını hesaplamak için EnergyPlus TM gelişmiş enerji simülasyon yazılımını kullanan DesignBuilder TM (Aurea danışmanlık, Madrid, İspanya) programı tercih edilmiştir (Şekil 2.31). DesignBuilder TM, 3 boyutlu modelin program içinde kolaylıkla oluşturulabilmesi ve birçok akademik çalışmada kullanıldığı için seçilmiştir.



**Şekil 2.31:** DesignBuilder TM programında yapılan 3d model.

DesignBuilder TM kullanıcı dostu arayüzü sayesinde kolayca kullanılabilir, böylece yeni bir kullanıcı bile karmaşık bir bina için dahi hızlı bir şekilde 3d modelleme yapabilir. Daha sonra veri şablonları kullanılarak genel bina yapısı, bina içindeki faaliyetler, HVAC, aydınlatma sistemleri ve binaya ait diğer bilgiler tanımlanabilir. Tasarım ve değerlendirme aşamasında her bina modeli detaylı bir şekilde belirlenebilir (Zhang, 2014).

Bina enerji simülasyonlarında, binanın nasıl işletildiği, gerçekleştirilen aktivite ve kullanıcı profili gibi konularda kabuller ve sınırlamalar yapılması gerekmektedir. Örneğin bina teorik olarak oluşturulduysa, yapı tipine göre malzemeler belirlenebilir. Programda bulunan varsayımsal özellikleri kabul etmenin yanı sıra, bu değerler standartlardan veya deneyimlerden de elde edilebilir (G. Koç ve M. Kalfa, 2021). Bu çalışmada enerji simülasyonunda kullanılan girdiler Tablo 2.6'da özetlenmiştir.

**Tablo 2.6:** DesignBuilder enerji simülasyonunda kullanılan girdiler.

<b>Kullanıcı ortalama yoğunluk (kişi/m<sup>2</sup>)</b>	Kullanılan derslik alanları	0,32
	Ortak alanlar	0,10
	Kullanılmayan alanlar	0
<b>Soğutma</b>	Yakıt	Elektrik
	Termostat ayar sıcaklığı (°C)	25
	Mevsimsel CoP	2,50
<b>Isıtma</b>	Yakıt	Doğalgaz
	Termostat ayar sıcaklığı (°C)	21
	Mevsimsel CoP	0,830
<b>Havalandırma</b>	Doğal havalandırma	Evet
	Mekanik havalandırma	-
	Hava sızdırmazlığı (ac/h)	0,5
<b>Ekipman</b>	Isı kazancı (w/m <sup>2</sup> )	2,2
	Kış için (clo)	1
<b>Giysi yalıtım değerleri</b>	Yaz için (clo)	0,5
<b>Çalışma aralığı</b>	Pazartesi- Cuma	08:30-17:05
<b>Aydınlatma</b>	Aydınlatma güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> -100lux)	5

Bina her hafta pazartesiden cuma gününe kadar sabah 7:30'dan akşam 17:05'e kadar aktiftir ve ikinci öğretim doluluk oranının çok düşük olması sebebiyle bu aralıklarda simülasyonlar yapılmıştır. DesignBuilder programında doluluk, ısıtma, soğutma ve havalandırma çalışma programları ve tercih edilen termostat ayar sıcaklıkları tanımlanmıştır. Isıtma termostat ayar sıcaklığı (set-point temperature) 21°C'ye ve soğutma termostat ayar sıcaklığı ise 25°C'ye ayarlanmıştır. Sınıflarda termostat olduğu kabul edilmiştir. Uyarlanabilir ayar noktası sıcaklıkları ve termostatlar ile enerji tasarrufu sağlandığı bilinmektedir. Huertas (2021) çalışmasında, üç tip termostatın etkisini incelemiştir ve iklimlendirme sistemlerinde uyarlanabilir ayar noktası sıcaklıklarının kullanılması, termostatın tipi ve kategorisi ne olursa olsun, %40 seviyelerinde enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir.

Simülasyonlarda hava sızdırmazlığı için BEP-TR'de (BEP-TR, 2007) binalar için belirlenen 0,5 ac/h değeri kabul edilmiştir. Termostat ayar sıcaklığı değerleri de bu düzenlemeden türetilmiştir ve bu değerler de ASHRAE 55'te belirtilen konfor aralığı değerleriyle uyumludur (ASHRAE, 2017). Giysi yalıtım değerleri, ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) ve

ISO 7730 tarafından önerilen ısıtma ve soğutma günleri için geçerli kabul edilen değerlere uygundur (ISO, 2005). Mevsimsel CoP, ısıtma ve soğutma sistemleri için sırasıyla 0,830 ve 2.5 olarak kabul edilmiştir. Yapı elemanlarında yoğuşma olmamıştır. Mevcut binada ısıtma için merkezi doğal gazlı kazan sistemi ve soğutma için ise elektrikli merkezi klima sistemi kullanılmaktadır. Havalandırma pencereler ile doğal olarak yapılmaktadır. Kullanıcı, ekipman ve diğer sistem verileri tüm senaryolar için aynı kabul edilmiştir.

#### **2.4.2 Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu**

Simülasyon, genellikle inşaat endüstrisinde performans analizine yönelik en iyi uygulama yaklaşımı olarak kabul edilir (J. Clarke, 2001). Bununla birlikte, simülasyon sonuçları ile mevcut binaların ölçülen tüketim değerleri arasında önemli farklılıklar oluşabilir. Bu nedenle, modellerin ölçülen verilerle kalibre edilmesi gereklidir. Reddy ve arkadaşları (2006) bina enerji modellerini kalibre etmek için yaygın olarak kullanılan çeşitli araçları, teknikleri, yaklaşımları ve prosedürleri araştırmıştır. En yaygın kalibrasyon yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Kullanıcının deneyimine dayalı ve program çıktısı bilinen verilerle eşleşene kadar girişlerin ve parametrelerin deneme yanılma esasına göre ayarlanmasından oluşan manuel yinelemeli kalibrasyon.
- Grafik ve istatistiksel yöntemler; kalibrasyon sürecini yönlendirmek için özel grafik temsillere ve sonuçların karşılaştırmalı gösterimlerine dayalı kalibrasyon.
- Otomatik kalibre edilmiş yöntemler ; özel zorlayıcı ve ölçümleri içeren testlere ve analitik prosedürlere dayalı kalibrasyon.

Tüm bu yöntemler kesin değildir ve birleştirilebilir. Örneğin, yinelemeli manuel kalibrasyonu desteklemek için grafiksel ve istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanımı, matematiksel ve sezgisel manuel yöntemleri ile birlikte kullanılabilir (Mustafaraj vd., 2014).

Hata analizini en aza indirmek için RMSE'yi ve kök ortalama kare hata yaklaşımlarının (RMSE'yi bir süre boyunca ortalama ölçülen değere bölerek) varyasyon katsayısını (CV) kullanmıştır (Mustafaraj vd., 2014). Bir sonraki bölüm, bu çalışma kapsamında uygulanan kalibrasyon yöntemini açıklayacaktır.

Bina modelinin kalibrasyonu için ASHRAE Kılavuzu 14'deki yaklaşım kullanılmıştır. Bir modelin doğruluğunu ölçmek için etkili bir yöntemdir (Pisello, 2016). Aylık değerler için Ortalama Sapma Hatası olan MBE (Mean Bias Error)  $\pm\%5$  aralığındaysa ve CV RMSE (Coefficient of Variable Root Mean Squared Error) aylık değerler için  $+\% 15$ 'in altında ise

modelden elde edilen sonuçların güvenli aralıkta olduğu kabul edilir (Tablo 2.6). MBE ve CV RMSE aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Huanga, Nazib, Yua ve Wang, 2020).

Ortalama Sapma Hatası (MBE) (%):

MBE, saatlik veya aylık olarak gerçek ve simüle edilen veriler arasındaki sapmanın ölçüsüdür, yani hataların toplamıdır. MBE, ölçülen ve simüle edilen veri noktaları arasındaki ortalama farkın hangi düzeyde olduğunu göstermektedir.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i)} \quad (2.5)$$

Burada;

$m_i$ : ölçülen gerçek değer

$s_i$ : simüle edilmiş değer

$N_p$ : “p” aralığındaki verilerin sayısıdır ( $N_{aylık}=12$ ).

Hata Karelerinin Ortalamasının Kökü (RMSE) (%):

RMSE, verilerin değişkenliğinin bir ölçüsüdür. Saatlik veya aylık olarak, eşleştirilmiş veri noktalarındaki hata veya fark hesaplanır ve karesi alınır. Hatalarının kareleri toplamı daha sonra her ay için ve toplam periyotlar için eklenir ve ortalama hata karesini veren ilgili puan sayısına bölünür (her ay veya toplam dönem için), daha sonra sonucun karekökü, ortalama karesel hata (RMSE) olarak tespit edilir.

Hata Karelerinin Ortalamasının Kökü CV (RMSE) Değişim Katsayısı (%):

Bu indeks, ölçülen ve simüle edilen veriler arasındaki dengeleme hatalarını yakalayarak bir modelin verilere ne kadar uyum sağladığının belirlenmesine yardımcı olur. Daha önce hesaplanan RMSE değeri, ölçülen gerçek değerlere bölüldüğünde CVRMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) değeri hesaplanır.

$$CV\ RMSE\ (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)^2 / N_p}}{\bar{m}_p} \quad (2.6)$$

Burada;

$m_i$ : ölçülen gerçek değer

$s_i$ : simüle edilmiş değer

$N_p$ : “p” aralığındaki verilerin sayısı (N aylık=12).

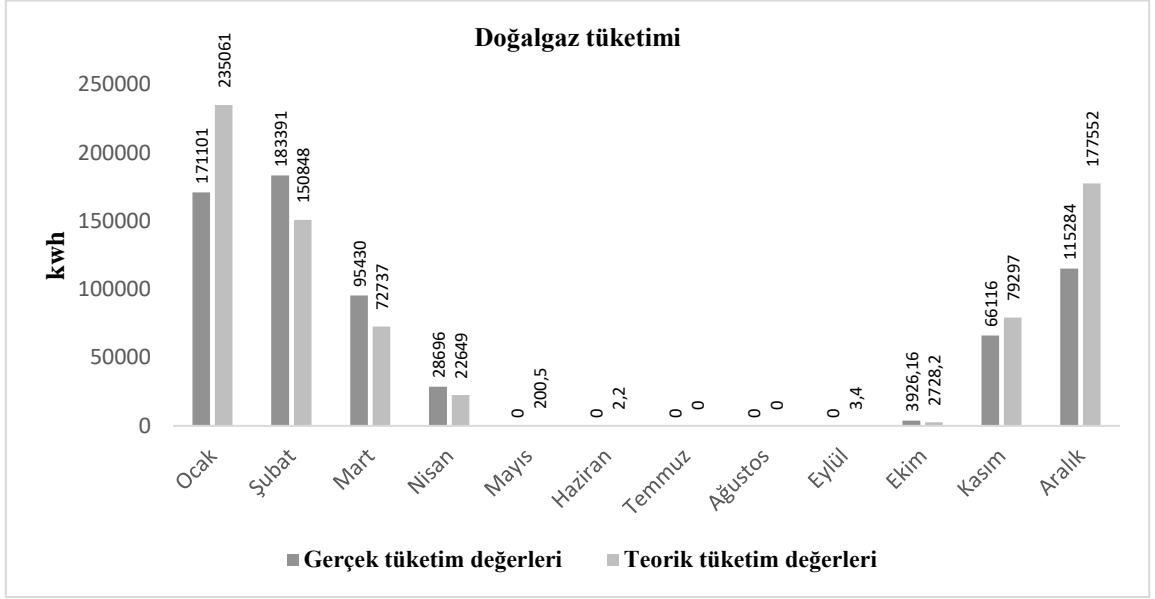
$\bar{m}_p$ : ölçülen gerçek değerlerin ortalamasıdır.

Bina enerji simülasyon modelleri, ASHRAE Kılavuz İlkesi 14 tarafından belirlenen kriterleri karşıyorlarsa, "kalibre edilmiş" olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bu kriterleri karşılayan model benzersiz değildir ve bu nedenle aynı binanın "kalibre edilmiş" olarak kabul edilebilecek çok sayıda modeli vardır. Ek olarak, mevcut kalibrasyon kriterlerinin yalnızca tahmin edilen enerji tüketimiyle ilgili olduğu ve girdi parametrelerinin belirsizliğini veya yanlışlıklarını veya simüle edilen ortamın doğruluğunu (örn. sıcaklık profilleri) hesaba katmadığı unutulmamalıdır (Coakley, Raftery ve Keane, 2014).

**Tablo 2.7:** Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için kabul edilebilir sınır değerleri (Coakley, Raftery ve Keane, 2014).

Standart/ İlke	Aylık kriter (%)		Saatlik kriter (%)	
	MBE	CVRMSE	MBE	CVRMSE
ASHRAE	5	15	15	30
IPMVP	20	—	5	20
FEMP	5	15	10	30

Mühendislik Fakültesi ek binasının kalibrasyonu için oluşturulan modelin güz ve bahar dönemlerine ait simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2018 yılına ait gerçek doğalgaz tüketim verileri Şekil 2.32'deki gibi karşılaştırılmıştır.



**Şekil 2.32:** Mühendislik Fakültesi Ek binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

Şekil 2.32'deki verilere göre modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CV RMSE değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri % -2,65; CV RMSE değeri ise %6,83 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında ASHRAE Kılavuzu 14 tablo 3'te verilen değer aralıklarına göre  $MBE_{aylık} = \% -2,65 < \% 5$  ve  $CV\ RMSE_{aylık} = \% 6,83 < \% 15$  doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir.

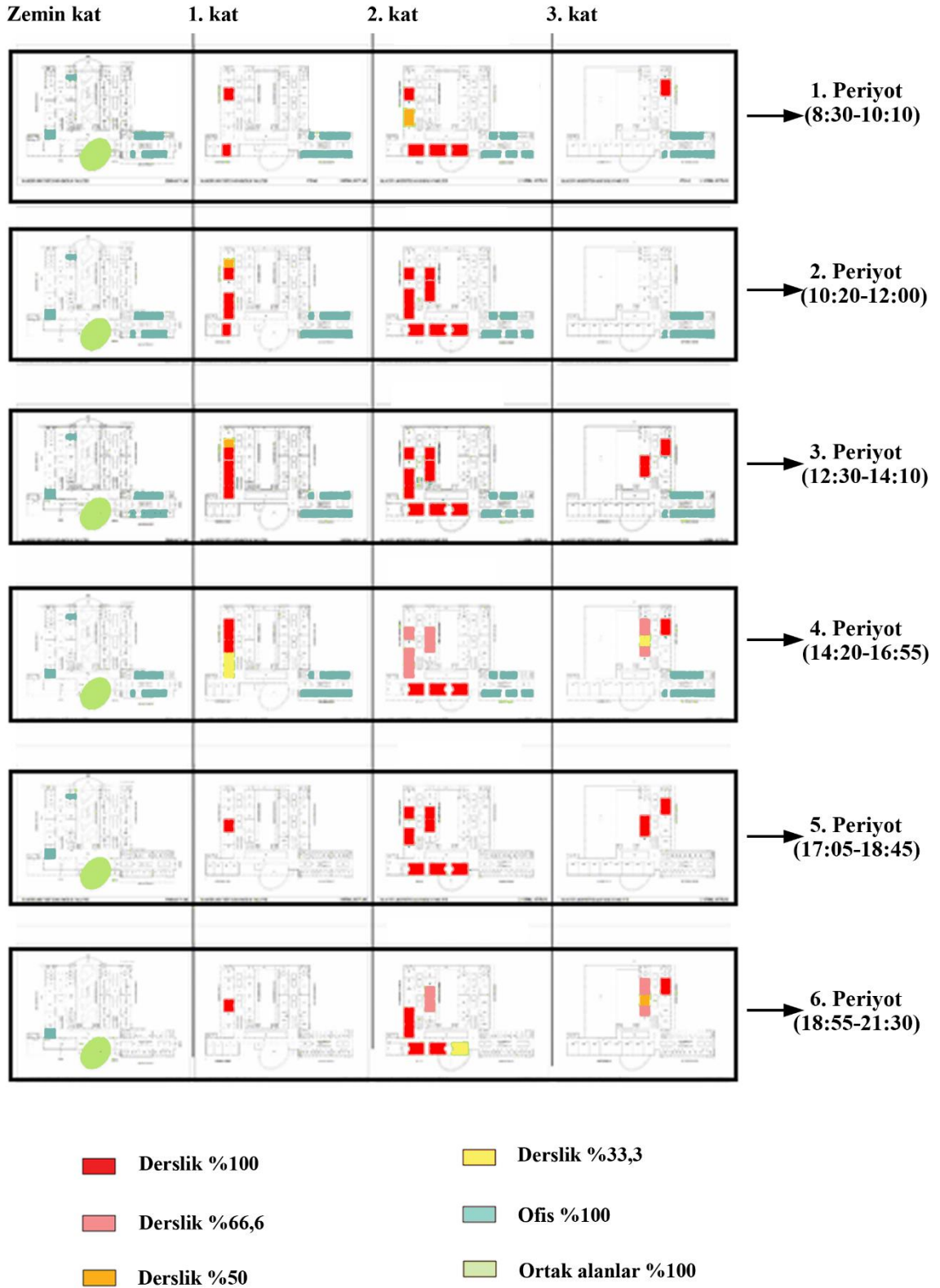
### 3. BULGULAR

#### 3.1 Doluluk oranlarının değerlendirilmesi

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binası 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemlerindeki doluluk oranlarını değerlendirmek için bu binada bulunan; Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Gıda Mühendisliği olmak üzere beş farklı bölüme ait ders programları ve öğrenci sayılarından yararlanılmıştır. Bu veriler dikkate alınarak Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binasına ait 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri dönemleri olmak üzere dört farklı döneme ait periyotluk (saatlik), günlük ve haftalık doluluk oranları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ile binadaki herhangi bir güne ait tüm periyotlar için mevcut doluluk modelleri oluşturulmuştur (Şekil 3.1).

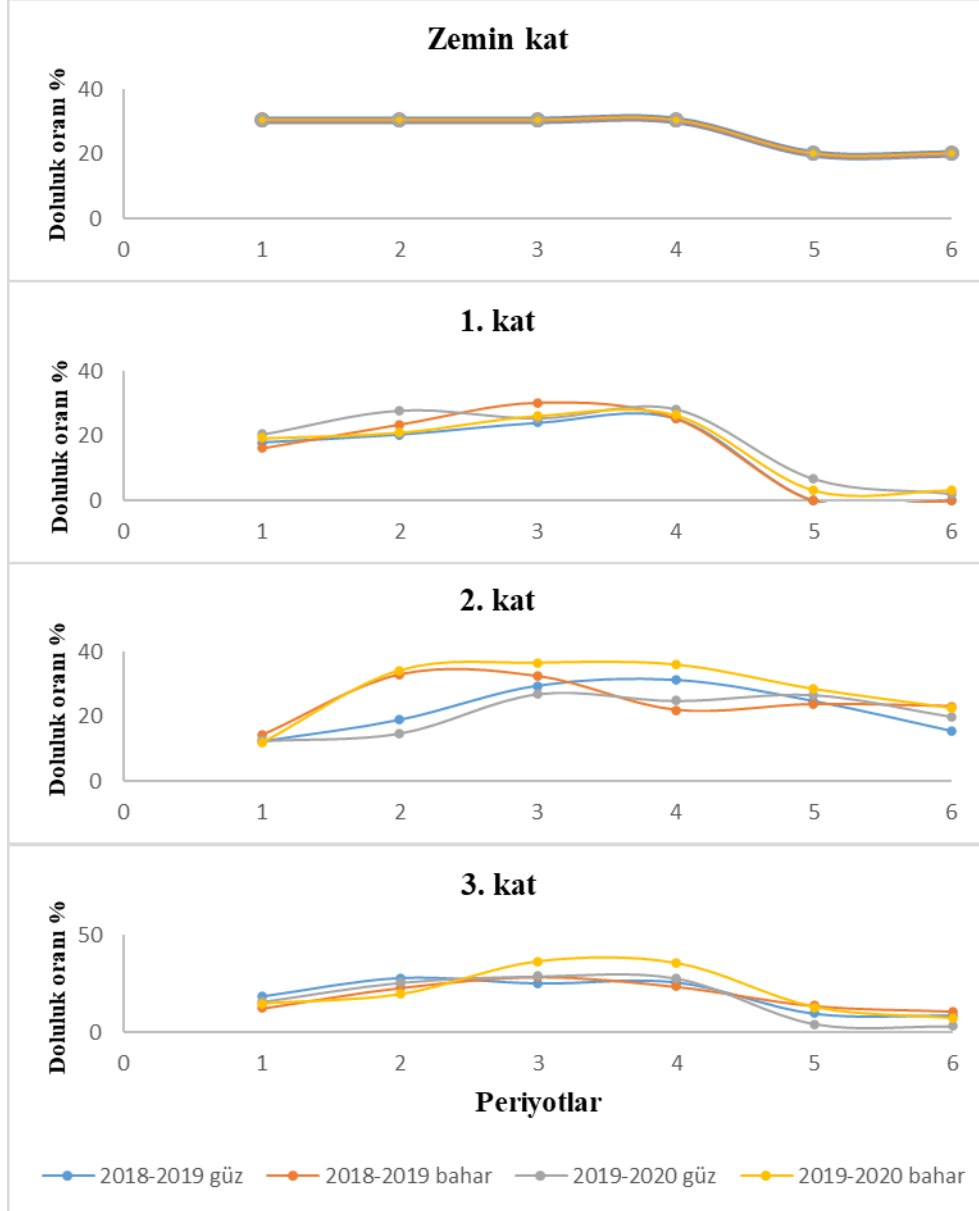
Bu doluluk modeli oluşturulurken binanın derslikleri, ofis alanları ve ortak alanları dikkate alınarak binaya ait genel bir model oluşturulmuştur. Bu modelde ortak alanların çalışma süreleri tüm gün iken derslikler ve ofis alanlarının çalışma süreleri farklılık göstermektedir.





Şekil 3.1: Salı gününe ait periyot bazında oluşturulan doluluk modeli.

Doluluk modelleri oluşturulduktan sonra her dönem farklı katların periyotlarına ait grafikler oluşturularak farklı zaman dilimlerindeki doluluk oranları hergün için karşılaştırılmıştır (Şekil 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6).

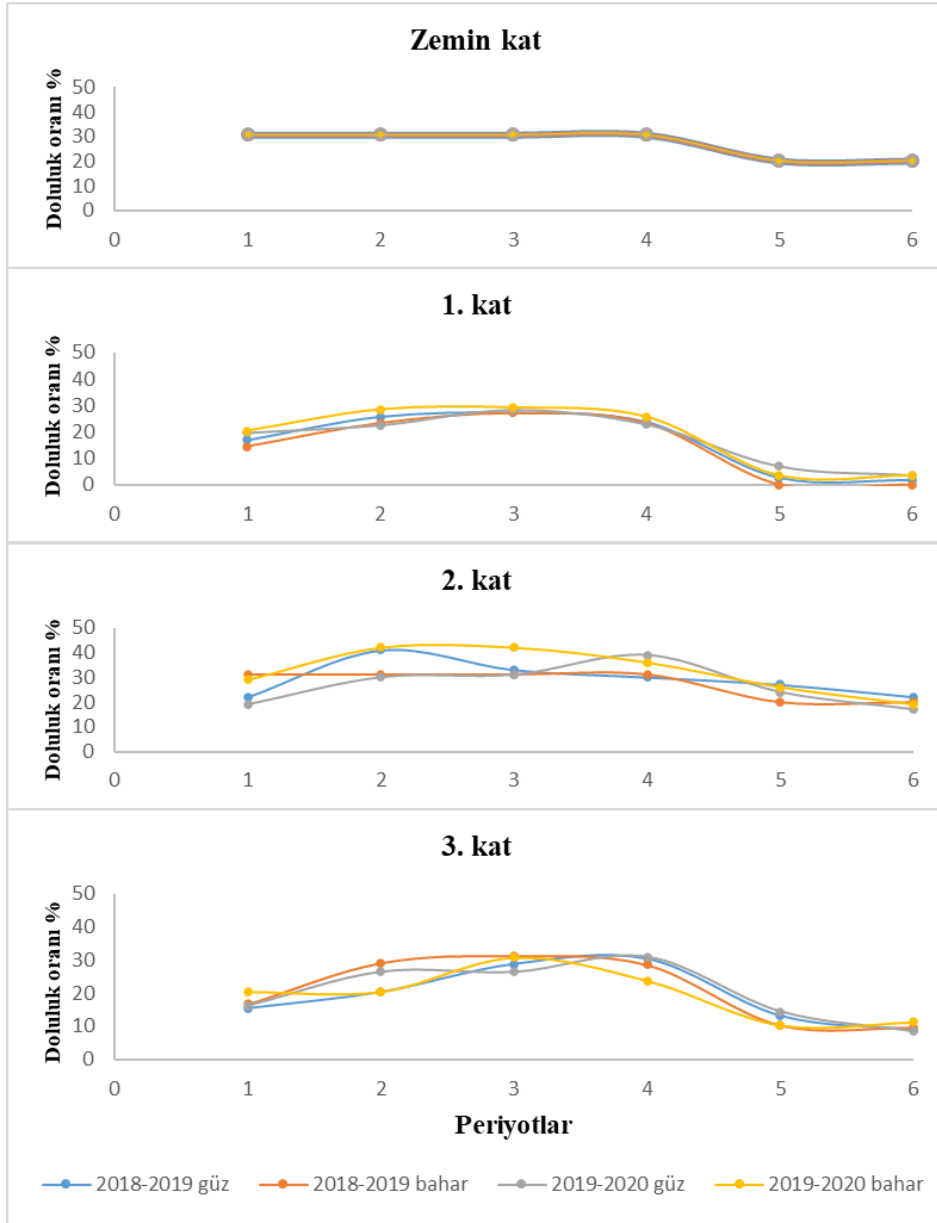


**Şekil 3.2:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri pazartesi günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere,

- Birinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı %12,1 ile 2019-2020 bahar dönemi 2. katta,

- İkinci periyotta en yüksek doluluk oranı %34,6 ile 2019-2020 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %19 ile 2018-2019 güz dönemi ikinci katta,
- Üçüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %36,8 ile 2019-2020 bahar dönemi 3. katta, en düşük doluluk oranı %24,1 ile 2018-2019 güz dönemi 1. katta,
- Dördüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %36,2 ile 2019-2020 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %22 ile 2018-2019 bahar dönemi 2. katta,
- Beşinci periyotta en yüksek doluluk oranı %28,2 ile 2019-2020 bahar dönemi 3.katta, en düşük doluluk oranı hiç kullanılmayan 1. katta,
- Altıncı periyotta en yüksek doluluk oranı %23 ile 2018-2019 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı hiç kullanılmayan 1. katta olduğu görülmektedir.



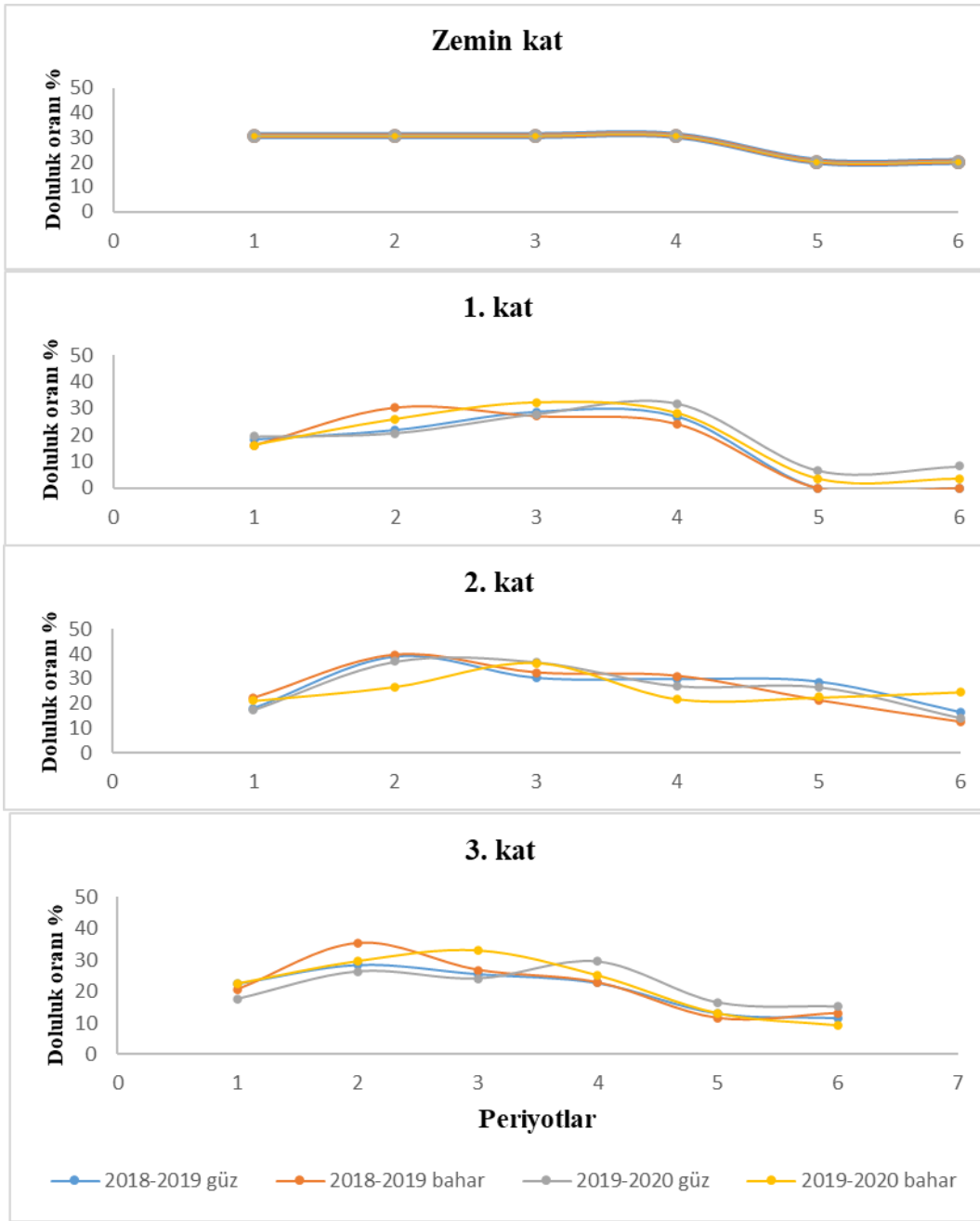
**Şekil 3.3:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri salı günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere,

- Birinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı %14,5 ile 2018-2019 bahar dönemi 1. katta,
- İkinci periyotta en yüksek doluluk oranı %42 ile 2019-2020 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %20,3 ile 2018-2019 güz dönemi ikinci katta,
- Üçüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %42 ile 2019-2020 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %26,5 ile 2019-2020 güz dönemi 3. katta,
- Dördüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %39 ile 2019-2020 güz dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %23 ile 2019-2020 güz dönemi 1. katta,
- Beşinci periyotta en yüksek doluluk oranı %27 ile 2018-2019 güz dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 bahar dönemi hiç kullanılmayan 1. katta,
- Altıncı periyotta en yüksek doluluk oranı %22 ile 2018-2019 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 bahar dönemi hiç kullanılmayan 1. katta olduğu görülmektedir.

Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2020 güz ve bahar dönemleri çarşamba günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları için yapılan hesaplamalara göre (Şekil 3.4 );

- Birinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı %16 ile 2018-2019 bahar dönemi 1. katta,
- İkinci periyotta en yüksek doluluk oranı %39,7 ile 2018-2019 bahar dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %20,6 ile 2019-2020 güz dönemi ikinci katta,
- Üçüncü periyotta en yüksek doluluk oranı % 37 ile 2019-2020 güz dönemi 2. katta, en düşük doluluk oranı %24,2 ile 2019-2020 güz dönemi 3. katta,
- Dördüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %31,6 ile 2019-2020 güz dönemi 1.katta, en düşük doluluk oranı %23 ile 2019-2020 güz dönemi 1.katta,
- Beşinci periyotta en yüksek doluluk oranı %28,6 ile 2018-2019 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 güz ve bahar dönemi hiç kullanılmayan 1.katta,
- Altıncı periyotta en yüksek doluluk oranı %24,7 ile 2019-2020 bahar dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 güz ve bahar dönemleri hiç kullanılmayan 1.katta olduğu görülmektedir.

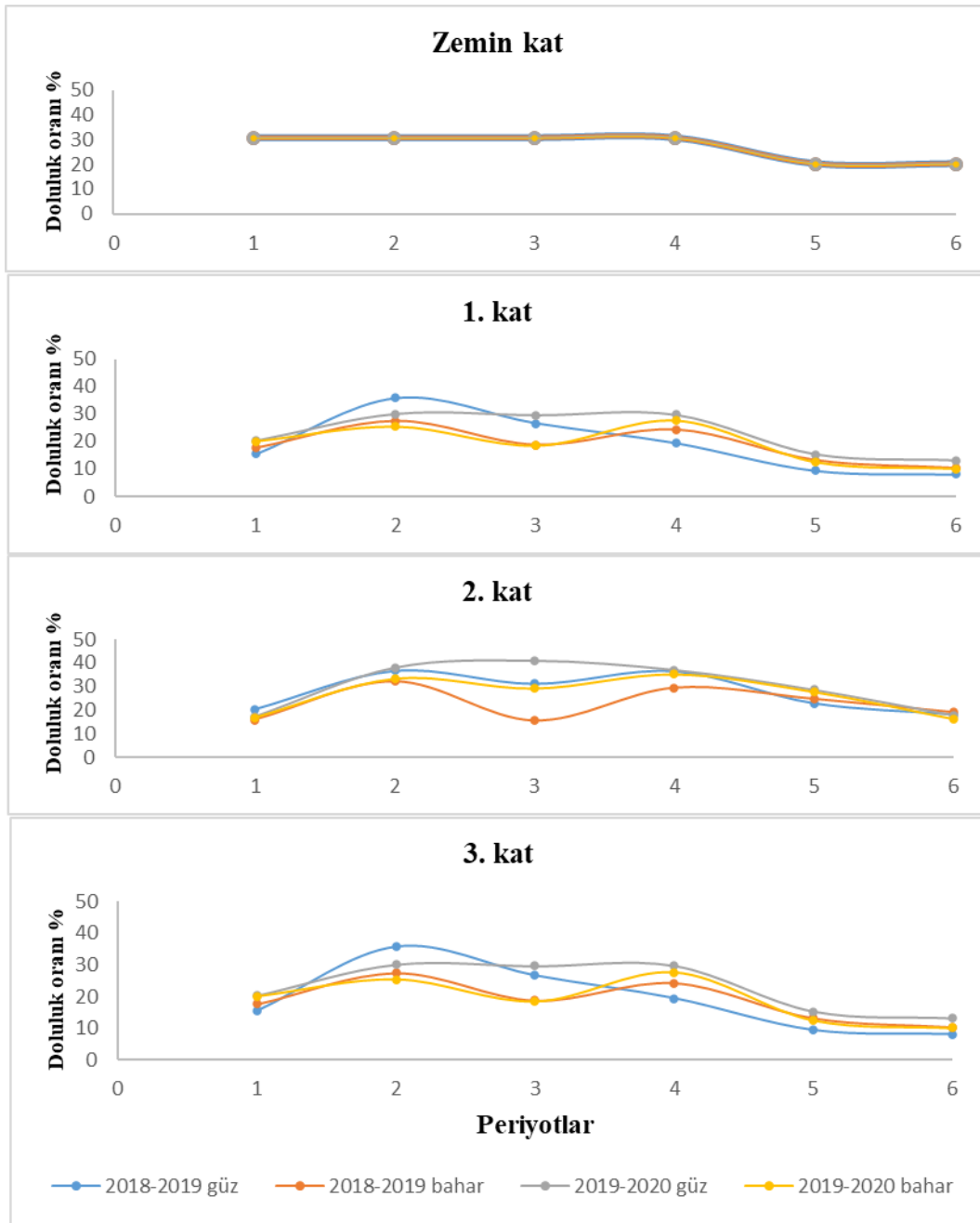


**Şekil 3.4:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri çarşamba günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.

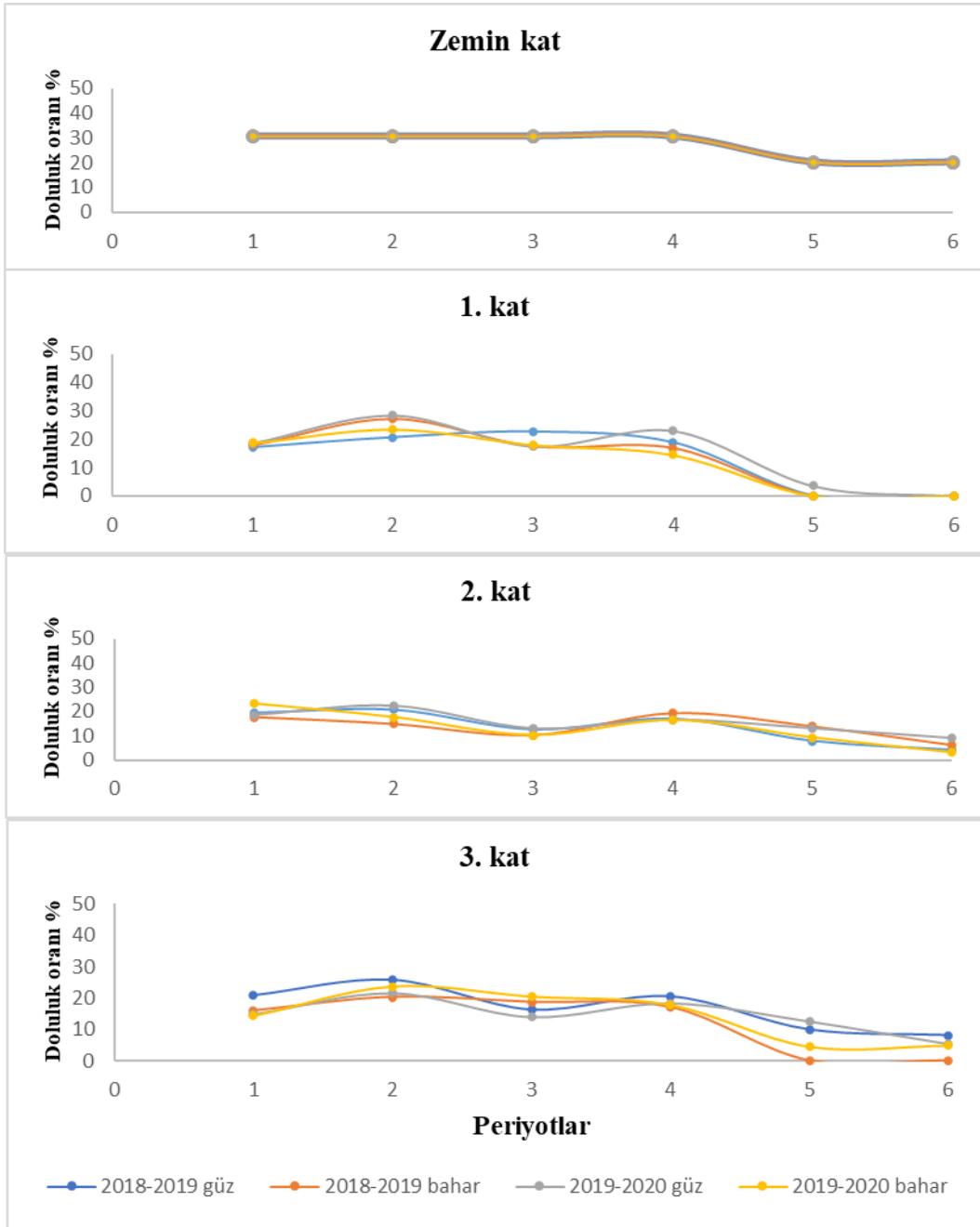
Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2020 güz ve bahar dönemleri perşembe günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları için yapılan hesaplamalara göre (Şekil 3.5);

- Birinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı %15,5 ile 2018-2019 güz dönemi 3.katta,
- İkinci periyotta en yüksek doluluk oranı %37 ile 2019-2020 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı %16,20 ile 2019-2020 güz dönemi 1.katta,

- Üçüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %41 ile 2019-2020 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı %15 ile 2018-2019 bahar dönemi 3.katta,
- Dördüncü periyotta en yüksek doluluk oranı %37 ile 2019-2020 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı %19 ile 2018-2019 güz dönemi 3.katta,
- Beşinci periyotta en yüksek doluluk oranı %29 ile 2019-2020 güz dönemi 2.katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 bahar dönemi hiç kullanılmayan 1.katta,
- Altıncı periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %20,1 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 güz ve bahar dönemi hiç kullanılmayan 1.katta olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.5:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri perşembe günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.



**Şekil 3.6:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri cuma günü farklı katlardaki periyotlara ait doluluk oranları.

Şekil 3.6’da görüldüğü üzere,

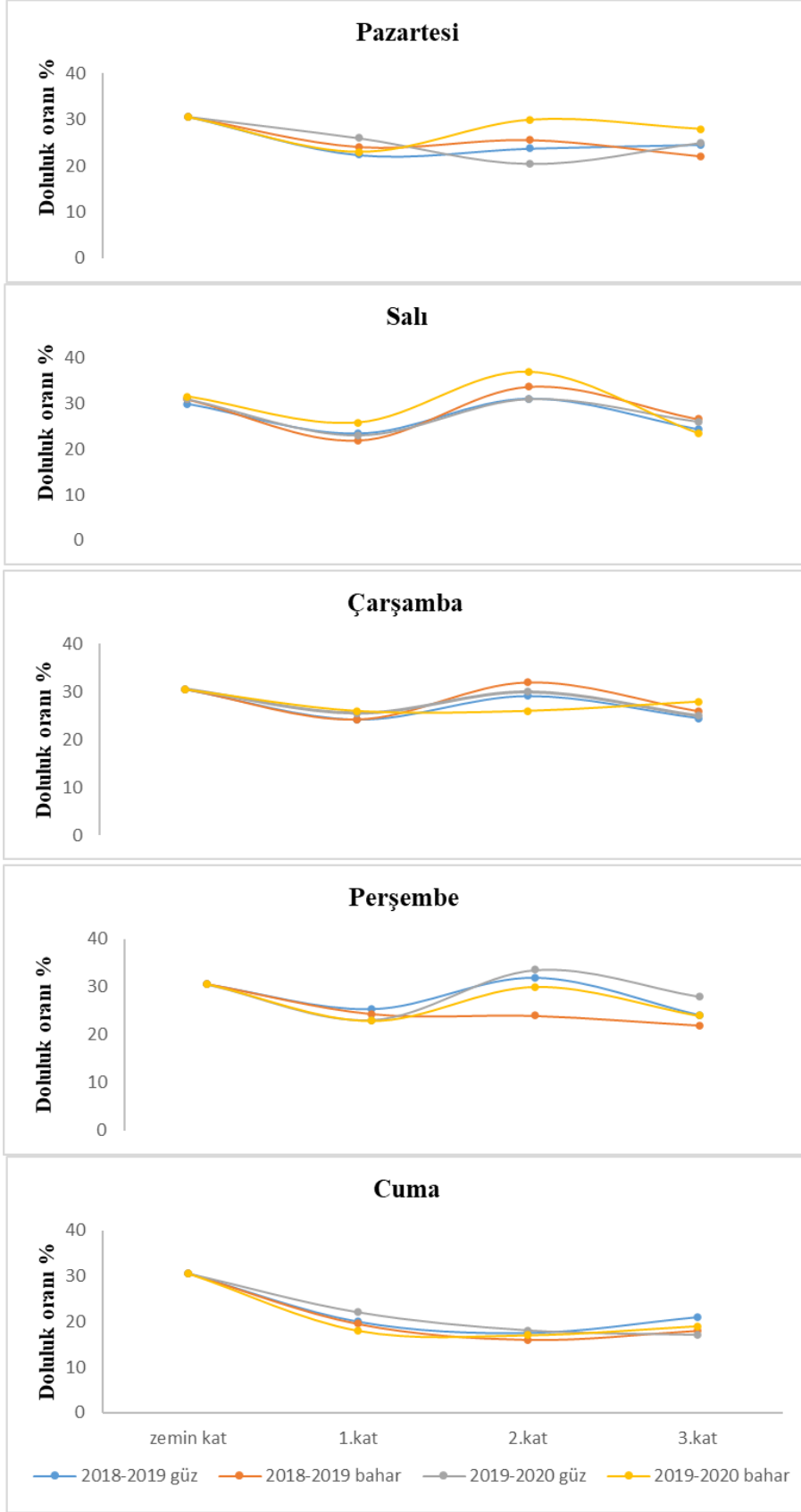
- Birinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı %14,2 ile 2019-2020 bahar dönemi 3.katta,
- İkinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı % 14,7 ile 2018-2019 bahar dönemi 2.katta,

- Üçüncü periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı % 10,2 ile 2018-2019 bahar dönemi 2.katta,
- Dördüncü periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %30,6 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı % 14,5 ile 2019-2020 bahar dönemi 1.katta,
- Beşinci periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %20,1 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı 2018-2019 güz ve bahar dönemleri hiç kullanılmayan 1.katta,
- Altıncı periyotta en yüksek doluluk oranı tüm dönemlerde %20,1 ile zemin katta, en düşük doluluk oranı farklı dönemlerde ve hiç kullanılmayan farklı katlarda olduğu görülmektedir.

Genellikle tüm dönemlerde ilk dört periyottaki doluluk oranlarının beşinci ve altıncı periyotlardaki doluluk oranlarından daha yüksek olması binada bulunan farklı bölümlerin bazılarının ikinci öğretimi olmamasından kaynaklanmaktadır. Tüm periyotlardaki doluluk oranlarına bakıldığında ise genellikle en yüksek doluluk oranları katlara ve dönemlere göre değişkenlik göstermektedir. Mühendislik Fakültesi ek binasının periyotlara göre doluluk oranları hesaplandıktan sonra tüm dönemlerde beş farklı gün için bina katlarına ait doluluk oranları ve karşılaştırmaları Şekil 3.7' de verilmiştir. Farklı katlara ait doluluk oranlarının değerlendirilmesinin amacı daha sonraki aşamalarda binanın derslik yerleşimine ait senaryolar geliştirilirken katlara dersliklerin nasıl yerleştirilmesi gerektiği hakkında fikir sağlayacak olmasıdır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri için, haftanın beş gününe ait doluluk oranları farklılık göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre;

- Zemin kattaki en yüksek doluluk oranı %30,6 ile genellikle tüm dönemlerde ve günlerde aynı,
- Birinci kattaki en yüksek doluluk oranı %26 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemi çarşamba gününde, en düşük doluluk oranı % 19,5 ile 2018-2019 bahar dönemi cuma gününde,
- İkinci kattaki en yüksek doluluk oranı %37 ile 2019-2020 bahar dönemi salı gününde, en düşük doluluk oranı %16 ile 2018-2019 bahar dönemi cuma gününde,
- Üçüncü kattaki en yüksek doluluk oranı %28 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemi pazartesi, çarşamba ve perşembe günlerinde, en düşük doluluk oranı %17 ile 2019-2020 güz dönemi cuma gününde olduğu görülmektedir.





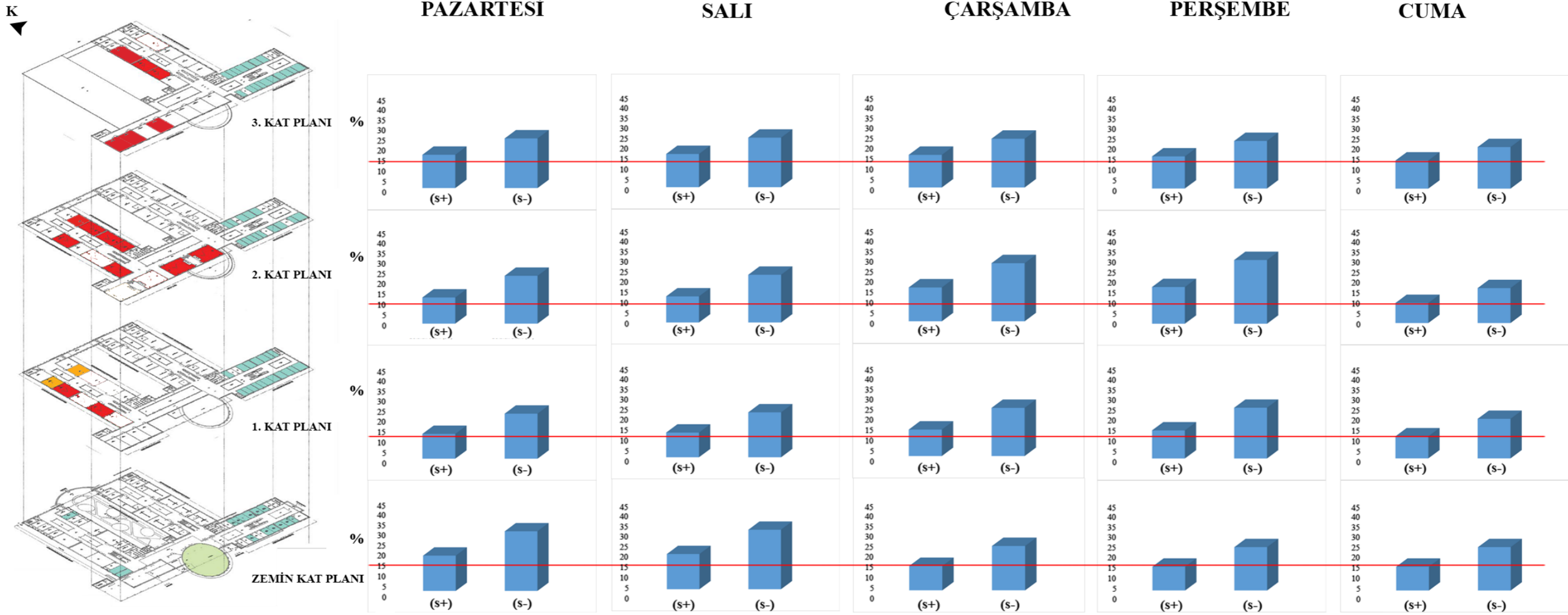
**Şekil 3.7:** Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri farklı günlerde bina katlarına ait doluluk oranları.

Farklı katlardaki doluluk oranlarının karşılaştırılması yapıldığında en yüksek doluluk oranının 2019-2020 bahar dönemi salı gününe ait ve ikinci katta olduğu görülmüştür. Bunun nedeni 2. katta farklı bölümlere ait dersliklerin bir arada bulunması olabilir. Tüm doluluk oranlarına genel olarak bakıldığında ise en yüksek doluluk oranlarının 2019-2020 bahar dönemine ait olduğu görülmektedir. Bu yüksek doluluk oranının artan öğrenci sayısı ile ilişkili olduğu tahmin edilmektedir.

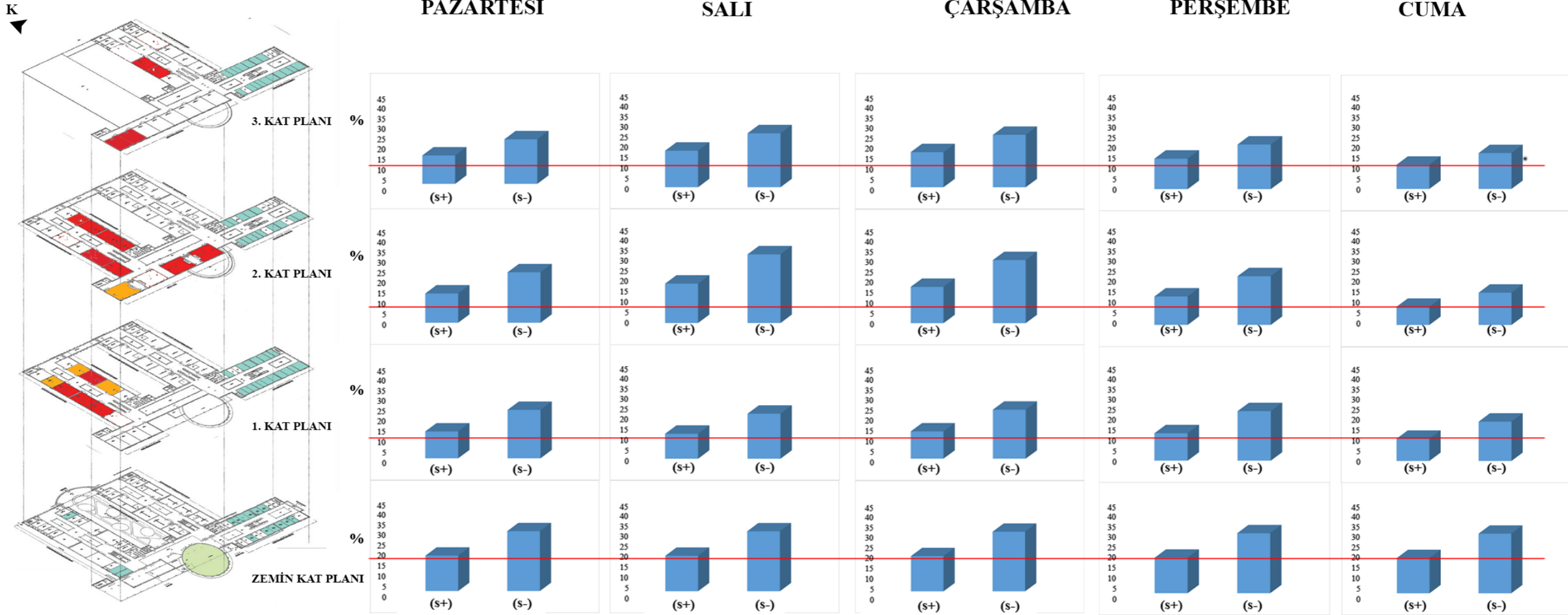
Ayrıca Mühendislik Fakültesi ek binasının farklı dönemlerdeki haftanın beş gününe ait her katın doluluk oranları hesaplanmıştır. Öncelikle binaya ait tüm katlarda, sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranı (s-) olmak üzere iki farklı hesaplama yapılmıştır. Sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranındaki (s+) değerler görece daha düşük olduğu için ve yanıtıcı olmaması nedeniyle sonraki aşamalarda sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranına (s-) göre diğer hesaplamalar ve simülasyonlar yapılmıştır. Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri için sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) haftanın beş gününe ait, binanın farklı katlarındaki doluluk oranları tüm dönemler için yapılmıştır. Tüm dönemler için zemin katta doluluk oranlarının haftanın beş gününde aynı olduğu görülmektedir. Bu sonucu zemin katta bulunan ortak alanlarla ilişkilendirebiliriz. Tüm dönemlerde sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) en düşük olduğu gün ise cuma günü olarak bulunmuştur. 2018-2019 güz dönemi için yapılan hesaplamalara göre sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) en yüksek olduğu günler 1. ve 2. katta perşembe günü, 3.katta pazartesi günü olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.8). 2018-2019 bahar dönemi için yapılan hesaplamalara göre sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) en yüksek olduğu günler 1. katta perşembe günü, 2. katta, salı günü ve 3.katta çarşamba günü olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.9). 2019-2020 güz dönemi için yapılan hesaplamalara göre sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) en yüksek olduğu günler 1. katta pazartesi günü, 2. ve 3. katta perşembe günü olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.10). 2019-2020 bahar dönemi için yapılan hesaplamalara göre sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) ve sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranının (s-) en yüksek olduğu günler 1. katta çarşamba günü, 2. katta salı günü ve 3. katta pazartesi ve çarşamba günleri olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.11).

Tüm dönemlere ait hesaplamaların sonuçlarına göre; tüm katlarda hem sirkülasyonun alana dahil edildiği doluluk oranı (s+) hem de sirkülasyonun alana dahil edilmediği doluluk oranı (s-) hesabına göre en yüksek ve en düşük doluluk oranlarının günlere ve katlara göre farklı olduğu görülmektedir. Mühendislik ek binasının katlarına ait farklı günlerdeki doluluk oranları hesaplandıktan sonra tüm binanın, haftanın beş gününe ait farklı dönemlerdeki birinci öğretim, ikinci öğretim ve tüm güne ait doluluk oranları hesaplanmıştır. Tüm dönemlere ait haftalık ortalama doluluk oranları Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12’de de görüldüğü üzere farklı günlere ait farklı öğretimlerdeki toplam doluluk oranları birbirinden farklıdır. Yapılan hesaplamalara göre en yüksek doluluk oranı %36 ile birinci öğretimdeki salı gününde görülürken en düşük doluluk oranının ise %10 ile ikinci öğretimdeki cuma gününe ait olduğu görülmüştür. Daha önce ifade edildiği gibi ikinci öğretimdeki doluluk oranının düşük olması binada bulunan farklı bölümlerin bazılarının ikinci öğretime ait ders saatlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Tüm dönemlerde Mühendislik Fakültesi ek binasının birinci öğretimde doluluk oranının ikinci öğretim ve tüm günün doluluk oranından daha yüksek ve haftanın beş gününe ait en yüksek doluluk oranının salı günü olduğu bulunmuştur. Ek olarak tüm dönemlerin doluluk oranlarına bakıldığında 2019-2020 güz ve bahar dönemlerinin doluluk oranlarının diğer dönemlere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Doluluk oranının bu dönemlerde yüksek olmasını nedeni daha önce de değinildiği üzere artan öğrenci sayısı ile ilişkili olduğu tahmin edilmektedir.

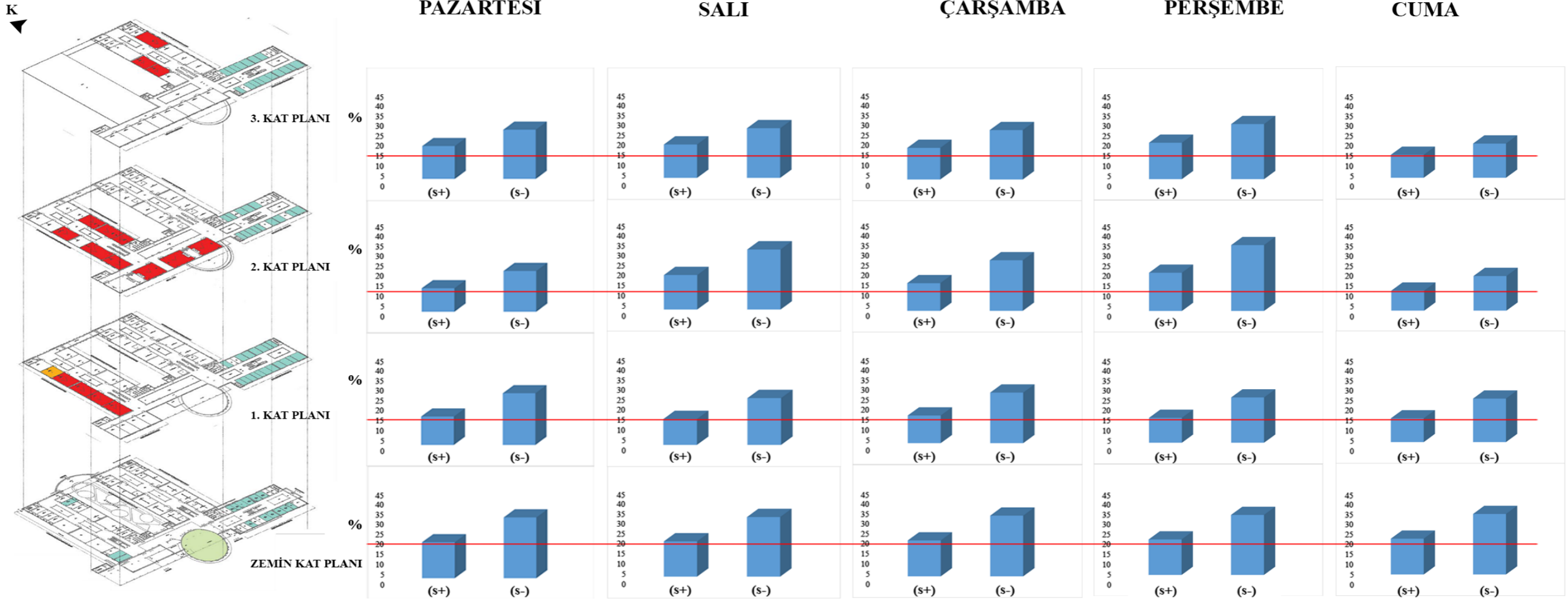
Sonuç olarak Mühendislik Fakültesi ek binasının tüm dönemlerde en yüksek doluluk oranının 2019-2020 güz ve bahar dönemlerinde olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda bina doluluğunun yaklaşık olarak %40 seviyelerinde olduğu kabul edilerek diğer hesaplamalar ve simülasyonlar yapılmıştır çünkü binanın toplam alanı hesaplanırken dış duvarların kalınlığı, bina çekirdeklerinin kesin boyutu ve ders programında yer almayan laboratuvarlara ait dersliklerin yaklaşık %5-%8 arasında hata payına karşılık geldiği kabul edilmiştir. Mühendislik Fakültesi ek binasının farklı eğitim öğretim dönemlerine ait mekan kullanım oranları incelendiğinde 20.000 m<sup>2</sup>’lik bir bina yerine yaklaşık 11.500 m<sup>2</sup>’lik bir bina ile de eğitim ve ofis ihtiyaçlarının karşılanabileceği hesaplanmıştır.



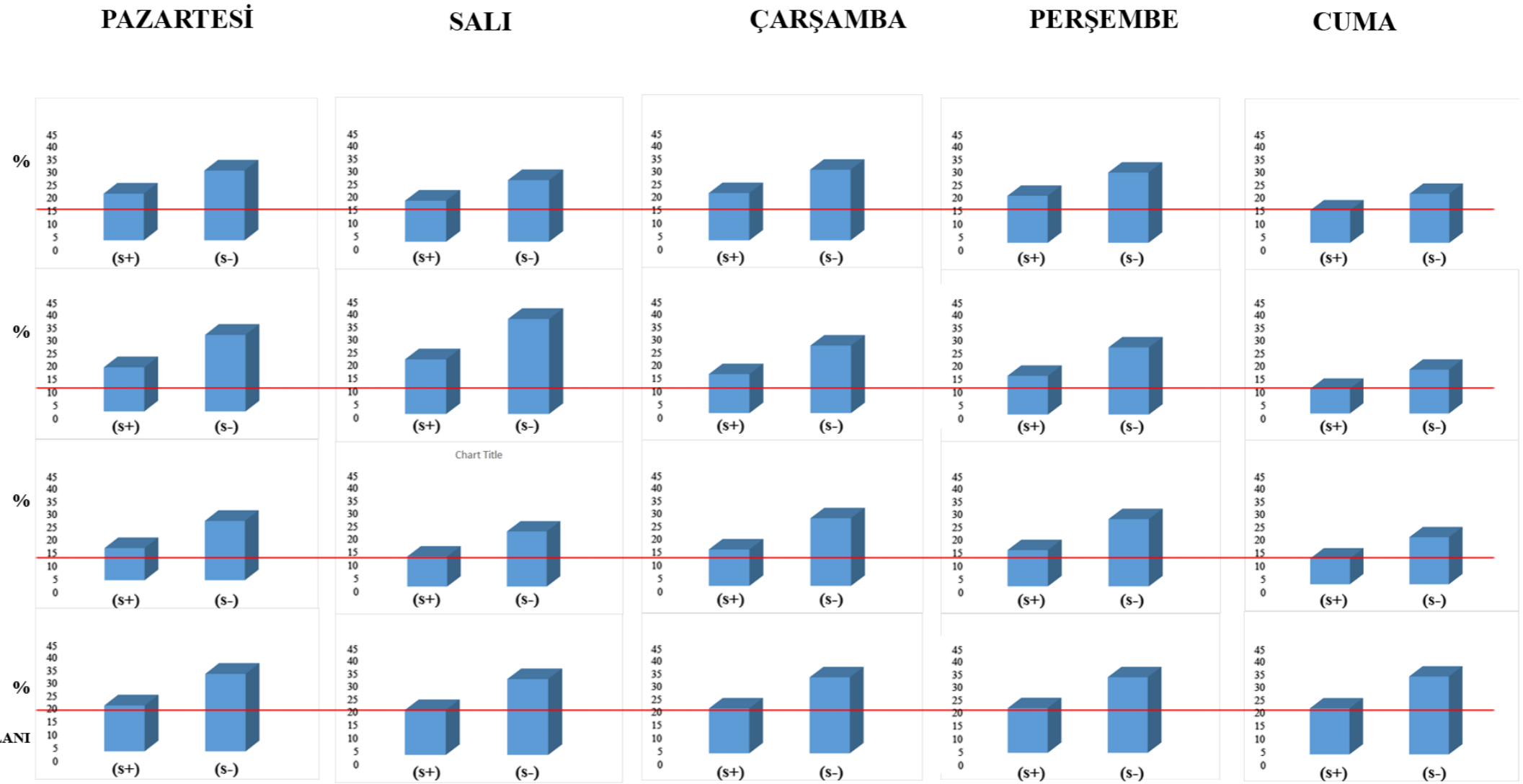
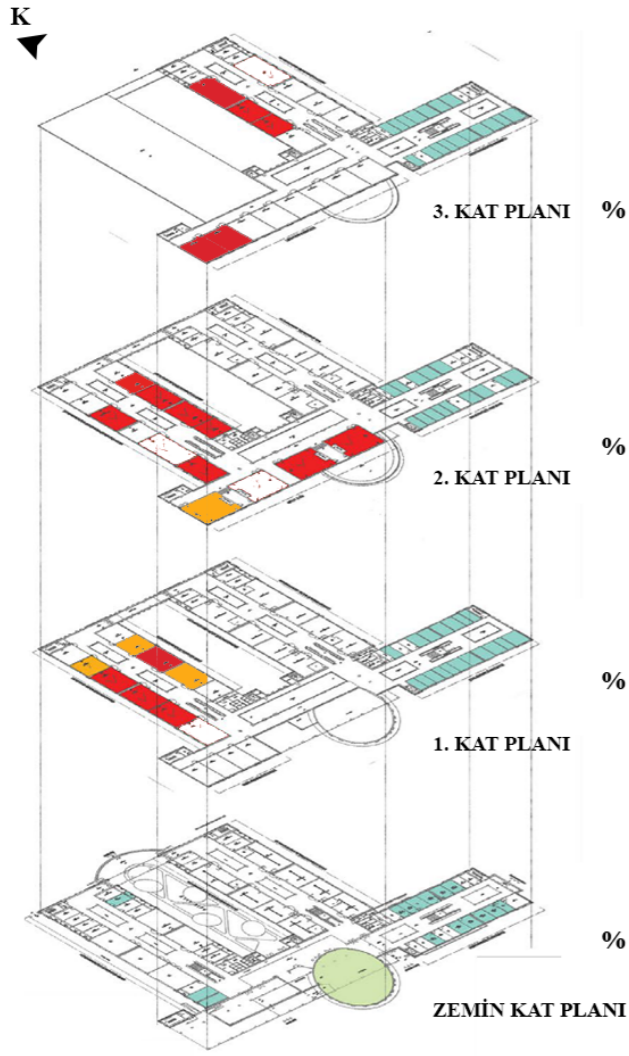
Şekil 3.8: Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 güz dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları.



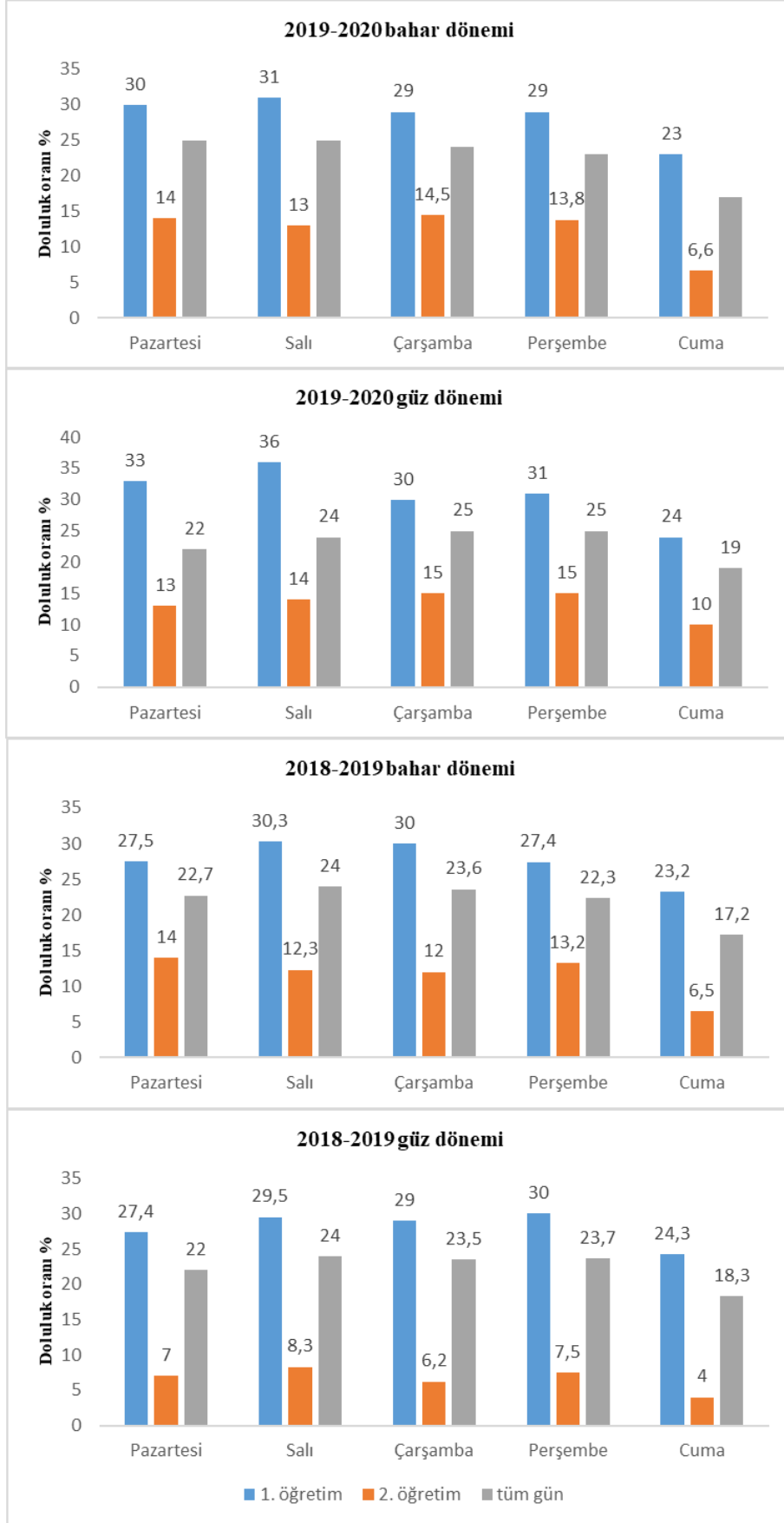
Şekil 3.9: Mühendislik Fakültesi ek binasının 2018-2019 bahar dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları.



Şekil 3. 10: Mühendislik Fakültesi ek binasının 2019-2020 güz dönemi haftanın beş gününe ait katlardaki s+ ve s- doluluk oranları.



Şekil 3.11: Mühendislik Fakültesi ek binasının 2019-2020 bahar dönemi haftanın beş gününe ait bina katlardaki s+ ve s- doluluk oranları.



**Şekil 3.12:** Binanın tüm dönemlerine ait haftalık ortalama doluluk oranları.



### 3.2 Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ek binasına ait kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki düzeyini belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Korelasyon analizi sonucunda, doğrusal ilişki olup olmadığı ve varsa bu ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı ile hesaplanır. Korelasyon katsayısı “r” ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alabilir (Büyüköztürk, Çokluk ve Köklü, 2018).

Korelasyon katsayısı;

- $r = -1$  ise tam negatif doğrusal bir ilişki vardır.
- $r = +1$  ise tam pozitif doğrusal bir ilişki vardır.
- $r = 0$  ise iki değişken arasında ilişki yoktur anlamına gelmektedir.

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binasına ait kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki düzeyini belirlemek için yapılan korelasyon analizinin sonuçları Tablo 2.7’de verilmiştir.

**Tablo3. 1:** Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki düzeyi

		Correlations	
		Derslik Kapasitesi	Dersi Alan öğrenci Sayısı
Derslik Kapasitesi	Pearson Correlation	1	,542**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	277	277
Dersi Alan öğrenci Sayısı	Pearson Correlation	,542**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	277	277

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tablo incelendiğinde, derslik kapasitesi ile dersi alan öğrenci sayısı arasında orta düzeyde, pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir ( $r = ,542$ ;  $p < 0.01$ ). Bu durum, öğrenci sayısı arttıkça derslik kapasitesinin artabileceğini göstermektedir. Değişkenlerden birindeki değişimin ne kadarının diğer değişken tarafından açıklandığının yüzde olarak ifade edilebilmesi için varyansa bakılmalıdır. Varyans miktarı korelasyon katsayısının karesine eşittir ve buna determinasyon katsayısı denir (Büyüköztürk, Çokluk ve Köklü, 2018).

Mühendislik Fakültesi ek binasına ait kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki düzeyi  $r=0.542$ 'dir. Buna göre determinasyon katsayısı  $r^2 = 0,294$ 'tür (Tablo 2.8).

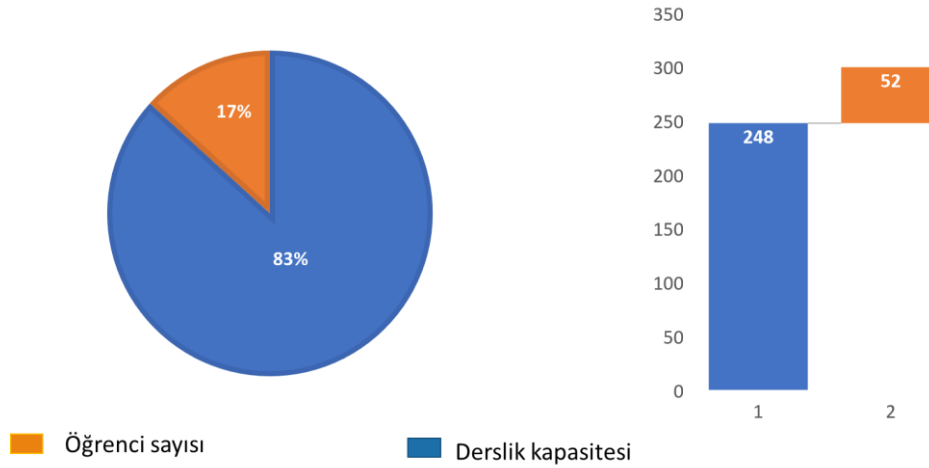
**Tablo3. 2:** Kullanıcı sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki determinasyon katsayısı

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,542 <sup>a</sup>	,294	,291	13,839

a. Predictors: (Constant), Dersi Alan öğrenci Sayısı

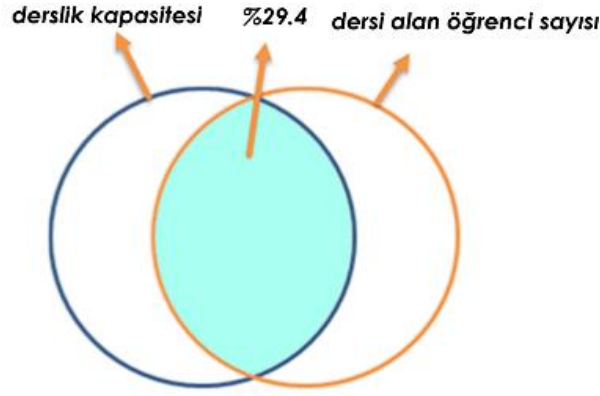
Sonuç olarak;

- Derslik kapasitesi ile dersi alan öğrenci sayısı karşılaştırıldığında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ek binasında %83 mertebesinde derslik kapasitesinin öğrenci sayısından daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.13). Buna göre, büyük sınıflarda daha az sayıda öğrenci ile ders işlenmektedir .



**Şekil 3.13:** Binaya ait öğrenci sayısı ve derslik kapasitesinin karşılaştırılması

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ek binasında dersi alan öğrenci sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki incelendiğinde, derslik kapasitesi ile dersi alan öğrenci sayısı arasında orta düzeyde, pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre, derslik kapasitesindeki toplam değişkenliğin %29,4'ü, dersi alan öğrenci sayısından kaynaklanmaktadır (şekil 3.14).



**Şekil 3.14:** İki değişken arasındaki ilişkinin yüzdelik olarak gösterilmesi.

### 3.3 Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Çağış kampüsünde bulunan Mühendislik Fakültesi ek binasının birinci dönem ve ikinci dönem ısıtma ve soğutma tüketimleri, farklı derslik yerleşim stratejileri geliştirilerek mevcut yıl (TMY2), 2050 yılı ve 2080 yılı senaryoları için DesignBuilder TM programı kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece farklı derslik yerleşim senaryolarının, farklı iklim veri setleri kullanılarak Mühendislik Fakültesi ek binasının ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine etkisi incelenmiştir. DesignBuilder TM ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin çalışma saatlerini ayrıca doluluk oranlarını tanımlamak mümkündür. Bu sayede her bir senaryo için binanın ısıtma ve soğutma tüketimi sonuçları elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında binanın enerji tüketimi çıktıları kWh cinsinden alınmıştır. Bu sonuçlara ait, mevcut yılın (bölüm 3.3.1), 2050 yılının (bölüm 3.3.2) ve 2080 yılının ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri (bölüm 3.3.3) aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.3.1 Mevcut iklim (TMY 2) verisi: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri

Geliştirilen derslik yerleşim senaryolarına göre mevcut TMY2 iklim verisi kullanılarak, iki farklı dönem (bahar ve güz) için ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Bu şekilde senaryoların ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerine ve sonrasında enerji tasarrufuna etkileri analiz edilmiştir. Geliştirilen senaryolar için kat kullanım stratejisi (K), güneşin etkisine bağlı sabah derslik yerleşim senaryoları (GS) ve güneşin etkisine bağlı öğleden sonra derslik yerleşim senaryoları (GÖ) olarak üç farklı grup oluşturulmuştur. Kat kullanım stratejisi senaryolarından elde edilen sonuçlar bir güne toplam enerji tüketimini temsil

etmektedir. Güneşin geliş yönüne göre sabaha yönelik geliştirilen senaryolar ile öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolar o günün yarısına ait enerji tüketim değerlerini temsil etmektedir. Bu nedenle tüm dönemlerde sabaha yönelik geliştirilen senaryolar ile öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolar için bu iki zaman diliminin enerji tüketimleri toplanarak günlük sonuçlar oluşturulmuştur ve en az ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerine göre eşleştirilmiştir. Ayrıca sabah ve öğleden sonraya ait derslik yerleşim senaryoları sayısının eşit olmamasından kaynaklı hesaba katılamayan senaryoların en yüksek ile en düşük tüketim değerleri arasındaki farkın yaklaşık olarak en fazla %1 olduğu gözlemlenmiştir.

Mevcut yılı güz dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanmış Şekil 3.15 ve Şekil 3.17’de verilmiştir .

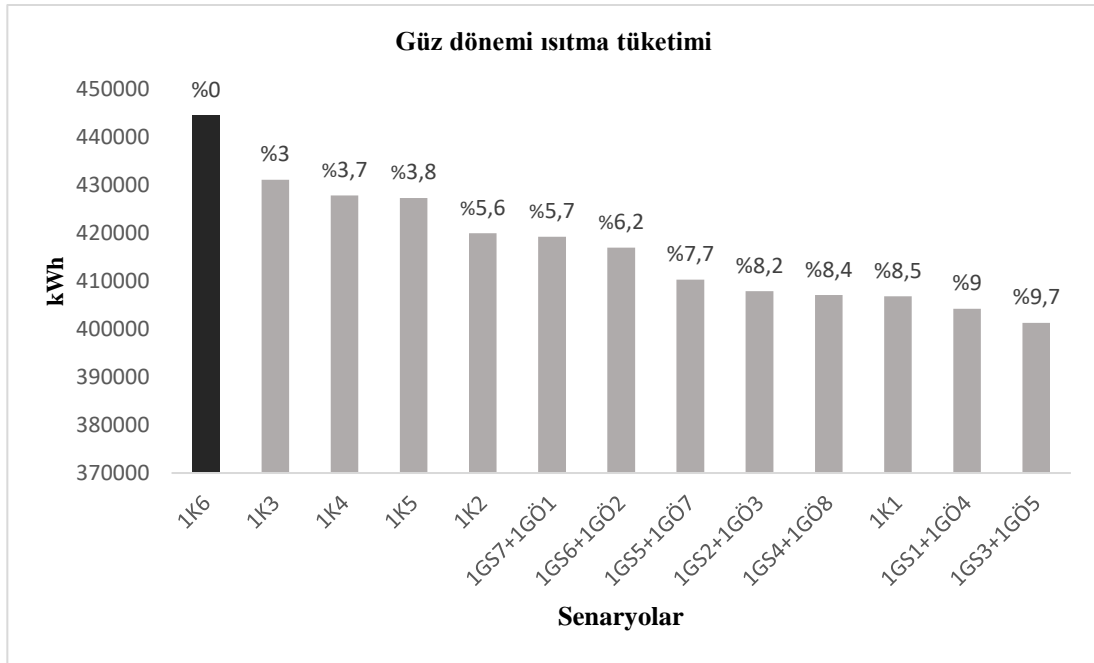
Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
1K6 444570	1GS3 220202	1GÖ5 181058
1K3 431121	1GS1 221260	1GÖ4 182981
1K4 427842	1GS4 221379	1GÖ8 185707
1K5 427311	1GS2 221412	1GÖ3 186444
1K2 419929	1GS5 223689	1GÖ7 186584
	1GS6 229120	1GÖ2 187861
	1GS7 229221	1GÖ1 190008
		1GÖ6 190045
		1GÖ9 190728
		1GÖ10 190795

**Şekil 3.15:** Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.15’e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen

senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 1GÖ6, 1GÖ9 ve 1GÖ10 senaryoları mevcut yılı güz dönemi için hesaba katılmamıştır.

Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırılmaları Şekil 3.16'da verilmiştir. Şekil 3.16'ya göre Mühendislik Fakültesi ek binasında en yüksek ısıtma enerjisi tüketimi 1K6 (Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosunda, en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin ise 1GS3+1GÖ5 (1GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 1GÖ5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosunda olduğu görülmektedir.



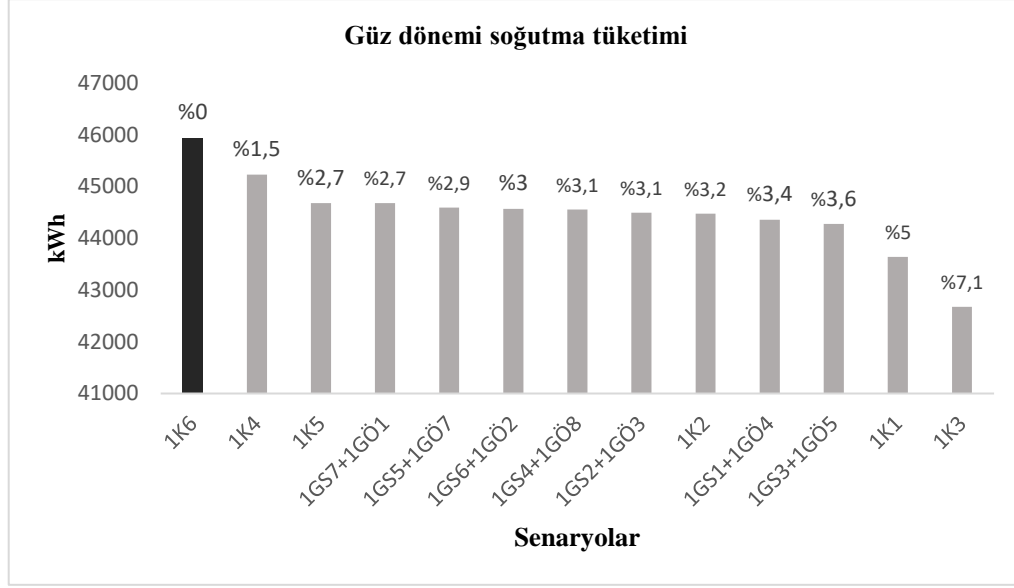
**Şekil 3.16:** Mühendislik Fakültesi ek binası güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerji tüketimleri.

Böylece uygun derslik yerleşim stratejileri ile 1K6 senaryosuna göre ısıtma tüketiminin yaklaşık %9,7 oranında azalabileceği hesaplanmıştır. Bu azalma 19186,53 kg CO<sub>2</sub> salıma ve Nisan 2021 güncel doğalgaz fiyatlarına göre (43310,4569 kWh x 0,15508279 TL/kWh) 6.713,1208195 TL'ye denk gelmektedir.

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
<p>1K6 45940</p> <p>1K4 45230</p> <p>1K5 44679</p> <p>1K2 44475</p> <p>1K1 43638</p> <p>1K3 42678</p>	<p>1GS1 18466</p> <p>1GS2 18477</p> <p>1GS3 18479</p> <p>1GS4 18508</p> <p>1GS5 18518</p> <p>1GS6 18526</p> <p>1GS7 18547</p>	<p>1GÖ5 25796</p> <p>1GÖ4 25893</p> <p>1GÖ3 26016</p> <p>1GÖ2 26041</p> <p>1GÖ8 26046</p> <p>1GÖ7 26074</p> <p>1GÖ1 26132</p> <p>1GÖ6 26135</p> <p>1GÖ9 26203</p> <p>1GÖ10 26223</p>

**Şekil 3.17:** Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.17'e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 1GÖ6, 1GÖ9 ve 1GÖ10 senaryoları mevcut yılı güz dönemi için hesaba katılmamıştır. Ek olarak mevcut yılı güz dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini karşılaştırmak ve en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar seçilmiştir. Mevcut yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırılmaları Şekil 3.18'de verilmiştir. Şekil 3.18'e en yüksek soğutma enerjisi tüketiminin 1K6'ya (1K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) ait olduğu görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin ise 1K3'e (s3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) ait olduğu görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim stratejilerinin geliştirilmesiyle soğutma tüketiminin yaklaşık %7,1 oranında azalabileceği tespit edilmiştir. Bu azalma 1445,15 kg CO<sub>2</sub> salıma ve (3262,198 kWh x 1,05 TL/ kWh) 3.425,3079 TL'ye denk gelmektedir.



**Şekil 3.18:** Mühendislik Fakültesi Ek binası güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait soğutma enerji tüketimleri.

Sonuç olarak mevcut yılı güz dönemi için ısıtma ve soğutma enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 1GS3+1GÖ5 (1GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 1GÖ5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) olduğu bulunmuştur. En fazla enerji tüketimine neden olan senaryoya ise 1K6'dır (Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır).

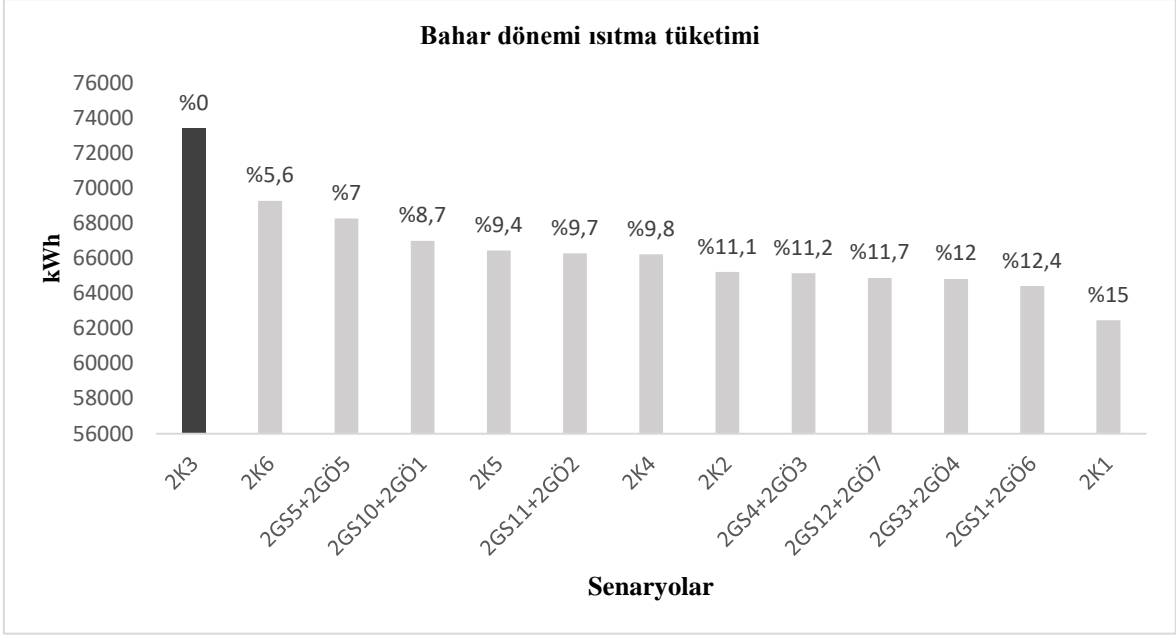
Mevcut yılı bahar dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanarak sırasıyla şekil 3.19 ve şekil 3.21'de verilmiştir .

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
2K1 62478	2GS1 39144	2GÖ3 25173
2K2 65226	2GS12 39366	2GÖ6 25277
2K4 66234	2GS3 39485	2GÖ4 25351
2K5 66458	2GS4 39975	2GÖ7 25519
2K6 69288	2GS11 40126	2GÖ1 26123
2K3 73424	2GS10 40876	2GÖ2 26165
	2GS2 41065	2GÖ5 27213
	2GS5 41067	
	2GS6 41492	
	2GS7 41786	
	2GS8 42298	
	2GS9 42393	

**Şekil 3.19:** Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.19'a göre öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryoların sayısı sabaha yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için sabaha yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2GS2, 2GS6, 2GS8, 2GS7 ve 2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için hesaba katılmamıştır. Ek olarak mevcut yılı güz dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini karşılaştırabilmek ve en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar seçilmiştir. Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırmaları Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekil 3.20'ye göre, en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin 2K3'e (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) ait olduğu görülürken en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin ise 2K1'e (2K1: Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.) aittir.





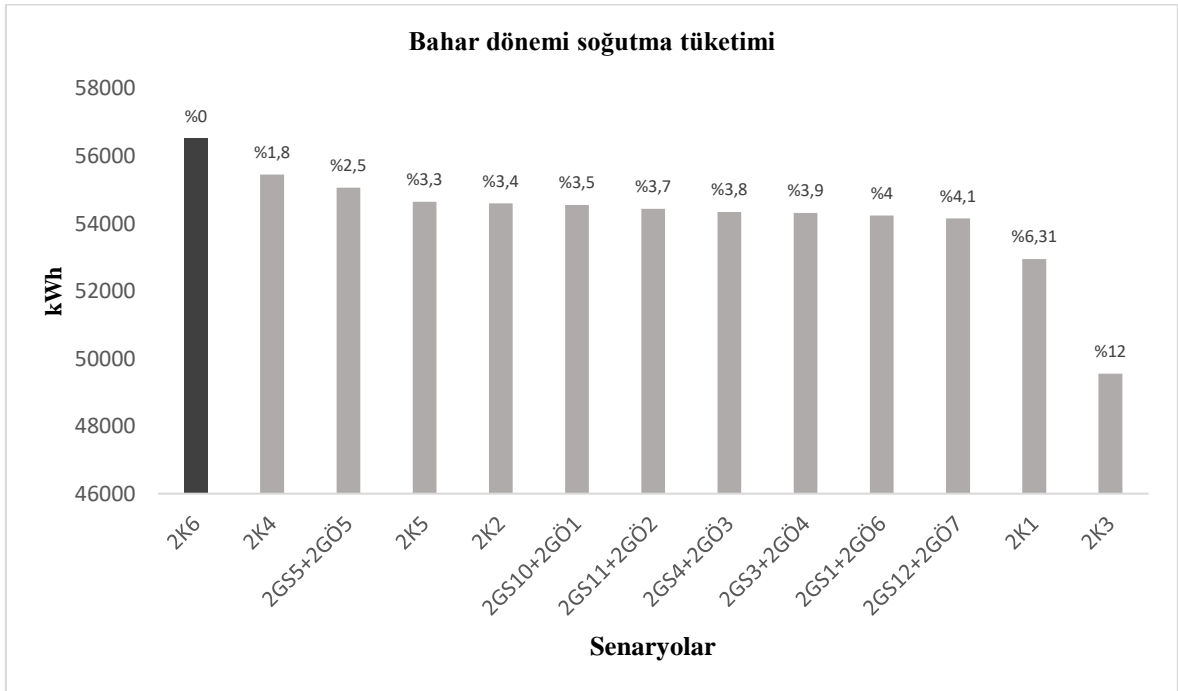
**Şekil 3.20:** Mühendislik Fakültesi ek binası bahar dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerji tüketimleri.

Uygun derslik yerleşim stratejilerinin geliştirilmesiyle ısıtma tüketimi yaklaşık %15 oranında azalabilir. Bu azalma 4848,83 kg CO<sub>2</sub> salıma ve (10.945,4584 kWh x 0,15508279 TL/kWh) 1.696,546052TL'ye denk gelmektedir.

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
2K6 56517	2GS12 24734	2GÖ7 29423
2K4 55448	2GS1 24799	2GÖ6 29440
2K5 54644	2GS3 24845	2GÖ4 29470
2K2 54594	2GS4 24852	2GÖ3 29491
2K1 52950	2GS11 24869	2GÖ2 29565
2K3 49549	2GS10 24980	2GÖ1 29574
	2GS5 25029	2GÖ5 30035
	2GS2 25035	
	2GS6 25059	
	2GS8 25111	
	2GS7 25117	
	2GS9 25180	

**Şekil 3.21:** Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.21'e göre öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryoların sayısı sabaha yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için sabaha yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2GS2, 2GS6, 2GS8, 2GS7 ve 2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için hesaba katılmamıştır. Mevcut yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırmaları Şekil 3.22'de verilmiştir. Şekil 3.22'ye göre, en yüksek soğutma enerjisi tüketimi 2K6'da (2K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketimi ise 2K3'de (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir.



**Şekil 3.22:** Mühendislik Fakültesi ek binası bahar dönemi için geliştirilen senaryolara ait soğutma enerji tüketimleri.

Böylece uygun derslik yerleşim stratejilerinin geliştirilmesiyle soğutma tüketiminin yaklaşık %12 civarında düşmesi beklenmektedir. Bu azalma 5291,94 kg CO<sub>2</sub> salıma ve (11.945,708 kWh x 1,05 TL/ kWh) 12.542 TL'ye denk gelmektedir. Sonuç olarak mevcut yılı bahar

dönemi için enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 2K1 (Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.) olduğu görülmektedir. En fazla enerji tüketimine neden olan senaryoya ise 2K6 (2K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosu olduğu görülmektedir.

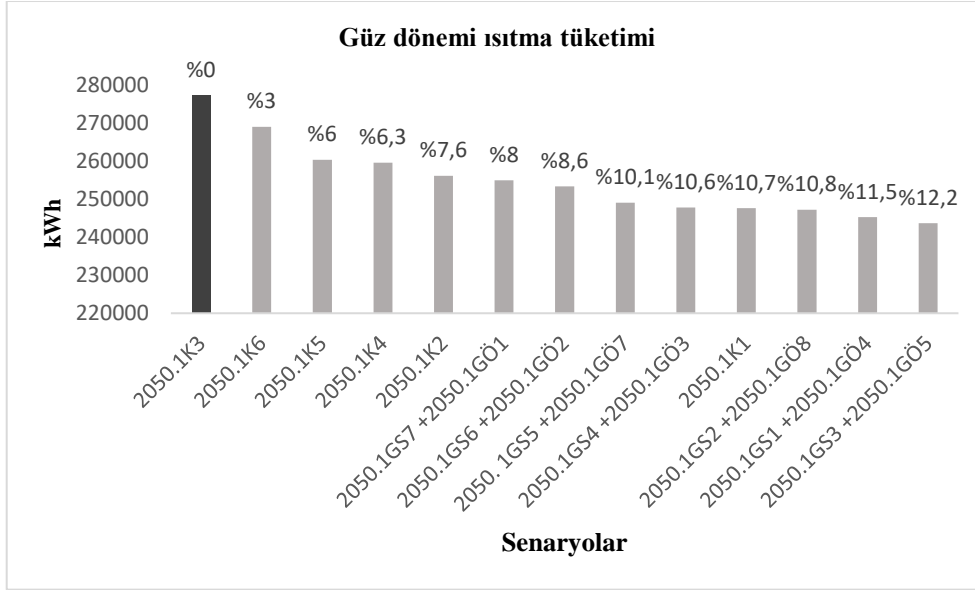
### 3.3.2 2050 iklim senaryosu: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri

Geliştirilen derslik yerleşim senaryolarına göre 2050 yılı iklim verileri kullanılarak ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri iki farklı dönem (bahar ve güz) için hesaplanmıştır. Geliştirilen senaryolar için kat kullanım stratejisi (2050.K), güneşin yönüne bağlı sabah derslik yerleşim senaryoları (2050.GS) ve öğleden sonra derslik yerleşim senaryoları (2050.GÖ) olarak üç farklı grub oluşturulmuştur. 2050 yılı güz dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanarak şekilde Şekil 3.23 ve Şekil 3.25'te verilmiştir .

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
2050.1K1 247667	2050.1GS3 133177	2050.1GÖ1 115916
2050.1K2 256134	2050.1GS1 133654	2050.1GÖ2 114596
2050.1K4 259608	2050.1GS2 133963	2050.1GÖ3 113707
2050.1K5 260308	2050.1GS4 13411	2050.1GÖ4 111623
2050.1K6 268987	2050.1GS5 135189	2050.1GÖ5 110519
2050.1K3 277283	2050.1GS6 138768	2050.1GÖ6 116024
	2050.1GS7 139058	2050.1GÖ7 113842
		2050.1GÖ8 113252
		2050.1GÖ9 116293
		2050.1GÖ10 116375

Şekil 3.23: 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.23'e göre sabaha için geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2050.1GÖ8, 2050.1GÖ9 ve 2050.1GÖ10 senaryoları 2050 yılı güz dönemi için hesaba katılmamıştır. 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırılmaları şekil 3.24'te verilmiştir.



**Şekil 3.24:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri.

Şekil 3.24'e göre , 2050 yılı iklim senaryosunda, Mühendislik Fakültesi ek binası en yüksek ısıtma enerjisi tüketimi 2050.1K3'de (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2. kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) gerçekleşirken, en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin ise 2050.GS3+2050.GÖ5'te (GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, GÖ5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) gerçekleşmiştir. Böylece uygun derslik yerleşim senaryolarının geliştirilmesiyle ısıtma tüketimi yaklaşık %12,2 oranında azalabilmektedir. Bu azalma 14878,74 kg CO<sub>2</sub> salıma ve (33586,338 kWh x 0,15508279 TL/kWh) 5.205,88239 TL'ye denk gelmektedir. 2050 yılı iklim senaryosu ile mevcut yılı iklim senaryosu güz dönemi ısıtma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin mevcut yılda 1K6 senaryosu, 2050 yılına ait en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin 2050.1K3 senaryosuna ait olduğu görülmektedir. Ek olarak en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin hem mevcut yılı

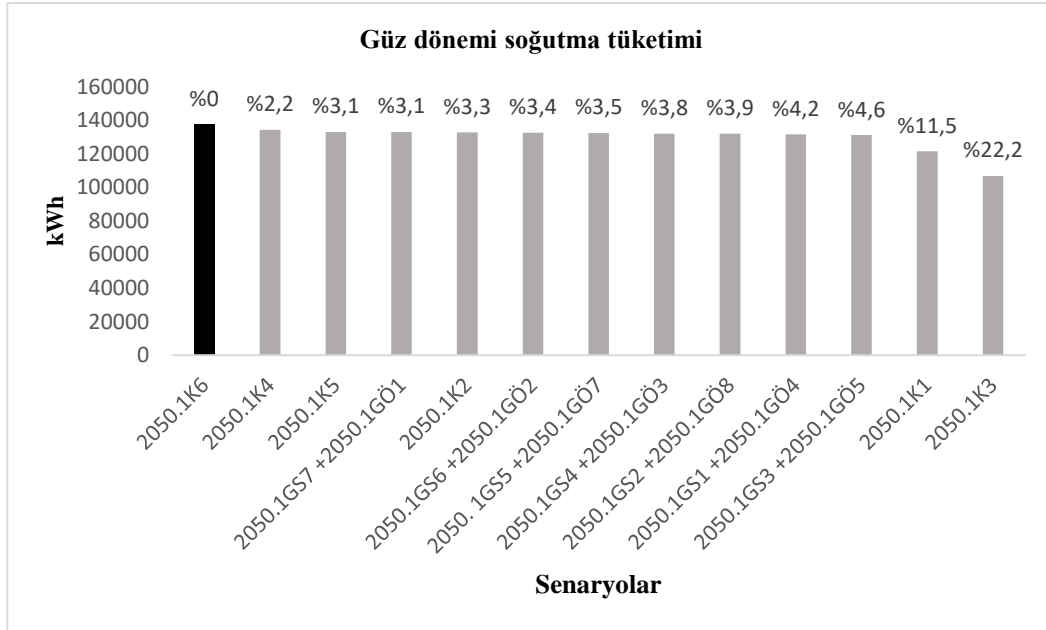
hem de 2050 yılı iklim senaryolarında 2050.GS3+2050.GÖ5 senaryosu olduğu tespit edilmiştir.

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
2050.1K3 106920	2050.1GS2 60322	2050.1GÖ5 70837
2050.1K1 121585	2050.1GS4 60420	2050.1GÖ4 71255
2050.1K2 132837	2050.1GS3 60437	2050.1GÖ3 71738
2050.1K5 133164	2050.1GS1 60505	2050.1GÖ7 71752
2050.1K4 134365	2050.1GS5 60825	2050.1GÖ8 71767
2050.1K6 137496	2050.1GS6 60854	2050.1GÖ2 71920
	2050.1GS7 60911	2050.1GÖ1 72247
		2050.1GÖ6 72256
		2050.1GÖ9 72407
		2050.1GÖ10 72414

**Şekil 3.25:** 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.25'e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2050.1GÖ9 ve 2050.1GÖ10 senaryoları mevcut yılı güz dönemi için hesaba katılmamıştır. Ek olarak mevcut yılı güz dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini karşılaştırmak için ısıtma tüketiminde yer almayan 2050.1GÖ8 senaryosu devre dışı bırakılıp en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar seçilmiştir. 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve senaryoların karşılaştırılmaları Şekil 3.26'da verilmiştir. Şekil 3.26'a göre en yüksek soğutma enerjisi tüketiminin 2050.1K6'ya (s6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) ait olduğu görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin ise 2050.1K3'e (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) ait olduğu görülmektedir. Böylece farklı senaryolara ait uygun derslik

yerleşim stratejilerinin geliştirilmesiyle soğutma tüketiminin yaklaşık %22,2 civarında düşmesi beklenmektedir.



**Şekil 3.26:** Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ek binası 2050 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri.

Bu azalma 13545,34 kg CO<sub>2</sub> salma ve (30576,4159 kWh x 1,05 TL/ kWh) 32.105,236695 TL'ye denk gelmektedir. 2050 yılı iklim senaryosu ile mevcut yıl iklim senaryosu güz dönemi soğutma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek soğutma enerjisi tüketimi ile en düşük soğutma enerjisi tüketimi hem mevcut yıl hem de 2050 yılı iklim senaryolarında aynı olup sırasıyla 1K6 ve 1K3 senaryolarında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 2050 yılı güz dönemi için enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 2050.1K3 (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) olduğu görülmektedir. En fazla enerji tüketimine neden olan senaryoya ise 2050.1K6 (1K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosu olduğu görülmektedir.

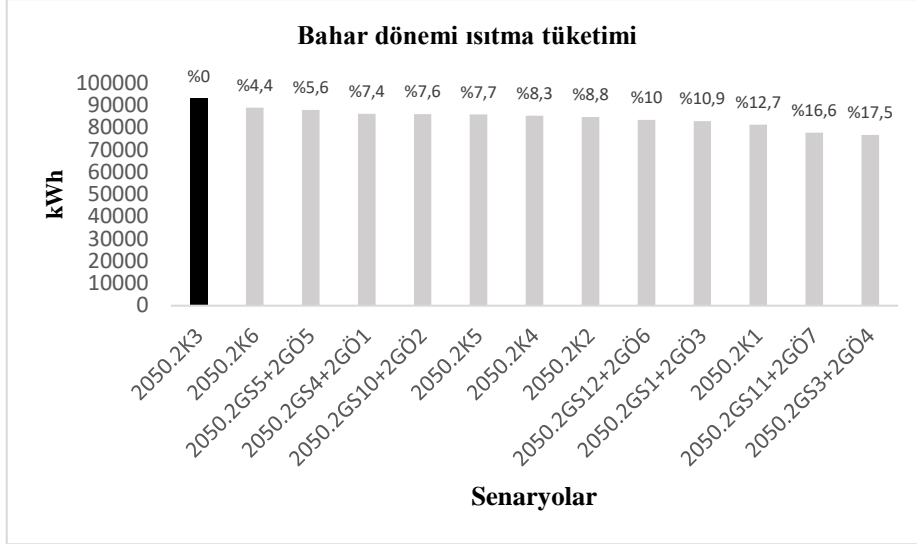
2050 yılı bahar dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanarak sırasıyla Şekil 3.27 ve Şekil 3.29'da verilmiştir. Şekil 3.27'e göre öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryoların sayısı sabaha yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için sabaha yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2050.2GS6, 2050.2GS7, 2050.2GS8 ve 2050.2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için değerlendirmeye katılmamıştır. Ek olarak 2050 yılı güz dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini

karşılaştırmak için soğutma tüketiminde yer almayan 2050.2GS2 senaryosu devre dışı bırakılıp en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar kullanılmıştır.

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
2050.2K1 81321	2050.2GS3 39485	2050.2GÖ3 37017
2050.2K2 84854	2050.2GS11 40126	2050.2GÖ6 37169
2050.2K4 85428	2050.2GS1 45973	2050.2GÖ4 37319
2050.2K5 85947	2050.2GS12 46403	2050.2GÖ7 37572
2050.2K6 89016	2050.2GS10 48090	2050.2GÖ1 37914
2050.2K3 93165	2050.2GS2 48212	2050.2GÖ2 37983
	2050.2GS4 48260	2050.2GÖ5 39671
	2050.2GS5 48260	
	2050.2GS6 48451	
	2050.2GS7 49091	
	2050.2GS8 49517	
	2050.2GS9 49740	

**Şekil 3.27:** 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması.

2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırmaları Şekil 3.28’de verilmiştir.



**Şekil 3.28:** Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ek binası 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri.

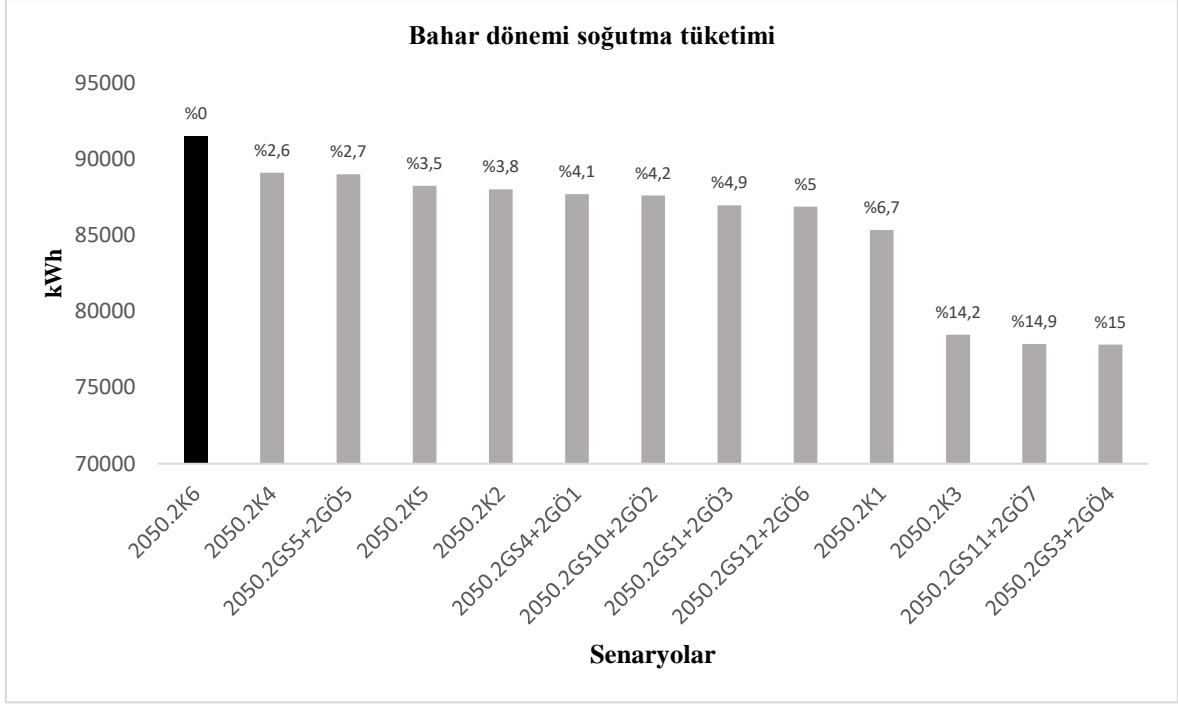
Şekil 3.28'e göre, en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin 2050.2K3'te (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketimi ise 2050.2GS3+2GÖ4'te (2GS3: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 2GÖ4 : Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir. Uygun derslik yerleşim stratejilerinin geliştirilmesiyle ısıtma tüketiminin yaklaşık %17,5 civarında düşmesi beklenmektedir. Bu azalma 7173,31 kg CO<sub>2</sub> salıma (16.192,58 kWh x 0,15508279 TL/ kWh) 2.509,850 TL'ye denk gelmektedir. 2050 yılı iklim senaryosu ile mevcut yılı iklim senaryosu bahar dönemi ısıtma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek ısıtma enerjisi tüketimi 2K3 senaryosudur. En düşük ısıtma enerjisi tüketimi mevcut yılda 2K1 senaryosu, 2050 yılı iklim senaryosu olduğu görülmektedir.



Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
2050.2K3 78483	2050.2GS3 24845	2050.2GÖ4 52984
2050.2K1 85355	2050.2GS11 24869	2050.2GÖ7 52992
2050.2K2 88032	2050.2GS12 33887	2050.2GÖ6 53006
2050.2K5 88249	2050.2GS1 33958	2050.2GÖ3 53022
2050.2K4 89120	2050.2GS10 34406	2050.2GÖ2 53209
2050.2K6 91512	2050.2GS4 34473	2050.2GÖ1 53246
	2050.2GS5 34473	2050.2GÖ5 54543
	2050.2GS2 34480	
	2050.2GS6 34518	
	2050.2GS8 34633	
	2050.2GS7 34676	
	2050.2GS9 34799	

**Şekil 3.29:** 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.29'a göre öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryoların sayısı sabaha yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için sabaha yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2050.2GS6, 2050.2GS6, 2050.2GS7, 2050.2GS8 ve 2050.2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için hesaba katılmamıştır. Ek olarak 2050 yılı bahar dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini karşılaştırmak ve en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar seçilmiştir. 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırılmaları Şekil 3.30'da verilmiştir. Şekil 3.30'a , en yüksek soğutma enerjisi tüketiminin 2050.2K6'da (2K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin ise 2050.2GS3+2GÖ4'te (2GS3: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 2GÖ4 : Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim stratejilerinin uygulanmasıyla soğutma tüketimi yaklaşık %15 oranında düşebilir.



**Şekil 3.30:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2050 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri.

Bu azalma 5771,73 kg CO<sub>2</sub> salma ve (13028,75kWh x 1,05 TL/ kWh) 13.680,1875 TL'ye denk gelmektedir. 2050 yılı iklim senaryosu ile mevcut yılı iklim senaryosu bahar dönemi soğutma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek soğutma enerjisi tüketimi ile en düşük soğutma enerjisi tüketimi hem mevcut yılı hem de 2050 yılı iklim senaryolarında aynı olup sırasıyla 2050.2K6 ve 2050.2GS3+2GÖ4 senaryolarında olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 2050 yılı güz dönemi için enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 2050.2GS3+2GÖ4 (2GS3: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 2GÖ4 : Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosu olduğu bulunmuştur. En fazla enerji tüketimine neden olan senaryoya ise 2050.2K6 (2K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) senaryosu olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar, 2050 yılında mevcut yıla göre ısıtma ihtiyacının azaldığını göstermektedir. Öte yandan yaz soğutma ihtiyaçlarında da önemli bir artış olduğu hesaplanmıştır.

### 3.3.3 2080 iklim senaryosu: derslik yerleşim senaryolarına göre ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri

Geliştirilen derslik yerleşim senaryolarına göre 2080 yılı iklim verileri kullanılarak ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri iki farklı dönem (bahar ve güz) için hesaplanmıştır. Geliştirilen

senaryolar için kat kullanım stratejisi (2080.K), güneşin etkisine bağlı sabah derslik yerleşim senaryoları (2080.GS) ve güneşin etkisine bağlı öğleden sonra derslik yerleşim senaryoları (2080.GÖ) olarak üç farklı grub oluşturulmuştur. 2080 yılı güz dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanarak sırasıyla Şekil 3.31 ve Şekil 3.33’de verilmiştir.

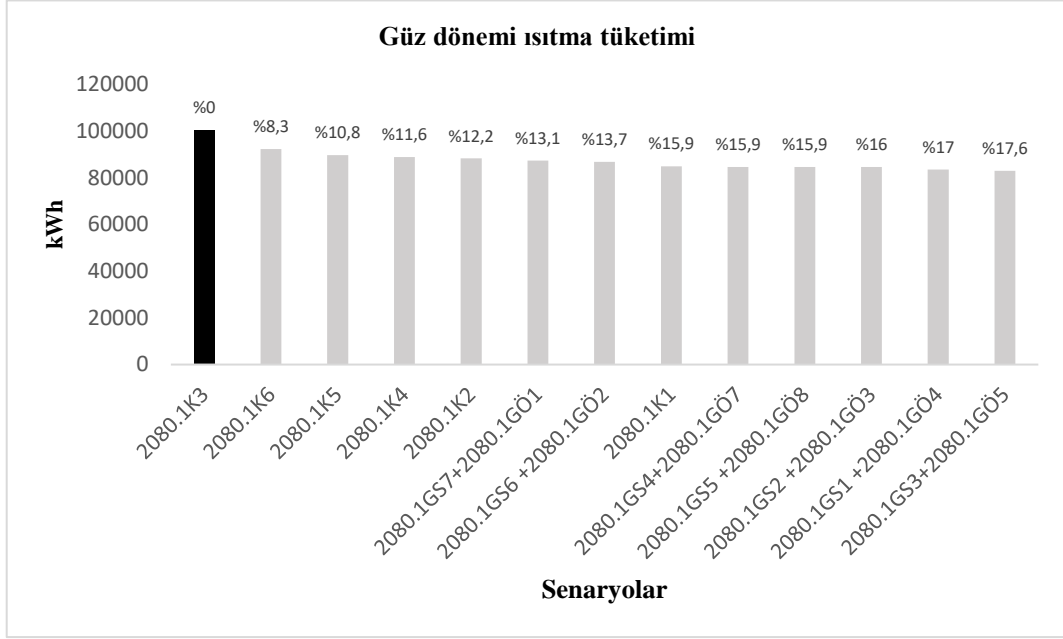
Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
2080.1K1 84984	2080.1GS3 48380	2080.1GÖ5 34571
2080.1K2 88317	2080.1GS1 48582	2080.1GÖ4 34942
2080.1K4 88962	2080.1GS2 48914	2080.1GÖ8 35448
2080.1K5 89729	2080.1GS4 48955	2080.1GÖ3 35671
2080.1K6 92273	2080.1GS5 49162	2080.1GÖ7 35694
2080.1K3 100683	2080.1GS6 50837	2080.1GÖ2 36028
	2080.1GS7 50894	2080.1GÖ1 36508
		2080.1GÖ6 36533
		2080.1GÖ9 36576
		2080.1GÖ10 36605

**Şekil 3.31:** 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.31’e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2080.1GÖ6, 2080.1GÖ9 ve 2080.1GÖ10 senaryoları 2080 yılı güz dönemi için değerlendirmeye katılmamıştır.

2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri ve senaryoların karşılaştırılmaları Şekil 3.32’de verilmiştir. Şekil 3.32’ye göre 2080 yılı iklim senaryosunda, Mühendislik Fakültesi ek binası en yüksek ısıtma enerjisi tüketimi 2080.1K3’de (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2. kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin ise

2080.1GS3+2080.1GÖ5’de (1GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 1GS5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim senaryolarının geliştirilmesiyle ısıtma tüketimi yaklaşık % 17,6 oranında azalmaktadır.



**Şekil 3.32:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri.

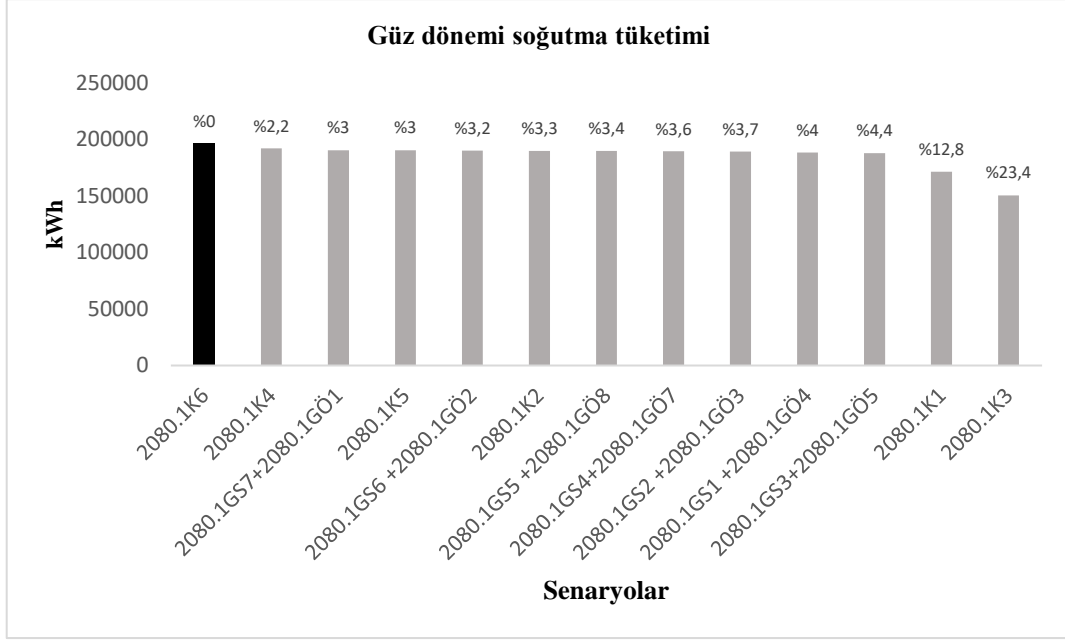
Bu azalma 7855,13 kg CO<sub>2</sub> salıma (17731,6849 kWh x 0,15508279 TL/kWh) 2.659,752735 TL'ye denk gelmektedir. 2080 yılı iklim senaryosu, 2050 yılı iklim senaryosu ve mevcut yılı iklim senaryosu güz dönemi ısıtma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin mevcut yılda 1K6 senaryosu, 2050 ve 2080 yıllarında ise en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin 1K3 senaryosunda olduğu görülmektedir. Ek olarak en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin tüm iklim senaryolarında 1GS3+1GÖ5 senaryosunda olduğu görülmektedir.

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
<p>↓</p> <p>1K3 150727</p> <p>1K1 171552</p> <p>1K2 190133</p> <p>1K5 190588</p> <p>1K4 192271</p> <p>1K6 196639</p> <p>↓</p>	<p>↓</p> <p>1GS2 88896</p> <p>1GS4 88988</p> <p>1GS3 89034</p> <p>1GS1 89184</p> <p>1GS6 89558</p> <p>1GS5 89595</p> <p>1GS7 89630</p> <p>↓</p>	<p>→</p> <p>1GÖ5 99082</p> <p>1GÖ4 99647</p> <p>1GÖ3 100346</p> <p>1GÖ7 100400</p> <p>1GÖ8 100418</p> <p>1GÖ2 100555</p> <p>1GÖ1 100984</p> <p>1GÖ6 101011</p> <p>1GÖ9 101214</p> <p>1GÖ10 101235</p> <p>↓</p>

**Şekil 3.33:** 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen senaryoların soğutma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.33'e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2080.1GÖ6, 2080.1GÖ9 ve 2080.1GÖ10 senaryoları 2080 yılı güz dönemi için hesaba katılmamıştır.

2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve karşılaştırmaları şekil 3.34'te verilmiştir. Şekil 3.34'e göre 2080 yılı iklim senaryosunda, Mühendislik Fakültesi ek binası en yüksek soğutma enerjisi tüketimi 2080.1K6'da (1K6:Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin ise 2080.1K3'de (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim senaryolarının geliştirilmesiyle ısıtma tüketimi yaklaşık %23,4 oranında azalmaktadır. Bu azalma 20339,03 kg CO<sub>2</sub> salma ve (45912,0356 kWh x 1,05 TL/ kWh) 48.207,63738 TL'ye denk gelmektedir.



**Şekil 3.34:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri.

2080 yılı iklim senaryosu, 2050 yılı iklim senaryosu ve mevcut yılı iklim senaryosu güz dönemi soğutma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek soğutma enerjisi tüketiminin tüm iklim senaryolarında 1K6 senaryosunda görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin tüm iklim senaryolarında 1K3 senaryosunda olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 2080 yılı güz dönemi için enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 2080.1K3 ( Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) olduğu görülmektedir. En yüksek enerji tüketiminin olduğu senaryo ise 2080.1K6 (Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) olduğu görülmektedir.

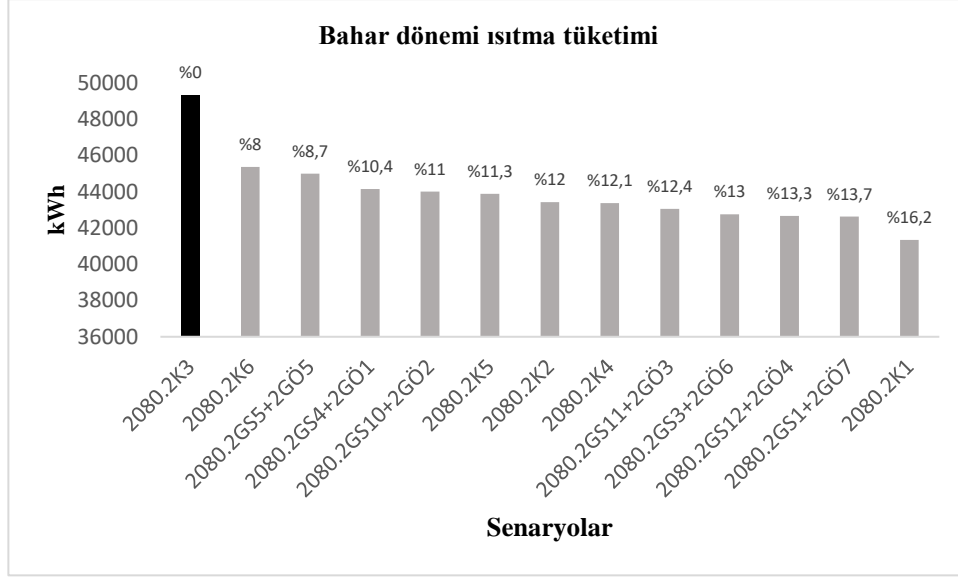
2080 yılı bahar dönemi için üç farklı senaryo grubuna ait ısıtma ve soğutma tüketim değerleri en düşük olan senaryodan en yüksek olan senaryoya doğru sıralanarak sırasıyla Şekil 3.35 ve şekil 3.37’de verilmiştir .

Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının ısıtma tüketimi değerleri (kWh)
2080.2K1 41345	2080.2GS1 23909	2080.2GÖ3 18443
2080.2K4 43371	2080.2GS12 24093	2080.2GÖ6 18526
2080.2K2 43439	2080.2GS3 24235	2080.2GÖ4 18577
2080.2K5 43891	2080.2GS11 24617	2080.2GÖ7 18722
2080.2K6 45383	2080.2GS10 25003	2080.2GÖ1 18982
2080.2K3 49339	2080.2GS2 25149	2080.2GÖ2 19013
	2080.2GS4 25175	2080.2GÖ5 19835
	2080.2GS5 25175	
	2080.2GS6 25295	
	2080.2GS7 25624	
	2080.2GS8 25838	
	2080.2GS9 25978	

**Şekil 3.35:** 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.35'e göre sabaha yönelik geliştirilen senaryoların sayısı öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2080.2GS6, 2080.2GS7, 2080.2GS8 ve 2080.2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için hesaba katılmamıştır. Ek olarak 2050 yılı güz dönemi ısıtma ve soğutma tüketimi değerlerini karşılaştırmak için soğutma tüketiminde yer almayan 2080.2GS2 senaryosu devre dışı bırakılıp en uygun derslik yerleşim senaryosuna karar vermek için aynı senaryolar seçilmiştir.

2080 yılı güz dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve senaryoların karşılaştırılmaları şekil 3.36'da verilmiştir. Şekil 3.36'ya göre , 2080 yılı iklim senaryosunda, Mühendislik Fakültesi ek binası en yüksek soğutma enerjisi tüketimi 2080.2K3'de (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük ısıtma enerjisi tüketiminin ise 2080.2K1'de (2K1: Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim senaryolarının geliştirilmesiyle ısıtma tüketimi yaklaşık %16,2 oranında azalmaktadır.



**Şekil 3.36:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait ısıtma enerjisi tüketimleri.

Bu azalma 3541,25 kg CO<sub>2</sub> salma ve (7993,8141 TL/ kWh) 1.199,072115 TL'ye denk gelmektedir. 2080 yılı iklim senaryosu, 2050 yılı iklim senaryosu ve mevcut yılı iklim senaryosu bahar dönemi ısıtma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin tüm iklim senaryolarında 2K3 senaryosunda görülmektedir. En düşük ısıtma enerjisi tüketiminin mevcut yılı ve 2080 yılı iklim senaryolarında 2K1 senaryosunda görülürken 2050 yılı iklim senaryosunda 2GS3+2GÖ4 olduğu görülmektedir.

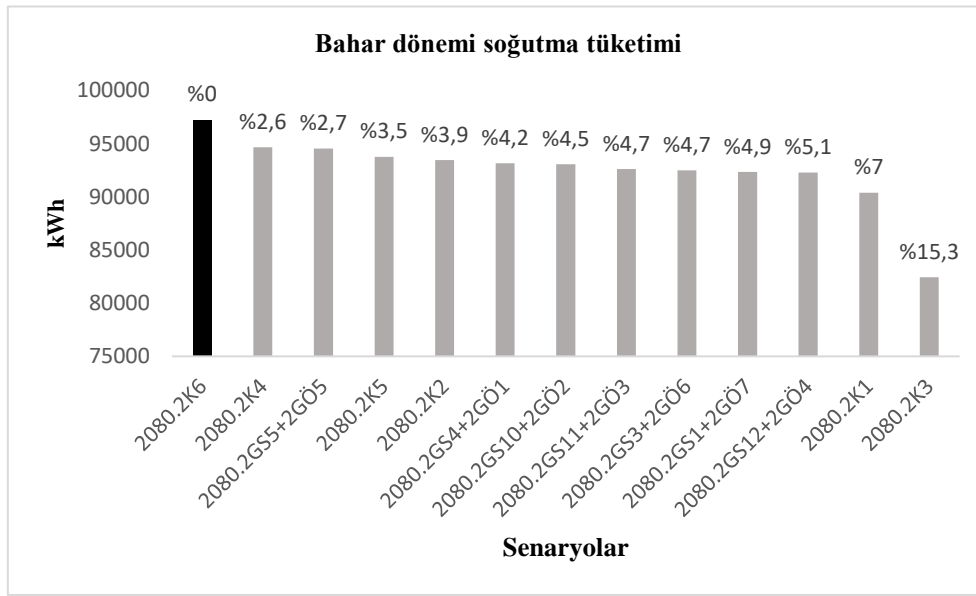
Kat kullanımına göre oluşturulan senaryoların soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan sabah senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)	Güneşin hareketine göre oluşturulan öğleden sonra senaryolarının soğutma tüketimi değerleri (kWh)
2080.2K3 82436	2080.2GS12 36133	2080.2GÖ4 56140
2080.2K1 90399	2080.2GS1 36199	2080.2GÖ7 56140
2080.2K2 93451	2080.2GS3 36340	2080.2GÖ6 56160
2080.2K5 93765	2080.2GS11 36444	2080.2GÖ3 56175
2080.2K4 94677	2080.2GS10 36688	2080.2GÖ2 56364
2080.2K6 97246	2080.2GS4 36766	2080.2GÖ1 56399
	2080.2GS5 36766	2080.2GÖ5 57763
	2080.2GS2 36767	
	2080.2GS6 36813	
	2080.2GS8 36940	
	2080.2GS7 36981	
	2080.2GS9 37114	



**Şekil 3.37:** 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen senaryoların ısıtma enerjisi tüketimlerinin sınıflandırılması

Şekil 3.37'ye göre öğleden sonraya yönelik geliştirilen senaryoların sayısı sabaha yönelik geliştirilen senaryo sayısından az olduğu için sabaha yönelik geliştirilen senaryolarda enerji tüketimi daha yüksek olan 2080.2GS2, 2080.2GS6, 2080.2GS7, 2080.2GS8 ve 2080.2GS9 senaryoları mevcut yılı bahar dönemi için değerlendirmeye katılmamıştır.

2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri ve senaryoların karşılaştırılmaları şekil 3.38'de verilmiştir.



**Şekil 3.38:** Mühendislik Fakültesi ek binası 2080 yılı bahar dönemi için geliştirilen farklı senaryolara ait soğutma enerjisi tüketimleri.

Şekil 3.38'e göre 2080 yılı iklim senaryosunda, Mühendislik Fakültesi ek binası en yüksek soğutma enerjisi tüketimi 2080.2K6'da (2K6: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülürken en düşük soğutma enerjisi tüketiminin ise 2080.2K3'de (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) görülmektedir. Böylece uygun derslik yerleşim senaryolarının geliştirilmesiyle soğutma tüketimi yaklaşık %15,3 oranında azalmaktadır. Bu azalma 6561,25 kg CO<sub>2</sub> salıma ve (14810,9548 kWh x 1,05 TL/kWh) 15.551,50254 TL'ye denk gelmektedir. 2080 yılı iklim senaryosu, 2050 yılı iklim senaryosu ve mevcut yılı iklim senaryosu bahar dönemi ısıtma tüketimi sonuçlarına bakıldığında en yüksek soğutma enerjisi tüketiminin tüm iklim senaryolarında 2K6 senaryosunda görülmektedir. En düşük ısıtma enerjisi tüketiminin mevcut yılı ve 2080 yılı iklim senaryolarında 2K3 senaryosunda görülürken 2050 yılı iklim senaryosunda

2GS3+2GÖ4 olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 2080 yılı bahar dönemi için enerji tasarrufu açısından en verimli senaryonun 2080.2K3 (Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) olduğu görülmektedir. En yüksek enerji tüketimine sahip olan senaryonun ise (Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır.) olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak mevcut yılı, 2050 yılı ve 2080 yılına ait derslik yerleşim senaryolarına bakıldığında bugün yapılacak olan uygun bir derslik yerleşim senaryosunun gelecekte de etkili olacağı görülmektedir. Ayrıca 2080 yılının mevcut yılı ve 2050 yılına göre ısıtma ihtiyacının azaldığı görülmektedir. Öte yandan, soğutma ihtiyaçlarında da önemli bir artış olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde bulunan Mühendislik Fakültesi ek binası seçilmiş ve binanın kullanım senaryolarına göre ısıtma ve soğutma tüketimleri detaylı şekilde incelenmiştir. Mühendislik Fakültesi ek binasının mekan kullanımı açısından doluluk oranı hesaplanarak bu doluluk oranı doğrultusunda bina için güz ve bahar dönemlerine ait farklı derslik yerleşim senaryoları geliştirilmiştir. Bu farklı derslik yerleşim senaryolarının enerji tasarrufu üzerindeki etkisi DesignBuilder TM programı kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- İncelenen eğitim binasının doluluk oranının 2018-2019 ile 2019-2020 güz ve bahar dönemleri için yaklaşık olarak ortalama %40 olduğu hesaplanmış ve haftanın beş gününe ait en yüksek doluluk oranının salı günü olduğu bulunmuştur. Yapılan doluluk oranı analiz sonuçlarına göre, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ek binasının farklı eğitim öğretim dönemlerine ait mekan kullanım oranlarına göre 20.000 m<sup>2</sup>'lik bir bina yerine yaklaşık 11.500 m<sup>2</sup>'lik bir bina ile de eğitim ihtiyaçları karşılanabileceği öngörülmektedir. Böylece incelenen eğitim binasının mekan yerleşimi açısından daha verimli bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Derslik kapasitesi ile dersi alan öğrenci sayısı karşılaştırıldığında Mühendislik Fakültesi ek binasında öğrenci sayısının daha az olmasına rağmen %83 gibi önemli bir oranda derslik kapasitesinin daha fazla olduğu sınıflarda eğitim verildiği tespit edilmiştir. Buna göre büyük sınıflarda daha az sayıda öğrenci ile ders işlendiği sonucuna ulaşılabılır.
- Mühendislik Fakültesi ek binasına ait dersi alan öğrenci sayısı ile derslik kapasitesi arasındaki ilişki incelendiğinde derslik kapasitesi ile dersi alan öğrenci sayısı

arasında orta düzeyde, pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Derslik kapasitesindeki toplam değişkenliğin %29.4'ü dersi alan öğrenci sayısından kaynaklanmaktadır.

Geliştirilmiş olan derslik kullanım senaryoları ile;

- Mevcut yıla (TMY2) ait güz dönemi ısıtma tüketiminde %10 oranı (19186,53 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 6.713 TL) ile 1GS3+1GÖ5 (1GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 1GÖ5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 2. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, soğutma tüketiminde %7 oranı (1445,15 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 3.425 TL) ile 1K3 (s3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi ısıtma tüketiminde %15 oranı (4848,83 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 1.696 TL) ile 2K1 (2K1: Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi soğutma tüketiminde %12 oranı (5291,94 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 12.542 TL) ile 2K3 (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.
- 2050 yılına ait güz dönemi ısıtma tüketiminde %12,2 oranı (14878,74 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 5.205 TL) ile 2050.GS3+2050.GÖ5 (GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, GÖ5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, soğutma tüketiminde %22,2 oranı (13545,34 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 32.105 TL) ile 2050.1K3 (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi ısıtma tüketiminde %17,5 oranı (7173,31 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 2.509 TL) ile 2050.2GS3+2GÖ4 (2GS3: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 2GÖ4 : Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi soğutma tüketiminde %15 oranı (5771,73 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 13.680 TL) ile 2050.2GS3+2GÖ4 (2GS3: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 2GÖ4 :

Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

- 2080 yılına ait güz dönemi ısıtma tüketiminde %17,6 oranı (7855,13 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 2.659 TL) ile 2080.1GS3+2080.1GÖ5 (1GS3: Güneşin yönü esas alınarak 2. kattan başlanıp sırasıyla 1. kata ve 3. kata derslik yerleşimi yapılmıştır, 1GS5: Güneşin yönü esas alınarak 1. kattan başlanıp (batı ve güney cepheleri) sırasıyla 3. kata ve 2. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, soğutma tüketiminde %23,4 oranı (20339,03 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 48.207 TL) ile 2080.1K3 (1K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi ısıtma tüketiminde %16,2 oranı (3541,25 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 1.200 TL) ile 2080.2K1 (2K1: Güneşin yönü esas alınmadan 1. kattan başlanarak derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda, bahar dönemi soğutma tüketiminde %15,3 oranı (6561,25 kg CO<sub>2</sub> salımı ve 15.551 TL) ile 2080.2K3'de (2K3: Güneşin yönü esas alınmadan 3. kattan başlanıp sırasıyla 2.kat ve 1. kata derslik yerleşimi yapılmıştır) senaryosunda enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Genel olarak mevcut yıl, 2050 yılı ve 2080 yılına ait derslik yerleşim senaryolarına bakıldığında bugün kullanılacak olan uygun bir derslik yerleşim senaryosunun gelecekte de benzer etkiyi gösterebileceği tespit edilmiştir (Tablo 4.1).

**Tablo 4.1:** Farklı dönemlere ait en verimli senaryoların gösterildiği tablo.

	Mevcut yılı		2050 yılı		2080 yılı	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
<b>Güz dönemi</b>	G	K	G	K	G	K
<b>Bahar dönemi</b>	K	K	G	G	K	K

- İklim değişikliğinin ısıtma tüketimi için enerji ihtiyaçlarında genel bir azalma (mevcut yıla kıyasla %72,8) ve soğutma gereksinimlerinde genel bir artış (mevcut yıla kıyasla %124) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre büyük ölçüde artan soğutma gereksinimi için elektrik enerjisi ihtiyaçlarının ağır basacağı

öngörülmektedir. Bu nedenle binalarda konfor koşullarının sağlanması için daha yüksek miktarda enerji gerekecektir.

Bu çalışmanın sonucunda, bir eğitim binası için geliştirilmiş olan farklı derslik yerleşim senaryoları ile hem mevcut yılda hem de gelecekteki yıllarda (2050 ve 2080) önemli ölçüde enerji tasarrufunun sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu çalışmanın gösterdiği gibi, doğru derslik yerleşim stratejilerinin uygulanmasıyla daha sürdürülebilir ve daha az enerji tüketen bir bina işletimi mümkündür. Ancak çalışmanın sonuçları gelecekte yeni soruları ortaya koymaktadır. Bu tasarrufu gerçekleştirmek için binada bulunan herhangi bir bölüm hangi derslikte ders işleyeceğini seçme özgürlüğünden gerçekten vazgeçmeye hazırlar mı? Bunun için binada bulunan farklı bölümlere ait kullanıcılar ve yöneticiler takım halinde çalışmaya hazırlar mı? Bu çalışmada derslik stratejileri, bölümlerden bağımsız olarak uygun bölgelere yerleşmeye odaklanmaktadır. Bir bölgede yeterli alan olduğunda diğer bölgelerin kullanılmadığı varsayılmaktadır. Gerçekte bunun tamamen mümkün olmayacağı beklenmektedir ancak bunun gerçekte uygulanmasıyla hem bina kullanıcıları hem de binanın enerji tüketimi üzerinde nasıl bir etki yaratacağını bilmek çok önemlidir.

## 5. KAYNAKLAR

- Abdelhalim, E. A. and El Khayat, G. A. (2016). An information visibility-based university timetabling for efficient use of learning spaces (IVUT). *Egyptian Informatics Journal*, 17(3), 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2016.04.003>
- Aburdene, M. F. (1988). "Computer Simulation of Dynamic Systems", Wm.C. Brown Publishers, Dubuque, IA.
- ANSI/ASHRAE, Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2017.
- Augenbroe, G. and Park, C. S. (2005). Quantification methods of technical building performance. *Building Research and Information*, 33(2), 159–172. <https://doi.org/10.1080/0961321042000325327>
- Azar, E. and Menassa, C. C. (2012). A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings. *Energy and Buildings*, 55, 841–853. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.002>
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2010) Binalarda enerji performansı ulusal hesaplama yöntemine dair tebliğ (tebliğ no: yig/2010-02) 07 Aralık 2010.
- Belcher, S. E., Hacker, J. N. and Powell, D. S. (2005). Constructing design weather data for future climates. *Building Services Engineering Research and Technology*, 26(1), 49–61. <https://doi.org/10.1191/0143624405bt112oa>
- Bettoni, L. and Zavanella, L. (2019). Potential Energy Benchmark for Lecture Timetable Problem. *Tecnica Italiana-Italian Journal of Engineering Science*, 63(2–4), 173–180. <https://doi.org/10.18280/ti-ijes.632-409>
- Big Ladder. (2020). [www.bigladdersoftware.com/](http://www.bigladdersoftware.com/) Erişim tarihi: 03/02/2021:18;11
- Bienvenido-Huertas, D. (2021). Influence of the type of thermostat on the energy saving obtained with adaptive setpoint temperatures: Analysis in the current and future scenario. *Energy and Buildings*, 244, 111024. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111024>
- Bourdeau, M., Guo, X. and Nefzaoui, E. (2018). Buildings energy consumption generation gap: A post-occupancy assessment in a case study of three higher education buildings.

- Energy and Buildings*, 159, 600–611. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.062>
- Burke, E. K. and Petrovic, S. (2002). Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*, 140(2), 266–280. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00069-3)
- Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. ve Köklü, N. (2018). *Sosyal bilimler için istatistik*. Pegem Akademi.
- Cacchiani, V., Caprara, A., Roberti, R. and Toth, P. (2013). A new lower bound for curriculum-based course timetabling. *Computers and Operations Research*, 40(10), 2466–2477. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.02.010>
- Chai, J., Huang, P. and Sun, Y. (2019). Investigations of climate change impacts on net-zero energy building lifecycle performance in typical Chinese climate regions. *Energy*, 185, 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.055>
- Chung, M. H. and Rhee, E. K. (2014). Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea. *Energy and Buildings*, 78, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.018>
- Climate-Data. (2020). [www.tr.climate-data.org/](http://www.tr.climate-data.org/) Erişim tarihi: 09/11/2020:11:55
- Ciancio, V., Falasca, S., Golasi, I., de Wilde, P., Coppi, M., de Santoli, L. and Salata, F. (2019). Resilience of a building to future climate conditions in three European cities. *Energies*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/en12234506>
- Clarke, J. (2001). Energy simulation in building design. 2nd ed. *Butterworth Heinemann*; 2001.
- Collins, L., Natarajan, S. and Levermore, G. (2010). Climate change and future energy consumption in UK housing stock. *Building Services Engineering Research and Technology*, 31(1), 75–90. <https://doi.org/10.1177/0143624409354972>
- Comnet. (2018). [www.comnet.org/](http://www.comnet.org/) Erişim tarihi: 03/05/2021:22:22
- Coakley, D., Raftery, P. and Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>
- Dong, B. and Lam, K. P. (2011). Building energy and comfort management through

- occupant behaviour pattern detection based on a large-scale environmental sensor network. *Journal of Building Performance Simulation*, 4(4), 359–369.  
<https://doi.org/10.1080/19401493.2011.577810>
- Eby, G. (2017). 4 Ways That College Universities Are Becoming More Energy Efficient [online]. (27 April 2020), <http://www.ase.org/blog/4-ways-collegeuniversities-are-becoming-more-energy-efficient>
- Erickson, V. L., Carreira-Perpiñán, M. Á. and Cerpa, A. E. (2014). Occupancy modeling and prediction for building energy management. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 10(3). <https://doi.org/10.1145/2594771>
- European Commission. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the *energy performance of buildings* . *Official Journal of the European Union*, 53, 13.
- European Commission. (2014). Com/2014/015: A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I. (2009). A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 11(1), 13–32. <https://doi.org/10.1109/SURV.2009.090103>
- Gui, X., Gou, Z. and Zhang, F. (2020). The relationship between energy use and space use of higher educational buildings in subtropical Australia. *Energy and Buildings*, 211, 109799. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109799>
- Gul, M. S. and Patidar, S. (2015). Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. *Energy and Buildings*, 87, 155–165.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.027>
- Hallberg, J., Nugent, C., Davies, R. and Donnelly, M. (2009). Localisation of forgotten items using RFID technology. *Final Program and Abstract Book - 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, ITAB 2009, November*, 5–7. <https://doi.org/10.1109/ITAB.2009.5394459>
- Harputlugil, G. U. (2007). Mimari tasarım süreci içinde bina enerji simülasyon programı



uygulamalarının yeri. *ResearchGate, January 2007*, 249–265.

- Huang, H., Binti Wan Mohd Nazi, W. I., Yu, Y. and Wang, Y. (2020). Energy performance of a high-rise residential building retrofitted to passive building standard – A case study. *Applied Thermal Engineering*, 181(December 2019), 115902. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115902>
- Huovila, A., Tuominen, P. and Airaksinen, M. (2017). Effects of building occupancy on indicators of energy efficiency. *Energies*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/en10050628>
- IEA, (2013). "Final Report Annex 53. Total energy use in buildings Analysis and evaluation methods," Int. Energy Agency Program. *Energy Build. Communities*, no. June, p. 132.
- ISO, ISO/DIS 7730, Ergonomics of the Thermal Environment-Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Standards Organization, Geneva, 2005.
- Jafarinejad, T., Erfani, A., Fathi, A. and Shafii, M. B. (2019). Bi-level energy-efficient occupancy profile optimization integrated with demand-driven control strategy: University building energy saving. *Sustainable Cities and Society*, 48(November 2018). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101539>
- J.L.M., (2002). "Simulating Building Performance, Just How Useful is it? ", *Rehva Journal*, Nr.4.
- Koç, S. G., & Maçka Kalfa, S. (2021). The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions. *Journal of Building Engineering*, 44(May), 102653. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102653>
- Lam, J. C., Wan, K. K. W., Lam, T. N. T. and Wong, S. L. (2010). An analysis of future building energy use in subtropical Hong Kong. *Energy*, 35(3), 1482–1490. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.005>
- Li, D. H. W., Yang, L. and Lam, J. C. (2012). Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones - A review. *Energy*, 42(1), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.044>
- Lindberg, T., Kaasalainen, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Hedman, M. and Vinha, J. (2020). Potential of space zoning for energy efficiency through utilization efficiency.

*Advances in Building Energy Research*, 14(1), 19–40.

<https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1488619>

Majumdar, A., Zhang, Z. and Albonese, D. H. (2016). Characterizing the Benefits and Limitations of Smart Building Meeting Room Scheduling. *2016 ACM/IEEE 7th International Conference on Cyber-Physical Systems, ICCPS 2016 - Proceedings*.  
<https://doi.org/10.1109/ICCPS.2016.7479070>

Mavrogianni, A., Wilkinson, P., Davies, M., Biddulph, P. and Oikonomou, E. (2012). Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings. *Building and Environment*, 55, 117–130.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.12.003>

Metz, B.; Meyer, L.; Bosch, P. (2007). *Mitigation of Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK.*

Meyn, S., Surana, A., Lin, Y., Oggianu, S. M., Narayanan, S. and Frewen, T. A. (2009). A sensor-utility-network method for estimation of occupancy in buildings. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 1494–1500.  
<https://doi.org/10.1109/CDC.2009.5400442>

Motta Cabrera, D. F. and Zareipour, H. (2013). Data association mining for identifying lighting energy waste patterns in educational institutes. *Energy and Buildings*, 62, 210–216. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.049>

Mustafaraj, G., Marini, D., Costa, A. and Keane, M. (2014). Model calibration for building energy efficiency simulation. *Applied Energy*, 130, 72–85.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.019>

Nguyen, T. A. and Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, 56, 244–257.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.005>

Pacheco-Torres, R., Heo, Y. and Choudhary, R. (2016). Efficient energy modelling of heterogeneous building portfolios. *Sustainable Cities and Society*, 27, 49–64.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.001>

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>

- Pisello, A. L., Petrozzi, A., Castaldo, V. L. and Cotana, F. (2014). On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: Thermal-energy, economic and environmental analysis of a case study. *Applied Energy*, *162*, 1313–1322. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.061>
- Raftery, P., Keane, M. and Costa, A. (2011). Calibrating whole building energy models: Detailed case study using hourly measured data. *Energy and Buildings*, *43*(12), 3666–3679. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.039>
- Ramon, D., Allacker, K., van Lipzig, N. P. M., De Troyer, F. and Wouters, H. (2019). Future weather data for dynamic building energy simulations: Overview of available data and presentation of newly derived data for Belgium. *Energy, Environment, and Sustainability*, *November*, 111–138. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3284-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3284-5_6)
- Reddy TA, Maor I. (2006). Procedures for reconciling computer-calculated results with measured energy data. *Research Project 1051-RP*. ASHRAE
- Remund, J., Müller, S. C., Schilter, C. and Rihm, B. (2010). The use of Meteonorm weather generator for climate change studies. *EMS Annual Meeting Abstracts*, *7*, 46625.
- Robinson, O., Kemp, S. and Williams, I. (2015). Carbon management at universities: A reality check. *Journal of Cleaner Production*, *106*, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.095>
- Rodríguez, M. V., Cordero, A. S., Melgar, S. G. and andújar Márquez, J. M. (2020). Impact of global warming in subtropical climate buildings: Future trends and mitigation strategies. *Energies*, *13*(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/en13236188>
- Rozendaal, E. (2019) Improving uilding Energy Efficiency by Optimizing Occupancy Patterns Using Office Hoteling; Master of Science *Thesis on in Architecture, Building, and Planning* Department Building Physics and Services; Eindhoven, The Netherl ands June.
- Scott, M. J., Wrench, L. E. and Hadley, D. L. (1994). Effects of climate change on commercial building energy dem and. *Energy Sources*, *16*(3), 317–332. <https://doi.org/10.1080/00908319408909081>

- Sethanan, K., Theerakulpisut, S. and Benjapiyaporn, C. (2014). Improving energy efficiency by classroom scheduling: A case study in a Thai university. *Advanced Materials Research*, 931–932, 1089–1095.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.931-932.1089>
- Shi, J., Yu, N. and Yao, W. (2017). Energy efficient building HVAC control algorithm with real-time occupancy prediction. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.028>
- Song, K., Kim, S., Park, M. and Lee, H. S. (2017). Energy efficiency-based course timetabling for university buildings. *Energy*, 139, 394–405.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.176>
- Spss. (2020). IBM Rehberi; [www.ibm.com/tr-tr](http://www.ibm.com/tr-tr) Erişim tarihi: 09/12/2020:13;13
- Tassopoulos, I. X. and Beligiannis, G. N. (2012). Solving effectively the school timetabling problem using particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 6029–6040. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.013>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). [www.mgm.gov.tr/](http://www.mgm.gov.tr/) Erişim tarihi: 05/02/2020:12;28
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). [www.mgm.gov.tr/](http://www.mgm.gov.tr/) Erişim tarihi: 10/01/2021:01;39
- Tootkaboni, M., Ballarini, I., Zinzi, M. and Corrado, V. (2021). A comparative analysis of different future weather data for building energy performance simulation. *Climate*, 1–16.
- United Nations. (2015). FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1: Adoption of the Paris Agreement. Framework Convention on Climate Change, Paris Agreement.
- United Nations. (2020) Global Status Report For Buildings and Construction [www.Unep.Org](http://www.Unep.Org)
- Wahl, F., Milenkovic, M. and Amft, O. (2012). A green autonomous self-sustaining sensor node for counting people in office environments. *EDERC 2012 - Proceedings of the 5th European DSP in Education and Research Conference*, 203–207.  
<https://doi.org/10.1109/EDERC.2012.6532255>
- Wan, K. K. W., Li, D. H. W., Pan, W. and Lam, J. C. (2012). Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation

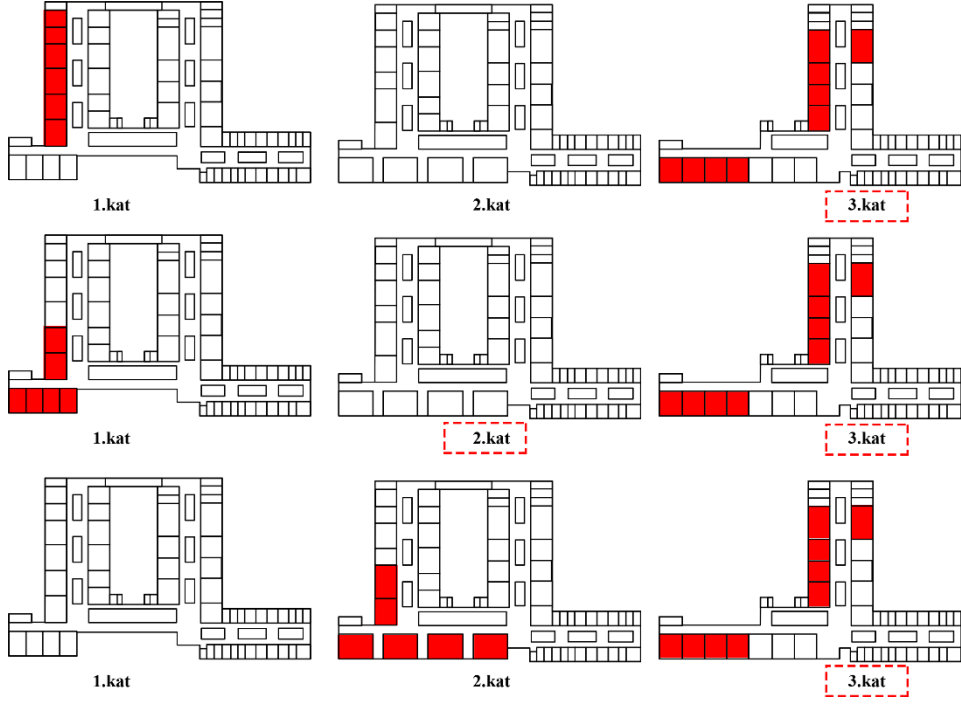
- implications. *Applied Energy*, 97, 274–282.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.048>
- Wang, L., Liu, X. and Brown, H. (2017). Prediction of the impacts of climate change on energy consumption for a medium-size office building with two climate models. *Energy and Buildings*, 157, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.007>
- Wang, W., Chen, J. and Lu, Y. (2016). Dem and-driven HVAC Control in Large Space based on Occupancy Distribution through Indoor Positioning Systems. *CLIMA 2016 – Proceedings of the 12th REHVA World Congress*, June.
- Weathershift. (2020). [www.weathershift.com/](http://www.weathershift.com/) Erişim tarihi: 03/02/2021:17;10
- World Meteorological Organization. (2019) WMO Report on The Global Climate in 2015-2019; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerl and.
- Wright, T. S. A. and Wilton, H. (2012). Facilities management directors’ conceptualizations of sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 31, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.030>
- Yang, J., Santamouris, M. and Lee, S. E. (2016). Review of occupancy sensing systems and occupancy modeling methodologies for the application in institutional buildings. *Energy and Buildings*, 121, 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.019>
- Yang, Z. and Becerik-Gerber, B. (2014a). Modeling personalized occupancy profiles for representing long term patterns by using ambient context. *Building and Environment*, 78, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.003>
- Yang, Z. and Becerik-Gerber, B. (2014b). The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use. *Energy and Buildings*, 78, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.002>
- Yau, Y. H. and Hasbi, S. (2013). A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 430–441. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.035>
- Yeo, J., Wang, Y., An, A. K. and Zhang, L. (2019). Estimation of energy efficiency for educational buildings in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 235, 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.339>

- Yau, Y. H. and Hasbi, S. (2013) "A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 430–441.
- Yuan, Y., Pan, D., Wang, D., Xu, X., Peng, Y., Peng, X. and Wan, P. J. (2013). A study towards applying thermal inertia for energy conservation in rooms. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 10(1). <https://doi.org/10.1145/2529050>
- Yüksek Öğrenim Kurumu. (2020). [www.istatistik.yok.gov.tr/](http://www.istatistik.yok.gov.tr/) Erişim tarihi: 20/04/2021:19;25
- Zhai, Z. J. and Helman, J. M. (2018). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, 44, 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.043>
- Zhang, L. (2014). Simulation analysis of built environment based on design builder software. *Applied Mechanics and Materials*, 580–583, 3134–3137. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.3134>
- Zhao, J., Lasternas, B., Lam, K. P., Yun, R. and Loftness, V. (2014). Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining. *Energy and Buildings*, 82, 341–355. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.033>

# **EKLER**

## 6. EKLER

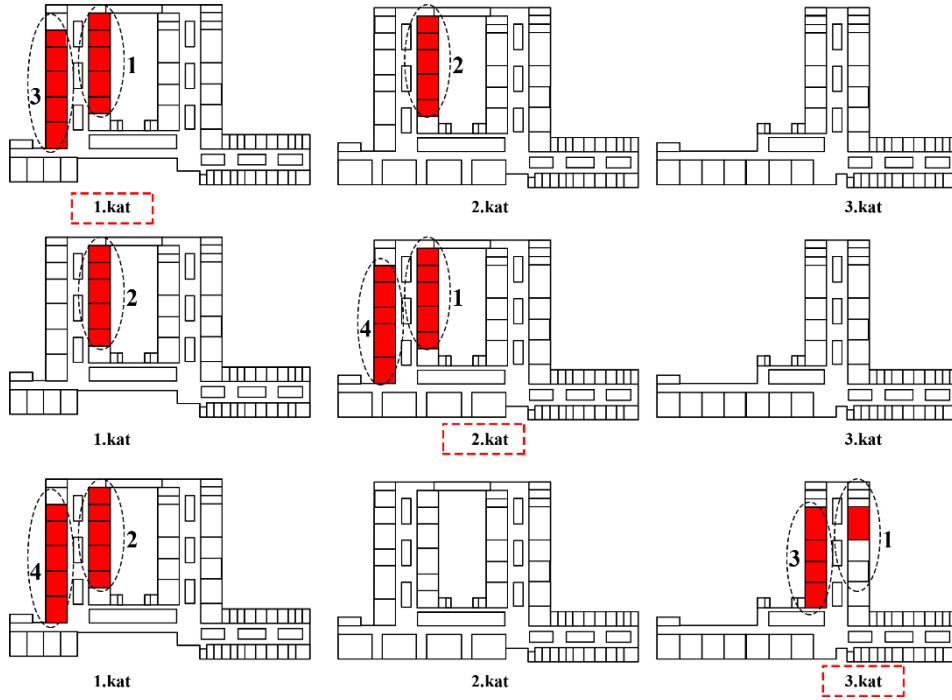
### 6.1 EK A: Kat doldurma stratejisine göre dersliklerin yerleşimleri



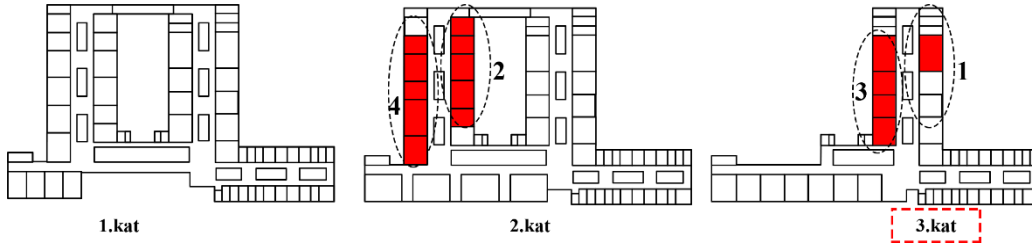
Şekil A.1: Kat doldurma stratejisine göre K4, K5 ve K6'ya ait dersliklerin yerleşimleri.



**6.2 EK B: Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen örnek senaryolar.**

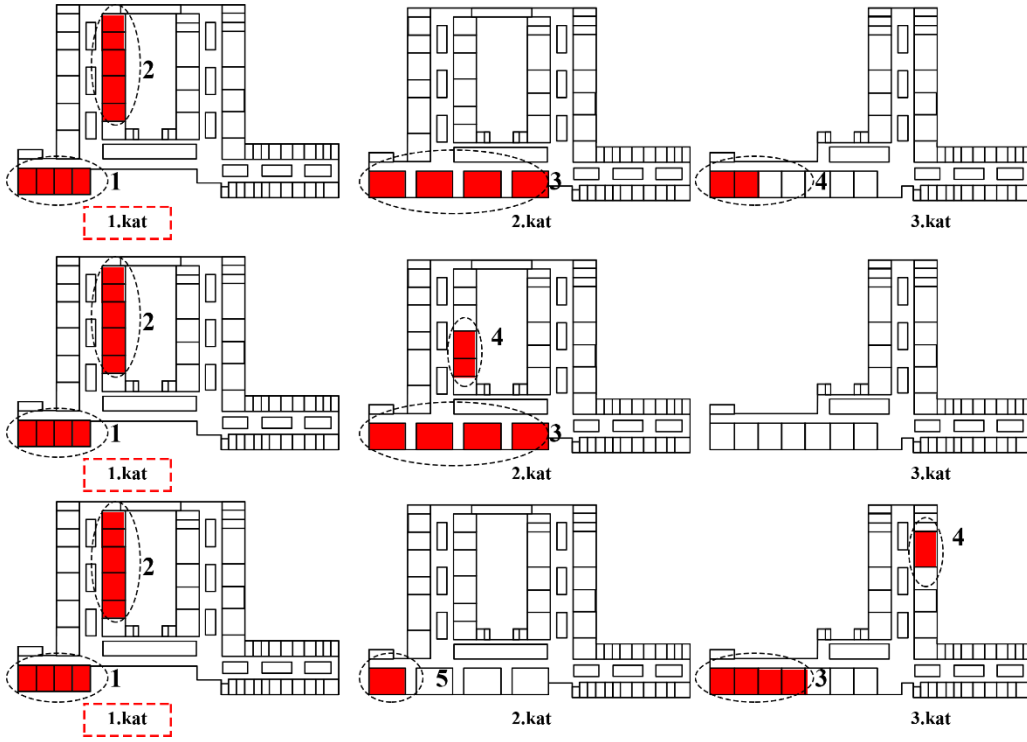


**Şekil B.1:** Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 1GS2, 1GS4 ve 1GS6 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.

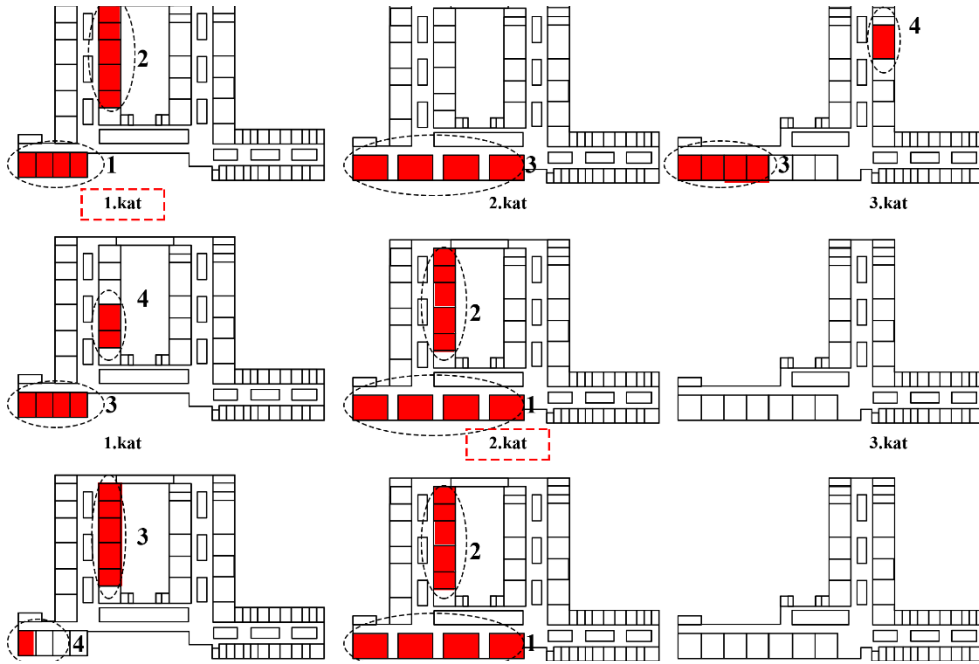


**Şekil B.2:** Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 1GS7 senaryosuna ait derslik yerleşimleri.

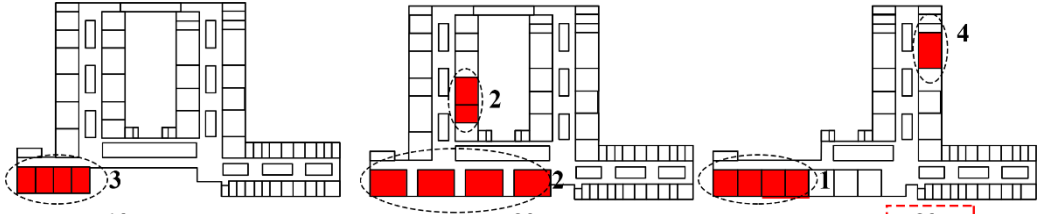
**6.3 EK C: Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen örnek senaryolar.**



**Şekil C.1:** Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ3, 1GÖ4 ve 1GÖ6 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.

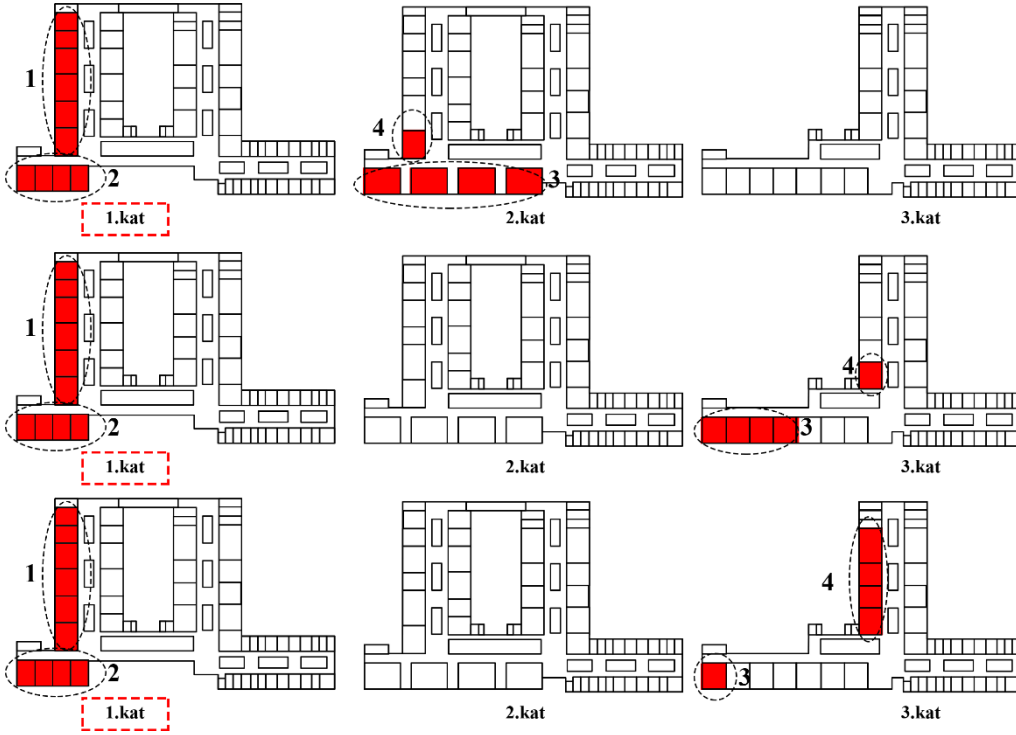


**Şekil C.2:** Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ5, 1GÖ7 ve 1GÖ8 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.



**Şekil C.3:** Birinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 1GÖ10 senaryosuna ait derslik yerleşimleri.

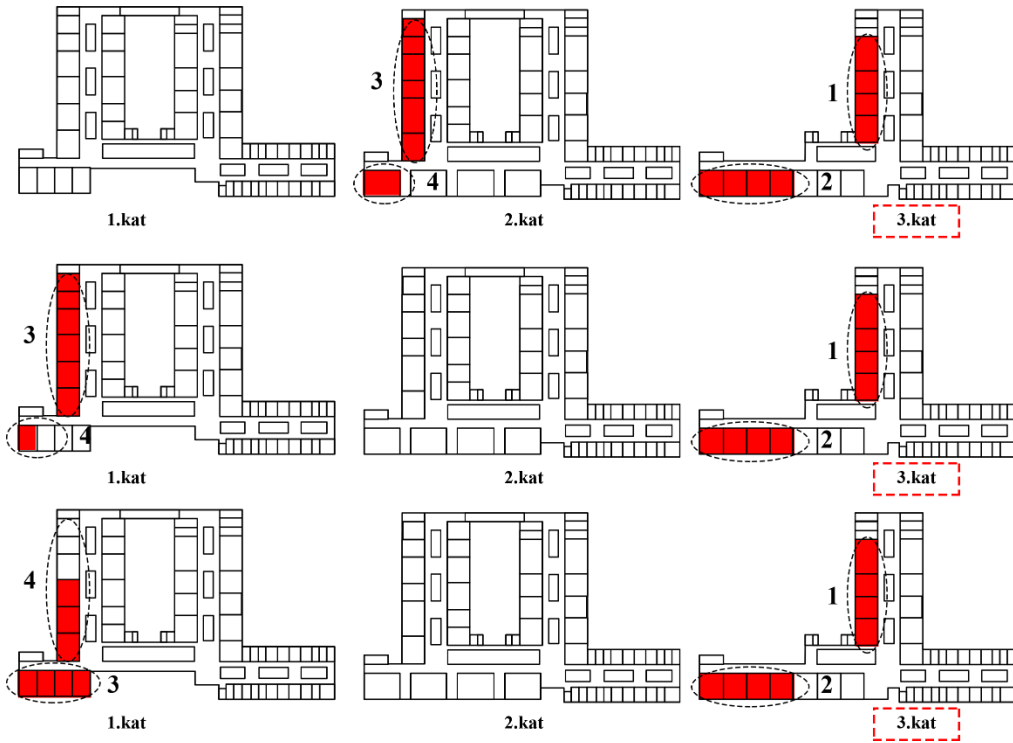
**6.4 EK D: İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen örnek senaryolar.**



**Şekil D.1:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS2, 2GS3 ve 2GS4 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.



**Şekil D.2:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS6, 2GS7 ve 2GS8 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.

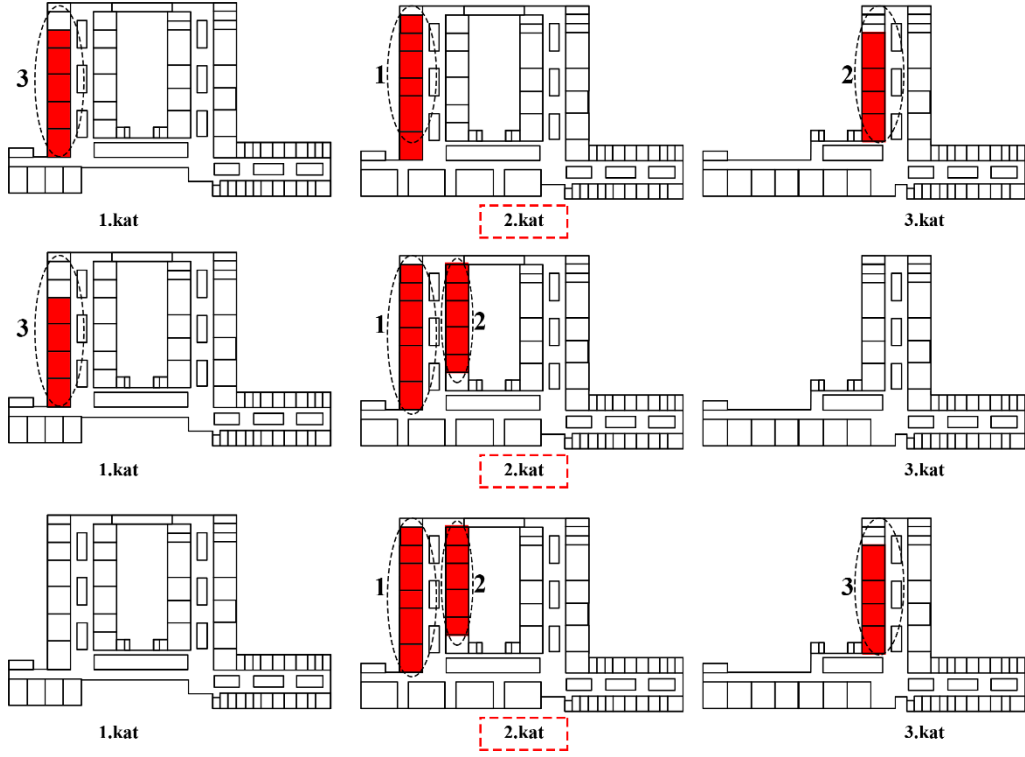


**Şekil D.3:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak sabaha yönelik geliştirilen 2GS10, 2GS11 ve 2GS12 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.

**6.5 EK E: İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen örnek senaryolar.**



**Şekil E.1:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 2GÖ2, 2GÖ3 ve 2GÖ4 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.



**Şekil E.2:** İkinci dönem derslik yerleşimi yapıldığında güneşin etkisine bağlı olarak öğleden sonraya yönelik geliştirilen 2GÖ5, 2GÖ6 ve 2GÖ7 senaryolarına ait derslik yerleşimleri.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Resul ÖZLÜK

Doğum tarihi ve yeri : 03.02.1997-BATMAN

e-posta : [resulozluk7@gmail.com](mailto:resulozluk7@gmail.com)

Derece	Okul/Program	Yıl
Y.Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık	2021
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık	2019
Lise	Mevlana Anadolu Lisesi	2015