T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YEŞİL ÇATI KATMANLARININ ENERJİ DENGESİ ve KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Pavel Paşa İOKHİM

DANIŞMAN
Doç. Dr. Mert EKŞİ

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Peyzaj Mimarlığı Programı

Temmuz, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Pavel Paşa İOKHİM tarafından, **Doç. Dr. Mert EKŞİ** danışmanlığında hazırlanan **"YEŞİL ÇATI KATMANLARININ ENERJİ DENGESİ ve KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **04/07/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Doç. Dr. Mert EKŞİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Peyzaj Teknikleri Anabilim Dalı		■ Kabul □ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Nilüfer KART AKTAŞ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Peyzaj Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı		■ Kabul □ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gül Aslı AKSU Kastamonu Üniversitesi Peyzaj Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı		■ Kabul □ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Pavel Paşa İOKHİM

(İmza)

Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

YEŞİL ÇATI KATMANLARININ ENERJİ DENGESİ ve KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan “Yeşil Çatı Katmanlarının Enerji Dengesi ve Kentsel Isı Adası Etkisi Açısından Değerlendirilmesi” isimli bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda yürütülmüştür.

Danışmanlığımı üstlenerek, tez sürecimde benden destek ve yardımlarını esirgemeyen, sabır ve özveriyle beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Mert EKŞİ’ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim sürecim boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Arzu ÖZDEMİR, Cem MİDİLLİ, Emine AYDIN ve Furkan ÇINAR’a ve varlıkları ile bana güç veren ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2023 **Pavel Paşa İOKHİM**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvi**
ABSTRACT **1**
1. GİRİŞ **3**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **5**
2.1. YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ 5
2.1.1. Yeşil Çatı Katmanları ve Malzemeleri 6
2.1.2. Yeşil Çatıların Sınıflandırılması 8
2.1.3. Yeşil Çatıların Yapılı Çevredeki Etkileri 11
2.2. YEŞİL ÇATILARIN YAPI VE KENT ÖLÇEĞİNDE ENERJİ DÖNGÜSÜ 15
2.2.1. Kentsel Isı Adası Kavramı 15
2.2.2. Kentsel Isı Adasının Oluşum Nedenleri 16
2.2.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Kentsel Isı Adasına Etkileri 17
2.2.4. Yapılarda Enerji Giderlerinin Azaltılması ve Isı Yalıtım Özellikleri 18
2.3. DÜNYA'DAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ YEŞİL ÇATI POLİTİKALARI 19
3. YÖNTEM **21**
3.1. MATERYAL 21
3.1.1. Türkiye'nin İklim Sınıflandırması 22
3.1.2. Yapının ve Çatı Katmanlarının Özellikleri 24
3.1.3. Yeşil Çatı Sisteminin Özellikleri 25
3.2. YÖNTEM 26

4. BULGULAR 30
4.1. Hava Koşulları 30
4.1.1. 2014-2015 Hava Sıcaklığı Koşulları 33
4.1.2. 2015-2016 Hava Sıcaklığı Koşulları 34
4.1.3. 2016-2017 Hava Sıcaklığı Koşulları 35
4.1.4. 2017-2018 Hava Sıcaklığı Koşulları 36
4.1.5. 2018-2019 Hava Sıcaklığı Koşulları 37
4.1.6. 2019-2020 Hava Sıcaklığı Koşulları 38
4.1.7. 2015 Yılı Yağış Değerleri 39
4.1.8. 2016 Yılı Yağış Değerleri 40
4.1.9. 2017 Yılı Yağış Değerleri 42
4.1.10. 2018 Yılı Yağış Değerleri 44
4.1.11. 2019 Yılı Yağış Değerleri 46
4.1.12. 2020 Yılı Yağış Değerleri 48
4.1.13. 2015-2020 Yıllarına ait sıcaklık ve yağış değerleri 50
4.2. Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 51
4.2.1. 2014-2015 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 51
4.2.2. 2015-2016 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 53
4.2.3. 2016-2017 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 55
4.2.4. 2017-2018 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 57
4.2.5. 2018-2019 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 59
4.2.6. 2019-2020 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı 61
4.2.7. Yüzey Katmanının En Yüksek- En Düşük Sıcaklık Değerleri 63
4.2.8. Çatı Yüzeyi Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri 65
4.3. Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 66
4.3.1. 2014-2015 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 66
4.3.2. 2015-2016 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 67
4.3.3. 2016-2017 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 68
4.3.4. 2017-2018 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 69
4.3.5. 2018-2019 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 70
4.3.6. 2019-2020 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı 71
4.3.7. Yetiştirme Ortamının En Yüksek- En Düşük Sıcaklık Değerleri 72
4.3.8. Yetiştirme Ortamı Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri 74
4.4. Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 75

4.4.1. 2014-2015 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 75
4.4.2. 2015-2016 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 76
4.4.3. 2016-2017 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 77
4.4.4. 2017-2018 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 78
4.4.5. 2018-2019 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 79
4.4.6. 2019-2020 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı 80
4.4.7. Yalıtım Katmanlarının En Yüksek - En Düşük Sıcaklık Değerleri 81
4.4.8. Yalıtım Katmanı Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri 83
4.5. İç Mekan Sıcaklığı 84
4.5.1. 2014-2015 İç Mekan Sıcaklığı 84
4.5.2. 2015-2016 İç Mekan Sıcaklığı 85
4.5.3. 2016-2017 İç Mekan Sıcaklığı 86
4.5.4. 2017-2018 İç Mekan Sıcaklığı 87
4.5.5. 2018-2019 İç Mekan Sıcaklığı 88
4.5.6. 2019-2020 İç Mekan Sıcaklığı 89
4.5.7. İç Mekan En Yüksek - En Düşük Sıcaklık Değerleri 90
4.5.8. İç Mekan Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri 93
5. TARTIŞMA 94
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 100
KAYNAKLAR 101
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 109
ETİK KURUL İZİN YAZISI 110
KURUM İZNİ YAZILARI 111
ÖZGEÇMİŞ 112

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yeşil çatı sistemlerinin tarihi (Shafique et al., 2018) ve (Ekşi, 2021)'den derlenmiştir. 5

Şekil 2.2: Çok katmanlı yeşil çatılarda ortak olarak bulunan katmanlar 7

Şekil 2.3: İntensif yeşil çatı yapısal kesiti 9

Şekil 2.4: Ekstensif yeşil çatı yapısal kesiti 11

Şekil 2.5: Tipik bir kentsel ısı adasının genelleştirilmiş kesiti (Oke, 1987)'den derlenmiştir. 16

Şekil 3.1: Araştırma alanının konumu 21

Şekil 3.2: Köppen'e göre Türkiye'nin İklim Sınıflandırması 23

Şekil 3.3: Yeşil çatı genel sistem detayı (Ekşi, 2012) 25

Şekil 3.4: Yeşil çatı sisteminde kullanılan bitki türleri 25

Şekil 3.5: Yeşil çatı ve Kaynak çatı genel sistem detayları 27

Şekil 4.1: 2015 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 33

Şekil 4.2: 2016 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 34

Şekil 4.3: 2017 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 35

Şekil 4.4: 2018 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 36

Şekil 4.5: 2019 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 37

Şekil 4.6: 2020 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri 38

Şekil 4.7: 2015 yılı aylık toplam yağış değerleri 39

Şekil 4.8: 2016 yılı aylık toplam yağış değerleri 40

Şekil 4.9: 2017 yılı aylık toplam yağış değerleri 42

Şekil 4.10: 2018 yılı aylık toplam yağış değerleri 44

Şekil 4.11: 2019 yılı aylık toplam yağış değerleri 46

Şekil 4.12: 2020 yılı aylık toplam yağış değerleri 48

Şekil 4.13: 2015-2020 yılları toplam yağış ve sıcaklık ilişkisi 50

Şekil 4.14: 2015 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 51

Şekil 4.15: 2016 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 53

Şekil 4.16: 2017 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 55

Şekil 4.17: 2018 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 57

Şekil 4.18: 2019 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 59

Şekil 4.19: 2020 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri 61

Şekil 4.20: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün çatı yüzeyi sıcaklık değerleri 63

Şekil 4.21: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün çatı yüzeyi sıcaklık değerleri 64

Şekil 4.22: 2015-2020 yılları ortalama çatı yüzeyi ve hava sıcaklığı değerleri 65

Şekil 4.23: 2015 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 66

Şekil 4.24: 2016 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 67

Şekil 4.25: 2017 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 68

Şekil 4.26: 2018 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 69

Şekil 4.27: 2019 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 70

Şekil 4.28: 2020 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri 71

Şekil 4.29: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri 72

Şekil 4.30: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri 73

Şekil 4.31: 2015-2020 yılları ortalama yetiştirme ortamı ve hava sıcaklığı değerleri 74

Şekil 4.32: 2015 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 75

Şekil 4.33: 2016 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 76

Şekil 4.34: 2017 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 77

Şekil 4.35: 2018 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 78

Şekil 4.36: 2019 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 79

Şekil 4.37: 2020 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri 80

Şekil 4.38: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün yalıtım katmanları sıcaklık değerleri 81

Şekil 4.39: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün yalıtım katmanları sıcaklık değerleri 82

Şekil 4.40: 2015-2020 yılları ortalama yalıtım katmanı ve hava sıcaklığı değerleri 83

Şekil 4.41: 2015 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 84

Şekil 4.42: 2016 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 85

Şekil 4.43: 2017 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 86

Şekil 4.44: 2018 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 87

Şekil 4.45: 2019 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 88

Şekil 4.46: 2020 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri 89

Şekil 4.47: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün iç mekan sıcaklık değerleri 90

Şekil 4.48: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün iç mekan sıcaklık değerleri 92

Şekil 4.49: 2015-2020 yılları ortalama iç mekan ve hava sıcaklığı değerleri 93

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: İstanbul İli Bazı Meteoroloji İstasyonlarının Köppen'e Göre İklim Özellikleri 22

Tablo 3.2: İÜCYAP veri kayıt sisteminden elde edilen veri tipleri ve ölçüm aleti özellikleri 26

Tablo 3.3: İÜCYAP veri ölçüm sisteminde ölçüm kaydı alınamayan günlerin detayları 28

Tablo 4.1:2014-2020 yılları arasındaki hava sıcaklıklarının ortalama, en yüksek, en düşük ve uzun dönem MGM veri değerleri ile karşılaştırılması 30

Tablo 4.2: 2015 yılı aylık toplam yağış değerleri 39

Tablo 4.3: 2016 yılı aylık toplam yağış değerleri 41

Tablo 4.4: 2017 yılı aylık toplam yağış değerleri 43

Tablo 4.5: 2018 yılı aylık toplam yağış değerleri 45

Tablo 4.6: 2019 yılı aylık toplam yağış değerleri 47

Tablo 4.7: 2020 yılı aylık toplam yağış değerleri 49

Tablo 4.8: 2015-2020 yılları toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri 50

Tablo 4.9: 2015 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 52

Tablo 4.10: 2016 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 54

Tablo 4.11: 2017 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 56

Tablo 4.12: 2018 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 58

Tablo 4.13: 2019 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 60

Tablo 4.14: 2020 yılı yüzey sıcaklığı değerleri 62

Tablo 4.15: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, çatı yüzeyi sıcaklık değerleri 64

Tablo 4.16: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, çatı yüzeyi sıcaklık değerleri 65

Tablo 4.17: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri 73

Tablo 4.18: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri 74

Tablo 4.19: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yalıtım katmanları sıcaklık değerleri 81

Tablo 4.20: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yalıtım katmanları sıcaklık değerleri 82

Tablo 4.21: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, iç mekan sıcaklık değerleri 91

Tablo 4.22: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, iç mekan sıcaklık değerleri 92

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
cm	: Santimetre
m	: Metre
km	: Kilometre
km^2	: Kilometre kare
°C	: Santigrat derece
db	: Desibel

Kısaltmalar	Açıklama
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
YC1	: Bitkilendirilmiş Çatının Altında Bulunan Çatı Levhasının Sıcaklığı
YC YET	: Bitkilendirilmiş Çatının Yetişme Ortamı Sıcaklığı
RC1	: Kaynak Çatının Altında Bulunan Çatı Levhasının Sıcaklığı
HSC	: Çatının Bulunduğu Konumdaki Hava Sıcaklığı
RC YZY	: Kaynak Çatının Yüzey Sıcaklığı
YC YZY	: Bitkilendirilmiş Çatının Yüzey Sıcaklığı
RC ODA	: Kaynak Çatının Altında Bulunan Odanın Sıcaklığı
YC ODA	: Bitkilendirilmiş Çatının Altında Bulunan Odanın Sıcaklığı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YEŞİL ÇATI KATMANLARININ ENERJİ DENGESİ ve KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Pavel Paşa İOKHİM

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Peyzaj Mimarlığı Programı

Danışman : Doç. Dr. Mert EKŞİ

20. yüzyılın başlarında dünya nüfusunun yalnızca %15'i şehirlerde yaşıyorken, günümüzde bu oran %50'lere kadar yükselmiştir. Kentsel alanlarda nüfusun artması ile yeşil alan miktarı azalmakta ve küresel ısınmanın etkileri daha net bir şekilde hissedilmektedir. Bu durum kentsel ısı adası etkisini kentlerde yoğun bir şekilde ortaya çıkarmaktadır. Kentler, hızlı bir şekilde büyüme ve yayılma eğilimi gösterdiğinden, genellikle kentsel yeşil alan miktarını etkili seviyelere çıkarmak mümkün olmamaktadır. Mevcut bina çatılarını yeşil çatılara dönüştürerek, kentleşmenin getirdiği olumsuz etkileri en aza indirgemek mümkündür. Yeşil çatılar günümüzde sürdürülebilir bina stratejileri oluşturmak açısından önemli bir çözüm sunmaktadır.

İÜCYAP alanında gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, yeşil çatı kaplı yüzeylerin geleneksel çatılara kıyasla bina enerji dengesine ve çevreye etkilerini incelemektir. Araştırma kapsamında 2014-2020 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda özellikle yaz aylarında yeşil çatının katmanlar arası sıcaklık değerlerinin geleneksel çatılara kıyasla daha dengeli olduğu görülmüştür. Yeşil çatılar ile geleneksel çatılar kıyaslandığında;

kış mevsimine ait verilerde iki çatı birbirine yakın sıcaklık değerleri gösterirken yaz aylarında bu değerler arasında büyük farklar olduğu görülmüştür. Yeşil çatı ile geleneksel çatı sisteminde bulunan yalıtım katmanına ait sıcaklık değerleri iki çatı arasında 30 derecelere kadar sıcaklık farkı ortaya koymuştur. Ayrıca binada ölçülen en iç katman olan oda sıcaklığına da 0,03-0,8 derecelik etki sağladığı görülmüştür.

Temmuz 2023 , 129 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yeşil çatı, Kentsel ısı adası, Enerji dengesi, İstanbul

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

EVALUATION OF GREEN ROOF LAYERS IN TERMS OF ENERGY BALANCE AND URBAN HEAT ISLAND EFFECT

Pavel Paşa İOKHİM

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Landscape Architecture

Landscape Architecture

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mert EKŞİ

While only 15% of the world's population lived in cities at the beginning of the 20th century, this rate has now risen to around 50%. The increase in urban population has led to a decrease in green areas and the impacts of global warming are more strongly felt. This situation intensifies the urban heat island effect in cities. Due to the rapid growth and expansion of cities, it is often not possible to increase the amount of urban green areas to effective levels. Transforming existing building roofs into green roofs can help minimize the negative effects of urbanization. Green roofs offer an important solution in terms of creating sustainable building strategies today. The aim of this study in the field of IUCYAP (Integrated Urbanism and Sustainable Design) is to examine the effects of green roof surfaces on building energy balance and the environment compared to traditional roofs. Temperature and precipitation data from 2014 to 2020 were evaluated in the research. As a result of the research, it was observed that the temperature values between the layers of the green roof were more balanced compared to traditional roofs, especially during the summer months. When comparing green roofs and traditional roofs, it was seen that while the two roofs showed similar temperature values in

winter, there were significant differences in these values during the summer months. The temperature values of the insulation layer in the green roof system and the traditional roof system revealed a temperature difference of up to 30 degrees between the two roofs. Furthermore, it was observed that it had an impact of 0.03-0.8 degrees on the room temperature, which is the innermost layer measured in the building.

July 2023, 129 pages.

Keywords: Green roof, Urban head island, Energy balance, Istanbul

1. GİRİŞ

Kentleşme, sanayileşme ve tüketim alışkanlıklarının her geçen gün artması, beraberinde çevre ve hava kirliliğini getirmekte ve hava sıcaklıklarında küresel ölçekte bir artışa neden olmaktadır. Bu çevre problemlerinin oluşturduğu düzensizlikler, dünyadaki canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir (Şimşek ve Şengezer, 2012). Bu etkiler, atmosferdeki ısı ve su döngüsünü farklılaştırmakta, kırsal alanlardaki iklim ile kent iklimi arasında sıcaklık farkı oluşturmakta ve dolayısıyla kentsel ısı etkisini meydana getirmektedir (Ayçam ve Kınalı, 2013).

Yeşil çatılar kentsel alanlarda çok sayıda çevresel ve ekolojik işlevler sunmaktadır. Bunlar arasında evapotranspirasyon, soğutma ve gölgeleme ile kentsel ısı adası etkisini hafifletme ve gaz halindeki ve partikül halindeki hava kirleticilerini giderme etkisi bulunmaktadır (Jim ve Tsang, 2011). Ayrıca yağmur suyu yönetimi, enerji tasarrufu sağlama, yeşil alan miktarını artırma ve gürültü ve hava kirliliğini azaltma gibi etkileri de mevcuttur. Yeşil çatılar sağladıkları habitat çeşitliliği ile kentsel habitatlar arasında bağlantı noktaları oluşturmaktadır. Bu çatılar özellikle kentleşmenin yarattığı olumsuz etkileri ve kentsel ısı adası etkisini azaltmak açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Bu bağlamda yeşil çatılar, daha sağlıklı ve yaşanılabilir kentler oluşturmak aşısından büyük öneme sahiptir.

Gerçekleştirilen çalışma, örnek yeşil çatı sisteminde farklı zaman periyodlarında sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesi ile yeşil çatıların bina sıcaklık değerleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasını amaçlamaktadır. Çalışma, İstanbul, Bahçeköy'de bulunan Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu'ndan elde edilen verilerin çatı yüzeyi, içi, altı ve diğer alanlarından elde edilen sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmesini ve bu ölçümlerin ısı adasına etkisinin hesaplanmasını kapsamaktadır. Çalışmanın 'Giriş', 'Kavramsal Çerçeve', 'Yöntem', 'Bulgular', 'Tartışma' ve 'Sonuç ve Öneriler' olmak üzere 5 bölümü bulunmaktadır. Giriş bölümünde; çalışma konusunun önemi, amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmektedir. Kavramsal çerçevenin ilk bölümünde; kentsel ısı adasının tanımı ve nedenleri açıklanmıştır. İkinci bölümünde ise yeşil çatı sistemlerinin çevreye ve kentsel ısı adasına etkisi, oluşum ve gelişim süreçleri, malzemeleri ve sınıflandırmaları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Materyal bölümünde; çalışma alanının yapısal ve teknik özellikleri açıklanmıştır. Yöntem bölümünde; çalışma oluşturulurken izlenen yöntemlere detaylı şekilde yer verilmiştir. Bulgular bölümünde; araştırma alanında yapılan ölçümler doğrultusunda, alanın yıllara ait haftalık ve mevsimler

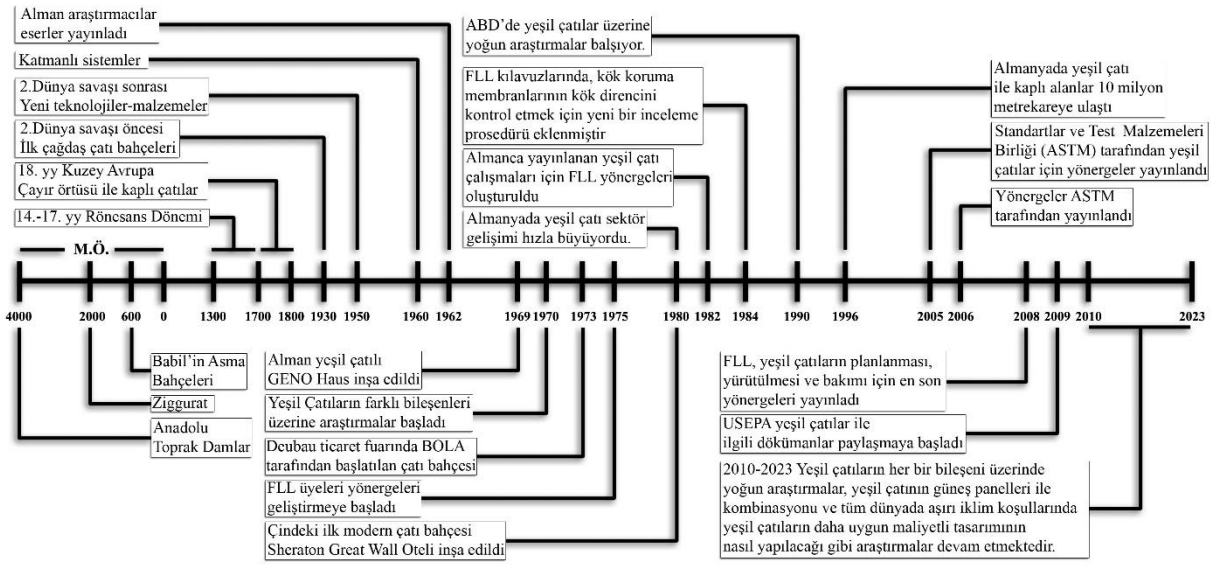
sıcaklık değerleri verilmiştir. Tartışma bölümünde; veriler farklı araştırmalar ile karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise konu ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Yeşil çatıların geleneksel çatılara kıyasla bina enerji dengesine etkisini, çatı katmanları ve mevsimsel dönemler açısından değerlendiren yeterli sayıda araştırma bulunmamaktadır. Bu araştırmanın; bina enerji dengesi ve yeşil çatıların çevresel etkileri açısından literatüre katkı sunacağı düşünülmektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. YEŞİL ÇATI KAVRAMI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

İlk çatı bahçesi uygulamalarının tarihinin eski çağlara kadar uzandığı bilinmektedir. Bilinen ilk çatı bahçesi örneğini M.Ö. 2000 yılında, antik Sümer şehirlerinden biri olan Ur'da kurulan Ziggurat ve mabetler oluşturmaktadır (Osmundson, 1999). Rivayete göre Ziggurattan 1500 yıl sonra yaklaşık M.Ö. 600 yıllarında Babil Kralı Nebuchaddnezzar'ın eşi Semiramis için yaptırdığı Babil'in Asma Bahçeleri çatı bahçelerinin ilk örneklerinden biri olarak varsayılmaktadır (Ekşi, 2021)**.** Irak'ın El-Hille kentinde bulunduğu düşünülen ancak gerçekte var olup olmadığına dair arkeolojik kanıtlar bulunmayan yapılar, günümüzde hala bir gizem olarak kalmaktadır (Ekşi, 2021). Bu çatıların, geçmiş çağlarda yapım amaçları doğaya duyulan özlem ve tanrının gökyüzündeki katına yaklaşmak ve ona yakın olma felsefesine dayanırken, günümüzde kentlerdeki ekolojik sorunların çözümü amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 2.1) (M.E. Barış ve ark., 2012).



Şekil 2.1: Yeşil çatı sistemlerinin tarihi (Shafique et al., 2018) ve (Ekşi, 2021)'den derlenmiştir.

Ekşi ve Uzun (2016)'un bildirdiğine göre, 1800'lü yıllarında başlarında, Kuzey Avrupa'da ısı yalıtımı amacıyla çatı yüzeylerinin toprak tabakası ile örtülmesi ve bu tabaka üzerinin otsu bitkiler ile bitkilendirilmesi uygulaması, günümüzdeki yeşil çatı sistemlerinin ilham kaynağını oluşturmaktadır. Bu sistemler referans alınarak 1960'lı yıllarda İşviçre'de modern yeşil çatı teknolojileri geliştirilmiştir. Bu teknolojiler Almanya başta olmak üzere pek çok ülkede yaygın şekilde kullanılmıştır.

1900'lü yılların başlarında gelişen çatı bahçeleri, yeni ve sağlıklı bir dış mekan fırsatı olarak algılanmış ve toplumun her kesimi tarafından kabul görmüştür. 1900'lü yılların sonunda sürdürülebilir çatı bahçeleri dönemi başlamıştır. Yüksek binalarda çatı bahçeleri oluşturma fikri sürdürülebilir, hortikültürel ve ekolojik bina tasarımı alanında yeni, ilginç ve hızlı bir akım oluşturmuştur (Seçkin, 2011).

Kentsel alanlardaki ve bina çatılarındaki kullanımı olmayan boş mekanlara estetik değerler kazandıran ve sürdürülebilir işlevler sunan yeşil çatılar, açık alan kaybını dengeleme ve arazi geliştirme konusunda olumlu etkiler göstermektedir. Bugün bu yaklaşım, bütün dünyada giderek artan bir önem kazanmaktadır. (Seçkin, 2011).

Yeşil çatı sistemleri, günümüzde kentlerde ortaya çıkan çeşitli olumsuzlukların etkilerini azaltmak için kullanılan önemli bir araçtır. Bununla birlikte, yeşil çatılar enerji tasarrufu, su ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, gürültü azaltma, çatı ömrünün uzaması, ısı adası etkisinin azaltılması ve yeşil alan miktarının artırılması gibi çevresel avantajların yanı sıra ekonomik refah sağlar. Ayrıca, su hasadı, kompost üretimi ve geri dönüşüm gibi sürdürülebilirlik uygulamalarına da katkıda bulunurlar. Bu sayede yeşil çatılar, kentlerdeki olumsuz etkileri azaltarak düzenleyici bir rol üstlenirler.

2.1.1. Yeşil Çatı Katmanları ve Malzemeleri

Yeşil çatı kök bariyeri, koruma tabakası, drenaj/su tutma tabakası, filtre örtüsü ve bitki örtüsü tabakalarından oluşan çok katmanlı bir bitki örtüsüdür (Şekil 2.2). Yetiştirme ortamının drenaj tabakası ile yıkanmasını önlemek için yetiştirme ortamın altına bir geçirimli örtü yerleştirilmektedir (Jarrett ve diğ., 2009; Chenani ve diğ., 2015).



Şekil 2.2: Çok katmanlı yeşil çatılarda ortak olarak bulunan katmanlar

Su yalıtım tabakası, suyun binaya erişimini engellemek, akış kontrolü için suyu tutmak ve büyüme ortamı katmanının nemli olmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Bianchini ve Hewage, 2012).

Koruyucu tabakada, montaj sırasında su geçirmez membranı korumak için bir geotekstil kullanılmaktadır. Farklı kalınlıklarda oluşturulabilen bu katman, dokunmamış polipropilenden oluşur (Chenani ve diğ., 2015).

Isı yalıtım tabakası, çatılarda ısı yalıtımını artırmak amacıyla kök tutucu tabaka altına serilebilmektedir. Bu tabakanın hafif ve basınç etkisine karşı direnç gösterecek özellikte olması gerekmektedir. Bu özellik, tabakanın üst malzeme ağırlığı nedeniyle ezilmesini önlemektedir (Cantor, 2008).

Kök tutucu tabaka, binayı bitki köklerinin yapıya zarar vermesine karşı korumayı amaçlamaktadır. Kök bariyerleri, fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tiptir. Kimyasal kök

bariyeri, kök penetrasyonunu önlemek için bakır bazlı ürünler gibi toksinlerden oluşmaktadır (Chenani ve diğ., 2015).

Drenaj tabakası, fazla suyu sistemden uzaklaştırmak amacıyla kullanılan katmandır. Sistem drenajını sağlarken bitki köklerinin havalandırma dengesinin sağlanmasına da yardımcı olmaktadır. Bu nedenle drenaj tabakası kök bariyeri üzerine serilmektedir (Chenani ve diğ., 2015).

Filtre tabakası, üst tabakalardaki partiküllerin su akışı ile süzülmesini ve drenaj tabakasının tıkanmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu katmanın görevi, yağış veya sulama sonrasında yetiştirme ortamı malzemesinin alt katmanlara sızmasını önlemektir. Ek olarak, filtre tabakası yetiştirme ortamının ve bitki örtüsünün bütünlüğünü korumaktadır (Bianchini ve Hewage, 2012).

Yetiştirme ortamı, bina yalıtımının sağlanması, yağmur suyunun tutulması, ve çatı yüzeyinde bitki yetiştirilmesi gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır (Martin, 2008).

Bitki seçiminde genellikle iklim faktörleri, kuraklık, rüzgar, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı olan, yüzeysel kök sistemine sahip otsu türlerden oluşmaktadır. Bitki türü seçiminde besin gereksinimleri yüksek olan türlerden kaçınılmalıdır. Ayrıca bu bitkilerin ısı dalgalanmalarına ve kuraklığa karşı dayanıklı özellikte olmasına da dikkat edilmelidir (Snodgrass ve Snodgrass, 2006; Erkul, 2012).

2.1.2. Yeşil Çatıların Sınıflandırılması

Yeşil çatı sistemleri, çatı yüzeyinde kullanılan yetiştirme ortamı katmanlarının niteliklerine ve tercih edilen bitki türlerine göre 2 grupta incelenmektedir. Bitkilendirme yöntemlerinin türüne göre bakıldığında; çatı bahçeleri (yoğun/intensif) ve yeşil çatılar (basit/ekstensif) olarak sınıflandırılmaktadır (Aras, 2018).

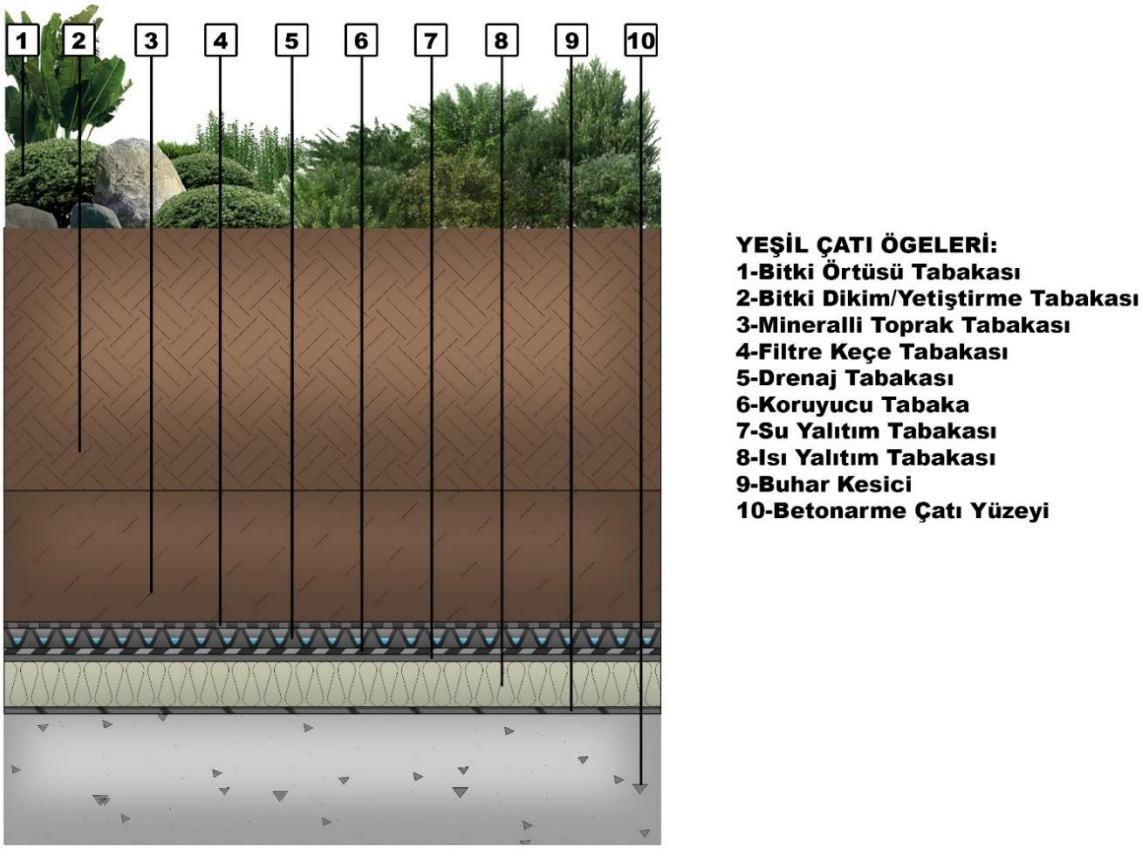
2.1.2.1. Çatı Bahçeleri

Çatı bahçeleri (yoğun ya da intensif) derin yetiştirme ortamlarına sahip (>15 cm), büyük çalılar ve ağaçlar kullanılarak, yer seviyesindeki bir bahçeye benzer biçimde oluşturulan emek-yoğun çatı bahçeleri olarak tanımlanabilmektedir. İntensif (yoğun) sistemler, aslında çoğunlukla açık yeşil alanlara benzer biçimde tasarlanan ve yer seviyesindeki bir bahçeye benzer biçimde ağaç, çalı ve yapısal yüzeyleri içerebilen sistemlerdir (Şekil 2.3) (Ekşi ve Rowe, 2014). Yeşil çatı sistemi yapılırken binanın statik yapısının, yeşil çatının neden olacağı 300-400 kg/m^2

civarındaki ek yük miktarına da dayanıklı olacak şekilde düzenlenmesi ve çatıya uygun bir sulama sistemi eklenmesi gerekmektedir. Bu çatı sisteminin hem işlevsel açıdan hem de rekreasyon açısından işlevsel etkileri bulunmaktadır (Akpınar, 2017). Bu çatılarda toprak derinliği arttığı için genellikle bitki seçiminde küçük ağaçlar ve çalı türleri tercih edilmektedir. Bu nedenle, genel olarak gübreleme, bakım ve sulama için yüksek maliyetler gerekmektedir (Vijayaraghavan, 2016).

Çatı bahçelerinin sağlamış olduğu avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Bitki çeşitliliği açısından oldukça elverişlidir.
- Yalıtım özellikleri açsından oldukça iyidir.
- Görsel açıdan bakıldığında önemli düzeyde çekicilik yaratmaktadır.
- Adeta sistemi toprak zeminmiş gibi gösterme özelliği bulunmaktadır.
- Çatının çeşitli amaçlarla kullanımına olanak sunmaktadır.
- Daha fazla yağmur suyu tutmaktadır.
- Çatı membranı ömrünün uzun olmasına olanak sağlamaktadır (Aytin ve Kisa, 2016).



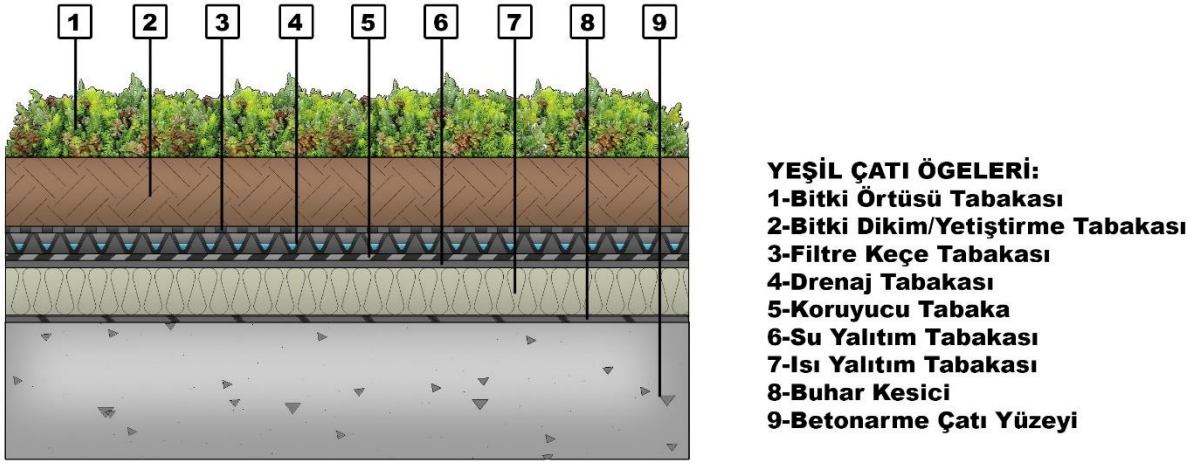
Şekil 2.3: İntensif yeşil çatı yapısal kesiti

2.1.2.2. Ekstensif (Seyrek) Çatı Sistemler

Ekstensif ya da basit sistemler olarak da tanımlanan ve değişken iklim şartlarına uyum sağlayan bitki türlerinin tercih edildiği, bakım ve uygulama maliyetleri ile binaya gelen yapısal yükü belirgin ölçüde azaltan, yetiştirme ortamı derinliği 15 cm'den az olan, gelişmiş altyapı sistemleri içermeyen, genellikle üzerinde bulunduğu yapıya ve çevresine sağladığı bazı faydalar nedeniyle tesis edilen alanlardır (Obendorfer vd., 2007; Ekşi, 2012). Ekstensif yeşil çatılar, genellikle sağladığı estetik faydalardan ziyade çatı ömrünü korumak, çevresel canlılık kazandırmak ve ekonomik olarak fayda sağlamak amacıyla oluşturulmaktadır (Şekil 2.4). Bakım maliyeti çatı bahçelerine kıyasla oldukça düşük olan bu sistemin, tesis maliyeti ve birim alanda bulunan yük miktarı da daha azdır (Seçkin, 2011). Bu sistemde yeşil çatının neden olacağı ortalama ek yük miktarı 100 kg/m^2 civarında olmaktadır (Akpınar, 2017). Bu çatıların sermaye ve bakım maliyeti minimumdur. Yeşil çatı sistemleri, ince alt tabaka sayesinde çimler, yosunlar ve az sayıda meyve türü de dahil olmak üzere yalnızca sınırlı bitki türlerini barındırabilir (Vijayaraghavan, 2016).

Ekstansif çatı bahçelerinin sağlamış olduğu avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Yükü hafif olduğundan dolayı çatının herhangi bir güçlendirmeye ihtiyacı yoktur.
- Büyük alanlar için tercih edilen bir sistemdir.
- 0-45 derece arasında eğime sahip çatılar için tercih edilen sistemdir. 45 dereceye kadar eğimli çatılar standart sistemle bitkilendirilebilirler. Bundan daha büyük açıdaki çatılar da yeşillendirilebilirler ancak tasarım ve uygulama birbirine uymalıdır (Ekşi, 2006)
- Düşük bakım gerektirmektedir ve entansif (yoğun) çatılara göre daha ucuzdur.
- Sık sık sulama ve drenaj sistemi gerektirmez.
- Entansif (yoğun) yeşil çatılara göre nispeten düşük derecede teknik uzmanlık gerektiren bir sistemdir.
- Bitki kendiliğinden gelişip büyüyebilmesi açısından kendi haline bırakılabilir. Müşteri istekleri doğrultusunda planlaması daha kolaydır (Aytin ve Kisa, 2016).



Şekil 2.4: Ekstensif yeşil çatı yapısal kesiti

2.1.3. Yeşil Çatıların Yapılı Çevredeki Etkileri

Kent ortamında, kent ekolojisine katkı sağlayabilmek ve kentleşmenin getirdiği olumsuz etkileri azaltabilmek amacıyla kullanılan yöntemlerden biri de yeşil çatı sistemleridir. Bu sistemler, son yıllarda fiziksel çevreye sağladıkları olumlu etkiler sayesinde kentleri oluşturan önemli bileşenlerden biri haline gelmiştir (Ekşi, 2021).

Yeşil çatılar, yağmur suyu yönetimi, binaların enerji tüketiminde azalma, iyileştirilmiş su ve hava kalitesi, gürültü kirliliğinde azalma, çatı ömrünün uzaması, ısı adası etkisinin azalması ve yeşil alan miktarını artırma gibi belirgin çevresel avantajlara ek olarak ekonomik ve sosyal açıdan birçok fayda sağlamaktadır (Vijayaraghavan, 2016). Genel olarak yeşil çatıların sağladığı ekonomik yararlar arasında; enerji tasarrufu sağlama, drenaj masrafı azaltma, personel istihdamı sağlama, çevre kalitesini ve bina değeri artırma bulunmaktadır (Seçkin, 2011). Ayrıca yeşil çatı sistemleri, doğal kaynakların daha verimli kullanımına katkıda bulunabilmektedir. Bu sistemler sayesinde su hasadı, kompost üretimi ve birçok geri dönüşüm faaliyeti gerçekleştirmek mümkündür. Dolayısıyla sürdürülebilirliğin üç temel ilkesi olan çevresel kalite, ekonomik refah ve sosyal adalet ilkesi burada birçok açıdan hayata geçirilmiş olmaktadır (Ekşi, 2021).

2.1.3.1. Karbon Tutma Özelliği

Yeşil çatılar son yıllarda, kentsel alanlarda hava kirliliğinin yarattığı olumsuz etkileri azaltmak açısından etkili bir yol olarak görülmektedir. Bu çatılar, binaların enerji tüketimini azaltarak fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit CO_2 salınımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Çatının bitki örtüsünün kendisi de fotosentez yoluyla atmosferden büyük

miktarda CO_2 depolamaktadır (Seyedabadi ve diğ., 2021). Michigan ve Maryland'de bulunan bazı yeşil çatılardaki karbon tutma miktarını inceleyen bir çalışmada, çatı yaşı ve alt tabaka derinliğine bağlı olarak değişmekle birlikte yeşil çatıların toprak üstü canlı kütlesinde ortalama 162 g cm^{-2} depoladığı belirtilmiştir (Getter ve diğ., 2009).

2.1.3.2. Yüzeysel Akış Kontrolü ve Yağmur Suyu Tutma

Yüzeysel akış hacmi, sistemlerden sızan, tutulmayan ve sistemin altında toplanan su miktarıdır. Çatı eğimi, alt katmanların nemi ve yağış yoğunluğu gibi değişkenler, akış hacmini etkilemektedir (Longobardi ve diğ., 2019). Yeşil çatı sistemleri, çatının yapısal özelliklerine ve iklim faktörlerine bağlı olarak değişmekle birlikte, %40-60 oranında yağış tutma kapasitesine sahiptir (Connelly & Liu, 2005). Hava koşullarına ve yeşil çatı sisteminin özelliklerine bağlı olarak, çatının yüzeysel akışı azaltma kapasitesi değişmektedir. Yetiştirme ortamı kalınlığı 2 ila 15 cm arasında değişen yeşil çatıların, su tutma kapasiteleri belirlenememiş olsa da, yetiştirme ortamı özelliklerinin su tutma kapasitesini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Ekşi, 2021). Yüksek organik madde içeriğine sahip bir yetiştirme ortamı, kendi ağırlığının 3-5 katı suyu tutabilme özelliğine sahiptir. Bu su, organik madde tarafından daha iyi bir şekilde tutulduğu için bitkiler tarafından daha kolay alınabilir (Yilmaz, 2008).

Genel olarak büyüme ortamının tipi ve kalınlığı, drenaj elemanının tipi ve depolama kapasitesi, bitki örtüsünün tipi ve kaplama miktarı, yağmur olayının hacmi ve önceki kurak döneminin zamanı ve yeşilin eğimine bağlı olarak yeşil çatının su tutma potansiyeli değişmektedir. Büyüme ortamı, su tutmada önemli bir rol oynamaktadır. Yeşil çatı alt tabakasını oluşturan bileşenlerin çoğunun hafif volkanik malzemeler olduğu düşünüldüğünde, nem tutma kapasitesi genellikle yüksektir. Yapılan bir çalışmada, yıllık bazda yağış tutma kapasitesinin intensif yeşil çatılarda %75 ile ekstensif yeşil çatılarda %45 arasında değişebileceği belirtilmiştir. Yağış tutma kapasitesinin büyüklüğü; çatı yapısı, yağış miktarı ve iklim koşullarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Mentens ve diğ., 2006).

Çatı bahçelerinde su sistem içerisindeki katmanların ve çevresel etmenlerin etkisiyle bir döngü gerçekleştirmektedir. Bu sistemde yağış, çatı yüzeyine geldikten sonra çeşitli çatı katmanlarından geçerek bazı etkilere maruz kalmaktadır. Çatı yüzeyine ulaşan yağışın bir bölümü buharlaşma yoluyla uzaklaşma, kalan bölümün bir kısmı ise sistem içerisinde tutulmaktadır. Fazla miktarda gelen su, drenaj katmanında birikme ve su tutucu keçe yardımıyla emilmektedir. Artan suyun ise sistemden tahliyesi gerçekleştirilmektedir (Ekşi, 2021).

2.1.3.3. Ses, Gürültü ve Elektromanyetik Yalıtım

Yeşil çatı sistemleri, özellikle bina kullanıcıları için gürültü kirliliğinin azaltılmasında etkili olabilmektedir. Bu sistemlerin bulundukları konum düşünüldüğünde, özellikle yapının üst bölgesinden gelebilecek gürültüler için etkili oldukları söylenebilir (Ekşi, 2021). Bu çatıların dış ve iç ortamlar arasında sınır oluşturduğu düşünüldüğünde, kentsel alanlarda raylı sistemlerden, karayolundan ve hava trafiğinden kaynaklanan gürültü kirliliğini azaltmak açısından da etkili oldukları belirtilmektedir (Vijayaraghavan, 2016). Yeşil çatılar, yetiştirme ortamının düşük ses frekanslarını, bitkilerin ise daha yüksek frekanslarını absorbe etmesi sayesinde, ses yalıtımı sağlayabilmektedir. Denemeler, 12 cm yüksekliğindeki yetiştirme ortamının tek başına sesi 40 desibel (dB) azaltabileceğini göstermektedir (Peck ve Kuhn, 2000).

2.1.3.4. Hava Kirliliğinin Azaltılması

Kentlerde artan hava kirliliği miktarını azaltmaya yardımcı olması açısından yeşil çatı sistemleri bilinen bir yaklaşımdır. Kent havasının genel olarak çevreye ve insan sağlığına zararlı etkiler gösteren pek çok kirletici madde içerdiği bilinmektedir (Mayer, 1999). Yeşil çatılar kentsel ortamlardaki hava kalitesinin artırılmasında etkilidir. Bu etki, kentsel ısı adası etkisinin hafifletilmesi, fotosentez aracılığıyla oksijen üretilmesi ve hava kirletici özellikteki maddelerin filtrelenmesi ile gerçekleşir (Seçkin, 2011). Yang ve diğ. (2008) yaptığı bir çalışmada, toplam 1675 kg hava kirleticinin bir yılda 19,8 hektar yeşil çatı tarafından giderildiğini ortaya koymuştur.

2.1.3.5. Yaban Hayatı İçin Yaşam Ortamı Sağlama

Yaban hayatını destekleme ve biyolojik çeşitliliğe katkı sunma açısından yeşil çatılar geleneksel çatılara oranla daha etkilidir. Yeşil çatılarda yerel malzemeler ile yetiştirme ortamı oluşturmak, dikim toprağı derinliklerini farklılaştırmak, doğal tohum karışımları ile bitkiler yetiştirmek ve çatıda ölü odunlar ve yaşlı dallar bulundurmak biyolojik çeşitlililiği artırmak açısından oldukça önemlidir (Seçkin, 2011). Yeşil çatılar ayrıca kentleşme nedeniyle kaybolan biyolojik çeşitliliğin geri kazanılmasına da yardımcı olmaktadır. Yeşil çatıların, kuşlar, böcekler ve diğer bitkilerin büyümesi için güvenli bir alan sunduğu bilinmektedir (Vijayaraghavan, 2016). Özellikle yeşil çatılar, insan müdahalesinin daha az oluşu nedeniyle daha fazla korunur ve yalnızca yere yuva yapan kuş türlerine yuva olanağı sağlayabilir. Erişilemeyen bir yeşil çatıdaki toprağın da bozulma olasılığı daha düşük olduğundan, böcekler için de daha güvenli bir habitat oluşturulur. Toprak ne kadar derin olursa, yeşil çatı o kadar fazla böcek çeşitliliğini desteklemektedir (Peck ve Kuhn, 2000).

2.1.3.6. Gıda Üretimi

Yeşil çatılar yüksek kaliteli organik gıdaların, tıbbi ve süs bitkilerinin üretimi için kentsel tarım fırsatları yaratmak üzere tasarlanmaktadır. Bu, ilgili nakliye ve soğutma maliyetlerini azaltma, tarladan sofraya olan süreyi ve mesafeyi azaltma, hasatta olgunluğu sağlama ve şehir sakinleri için yeni istihdam fırsatları sağlama avantajına sahiptir (Peck ve Kuhn, 2000). "Çatı üstü çiftçilik", "çatı bostanları" ya da "yenilebilir bahçeler" olarak da isimlendirilen bu uygulamalar, belirli bir amaç için kullanılmayan çatı yüzeylerinin gıda üretimi açısından kullanımına katkı sağlamakta ve yerel üretimi teşvik etmektedir. Yeşil çatı kurulumu açısından elverişli olan her çatı yüzeyi, tarımsal üretim yapılan bir alana dönüşebilmektedir (Ekşi, 2021).

2.1.3.7. Çatı Ömrünü Artırma

Yeşil çatılar, çatı kaplama membranlarını aşırı sıcaklık dalgalanmalarından, ultraviyole radyasyonun olumsuz etkilerinden ve yaya trafiğinden kaynaklanan kazara hasarlardan korumaya yardımcı olmaktadır. Avrupa'daki çalışmalar, yeşil çatıların geleneksel bir çatının ömrünü kolayca ikiye katlayacağını ve böylece yeniden çatı kaplama ihtiyacını ve çöpe giden atık malzeme miktarını azaltacağını göstermektedir. Bunlar, bina sahibi için doğrudan maliyet tasarruflarıdır. Ertelenmiş bakım ve değiştirme maliyetlerini içeren yaşam döngüsü maliyet verileri, yeşil çatıların geleneksel çatı sistemleriyle aynı veya daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir (Peck ve Kuhn, 2000).

2.1.3.8. Bina Değerini Artırma

Yeşil çatılar, binaların estetik değerini artırmak açısından önemli bir araçtır. Tamamen sıkıcı görülen düz çatılarla karşılaştırıldığında, yeşil çatıları deneyimlemek veya diğer binalardan izlemek daha keyiflidir (Vijayaraghavan, 2016). Binanın bulunduğu yetki alanına ve doluluk durumuna bağlı olarak, yeşil çatı için ek sermaye harcamayı mantıklı gören birçok özel uygulama vardır. Örneğin, bina sakinlerine ek konfor alanı sağlayan erişilebilir yeşil çatılar, apartmanların birim değerini artırmaya yardımcı olabilir. Alıcılar için ofis veya konut süitlerinin artan pazarlanabilirliğine ek olarak, bir yeşil çatının kurulması, yerel bina yetkilileri, topluluk üyeleri ve vergi mükellefi derneklerinden projeler için planlama onayı alınmasına da yardımcı olabilir (Peck ve Kuhn, 2000).

2.1.3.9. Psikolojik-Sosyal Fayda Sağlama

İnsan etkileşimi ile ilgili olarak, yeşil çatılar rekreasyon olanakları sağlar, estetik değerler katar ve kentsel kaliteyi artırır (Saadatian ve diğ., 2013). Yeşil çatılar, hastaneler ve diğer sağlık bakım tesisleri için, iyileşme oranlarını hızlandırma ve ilaç kullanımını azaltma konusunda

kanıtlanmış bir yöntem olan bahçecilik terapisi için fırsatlar sunar. Şu anda Kuzey Toronto'daki bir travma iyileştirme merkezinin çatısı için bahçecilik terapisi yeşil çatısı planlanmaktadır. Ecover Inc., biyo-bozunur çamaşır ürünleri üreten Belçikalı bir şirkettir. Fabrikaları, yerel çimenler ve kır çiçekleri ile 2 dönümlük yeşil bir çatıya sahiptir. Fabrika tarafından üretilen atık su, yerinde bir kanalizasyon havuzunda dereceli olarak arıtılır ve daha sonra yeşil çatıdan süzülürken aynı zamanda bitkiler için sulama ve besin kaynağı görevi görür (Peck ve Kuhn, 2000).

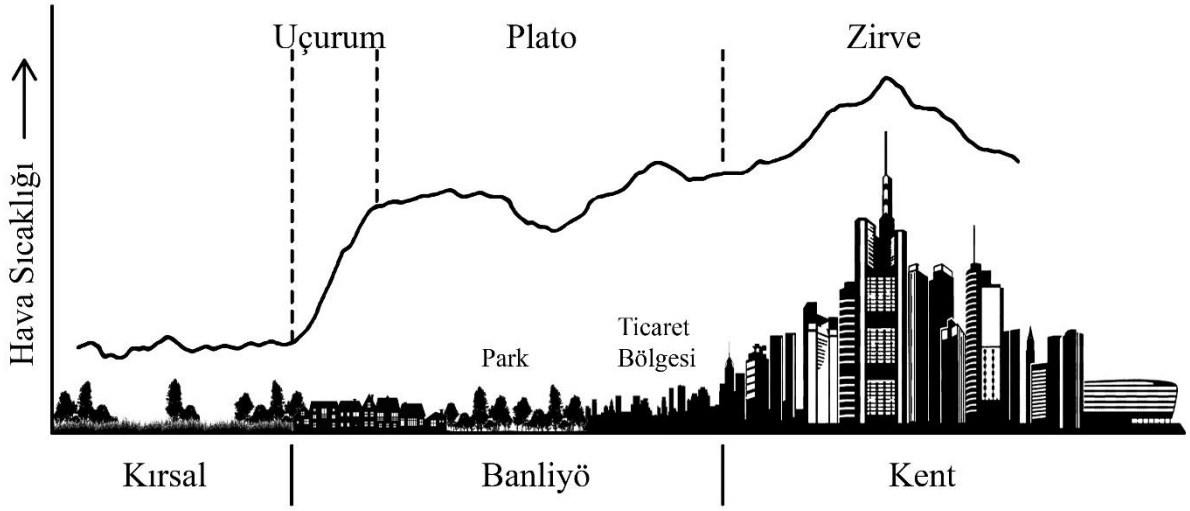
2.1.3.10. Kentsel Isı Adası Etkisini Azaltma

Kırsal alanlar ile kent merkezleri arasındaki sıcaklık değerlerinin farklı olması, kentsel ısı adası etkisini ortaya çıkarmaktadır. İki alan arasındaki sıcaklık farkı değeri 5°C'ye kadar yükselmektedir (Seçkin, 2011). Kentlerdeki yeşil doku, ısı adası etkisinin azaltılması ve daha yaşanılabilir bir kentsel ortam oluşturulabilmesi açısından en önemli bileşendir. Yapıların soğutma yükünün azaltılmasında ve dolayısıyla kentsel ısı adası etkisinin hafifletilmesinde, bitkilerin sağladığı terleme ve gölgeleme etkisi oldukça önemlidir (Ekşi, 2021).

2.2. YEŞİL ÇATILARIN YAPI VE KENT ÖLÇEĞİNDE ENERJİ DÖNGÜSÜ

2.2.1. Kentsel Isı Adası Kavramı

Kentleşmenin en sık gözlemlenen ve belgelenen iklimsel etkisi, kırsal çevreye kıyasla, kentsel alanlarda yüzey ve hava sıcaklıklarında görülen artışlardır. Oke, (1995), bir kentsel ısı adasını basitçe bir kasaba veya şehrin 'karakteristik sıcaklığı' olarak tanımlamaktadır. Bu sıcaklık, kentsel gelişime eşlik eden yüzey ve atmosferik özelliklerin insan tarafından değiştirilmesinin bir sonucudur. Bu olaya, onu çevreleyen daha soğuk koşulların üzerinde, yükselen bir adanın hatlarını andıran, yüzeye yakın hava sıcaklığının izoterm modellerinden dolayı 'ada' adı verilmiştir (Şekil 2.5). Tipik bir "uçurum", kırsal/banliyö sınırına yakın dik bir şekilde yükselir. Ardından banliyö bölgesinin büyük bir kısmında bir "plato" ve ardından şehir merkezinin üzerinde bir "zirve" gelir. Kentsel tepe sıcaklığındaki en yüksek fark ve zemin seviyesindeki kırsal sıcaklık, kentsel ısı adası yoğunluğunu tanımlar. Büyük metropol alanlarda, yüzey sıcaklığında birkaç plato ve tepe noktası olabilir (Banting ve diğ., 2005).



Şekil 2.5: Tipik bir kentsel ısı adasının genelleştirilmiş kesiti (Oke, 1987)'den derlenmiştir.

2.2.2. Kentsel Isı Adasının Oluşum Nedenleri

Kentleşme ve endüstrileşmenin iklim değişikliğine temel olarak üç etkisi bulunmaktadır. Kentlerde beton yüzeylerin artmasıyla birlikte yeşil doku yerini ısıyı tutan koyu renkli geçirimsiz yüzeylere bırakmaktadır. Plansız yapılaşma nedeniyle kent geometrisi değişmektedir. Bu durum, kent içi hava sirkülasyonu ile rüzgarların kent içindeki hareketi ve yüzeylere ulaşmasında engeller oluşturmaktadır. Kentleşmenin beraberinde getirdiği nüfus artışı, fosil yakıt tüketim miktarını da artırmaktadır (Tokaç, 2009).

Kentleşme öncesinde tekdüze bir yüzeye sahip olan bir alanın, kentleşmeyle dolayısıyla bina sayılarının artmasıyla birlikte yüzey alanı miktarı da artmaktadır. Yüzey alanındaki bu artış, radyasyon alma alanını ve miktarını artırmaktadır. Bu durum, absorbe edilen ve depolanan enerji miktarını artırmaktadır. Kentsel alanlardaki yüzeylerde gerçekleşen bu artış, kent sıcaklığındaki artışı da beraberinde getirmektedir (Yılmaz, 2013).

Güneş ışınlarının yüzeylere geliş açılarını; dünyanın günlük hareketi, mevsim, eğim ve bakı gibi özellikler etkilemektedir. Gelen güneş ışınları, yüzeylere bir defa çarpmakta ve geldiği yönün tersinde bir açıyla yüzeylerden uzaklaşmaktadır. Ancak kentlerde güneş ışınları geliş ve gidiş yönünde birden fazla kez tutulmaya uğramaktadır. Güneş ışığının çoklu refleksiyonu olarak adlandırılan bu olayda daha fazla enerji tutulduğu için, kentsel alanlarda enerji ve sıcaklık artışına neden olmaktadır (Yılmaz, 2013).

Kent genelinde sıcaklığın en yüksek olduğu alanlar, nüfus yoğunluğunun ve yapılaşmanın yüksek olduğu şehir merkezleri ve çevresidir. Kentlerdeki yapıların yoğunluğuna bağlı olarak,

ısıl değişimlerde düzensizlik görülmektedir. Buna rağmen kent sıcaklığında belirgin bir alçalma ve yükselme seyri mevcuttur. Büyük kentler kendi termal çevrelerini oluşturabilme özelliğine sahiptir (Kum ve Kılıç, 2014).

Kentlerde aşırı ısınmaya bağlı olarak oluşan termik hava dolaşımını, havanın gün içerisinde kirlenmesi nedeniyle kent üzerinde bir sis örtüsü oluşturmaktadır. Bu örtü, geceleri hava terselmesi oluşturarak kentin üzerini kaplamaktadır. Kentlerin doğrudan güneş ışığı almamasına neden olan bu durum, hava dolaşımını da olumsuz etkilemektedir. Toz miktarı ve nem oranı yüksek olan ve yatay yönde dolaşım sağlayamayan bu hava, dayanılmaz ölçüde bunaltıcı bir kentsel ortam oluşturmaktadır (Yüksel ve Yılmaz, 2008).

Kentlerde yoğun olarak beton, asfalt, taş ve cam gibi ısıyı soğurma özelliği yüksek olan yüzey malzemeleri kullanılmaktadır. Bu malzemeler, mat ve pürüzlü yüzeyleri ve koyu renkleri ile ısıyı emme ve depolama özelliği göstermektedir. Dolayısıyla kent yüzeylerinde kullanılan malzemelerin enerjiyi emme ve depolama süreleri artmaktadır. Bu nedenle kentlerde albedo (yansıtıcılık) etkisinin düşük olması beraberinde yüksek radyasyon miktarını ve sıcaklık değerlerindeki artışı getirmektedir (Gönençgil, 2011).

Kent iklimini önemli ölçüde etkileyen etmenler arasında; yapıların ısıtma ve soğutma sistemleri, kent ve çevresinde bulunan endüstri birimleri ve taşıtlardan salınan ısı enerjisi bulunmaktadır. Özellikle artan fosil yakıt kullanımı iklim değişikliği probleminin temel kaynağını oluşturmaktadır. Kentlerdeki endüstri birimlerinden ve bina ısıtma sistemlerinden kaynaklanan toz, is ve duman gibi kirletici maddeler ve egzoz gazları hava dolaşımına müdahale etmekte ve kent ısısını yükseltmektedir (Kum ve Kılıç, 2014).

2.2.3. Yeşil Çatı Sistemlerinin Kentsel Isı Adasına Etkileri

Yoğun nüfuslu yerleşimlerdeki hava sıcaklıkları, çevredeki kırsal bölgelerde ölçülen sıcaklıklardan daha yüksektir. Kentsel ısı adası, kent yüzeyinin insan yapımı etkilerden ötürü mikroklimatik açıdan geçirdiği değişimi yansıtır (Landsberg, 1981).

Kentlerde radyasyonu absorbe eden ve ısıyı atmosfere geri yansıtan geniş sert yüzeylerdir (Seçkin, 2011). Kentlerde yeşil alanların artması, kentsel yüzey ve ortam sıcaklıklarının düşmesine ve ısı adası etkisinin hafifletimesine katkıda bulunmaktadır (Santamouris, 2014b). Kent bitki örtüsü, gece yayılan ısı miktarını azalttığı için gece kentlerdeki sıcaklıkların azalmasına yardımcı olmaktadır. Ek olarak ısı emilimini azaltma ve güneş radyasyonunu

yansıtma açısından, konvansiyonel çatı ürünlerinden daha etkilidir (Oberndorfer ve diğ., 2007; Erkul, 2012). Yeşil çatılar ayrıca, karanlık çatı yüzeylerine çarpan ve ısıya dönüştürülen güneş ışınımını engelleyerek enerji tasarrufunu artırmaktadır (Peck ve Kuhn, 2000).

2.2.4. Yapılarda Enerji Giderlerinin Azaltılması ve Isı Yalıtım Özellikleri

Çatıda yetiştirilen bitkiler, hem iç hem de dış mekandaki hava kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Bu bitkiler, çatı yüzeyine doğrudan gelen güneş ışığını engelleyerek iç mekan soğutma yükünü azaltmaktadır. Yeşil bir çatı, çatının dış yüzeyindeki termal dalgalanmaları azaltır. Çatının ısı kapasitesini ve ısı direncini arttırır (Seyedabadi ve diğ., 2021). Yeşil çatılar, yazın çatı yüzeyinin ısınmasını önleyerek, kışın ise iç ısıyı koruyarak, enerji tüketimini ve masrafını düşürmektedir (Seçkin, 2011). Ayrıca bu çatılar, çatı yüzey sıcaklığını 30-60°C civarında düşürürler. Soğuk ve nemli havalarda binadan çıkan ısı akışının azalmasına neden olurlar ve çatı membranını sonbahar ve ilkbaharda hızlı soğuma ve donmaya karşı koruyarak etkin ısı yalıtımı sağlarlar. Yeşil çatılar normal çatılara göre daha az uzun dalga radyasyonu yaymaktadır. Bu durum geniş ölçekte şehir düzeyinde artan kentsel sıcaklıkları azaltır ve sıcak iklimlerde ortam sıcaklıklarını daha "insan dostu" hale gelmesine yardımcı olur (Saadatian ve diğ., 2013).

Ekonomik açıdan yeşil çatılar, özellikle su ve enerji açısından tasarruf sağlar. Ancak yeşil çatıların ilk maliyeti, geleneksel çatıların üç ila altı katından daha fazladır. Yeşil çatılar, soğutma ve iklimlendirme için enerji tasarrufu sağlama ve ısı adası etkisini hafifletmesi sebebiyle enerji tasarrufu sağlama gibi çeşitli avantajları sahiptir. Yeşil çatılar ayrıca ısı akışı açısından mümkün olan en parlak beyaz çatılarla aynı verimliliğe sahiptir; çatının ömrünü uzatır ve yeni bir çatı imalatı için enerji tasarrufu sağlar. Yeşil çatılar aynı zamanda gündüz ortam hava sıcaklığını düşürürken, gece ortam hava sıcaklığını yükselterek ve gölgelemeyi arttırarak enerji tasarrufu sağlar (Saadatian ve diğ., 2013).

Genel bir değerlendirme olarak, yeşil çatı sistemlerinin yapıların enerji harcamalarının düşürülmesinde etkili olduğu bilinmektedir Buna ek olarak, sistem ile sağlanan yalıtım ve bitkiler sayesinde, yapıya giren ya da yapıdan kaybedilen ısı enerjisi miktarında belirgin oranda düşüşler görülmektedir. Özellikle yetiştirme ortamındaki derinlik artışı, buharlaşma ve su tutma kapasitesine doğrudan etki etmesi nedeniyle, sistemin ısıl özellikleri açısından etkin bir rol oynamaktadır (Ekşi, 2021).

2.3. DÜNYA'DAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ YEŞİL ÇATI POLİTİKALARI

Yeşil çatı oluşturma düşüncesi eski tarihlere dayanmaktadır. Amerikan bozkırlarındaki yapılarda ve Avrupa'daki kütük evler ve barakalarda yeşil çatı örneklerine sıklıkla rastlanmaktadır. Son yıllarda Dünyanın her yerindeki mimarlar, inşaat mühendisleri ve şehir planlancıları, yeşil çatılara güzellikleri için değil, pratiklikleri ve geleneksel çatılara göre çevresel faktörleri tolere etmedeki avantajları sebebiyle yönelmeye başlamıştır (KLINKENBORG, 2009). Günümüzde yeşil çatı uygulamaları özellikle Avrupa ve ABD'de artış gösterme eğilimindedir. Dünyada kaynakların azalması, enerji kaynaklarının pahalı oluşu, bozulan kanalizasyon sistemleri gibi problemler, Avrupa'da yeşil çatı kavramını ve uygulamalarını öne çıkarmıştır. Kuzey Amerika'da da yeşil çatılara ilgi artmaktadır. Sadece Almanya'da 2001 yılı itibariyle yaklaşık on üç buçuk milyon metre kare yeşil çatılı alan oluşturulmuştur (Dawson, 2002; Aras, 2018). Asya ülkeleri arasında ise özellikle Japonya yeşil çatı uygulamaları ile öne çıkmaktadır.

Araştırmalar hükümetlerin, özellikle bina projeleri için, yeşil çatı teknolojilerini teşvik etmeye yönelik çeşitli politikalar ve düzenlemeler oluşturduğunu göstermektedir. Örneğin; Almanya, yeşil çatı teknolojilerini teşvik etmede dünya lideri olarak kabul edilmektedir. Ülkede evlerin %10'undan fazlasında yeşil çatı sistemleri uygulanmıştır (Zhang ve diğ., 2012). Almanya'da toplam çatı masrafının %50'si yerel yönetimlerce karşılanmaktadır. Bunun yanı sıra yeni yapılacak inşaatlara ruhsat verilirken de yeşil çatı sistemleri geliştirmesi şart koşulmaktadır. İsviçre'de de yerel yönetimler, düz çatıların yeşil çatıya dönüştürülmesi konusunda yönerge yayınlamıştır. Zürih'te 1991 yılından beri düz çatıya sahip bütün yeni yapılarda yeşil çatı uygulanması zorunludur. Kopenhag'da, 30 derecenin altında eğime sahip çatıları olan bütün yeni yapılarda yeşil çatı uygulamasını zorunlu kılmıştır (Kaymak, 2014). Kanada'da Toronto Yeşil Çatı Yönetmeliğinde, 2000 m^2 üzerinde brüt zemin alanına sahip tüm yeni yapıların çatı alanlarının %20-60 oranında yeşil çatı içermesini zorunlu kılmaktadır. Japonya'nın Tokyo Eyaleti'nde ise 1000 m^2 üzerinde arazi alanına sahip yeni inşa edilmiş veya büyütülmüş binalar için yeşil çatıların zorunlu olduğu yönetmelikler bulunmaktadır (Sharma ve diğ., 2016).

Türkiye'de çatı bahçeleri ile ilgili yasal düzenlemeler 3 Temmuz 2017 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nde bulunmaktadır. Yönetmelikte; "Teras çatılarda çatı bahçesi olarak düzenleme yapılabilir. Bahçe düzenlemesi yapılabilmesi için gerekli olan 0.50 metre toprak dolgu, parapet yüksekliğine dâhil edilmez. Ortak alan olarak

kullanılan teras çatılarda; bahçe düzenlemesi yapılması halinde merdiven evi yanında, bina sakinleri tarafından kullanılmak üzere, tuvalet, lavabo, çay ocağı, bahçe düzenlemesinde kullanılacak malzemeleri depolamak için merdiven evine bitişik, toplam teras alanının %10'unu ve 20 m²'yi geçmeyen ve en fazla 3.00 metre yüksekliğinde kapalı mekân oluşturulabilir. Kapalı mekân bina ön cephesine 3.00 metreden fazla yaklaşamaz." ifadesi yer almaktadır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği'nde yer alan; "Kamu binalarıda dâhil olmak üzere yeni yapılacak toplam inşaat alanı 60.000 m² üzerinde olan binalarda kent ekolojisini iyileştirmek, iklimsel klima etkisini kırmak, yağmur suyunu tutarak ani su baskınlarını azaltmak, inşaatların yeşil alan tahribini önlemek, nefes alınabilecek doğal bir ortam oluşturmak ve çatılarda ısı ve gürültü yalıtımını sağlamak amacıyla yeşil çatı sistemleri uygulanması zorunludur. Ayrıca toplam inşaat alanı otuz bin metrekareden fazla olan binalarda teras çatı yapılmak istenmesi durumunda yeşil çatı sistemleri uygulaması yapılması zorunludur." ifadesi ile geniş inşaat alanına sahip yapılarda yeşil çatı oluşturulması için zorunluluk getirilmiştir.

3. YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Araştırma alanı, Sarıyer İlçesi Bahçeköy Mahallesinde bulunan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Kampüsü içerisinde bulunmaktadır. Tez kapsamında yapılan sıcaklık ölçümleri, kampüs içerisindeki Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Araştırma alanının konumu

Araştırma alanının bulunduğu İstanbul ilinin iklimi genel olarak; Akdeniz, Karadeniz, Balkanlar ve Anadolu Karasal ikliminin etkisi altında olan Marmara Bölgesi iklimine benzerdir (SUEN, 2018). Kış aylarında Karadeniz ve Balkanlar'dan gelen soğuk ve az yağışlı, Akdeniz'den gelen ılık ve yağışlı hava akımları etkilidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2023) verilerine göre araştırma alanının bulunduğu Bahçeköy Mahallesi, il ortalamalarına göre daha serin ve yağışlıdır.

3.1.1. Türkiye'nin İklim Sınıflandırması

Dünya iklimlerinde ilk sınıflandırmalardan biri 1900 yılında Alman bilim adamı Wladimir Köppen (1846-1940) tarafından sunulmuştur. Küresel olarak hazırlanan Köppen İklim Sınıflandırması dünya haritası Rudolf Geiger (1894-1981) tarafından 1954 ve 1961 yıllarında yayınlanmıştır. Köppen, bir bitki fizyoloğu olarak ve bitkilerin birçok iklim elemanı için göstergeler ifade ettiğini keşfetmiştir. Köppen iklim sınıflandırmasına göre beş iklim grubu vardır. Bu iklim gruplarını üç harf ile ifade etmiştir. Köppen iklim sınıflandırmasına göre bu iklim gruplarının ilk harfi; ekvator bölgesi (A), kurak bölge 4 (B), sıcak ılıman bölge (C), kar bölgesi (D) ve kutup bölgesi (E) dir. Sınıflandırmada ikinci harf bölgenin yağış durumunu, üçüncü harf ise bölgenin sıcaklığını ifade etmektedir (Bölük, 2016).

Tablo 3.1: İstanbul İli Bazı Meteoroloji İstasyonlarının Köppen İklim Sınıflandırması

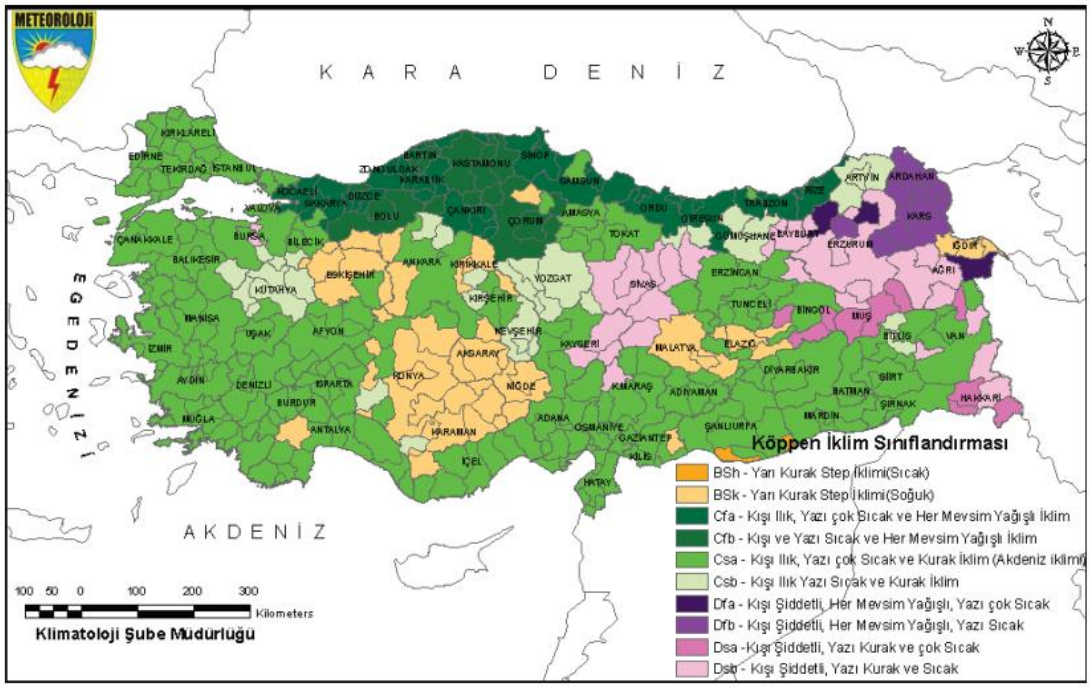
İstasyon Adı	İklim Tipi	İklim Özellikleri
Florya	Csa	Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)
İstanbul	Csa	Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)
Sarıyer	Csa	Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)
Şile	Csa	Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)

Köppen İklim Sınıflandırmasına göre %65.1 olarak Cs iklim tipi ülkemizde görülmektedir. Kurak İklimler (BS) %9.5, her mevsim yağışlı iklimler (Cf) %11.5, Kışı soğuk iklimler ise (Df,Ds) %13.9 olarak görülür (Tablo 3.1). Bu sınıflandırma, küresel ölçekte iklim tiplerinin sınırlarını çok iyi göstermesine rağmen, ülkemiz için bu sınırlar diğer iklim sınıflandırma yöntemlerine göre uygun çıkmamıştır (Bölük, 2016).

Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'de nemli tropikal (A) ve polar (E) iklim tipleri görülmez. Oluşturulan ana iklim tipleri haritasına göre iç kesimlerde kurak iklim (B) tipi egemendir. Türkiye'deki en yaygın iklim tipi olan (%43) kışları ılıman nemli orta enlem iklim tipi (C) tüm kıyı kesimlerini ve Güneydoğu Anadolu'nun büyük bölümünü içine alır (Şekil 3.2). Dağların kıyıya paralel uzandığı Karadeniz Bölgesi ile Orta Toroslar Kuşağı'nda dar bir şerit halinde uzanan iklim bölgesi orografik koşulların elverişli olduğu alanlarda, örneğin, Marmara, Ege, Orta Karadeniz, Güneydoğu Anadolu bölgelerinde, daha geniş alanları kaplar. En geniş yayılıma ise, Anadolu'nun batı kesimlerinde ulaşır (ÖZTÜRK ve ark., 2017).

Türkiye'deki en yaygın iklim tipi olan kışları ılıman nemli orta enlem (C) iklim tipine ait 4 alt tip ülkemizde görülür (Csa, Csb, Cfa, Cfb). En geniş alan kaplayan iklim tipi, tipik Akdeniz

iklimine karşılık gelen, kışları ılık, yazları çok sıcak iklim tipidir (Csa). Bu iklim tipi Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege, Marmara bölgelerinde ve Orta Karadeniz Bölümü'nün iç kesimlerinde görülür. Yazları ılık iklim tipi (Csb) Güney Marmara Bölümü'nün doğu kesimi ile İç Batı Anadolu'nun kuzey kesiminde, Trakya'da Yıldız Dağları üzerinde ve Orta Karadeniz'in en iç kesiminde görülür. Csa ve Csb kış mevsiminde gezici orta enlem depresyonlarına bağlı olarak ülkemize batıdan sokulan serin ve yağışlı hava kütlelerin etkisi altındadır (ÖZTÜRK ve ark., 2017).



Şekil 3.2: Köppen İklim Sınıflandırmasına göre Türkiye'nin İklim Özellikleri

C iklim tipi içerisinde geniş yapraklı orman örtüsünden iğne yapraklı orman örtüsüne kadar çok farklı bitki örtüsü yayılış gösterir. Orman örtüsünün özellikleri C ikliminin alt iklim tipleri ile uyum gösterir. Tipik Akdeniz iklimine karşılık ve Türkiye'de çok geniş alan kaplayan Csa iklim tipinde bitki örtüsü Marmara Denizi'nin güney kıyılarında geniş yapraklı orman, diğer kıyı kesimlerde ve deniz etkisinin sokulabildiği iç kesimlerde genel olarak kızılçam, Marmara Bölgesi'nin güney kesimi ve Ergene bölümü ile Ege Bölgesinin kuzey kesiminde meşe ve karaçam ile karakterize edilen kuru orman, Akdeniz'in yüksek kesimlerinde ise sedir, karaçam ve göknardan oluşan Akdeniz dağ ormanı, güneydoğuda ise ardıç ve meşeden oluşan kuru orman örtüsü ile karakterize edilir. Bu durum Csa içerisinde bitki örtüsünün genel olarak orman karakterinde olduğu, kuzeyden güneye, kıyıdan iç kesimlere ve alçak kesimlerden yüksek kesimlere doğru gidildikçe orman örtüsünün değiştiğini gösterir (ÖZTÜRK ve ark., 2017).

3.1.2. Yapının ve Çatı Katmanlarının Özellikleri

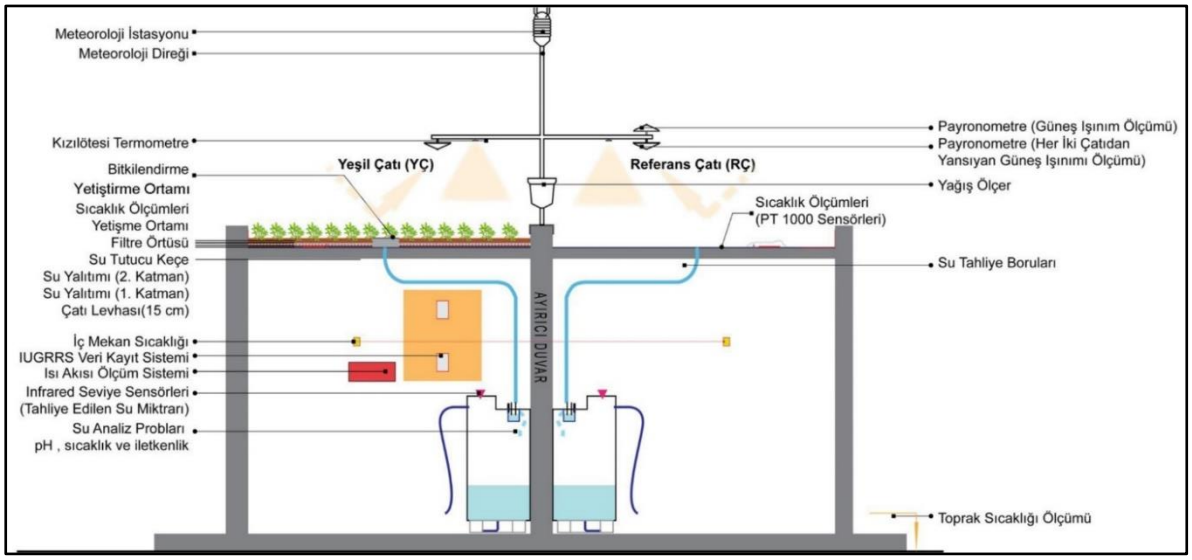
Araştırma ölçümleri, yeşil çatı (YC) ve kaynak çatı[1] (RC) sistemlerini bulunduran, 22 m^2'lik çatı yüzey alanına sahip deneme alanında gerçekleştirilmiştir. Alan %1 eğime sahip teras çatı sistemine uygun olarak düzenlenmiştir. Çatı yüzeyi 15 cm kalınlığında bir beton tabaka oluşturmaktadır. Yapı, içerisinde bulunan yalıtımlı bir kapı ile iki bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler çatı sistemleriyle aynı hizada olacak şekilde planlanmıştır. Doğu ve batı olarak iki bölüme ayrılan çatı yüzeyinde 11 m^2 büyüklüğe sahip iki alan oluşturulmuştur. Yeşil çatı ile kaplı olan bölüme yeşil çatı sistemi kurulmuştur. Bu sistem ağırlıklı olarak Sedum bitkileriyle kaplı, 50-60 mm derinliğe sahip, dünyada yaygın olarak kullanılan basit bir yeşil çatı sistemidir. Boş çatı yüzeyi ise yeşil arduaz minerali kaplı su yalıtım örtüsü ile kapatılarak kaynak çatı (RÇ) olarak tanımlanmıştır. Çatı yüzeyleri oluşturulurken, her iki çatı sistemine de iki kat su yalıtımı uygulanmıştır.

5 katmandan oluşan yeşil çatı sisteminin, sistem kalınlığı 90-95 mm aralığındadır. Sistem sırasıyla; su yalıtım katmanı, su tutucu keçe, drenaj katmanı, filtre örtüsü ve 50-55 mm yüksekliğindeki bitki yetiştirme ortamından oluşmaktadır. Sistemde, yetiştirme ortamına gelen fazla su, drenaj levhasından geçerek tutulmakta ve su tutucu keçeye aktarılmaktadır. Bu ortamların suya doyması sonucunda kalan su drenaj tabakası ile tahliye edilmektedir.

Çatı katmanları arasında çeşitli ölçüm aygıtları bulunmaktadır. Çatı yüzeyine sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmek amacıyla 2 adet kızılötesi sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir. Meteoroloji istasyonu içeren paslanmaz çelik meteoroloji direği çatı yüzeyinin 100 cm üzerine yerleştirilmiştir. Çatı yüzeyine gelen ve yansıyan güneş ışınımı miktarının belirlenmesi amacıyla 3 adet piranometre çatı yüzeyinin 100 cm üzerine yerleştirilmiştir. Devrilen kovalı yağışölçer ise çatı yüzeyinde dış etmenlere açık bir şekilde konumlandırılmıştır.

Yapı içerisinde ise iç mekan sıcaklık-nem ölçüm aygıtı, su toplama hazneleri ve veri toplama ve kayıt panoları yerleştirilmiştir. Su toplama haznelerindeki suyun kalitesinin ölçebilmek için gerekli düzenlemeler yapılmış ve su giderleri oluşturulmuştur. Genel sistem detayı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

[1] *Kaynak çatı* tez çalışmasında yeşil çatı sistemi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilen, iki kat bitümlü su yalıtımı ile kaplı yapısal çatı yüzeyini ifade etmektedir.



Şekil 3.3: Yeşil çatı genel sistem detayı (Ekşi, 2012)

3.1.3. Yeşil Çatı Sisteminin Özellikleri

Yeşil çatı sisteminde kullanılan bitki yetiştirme ortamını; kiremit kırığı, tuğla, pomza ve organik maddeden oluşan 50 - 55 mm derinliğinde ticari bir karışımdan oluşturmaktadır (Zincolit, Onduline Avrasya AŞ., İstanbul). Kuraklığa ve sığ yetiştirme ortamına dayanıklı olması nedeniyle yeşil çatılarda sıkça tercih edilen *Sedum* türleri, bu çalışmada bitkisel materyal olarak seçilmiştir. *Sedum reflexum, Sedum spurium* "Album" ve *Sedum spurium* "Atropurpureum" türleri yeşil çatı sisteminin bitkilendirilmesinde kullanılmıştır (Şekil 3.4). *Sedum lydium* ve *S. album* da alanda az sayıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra çatı yüzeyinde bazı doğal bitki türlerinin de varlığı gözlemlenmektedir (*Trifolium repens*, *Lathyrus* sp., *Medicago* sp.).



Şekil 3.4: Yeşil çatı sisteminde kullanılan bitki türleri

3.2. YÖNTEM

Çalışmanın ilk aşamasında, kentsel ısı adası tanımı ve nedenleri, yeşil çatı sistemlerinin çevreye ve kentsel ısı adasına etkisi, bu sistemlerin oluşum ve gelişim süreçleri, malzemeleri ve sınıflandırmaları hakkındaki genel bilgiler literatür taraması yapılarak elde edilmiştir.

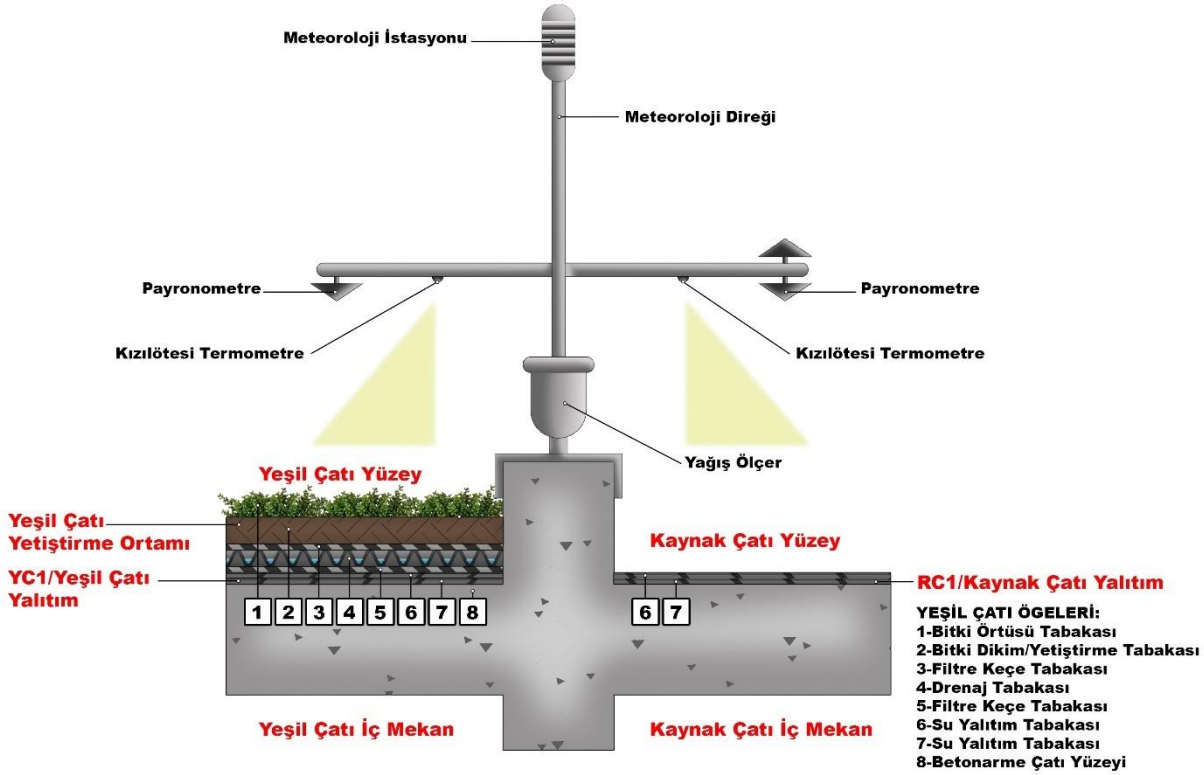
İkinci aşamada Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu'nda ölçülen sıcaklık ve yağış verileri incelenmiştir. Bu veri setinde çatı katmanlarının sıcaklık değerleri termoçiftler (termokupl) yardımıyla, iç mekan sıcaklık ölçümleri ise dijital termometre ve nemölçerler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler saatlik olarak yapılmıştır. 2014-2020 yılları arasındaki 6 yıllık periyotta, 51840 saatlik veri toplanmıştır. Yağış verileri ise devrilen kovalı yağışölçer yardımıyla ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan sıcaklık ve yağış ölçümü veri seti, 2014-2020 yılları arasında İÜCYAP Veri Kayıt Sistemi'ne otomatik olarak kayıt edilen verilerden oluşmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: İÜCYAP veri kayıt sisteminden elde edilen veri tipleri ve ölçüm aleti özellikleri

	Kısaltma	Açıklama	Tipi	Birimi	Ölçüm Cihazı	Üretici	Hassasiyet
1	YC1	Bitkilendirilmiş Çatının Altında Bulunan Çatı Levhasının Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Termokupl Comet PT1000/Temaslı Sıcaklık Ölçümü	Comet/Çek Cumhuriyeti	
2	YC YET	Yeşil Çatının Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Termokupl Comet PT1000l/Temaslı Sıcaklık Ölçümü	Comet/Çek Cumhuriyeti	
3	RC 1	Kaynak Çatının Altında Bulunan Çatı Levhasının Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Termokupl Comet PT1000/Temaslı Sıcaklık Ölçümü	Comet/Çek Cumhuriyeti	
4	HSC	Çatının Bulunduğu Konumdaki Hava Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	3 Eksenli Ultrasonik Meteoroloji İstasyonu/Delta ohm hd2003	Delta ohm/İtalya	±1°C
5	RC YZY	Kaynak Çatının Yüzey Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Kızılötesi Termometre	Optris/Almanya	±0,2°C
6	YC YZY	Yeşil Çatının Yüzey Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Kızılötesi Termometre	Optris/Almanya	±0,2°C
7	RC ODA	Kaynak Çatının Altında Bulunan Odanın Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Dijital Termometre	Comet/Çeky a	±0,4°C
8	YC ODA	Yeşil Çatının Altında Bulunan Odanın Sıcaklığı	Sıcaklık	°C	Dijital Termometre	Comet/Çeky a	±0,4°C
9	YAĞIŞ	Yağış Miktarı	Yağış	mm	Devrilen kovalı yağış ölçer/Delta ohm hd2013	Delta ohm/İtalya	±2%

Bu veriler, günlük ve aylık değerlerin en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerini içerecek şekilde gruplandırılarak Excel ve Origin Pro yazılımları yardımıyla analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında, Origin Pro yazılımı (Origin Software, ABD) yardımıyla günlük döngü grafikleri de oluşturulmuştur. Bu grafikler sıcaklık verilerinin dağılımının ve yeşil çatılara etkilerinin değerlendirilebilmesi amacıyla çalışmaya eklenmiştir.



Şekil 3.5: Yeşil çatı ve Kaynak çatı genel sistem detayları

Yapılan çalışmada her bir katman için ayrı sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Her saat başında her bir katmandan kaydedilen veriler, günlük olarak 24 adet veriyi içerin bir veri seti şeklinde toplandıktan sonra, bu değerlerden ortalama ve toplam veriler elde edilmektedir (a+b+c+…/24). Günlük ortalamalar hesaplandıktan sonra aylık bazda hesaplamalar yapılmıştır (1.gün+2.gün+3.gün+.../30). Bu değerler hesaplanırken gün içinde oluşan en düşük ve en yüksek değerler saptanmış ve değerlendirilmiştir. 2014-2020 yıllarında elde edilen veri setinde ölçüm alınamayan bazı günler de olmuş ve bu günler tablo halinde gösterilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: İÜCYAP veri ölçüm sisteminde ölçüm kaydı alınamayan günlerin detayları

Yıl	Tarih		Ölçülemeyen Gün Sayısı	Ölçülemeyen Toplam Gün Sayıları	Nedeni	Etkilenen Veri Seti
2014	8.12.2014	9.12.2014	2 gün	2 Gün	Isıtıcı/Klima Açık	İç mekan Sıcaklık Verileri
2015	7.01.2015	8.01.2015	2 gün	6 Gün		
	23.03.2015	24.03.2015	2 gün			
	2.11.2015	3.11.2015	2 gün			
2016	10.02.2016	17.02.2016	8 gün	49 Gün		
	17.10.2016	20.10.2016	4 gün			
	25.10.2016	3.11.2016	8 gün			
	24.11.2016	9.12.2016	15 gün			
	14.12.2016	28.12.2016	14 gün			
2017	3.01.2017	15.01.2017	12 gün	129 Gün		
	19.01.2017	6.03.2017	45 gün			
	13.03.2017	7.04.2017	24 gün			
	31.10.2017	2.11.2017	3 gün			
	10.11.2017	14.11.2017	5 gün			
	21.11.2017	31.12.2017	40 gün			
2018	1.01.2018	16.03.2018	76 gün	194 Gün		
	22.03.2018	5.04.2018	13 gün			
	30.06.2018	19.07.2018	20 gün			
	28.08.2018	5.09.2018	8 gün			
	27.09.2018	29.09.2018	3 gün			
	16.10.2018	31.12.2018	74 gün			

Tablo 3.3 (Devam): İÜYÇAP veri ölçüm sisteminde ölçüm kaydı alınamayan günlerin detayları

Yıl	Tarih		Ölçülemeyen Gün Sayısı	Ölçülemeyen Toplam Gün Sayıları	Nedeni	Etkilenen Veri Seti
2019	1.01.2019	9.03.2019	69 gün	81 Gün	Isıtıcı/Klima Açık	İç mekan Sıcaklık Verileri
	27.03.2019	28.03.2019	2 gün			
	4.04.2019	10.04.2019	7 gün			
	3.12.2019		1 gün			
	25.12.2019	26.12.2019	2 gün			
2020	2.01.2020	3.01.2020	2 gün	79 Gün		
	9.01.2020		1 gün			
	14.01.2020	16.01.2020	3 gün			
	7.02.2020	15.02.2020	9 gün			
	20.02.2020		1 gün			
	24.02.2020		1 gün			
	1.06.2020	21.07.2020	51 gün		Cihaz Arızası	Tüm Veri Seti
	10.11.2020	11.11.2020	2 gün		Isıtıcı/Klima Açık	İç mekan Sıcaklık Verileri
	23.11.2020		1 gün			
	27.11.2020		1 gün			
	1.12.2020		1 gün			
	8.12.2020		1 gün			
	14.12.2020	16.12.2020	3 gün			
	24.12.2020		1 gün			
	29.12.2020		1 gün			

2014-2020 yılları arasında ölçüm alınamayan toplam gün sayısı 540 adet olarak görülmektedir. Bu 540 gün içinde, genel veri setiyle ilgili olarak sadece 51 gün içerisinde eksiklik bulunmaktadır. Geri kalan 489 gün iç mekan sıcaklık verileriyle ilgili eksiklikleri kapsamaktadır. İç mekan sıcaklık verileri bakımından en sağlıklı veri setinin 2015 yıla ait olduğu görülmüştür. Bu yıla ait veri setinde sadece 6 günlük veri kaybı gerçekleşmiştir.

Yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Sarıyer ilçesine ait (1950-2015) uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerlerden elde edilmiş ve Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu'ndan elde edilen toplam yağış verileri ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Hava Koşulları

2014-2020 yılları arasındaki uzun dönem Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri ile araştırma alanında mikro ölçekte ölçülmüş sıcaklık verileri Tablo 4.1'de verilmiştir. Hava sıcaklığı değerleri incelendiğinde çalışma alanında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin, en yüksek Temmuz 2020 (25,25°C), en düşük Ocak 2017 (2,80°C) olduğu görülmüştür. MGM ortalama sıcaklık verileri ile karşılaştırıldığında en yüksek sıcaklık farkları, Eylül 2015 (6,44°C), Kasım 2019 (6,90°C), Eylül 2020 (6,46°C) ve Ekim 2020 (6,52°C) olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışma alanında en yüksek sıcaklık Ekim 2020 (35,89°C) ve en düşük sıcaklık Ocak 2016 (-7,95°C) olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.1:2014-2020 yılları arasındaki hava sıcaklıklarının ortalama, en yüksek, en düşük ve uzun dönem MGM veri değerleri ile karşılaştırılması

Yıl	Ay	Hava Sıcaklığı Ortalama (°C)	Hava Sıcaklığı En Yüksek (°C)	Hava Sıcaklığı En Düşük (°C)	MGM HSC (°C)
2014	12	8,74	18,04	-0,41	5,7
2015	1	5,98	20,48	-6,68	5,7
2015	2	6,36	20,72	-2,10	7
2015	3	7,68	22,09	-0,80	11,1
2015	4	10,91	26,39	1,17	15,7
2015	5	17,43	28,21	9,83	20,4
2015	6	20,07	30,69	12,32	22,9
2015	7	23,39	33,72	15,78	23,1
2015	8	24,52	32,37	17,08	19,8
2015	9	22,04	35,50	14,50	15,6
2015	10	15,67	25,71	8,74	11,5
2015	11	13,03	22,07	4,54	8
2015	12	6,82	15,46	-1,90	5,7
2016	1	5,31	18,46	-7,95	5,7
2016	2	10,07	23,06	-1,77	7
2016	3	9,94	23,23	-0,15	11,1
2016	4	15,12	28,94	4,25	15,7
2016	5	16,99	29,14	7,67	20,4
2016	6	22,10	33,44	11,09	22,9
2016	7	23,62	29,97	15,89	23,1
2016	8	24,30	30,29	15,80	19,8
2016	9	20,21	32,93	10,82	15,6
2016	10	15,22	28,67	4,26	11,5
2016	11	11,05	24,53	1,13	8
2016	12	4,26	13,54	-2,74	5,7

Tablo 4.1 (Devam) :2014-2020 yılları arasındaki hava sıcaklıklarının ortalama, en yüksek, en düşük ve uzun dönem MGM veri değerleri ile karşılaştırılması

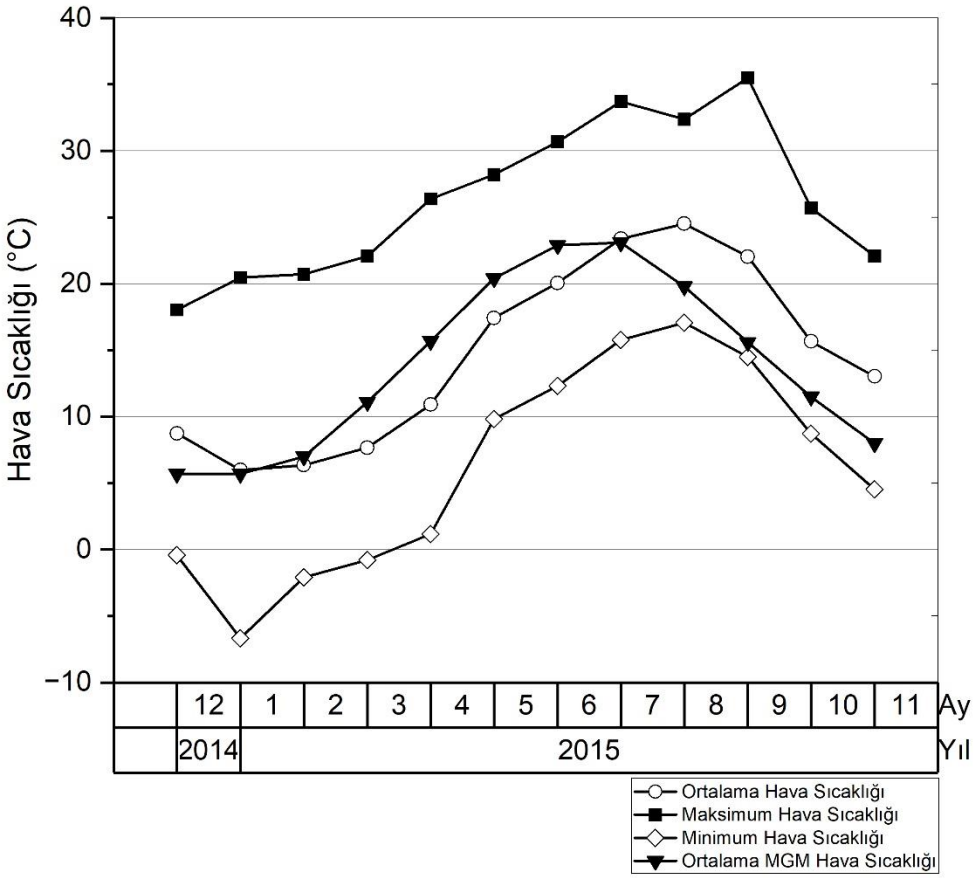
Yıl	Ay	Hava Sıcaklığı Ortalama (°C)	Hava Sıcaklığı En Yüksek (°C)	Hava Sıcaklığı En Düşük (°C)	MGM HSC (°C)
2017	1	2,80	11,80	-5,04	5,7
2017	2	6,52	17,39	-3,87	7
2017	3	8,38	20,33	0,20	11,1
2017	4	10,99	29,12	2,05	15,7
2017	5	15,92	30,58	8,75	20,4
2017	6	21,36	35,00	14,65	22,9
2017	7	23,25	35,28	14,51	23,1
2017	8	24,38	27,96	21,62	19,8
2017	9	20,84	35,77	12,14	15,6
2017	10	14,05	25,82	2,04	11,5
2017	11	11,22	20,51	1,39	8
2017	12	9,63	20,51	0,55	5,7
2018	1	6,47	14,80	-1,57	5,7
2018	2	7,15	17,79	-2,04	7
2018	3	10,10	22,75	-3,61	11,1
2018	4	13,39	29,30	4,29	15,7
2018	5	17,89	29,67	7,85	20,4
2018	6	21,94	30,92	12,85	22,9
2018	7	23,90	31,73	16,68	23,1
2018	8	24,95	29,91	17,53	19,8
2018	9	20,53	28,50	12,14	15,6
2018	10	16,40	26,96	3,19	11,5
2018	11	12,26	19,63	3,87	8
2018	12	6,45	16,35	-1,68	5,7
2019	1	6,18	17,65	-3,59	5,7
2019	2	6,09	19,67	-0,50	7
2019	3	9,00	22,93	-1,41	11,1
2019	4	11,39	26,03	2,24	15,7
2019	5	18,08	30,56	9,07	20,4
2019	6	23,04	31,97	14,55	22,9
2019	7	22,58	30,47	14,41	23,1
2019	8	23,63	32,57	15,79	19,8
2019	9	20,52	30,91	9,29	15,6
2019	10	16,93	29,95	10,45	11,5
2019	11	14,90	25,21	6,23	8
2019	12	9,01	19,41	1,05	5,7

Tablo 4.1 (Devam) :2014-2020 yılları arasındaki hava sıcaklıklarının ortalama, en yüksek, en düşük ve uzun dönem MGM veri değerleri ile karşılaştırılması

Yıl	Ay	Hava Sıcaklığı Ortalama (°C)	Hava Sıcaklığı En Yüksek (°C)	Hava Sıcaklığı En Düşük (°C)	MGM HSC (°C)
2020	1	6,13	14,32	-1,76	5,7
2020	2	7,65	19,37	-2,73	7
2020	3				11,1
2020	4	18,77	24,10	11,76	15,7
2020	5	16,59	31,49	6,38	20,4
2020	6	23,10	27,07	14,66	22,9
2020	7	25,49	30,45	17,37	23,1
2020	8	23,59	29,71	16,43	19,8
2020	9	22,06	30,67	14,33	15,6
2020	10	18,03	35,89	8,43	11,5
2020	11	11,47	17,58	3,70	8

4.1.1. 2014-2015 Hava Sıcaklığı Koşulları

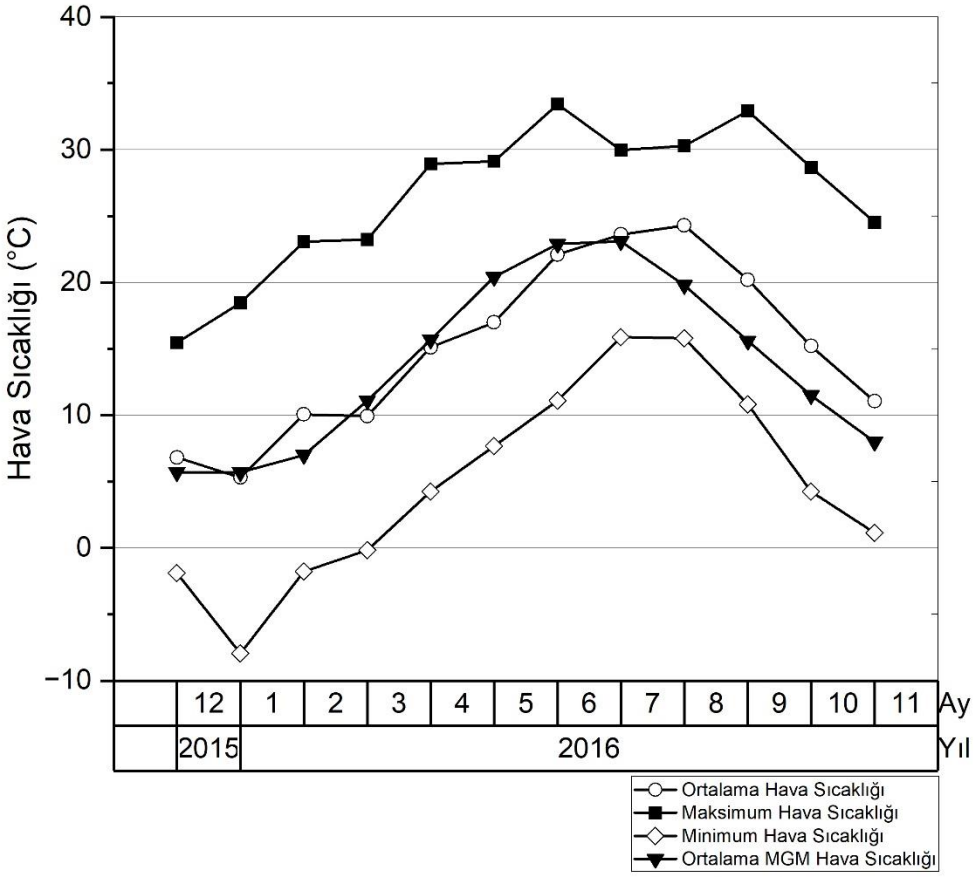
Yapılan çalışmada 2014-2015 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek ortalama Hava sıcaklığı, en düşük ortalama Hava sıcaklığı ve MGM Uzun Dönemli Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek ortalama sıcaklığın Eylül (35,50°C) ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise Ocak (-6,67°C) ayında olduğu görülmüştür (Şekil 4.1). 2014-2015 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM Hava Sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının Eylül (6,44°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.1: 2015 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.2. 2015-2016 Hava Sıcaklığı Koşulları

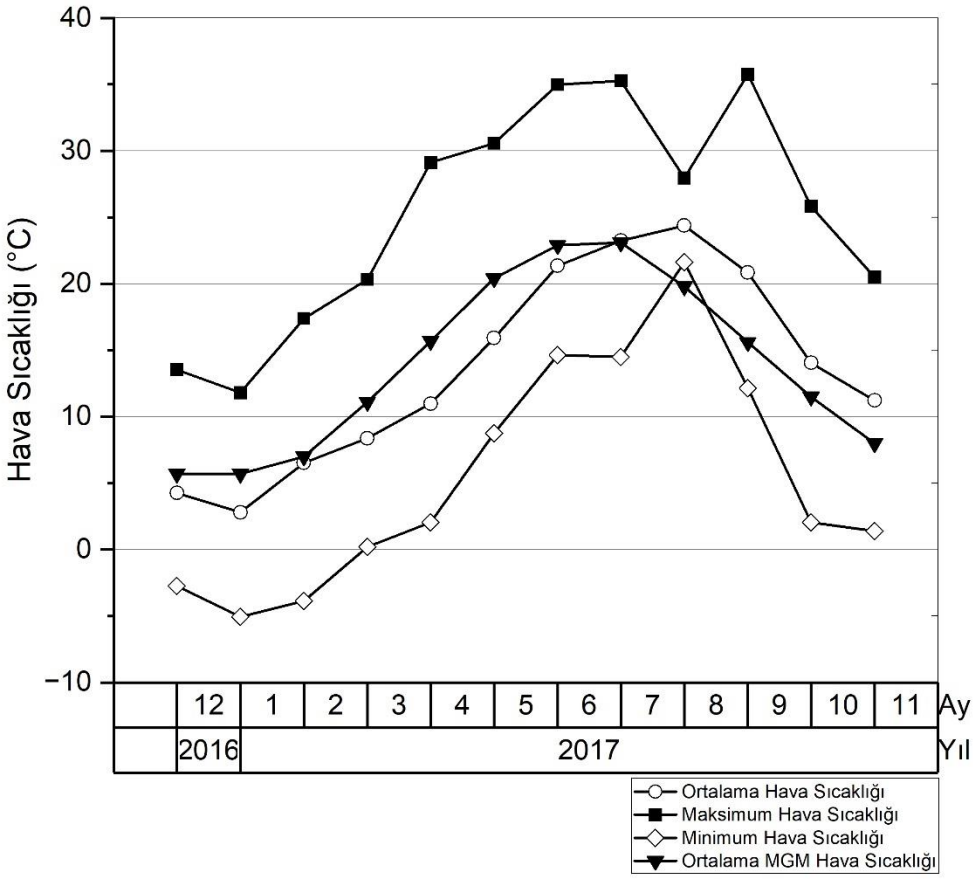
Yapılan çalışmada 2015-2016 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek Hava sıcaklığı, en düşük Hava sıcaklığı ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek sıcaklığın Haziran (33,43°C) ayında, en düşük sıcaklığın ise Ocak (-7,95°C) ayında olduğu görülmüştür (Şekil 4.2). 2015-2016 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM HSC arasındaki sıcaklık farkının Eylül (4,60°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.2: 2016 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.3. 2016-2017 Hava Sıcaklığı Koşulları

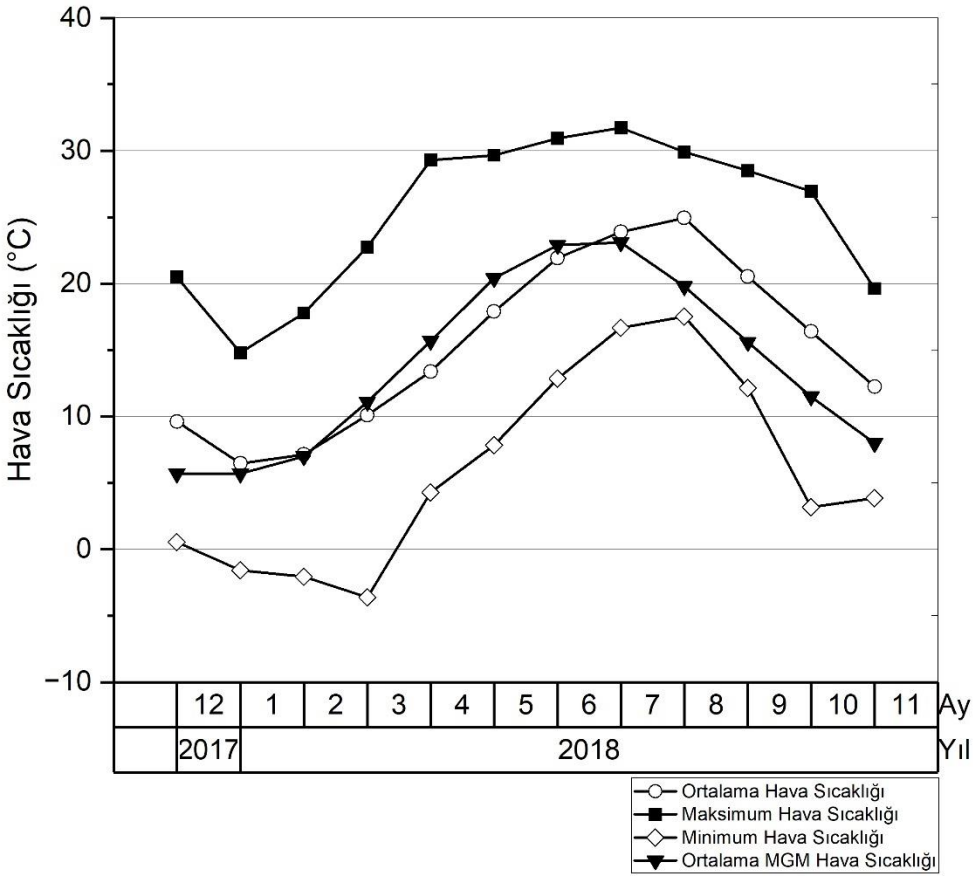
Yapılan çalışmada 2016-2017 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek Hava sıcaklığı, en düşük Hava sıcaklığı ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek sıcaklığın Eylül (35,77°C) ayında, en düşük sıcaklığın ise Ocak (-5,04°C) ayında olduğu görülmüştür (Şekil 4.3). En yüksek Hava Sıcaklığı ve en düşük Hava sıcaklığı değerlerinin Ağustos (6,34°C) ayında birbirlerine en yakın olduğu görünmektedir. 2016-2017 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM HSC arasındaki sıcaklık farkının Eylül (5,24°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.3: 2017 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.4. 2017-2018 Hava Sıcaklığı Koşulları

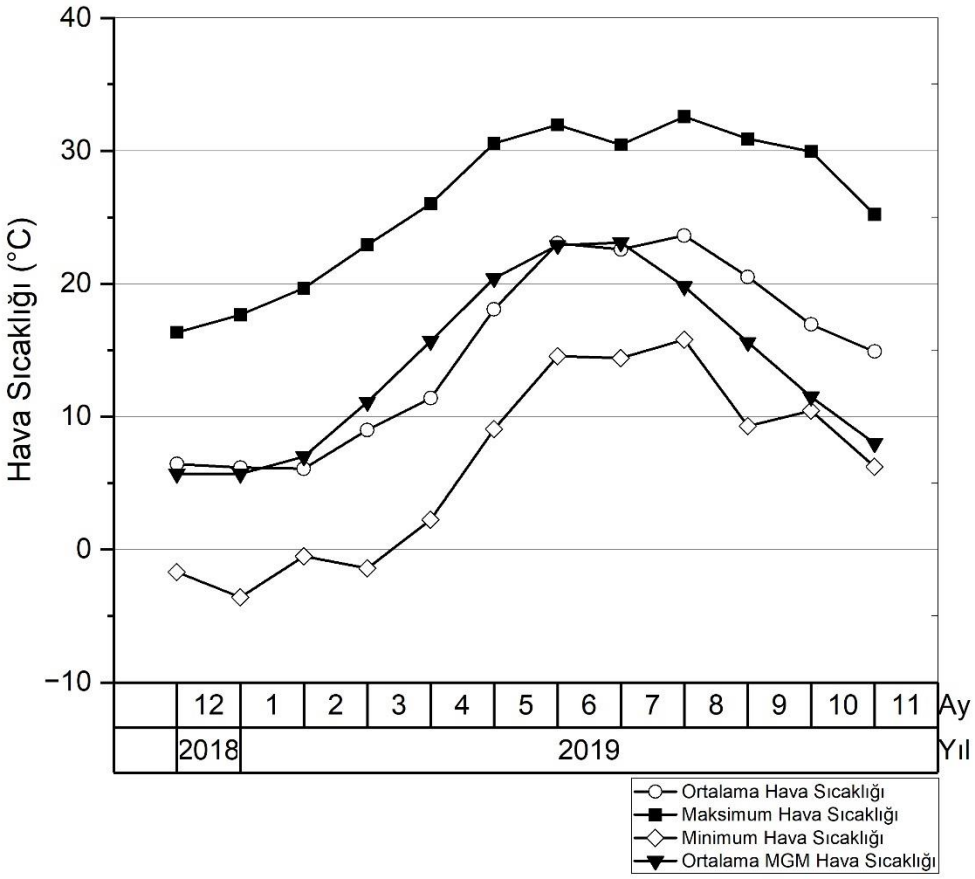
Yapılan çalışmada 2017-2018 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek ortalama Hava sıcaklığı, en düşük ortalama Hava sıcaklığı ve MGM Uzun Dönemli Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek ortalama sıcaklığın Temmuz (31,72°C) ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise Mart (-3,60°C) ayında olduğu görülmüştür (Şekil 4.4). 2017-2018 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM Hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının Ağustos (5,15°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.4: 2018 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.5. 2018-2019 Hava Sıcaklığı Koşulları

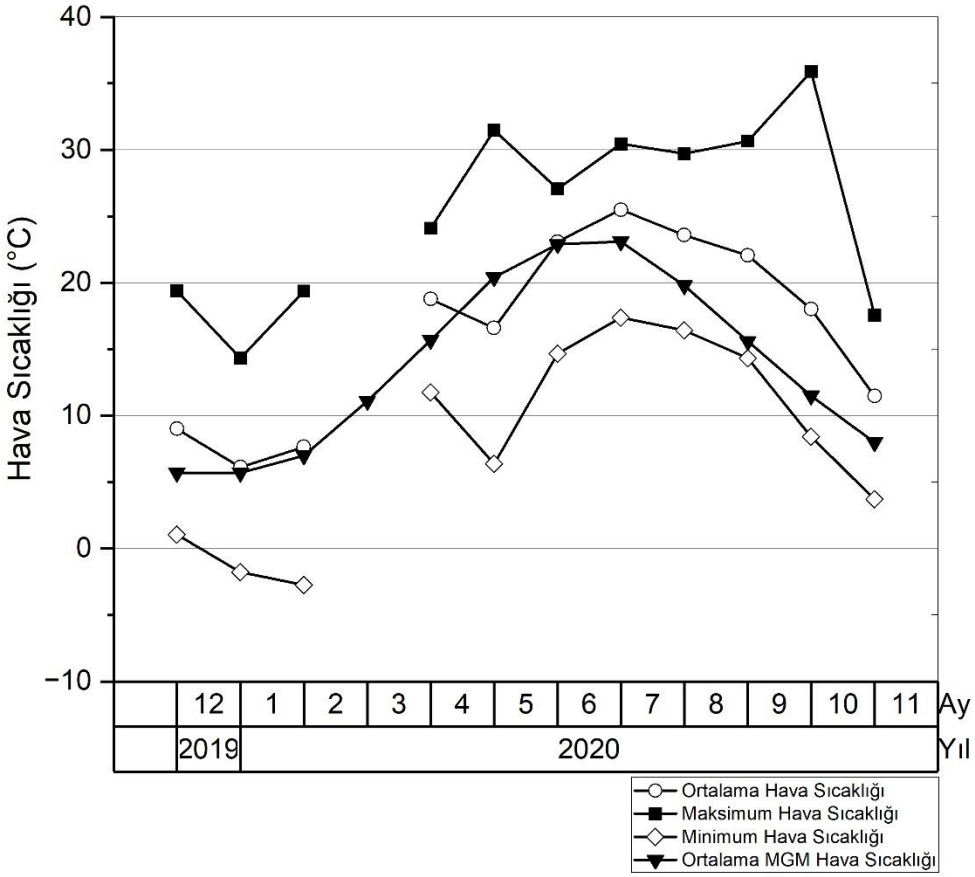
Yapılan çalışmada 2018-2019 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek ortalama Hava sıcaklığı, en düşük ortalama Hava sıcaklığı ve MGM Uzun Dönemli Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek ortalama sıcaklığın Ağustos (32,56°C) ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise Ocak (-3,59°C) ayında olduğu görülmüştür (Şekil 4.5). 2018-2019 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM Hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının Kasım (6,89°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.5: 2019 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.6. 2019-2020 Hava Sıcaklığı Koşulları

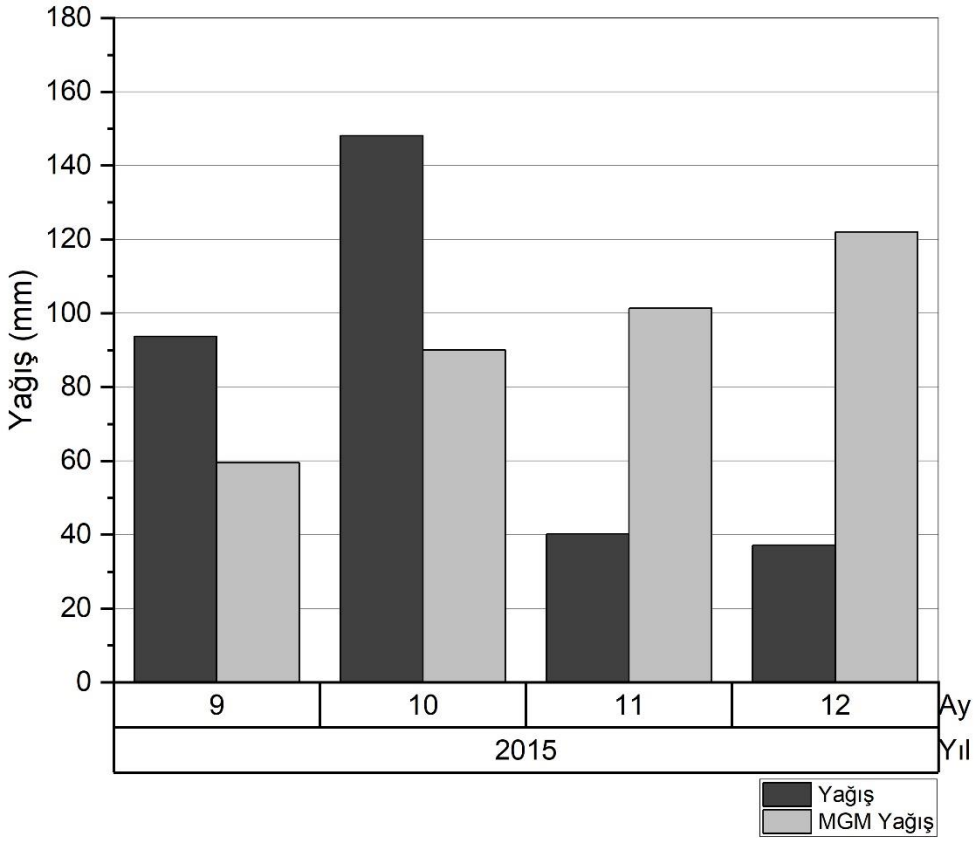
Yapılan çalışmada 2019-2020 yılına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek ortalama Hava sıcaklığı, en düşük ortalama Hava sıcaklığı ve MGM Uzun Dönemli Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 4 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde en yüksek ortalama sıcaklığın Ekim (35,89°C) ayında, en düşük ortalama sıcaklığın ise Şubat (-2,72°C) ayında olduğu görülmüştür. Bu veri setinde Mart 2020 ayına ait Ortalama Hava Sıcaklığı, en yüksek ortalama Hava Sıcaklığı, en düşük ortalama Hava Sıcaklığı verileri elde edilememiştir (Şekil 4.6). 2019-2020 yılına ait Ortalama Hava sıcaklığı ve Uzun Dönem Ortalama MGM Hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının Ekim (6,52°C) ayında en yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.6: 2020 yılı aylık hava sıcaklığı değerleri

4.1.7. 2015 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2015 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde toplam yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 2 ay görünmüştür. Bu aylar; Eylül (93,7 mm) ve Ekim (148,1 mm) aylarıdır. Bu aylar arasındaki ortalama yağış farkları Eylül (34,2 mm) ve Ekim (58,1 mm) olarak saptanmıştır (Şekil 4.7). Toplam Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük toplam ortalama yağış miktarı farkı Aralık (84,8 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.2).



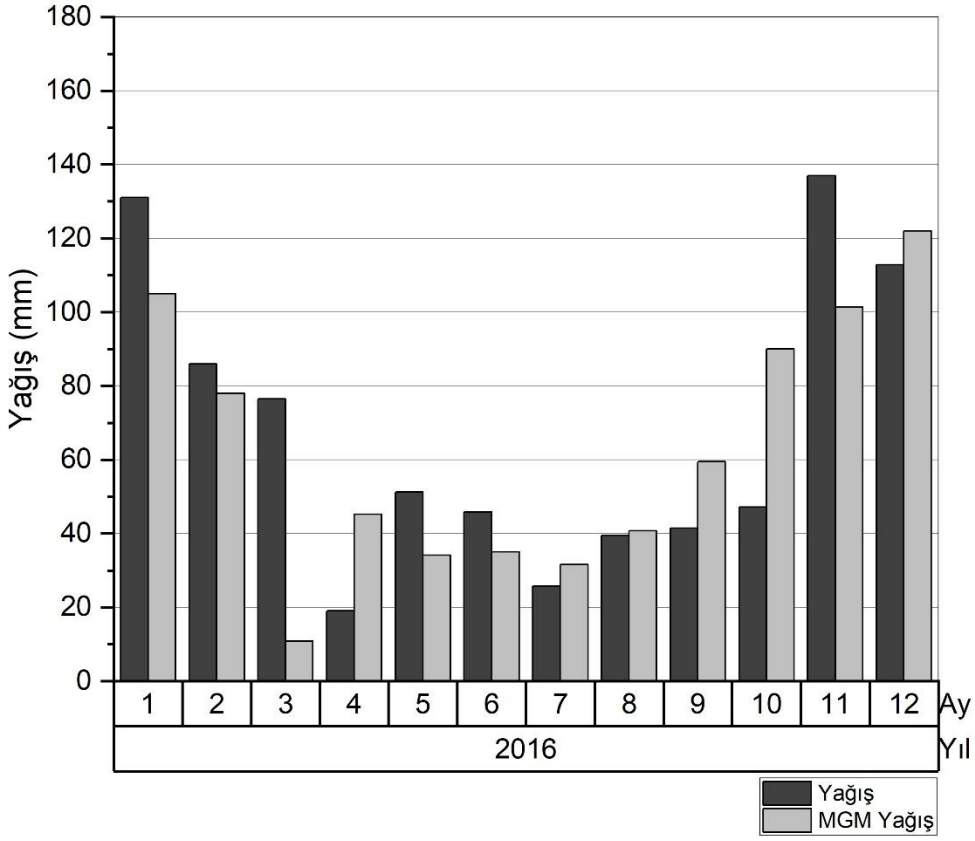
Şekil 4.7: 2015 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.2: 2015 yılı aylık toplam yağış değerleri

Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2015	9	93,7	59,5
2015	10	148,1	90
2015	11	40,2	101,3
2015	12	37,2	122

4.1.8. 2016 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2016 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde Toplam Yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 6 ay görünmüştür. Bu aylar; Ocak (131,1 mm), Şubat (86 mm), Mart (76,5 mm), Mayıs (51,2 mm), Haziran (45,8 mm), Kasım (137 mm)'dır. Bu aylar arasındaki ortalama yağış farkları Ocak (26,1 mm), Şubat (8 mm), Mart (65,7 mm), Mayıs (17,1 mm), Haziran (10,8 mm), Kasım (35,7 mm) olarak saptanmıştır (Şekil 4.8). Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük ortalama yağış miktarı farkı Mart (65,7 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.3).



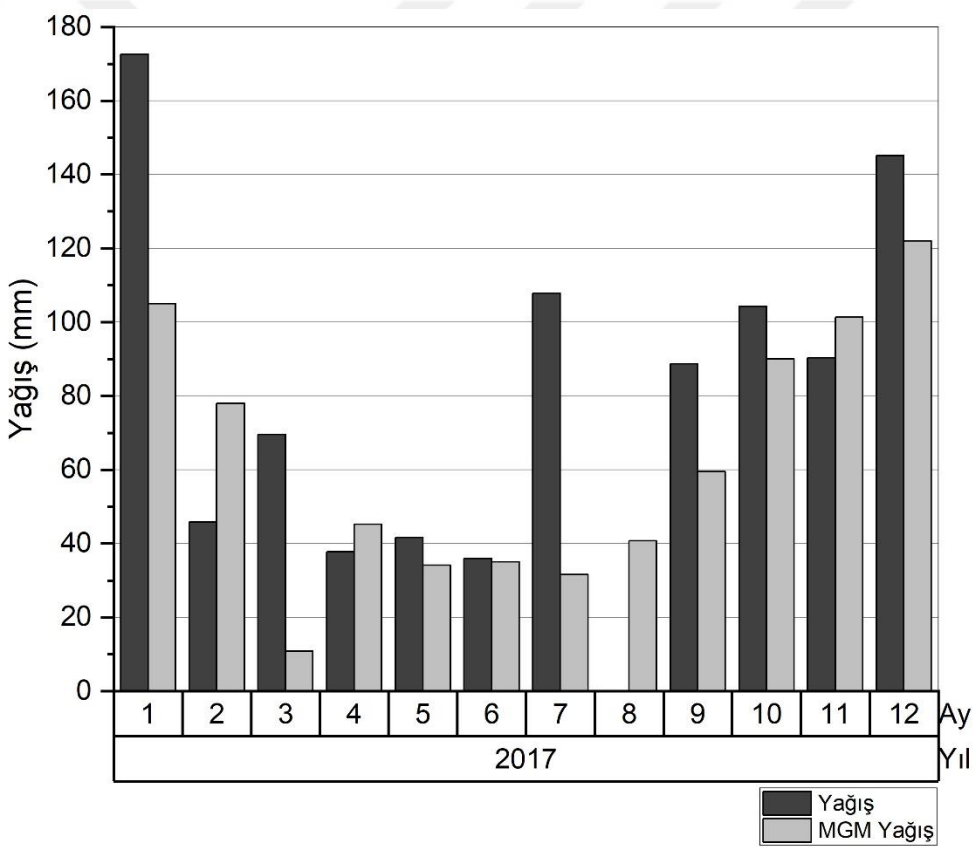
Şekil 4.8: 2016 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.3: 2016 yılı aylık toplam yağış değerleri

Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2016	1	131,1	105
2016	2	86	78
2016	3	76,5	10,8
2016	4	19,1	45,2
2016	5	51,2	34,1
2016	6	45,8	35
2016	7	25,8	31,6
2016	8	39,5	40,7
2016	9	41,5	59,5
2016	10	47,2	90
2016	11	137	101,3
2016	12	112,8	122

4.1.9. 2017 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2017 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde Toplam Yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 8 ay görünmüştür. Bu aylar; Ocak (172,6 mm), Mart (69,6 mm), Mayıs (41,7 mm), Haziran (36 mm), Temmuz (107,8 mm), Eylül (88,7 mm), Ekim (104,3 mm), Aralık (145,1 mm)'tır. Bu aylar arasındaki ortalama yağış farkları Ocak (67,6 mm), Mart (58,8 mm), Mayıs (7,6 mm), Haziran (1 mm), Temmuz (76,2 mm), Eylül (29,2 mm), Ekim (14,3 mm), Aralık (23,1 mm) olarak saptanmıştır (Şekil 4.9). Toplam Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük toplam ortalama yağış miktarı farkı Temmuz (76,2 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.4).



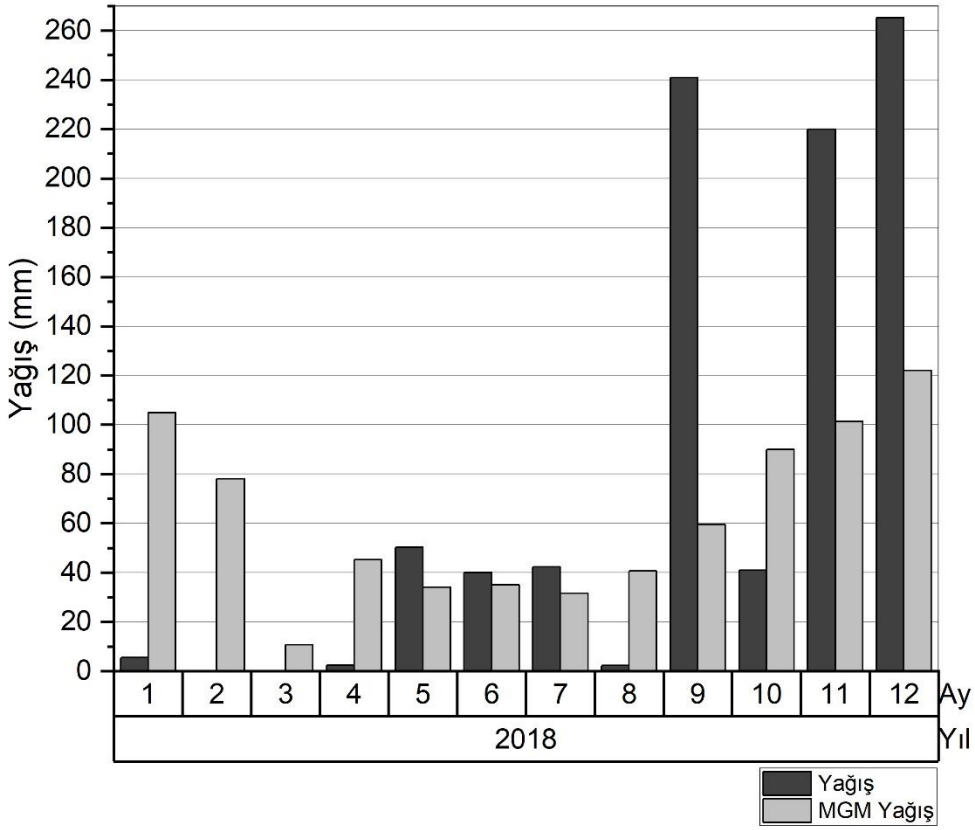
Şekil 4.9: 2017 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.4: 2017 yılı aylık toplam yağış değerleri

Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2017	1	172,6	105
2017	2	45,8	78
2017	3	69,6	10,8
2017	4	37,8	45,2
2017	5	41,7	34,1
2017	6	36	35
2017	7	107,8	31,6
2017	8	0	40,7
2017	9	88,7	59,5
2017	10	104,3	90
2017	11	90,3	101,3
2017	12	145,1	122

4.1.10. 2018 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2018 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde Toplam Yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 6 ay görünmüştür. Bu aylar; Mayıs (50,3 mm), Haziran (40,1 mm), Temmuz (42,3 mm), Eylül (240,9 mm), Kasım (219,9 mm), Aralık (265,2 mm)'tır. Bu aylar arasındaki ortalama yağış farkları Mayıs (16,2 mm), Haziran (5,1 mm), Temmuz (10,7 mm), Eylül (181,4 mm), Kasım (118,6 mm), Aralık (143,2 mm) olarak saptanmıştır. Bu veri setinde Şubat ve Mart aylarına ait Ortalama Yağış, Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış verileri elde edilememiştir (Şekil 4.10). Toplam Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük toplam ortalama yağış miktarı farkı Eylül (181,4 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.5).



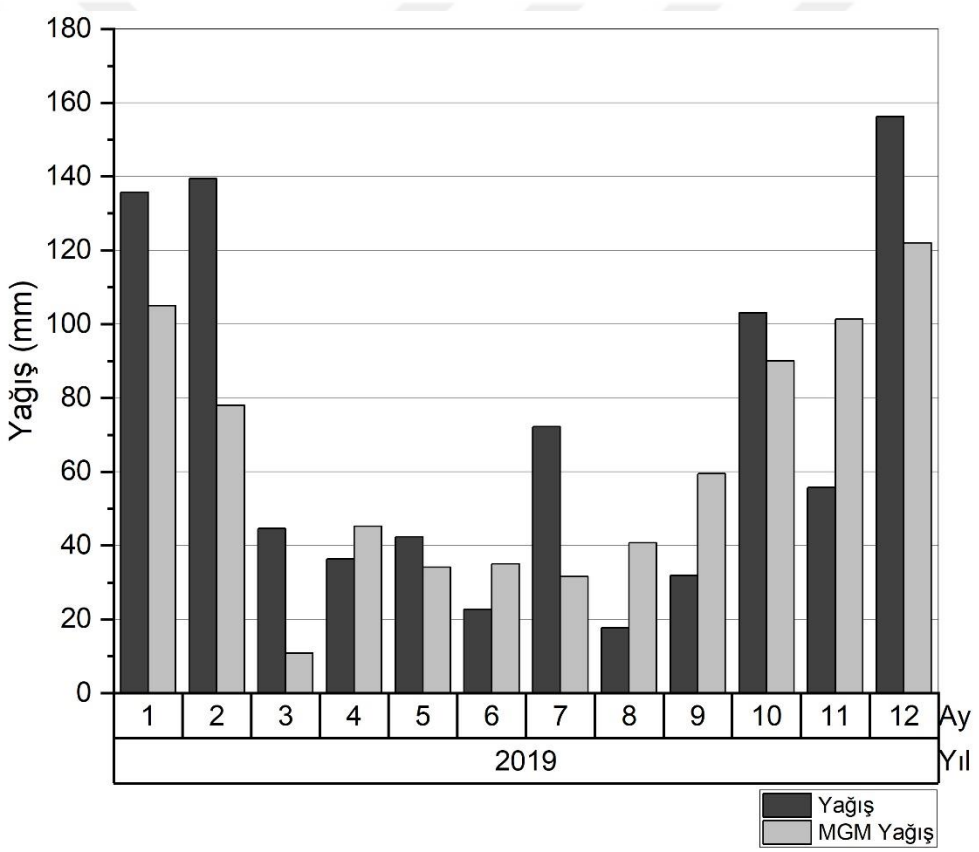
Şekil 4.10: 2018 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.5: 2018 yılı aylık toplam yağış değerleri

Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2018	1	5,5	105
2018	2		78
2018	3		10,8
2018	4	2,5	45,2
2018	5	50,3	34,1
2018	6	40,1	35
2018	7	42,3	31,6
2018	8	2,4	40,7
2018	9	240,9	59,5
2018	10	41	90
2018	11	219,9	101,3
2018	12	265,2	122

4.1.11. 2019 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2019 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde Toplam Yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 7 ay görünmüştür. Bu aylar; Ocak (135,7 mm), Şubat (139,4 mm), Mart (44,6 mm), Mayıs (42,4 mm), Temmuz (72,2 mm), Ekim (103,1 mm), Aralık (156,2 mm)'tır. Bu aylar arasındaki ortalama yağış farkları Ocak (30,7 mm), Şubat (61,4 mm), Mart (33,8 mm), Mayıs (8,3 mm), Temmuz (40,6 mm), Ekim (13,1 mm), Aralık (34,2 mm) olarak saptanmıştır (Şekil 4.11). Toplam Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük toplam ortalama yağış miktarı farkı Şubat (61,4 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.6).



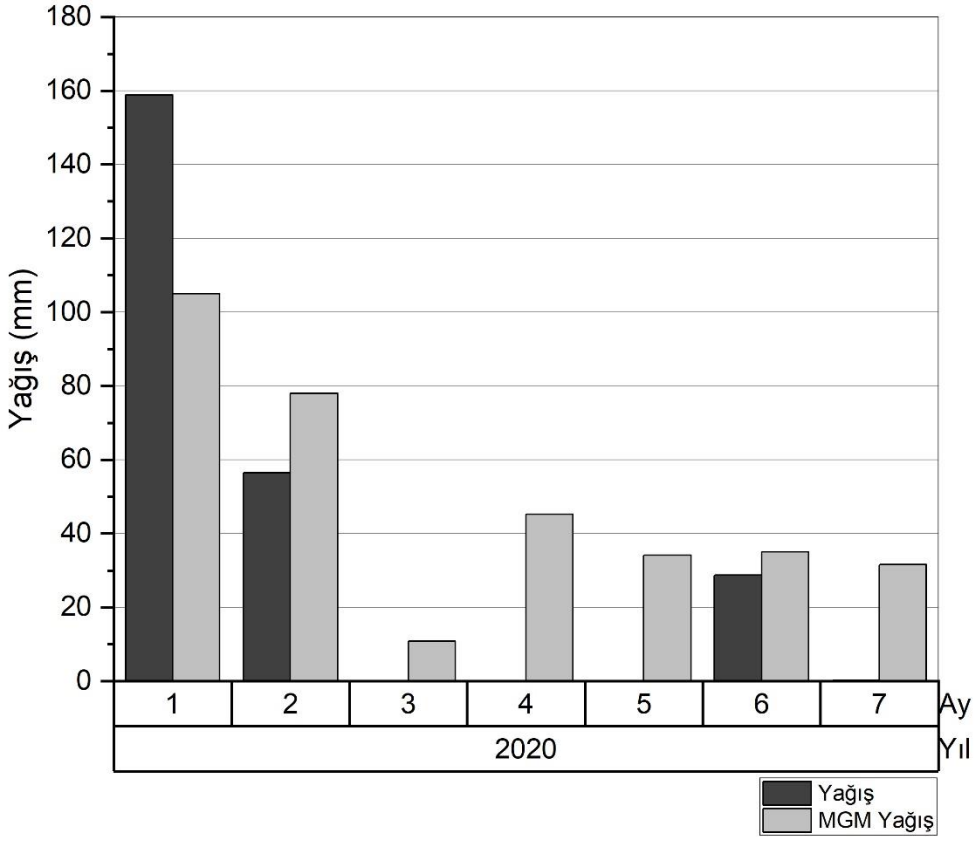
Şekil 4.11: 2019 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.6: 2019 yılı aylık toplam yağış değerleri

Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2019	1	135,7	105
2019	2	139,4	78
2019	3	44,6	10,8
2019	4	36,4	45,2
2019	5	42,4	34,1
2019	6	22,7	35
2019	7	72,2	31,6
2019	8	17,7	40,7
2019	9	31,9	59,5
2019	10	103,1	90
2019	11	55,7	101,3
2019	12	156,2	122

4.1.12. 2020 Yılı Yağış Değerleri

Yapılan çalışmada 2020 yılına ait Toplam Yağış ve MGM"den elde edilen Uzun Dönemli Toplam Ortalama Yağış verileri incelenmiştir. Elde edilen verilerde Toplam Yağış miktarının, MGM Uzun Dönemli Toplam Yağış miktarından daha yüksek olduğu 1 ay görünmüştür. Bu ay; Ocak (158,8 mm)'tır. Bu aydaki ortalama yağış farkları Ocak (53,8 mm) olarak saptanmıştır. Bu veri setinde Mart, Nisan, Mayıs aylarına ait Ortalama Yağış, Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış verileri elde edilememiştir (Şekil 4.12). Toplam Ortalama Yağış ve Ortalama MGM Uzun Dönemli Yağış arasındaki en büyük toplam ortalama yağış miktarı farkı Ocak (53,8 mm) ayında görünmektedir (Tablo 4.7).



Şekil 4.12: 2020 yılı aylık toplam yağış değerleri

Tablo 4.7: 2020 yılı aylık toplam yağış değerleri

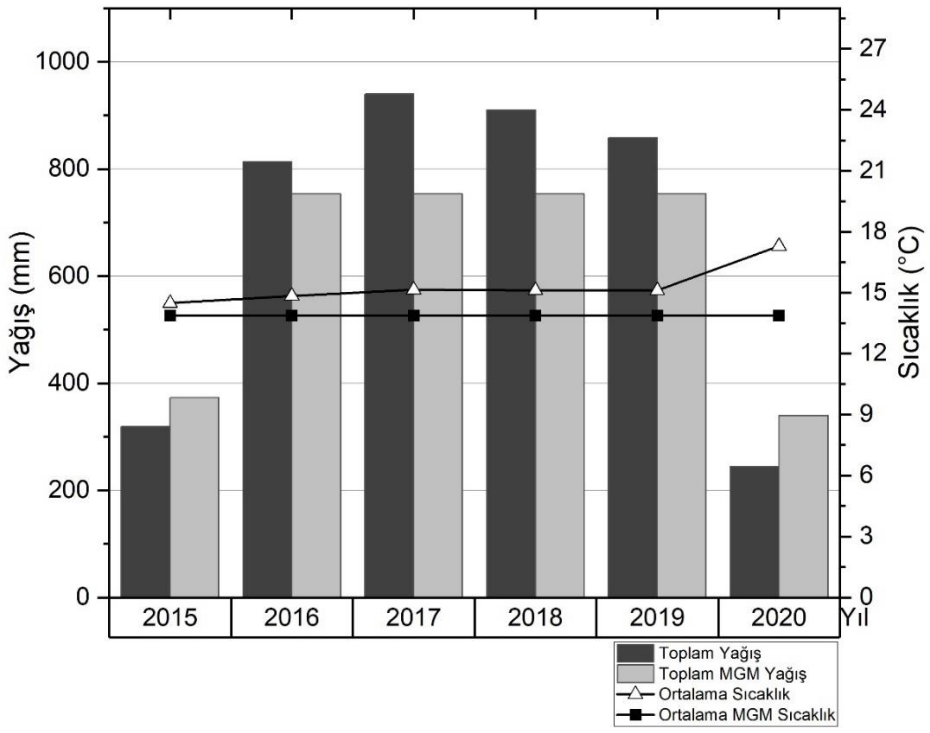
Yıl	Ay	Yağış (mm)	MGM Yağış (mm)
2020	1	158,8	105
2020	2	56,4	78
2020	3		10,8
2020	4		45,2
2020	5		34,1
2020	6	28,7	35
2020	7	0,2	31,6

4.1.13. 2015-2020 Yıllarına ait sıcaklık ve yağış değerleri

Yapılan çalışmada 2015-2020 yıllarını kapsayan Toplam Yağış ve Toplam MGM Uzun Dönemli Yağış verileri yıllık toplamlar halinde incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda Toplam yağışın, Toplam MGM Uzun Dönemli Yağıştan daha yüksek çıktığı 4 sene bulunmaktadır. Bunlar; 2016 (60,3 mm), 2017 (186,5 mm), 2018 (156,9 mm), 2019 (104,8 mm)'dur (Tablo 4.8). Alanda ölçülen sıcaklık verileri, uzun dönem MGM verilerinden yüksek değerlerde çıkmıştır. Ölçülen hava sıcaklığında 2015-2017 yılları arasında ciddi artış görülmektedir (Şekil 4.13).

Tablo 4.8: 2015-2020 yılları toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri

Yıl	Toplam Yağış (mm)	Toplam MGM Yağış (mm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama MGM Sıcaklık (°C)
2015	319,2	372,8	14,49	13,87
2016	813,5	753,2	14,84	13,87
2017	939,7	753,2	15,14	13,87
2018	910,1	753,2	15,12	13,87
2019	858	753,2	15,11	13,87
2020	244,1	339,7	17,29*	13,87



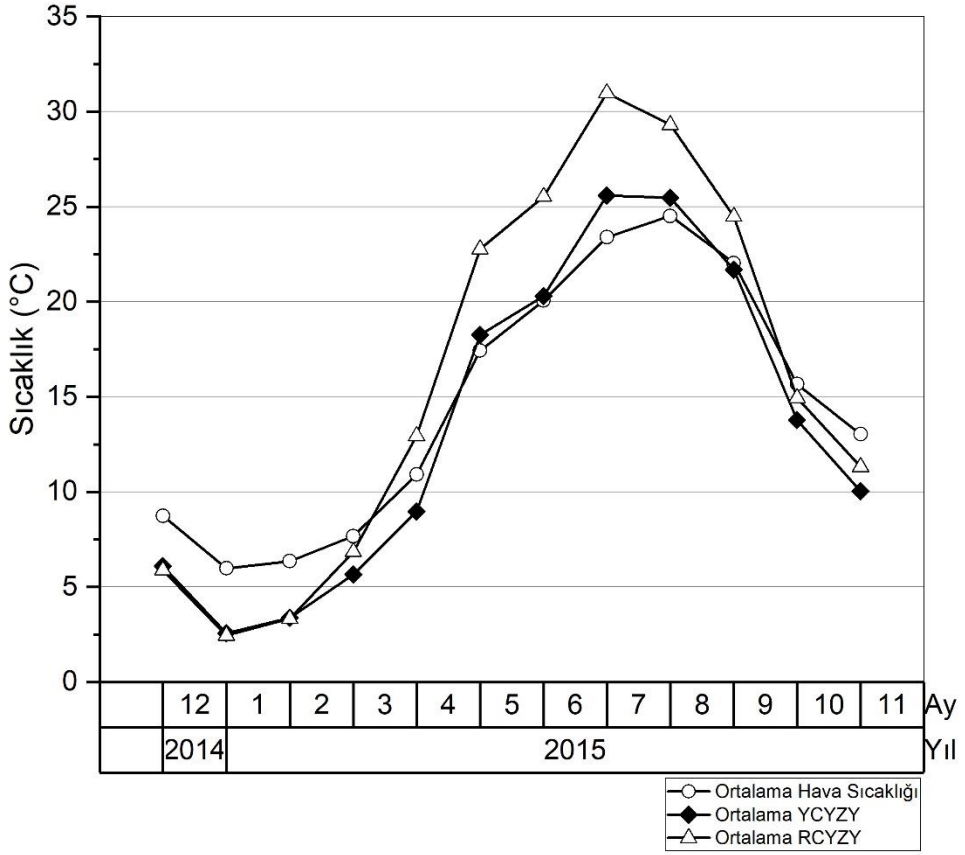
Şekil 4.13: 2015-2020 yılları toplam yağış ve sıcaklık ilişkisi

* Mart 2020 tarihine ait ortalama sıcaklık verisi elde edilemediğinden yıllık sıcaklık ortalaması yüksek çıkmıştır.

4.2. Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

4.2.1. 2014-2015 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2014-2015 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (Ortalama YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 3 ayı boyunca Yeşil Çatı Yüzeyinin (YCYZY) Kaynak Çatı Yüzeyinden (RCYZY) daha sıcak olduğu saptanmıştır. Bu aylar Kasım 2014 (0,21°C), Ocak 2015 (0,13°C) ve Şubat 2015 (0,04°C)'dir. Kalan 9 aylık süreçte Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha yüksek sıcaklıkta olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2015 (1,19°C), Nisan 2015 (3,96°C), Mayıs 2015 (4,50°C), Haziran 2015 (5,23°C), Temmuz 2015 (5,38°C), Ağustos 2015 (3,83°C), Eylül 2015 (2,78°C), Ekim 2015 (1,17°C), Kasım 2015 (1,28°C)'dir (Şekil 4.14). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Temmuz ayı (5,38°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.14: 2015 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

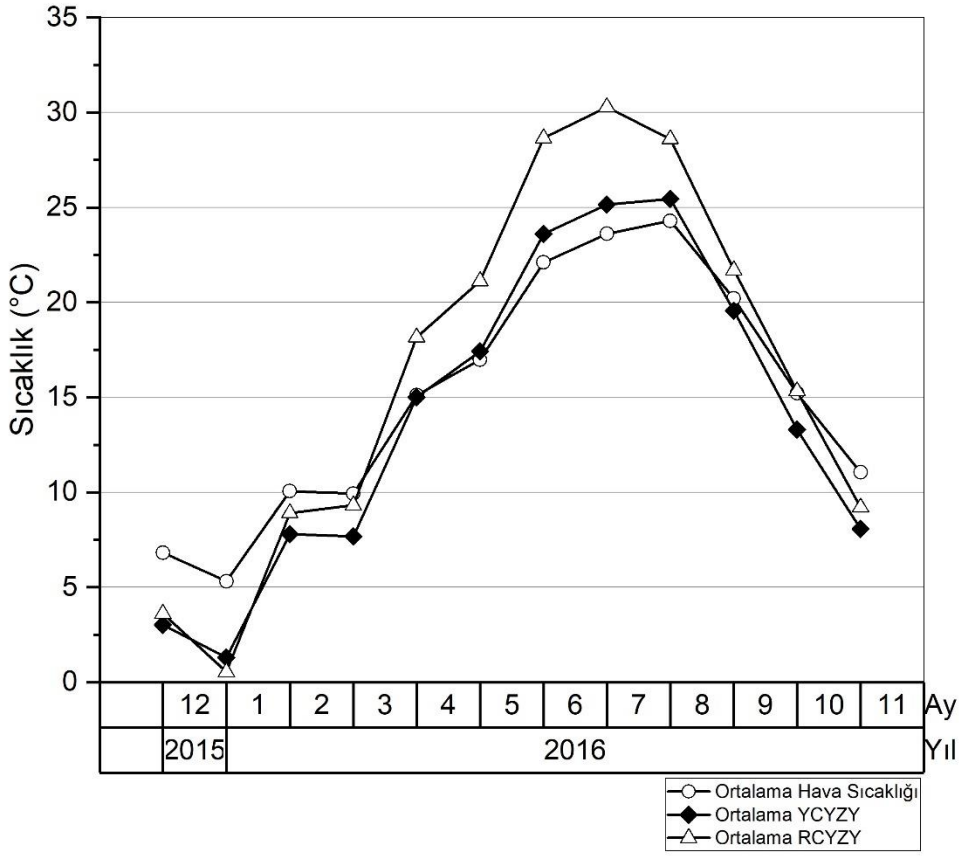
Yılın 6 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Temmuz ayı (7,58°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9: 2015 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2014	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-4,77	16,67	6,09	-5,80	19,68	5,88	-0,41	18,04	8,74
2015	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-13,29	20,52	2,58	-13,23	23,11	2,44	-6,68	20,48	5,98
2	-6,47	19,63	3,38	-7,09	25,12	3,34	-2,10	20,72	6,36
3	-5,17	25,38	5,66	-5,60	35,90	6,86	-0,80	22,09	7,68
4	-2,72	34,13	8,98	-2,77	41,86	12,94	1,17	26,39	10,91
5	4,52	43,14	18,26	7,31	50,54	22,77	9,83	28,21	17,43
6	9,40	45,13	20,30	11,72	53,23	25,53	12,32	30,69	20,07
7	11,73	50,90	25,60	16,23	56,41	30,98	15,78	33,72	23,39
8	14,58	49,12	25,47	15,62	55,12	29,30	17,08	32,37	24,52
9	13,02	46,92	21,69	12,54	51,64	24,48	14,50	35,50	22,04
10	3,81	26,77	13,78	4,72	37,39	14,95	8,74	25,71	15,67
11	-1,30	21,07	10,04	0,32	27,22	11,32	4,54	22,07	13,03

4.2.2. 2015-2016 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2015-2016 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın sadece 1 ayı boyunca Yeşil Çatı Yüzeyinin (YCYZY) Kaynak Çatı Yüzeyinden (RCYZY) daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu aylar; Ocak 2016 (0,75°C)'dir. Kalan 11 aylık süreçte Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha yüksek sıcaklıkta olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2015 (0,58°C), Şubat 2016 (1,12°C), Mart 2016 (1,63°C), Nisan 2016 (3,15°C), Mayıs 2016 (3,71°C), Haziran 2016 (5,04°C), Temmuz 2016 (5,14°C), Ağustos 2016 (3,15°C), Eylül 2016 (2,13°C), Ekim 2016 (2,01°C), Kasım (1,12°C)dir (Şekil 4.15). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Temmuz ayı (5,14°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.15: 2016 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

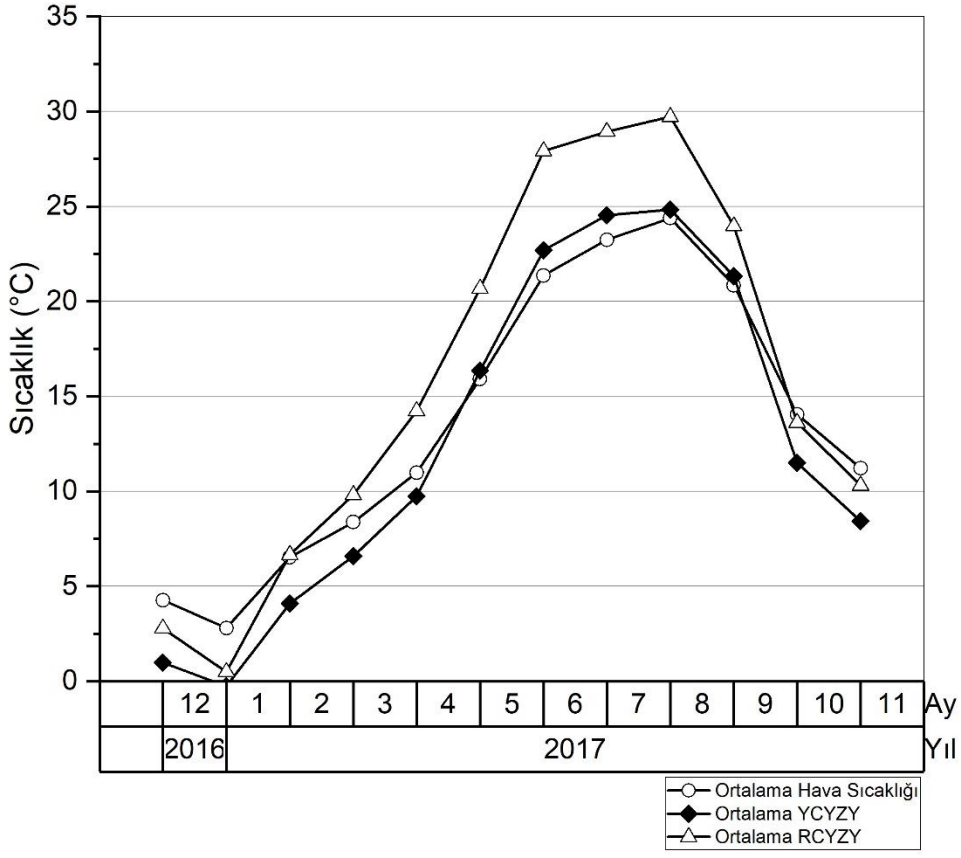
Yılın 7 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Temmuz ayı (6,67°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: 2016 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2015	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-5,87	12,50	3,04	-7,09	19,02	3,62	-1,90	15,46	6,82
2016	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-19,49	16,79	1,30	-20,05	21,31	0,55	-7,95	18,46	5,31
2	-6,96	24,78	7,79	-8,23	34,11	8,91	-1,77	23,06	10,07
3	-5,37	26,92	7,69	-6,00	35,72	9,32	-0,15	23,23	9,94
4	-2,00	41,68	15,00	1,71	44,07	18,16	4,25	28,94	15,12
5	3,92	40,79	17,42	6,15	51,86	21,13	7,67	29,14	16,99
6	7,71	49,00	23,60	10,83	56,82	28,65	11,09	33,44	22,10
7	12,23	45,15	25,15	14,44	55,04	30,29	15,89	29,97	23,62
8	13,42	46,35	25,45	14,85	53,15	28,60	15,80	30,29	24,30
9	6,67	41,60	19,56	7,32	46,07	21,70	10,82	32,93	20,21
10	-0,60	31,34	13,31	2,92	40,63	15,33	4,26	28,67	15,22
11	-4,07	23,81	8,08	-4,21	29,30	9,21	1,13	24,53	11,05

4.2.3. 2016-2017 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2016-2017 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın tüm ayları boyunca Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2016 (1,82°C), Ocak 2017 (0,76°C), Şubat 2017 (2,57°C), Mart 2017 (3,22°C), Nisan 2017 (4,49°C), Mayıs 2017 (4,32°C), Haziran 2017 (5,22°C), Temmuz 2017 (4,40°C), Ağustos 2017 (4,89°C), Eylül 2017 (2,62°C), Ekim 2017 (2,12°C), Kasım 2017 (1,87°C)'dir (Şekil 4.16). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Haziran ayı (5,22°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.16: 2017 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

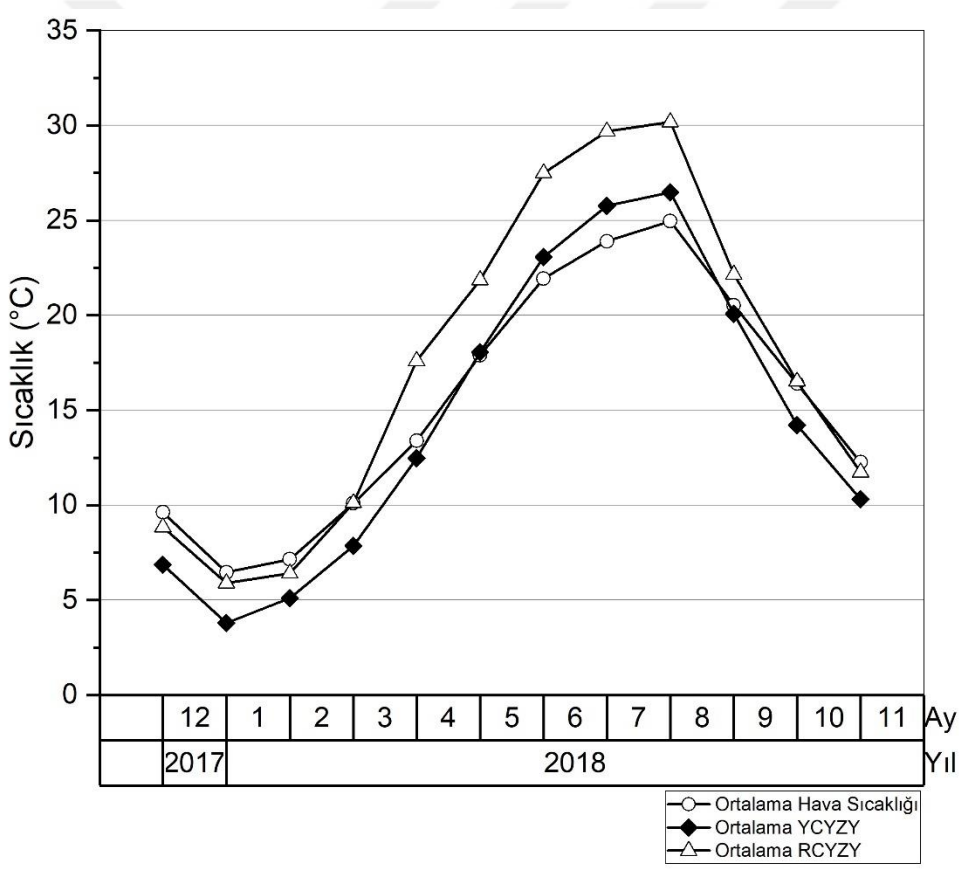
Yılın 8 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Haziran ayı (6,56°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: 2017 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2016	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-8,87	13,12	0,98	-6,30	18,32	2,80	-2,74	13,54	4,26
2017	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-10,24	8,50	-0,27	-13,63	18,02	0,49	-5,04	11,80	2,80
2	-7,67	18,08	4,09	-5,40	27,12	6,66	-3,87	17,39	6,52
3	-4,66	23,91	6,59	-4,22	34,53	9,81	0,20	20,33	8,38
4	-2,49	34,00	9,74	-2,02	48,88	14,23	2,05	29,12	10,99
5	4,42	36,34	16,36	6,54	48,49	20,68	8,75	30,58	15,92
6	10,90	51,00	22,70	13,24	58,33	27,92	14,65	35,00	21,36
7	11,10	53,78	24,54	13,42	59,40	28,94	14,51	35,28	23,25
8	19,26	36,40	24,83	21,11	50,44	29,73	21,62	27,96	24,38
9	7,80	48,57	21,34	9,35	50,53	23,96	12,14	35,77	20,84
10	-1,70	26,70	11,49	-1,51	35,91	13,62	2,04	25,82	14,05
11	-2,82	20,23	8,44	-2,27	29,61	10,31	1,39	20,51	11,22

4.2.4. 2017-2018 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2017-2018 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın tüm ayları boyunca Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2017 (1,97°C), Ocak 2018 (2,09°C), Şubat 2018 (1,30°C), Mart 2018 (2,25°C), Nisan 2018 (5,12°C), Mayıs 2018 (3,79°C), Haziran 2018 (4,41°C), Temmuz 2018 (3,93°C), Ağustos 2018 (3,69°C), Eylül 2018 (2,07°C), Ekim 2018 (2,29°C), Kasım 2018 (1,41°C)'dir (Şekil 4.17). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Nisan ayı (5,12°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.17: 2018 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

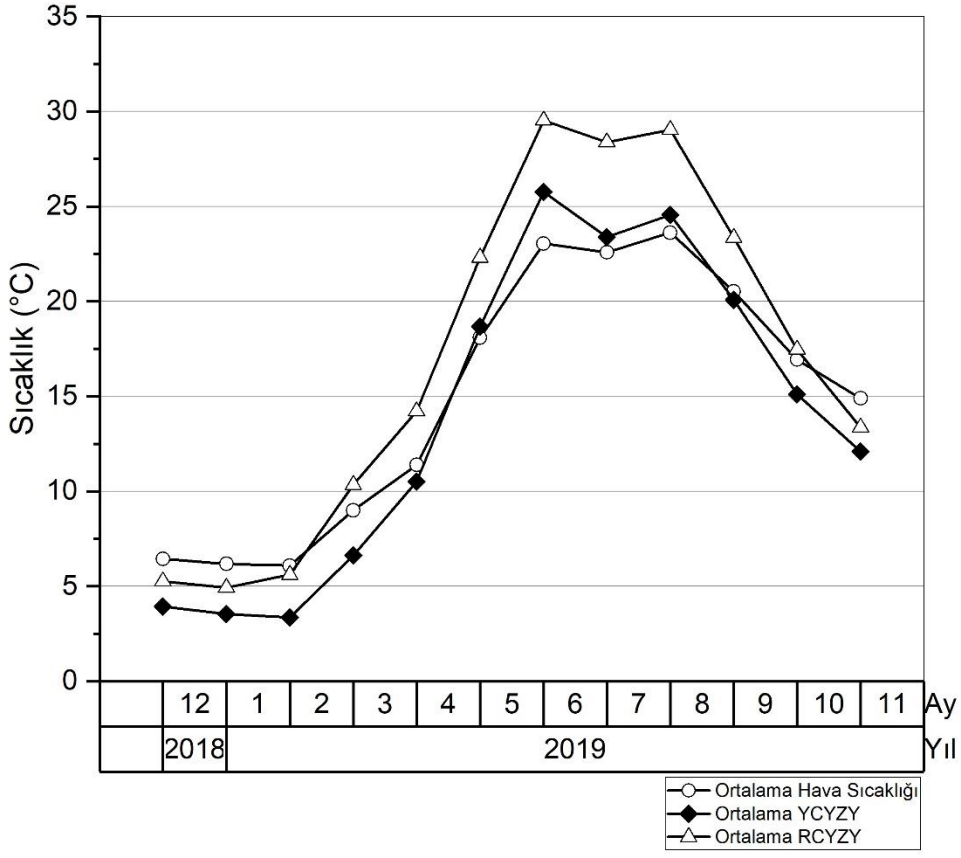
Yılın 8 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Temmuz ayı (5,79°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12).

Tablo 4.12: 2018 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2017	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-3,37	18,74	6,87	-1,92	27,34	8,84	0,55	20,51	9,63
2018	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-6,07	13,31	3,80	-6,00	23,81	5,89	-1,57	14,80	6,47
2	-4,77	16,30	5,11	-5,90	27,44	6,42	-2,04	17,79	7,15
3	-6,17	21,97	7,87	-7,71	34,43	10,12	-3,61	22,75	10,10
4	-0,40	37,79	12,47	2,63	50,24	17,59	4,29	29,30	13,39
5	3,62	40,20	18,07	6,55	50,96	21,86	7,85	29,67	17,89
6	8,70	46,57	23,08	12,03	54,14	27,50	12,85	30,92	21,94
7	12,83	46,87	25,76	15,73	53,55	29,69	16,68	31,73	23,90
8	14,89	44,69	26,48	18,43	52,77	30,18	17,53	29,91	24,95
9	9,50	43,56	20,07	9,05	48,17	22,15	12,14	28,50	20,53
10	-1,18	26,40	14,23	2,02	38,17	16,52	3,19	26,96	16,40
11	1,10	20,25	10,32	0,33	30,23	11,73	3,87	19,63	12,26

4.2.5. 2018-2019 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2018-2019 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın tüm ayları boyunca Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2018 (1,32°C), Ocak 2019 (1,38°C), Şubat 2019 (2,24°C), Mart 2019 (3,72°C), Nisan 2019 (3,69°C), Mayıs 2019 (3,64°C), Haziran 2019 (3,77°C), Temmuz 2019 (5,01°C), Ağustos 2019 (4,47°C), Eylül 2019 (3,27°C), Ekim 2019 (2,36°C), Kasım 2019 (1,26°C)'dir (Şekil 4.18). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Temmuz ayı (5,01°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.18: 2019 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

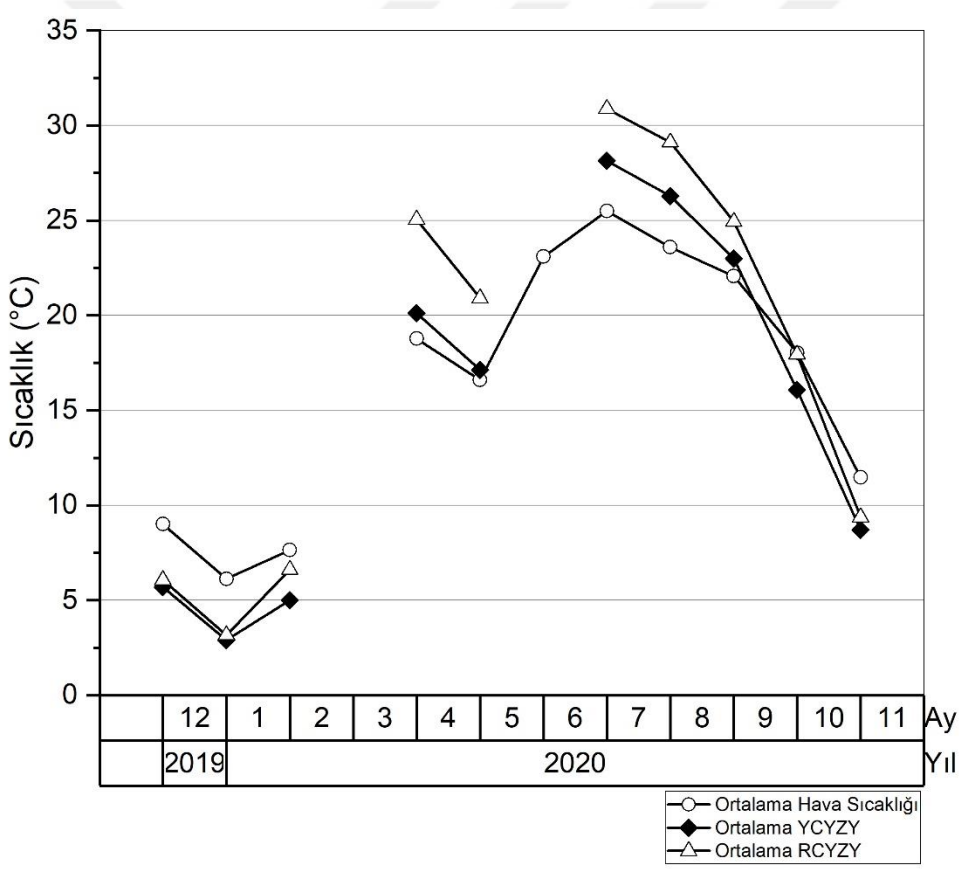
Yılın 8 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Haziran ayı (6,48°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13: 2019 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2018	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-6,36	14,17	3,94	-5,12	19,59	5,27	-1,68	16,35	6,45
2019	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-10,98	16,89	3,55	-6,49	27,53	4,93	-3,59	17,65	6,18
2	-4,76	17,87	3,37	-4,62	30,52	5,61	-0,50	19,67	6,09
3	-5,75	24,78	6,63	-2,76	38,89	10,35	-1,41	22,93	9,00
4	-2,89	35,44	10,52	-0,90	44,09	14,22	2,24	26,03	11,39
5	5,13	46,70	18,67	6,27	53,65	22,32	9,07	30,56	18,08
6	11,30	49,46	25,76	14,44	56,23	29,53	14,55	31,97	23,04
7	11,21	49,86	23,38	12,03	54,33	28,39	14,41	30,47	22,58
8	12,93	45,45	24,56	13,32	54,78	29,04	15,79	32,57	23,63
9	5,50	38,03	20,08	6,74	47,17	23,35	9,29	30,91	20,52
10	5,88	32,34	15,11	6,85	42,59	17,48	10,45	29,95	16,93
11	1,78	23,60	12,10	2,13	32,51	13,37	6,23	25,21	14,90

4.2.6. 2019-2020 Çatı Sistemi Yüzey Sıcaklığı

Yapılan çalışmada 2019-2020 yılına ait Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 10 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzeyinin (RCYZY) Yeşil Çatı Yüzeyinden (YCYZY) daha sıcak olduğu görülmüştür. Bu aylar Kasım 2019 (0,36°C), Ocak 2020 (0,26°C), Şubat 2020 (1,60°C),), Nisan 2020 (4,93°C), Mayıs 2020 (3,77°C), Temmuz 2020 (2,73°C), Ağustos 2020 (2,83°C), Eylül 2020 (1,95°C), Ekim 2020 (1,86°C), Kasım 2020 (0,67°C)'dir (Şekil 4.19). Ortalama Yeşil Çatı Yüzeyi (YCYZY) ve Ortalama Kaynak Çatı Yüzeyi (RCYZY) verilerinin en yüksek sıcaklık farkının bulunduğu ay Nisan ayı (4,93°C) olarak saptanmıştır.



Şekil 4.19: 2020 yılı aylık ortalama yüzey sıcaklığı değerleri

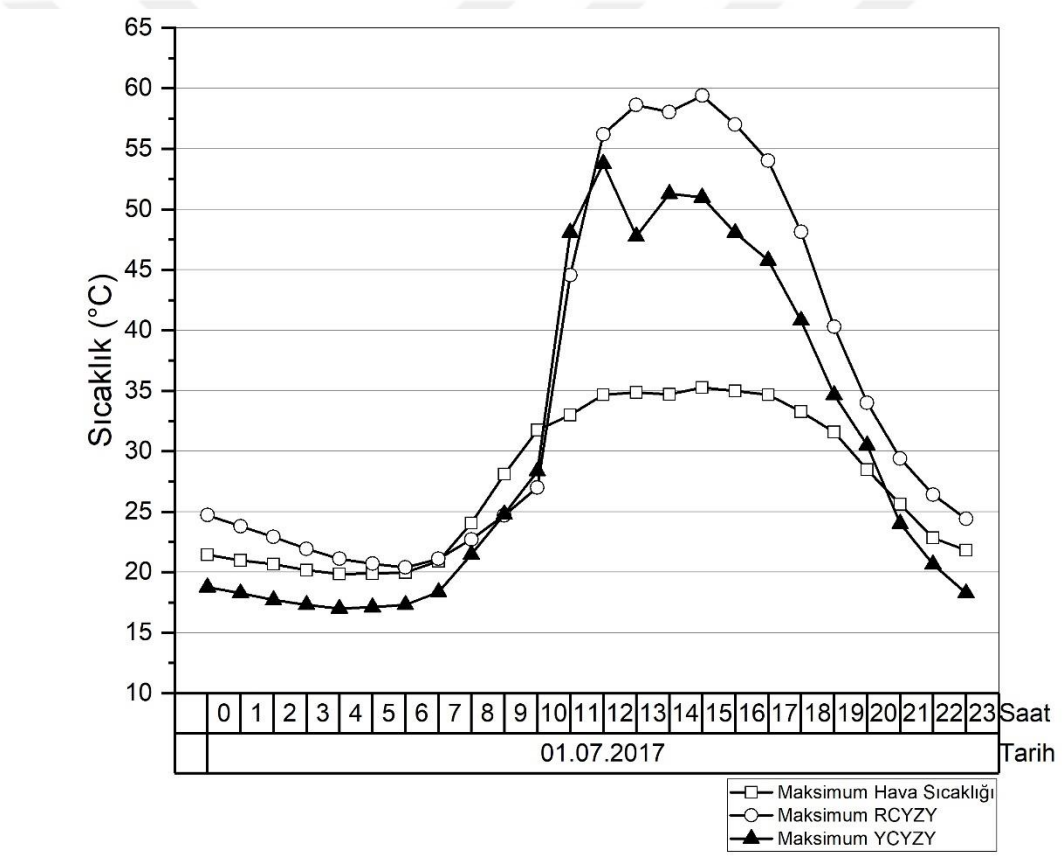
Yılın 5 ayı boyunca Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığının (RCYZY), Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama sıcaklık farkının en fazla olduğu ayın, Temmuz ayı (6,27°C) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.14). 2019-2020 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (YCYZY), Ortalama Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (RCYZY) ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri Mart 2020 ve Haziran 2020 aylarında elde edilememiştir.

Tablo 4.14: 2020 yılı yüzey sıcaklığı değerleri

	YC Çatı Yüzeyi			**RC Çatı Yüzeyi**			**Hava Sıcaklığı**		
2019	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
12	-4,37	17,31	5,71	-4,30	21,32	6,07	1,05	19,41	9,01
2020	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
1	-6,36	12,91	2,90	-7,08	18,94	3,17	-1,76	9,65	6,13
2	-9,47	19,25	5,02	-5,12	27,13	6,62	-2,73	12,93	7,65
3									
4	8,01	35,93	20,11	11,23	44,09	25,05	11,76	23,05	18,77
5	3,13	47,26	17,13	3,85	49,08	20,91	6,38	29,45	16,59
6							14,66		23,10
7	14,39	48,44	28,14	18,54	52,89	30,88	17,37	37,53	25,49
8	13,03	48,74	26,28	15,64	52,58	29,12	16,43	38,71	23,59
9	10,80	48,84	22,98	12,04	50,56	24,94	14,33	36,19	22,06
10	5,23	42,26	16,08	5,24	44,78	17,95	8,43	29,22	18,03
11	-1,89	17,50	8,70	-1,30	25,71	9,38	3,70	16,90	11,47

4.2.7. Yüzey Katmanının En Yüksek- En Düşük Sıcaklık Değerleri

İki çatı yüzeyinin katman karşılaştırmaları yapıldığında seneler arasında benzer motifler olduğu görülmüştür. Dış yüzey katmanı sıcaklık ortalamaları incelendiğinde; Ortalama Kaynak Çatı Yüzey sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinin 7-10°C üzerinde seyrettiği görülmüştür. Yaz aylarında Ortalama Yeşil Çatı Yüzey sıcaklığı değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinden 1-3°C daha yüksek görülmüş ve bu değerler Kaynak çatıya kıyasla daha yakın bir dalgalanma göstermiştir. 2015-2020 yılları arasında yaz mevsimlerinden elde edilen en yüksek sıcaklık 01.07.2017 (35,28°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.20). Bu tarihte Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığı (59,40°C), Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığından (53,78°C) 5,62°C daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.15).

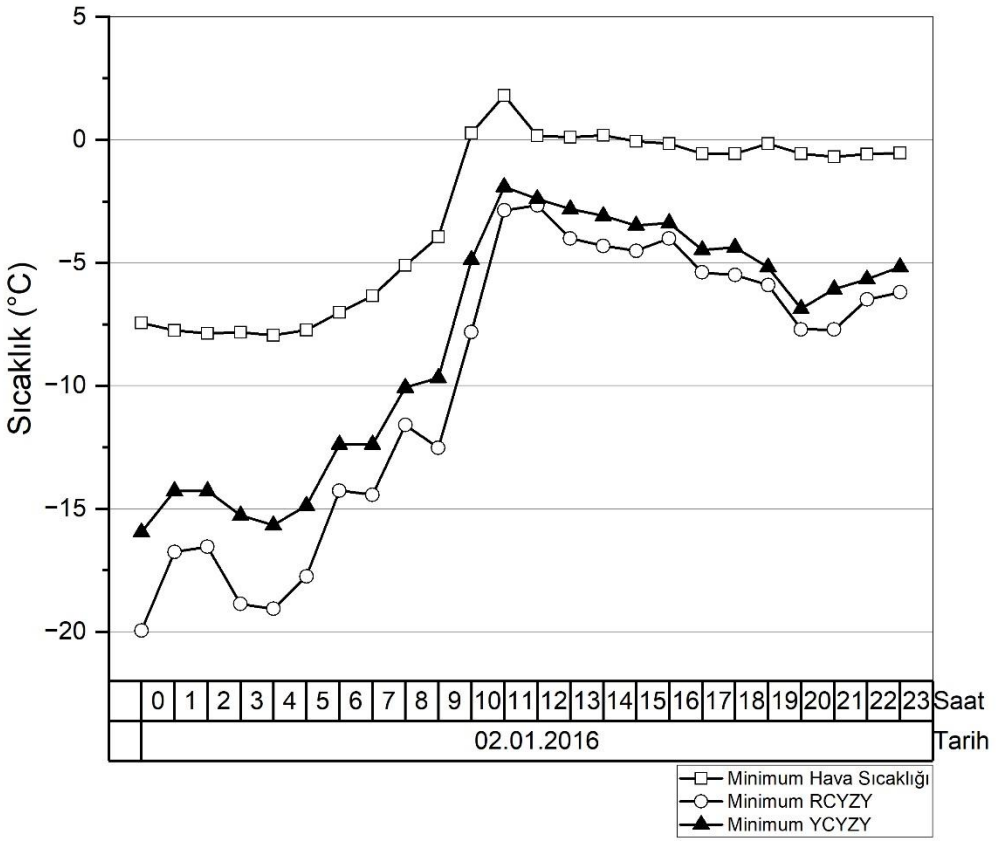


Şekil 4.20: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün çatı yüzeyi sıcaklık değerleri

Tablo 4.15: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, çatı yüzeyi sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Yüksek Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Yüzeyi Sıcaklığı	Yeşil Çatı Yüzeyi Sıcaklığı
YAZ	2015	28.07.2015	33,72	56,4	50,89
	2016	17.06.2016	33,44	56,82	48,99
	2017	1.07.2017	35,28	59,4	53,78
	2018	17.07.2018	31,72	51,66	42,77
	2019	3.08.2019	32,56	54,04	45,45
	2020	29.07.2020	30,45	52,78	48,43

Kış ayı ortalamaları incelendiğinde ise iki katman arasında 1-2°C'lik fark olduğu saptanmıştır. Bu iki katman tüm kış boyunca ortalama hava sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık eğrisi göstermiştir. 2015-2020 yılları arasında kış mevsimlerinden elde edilen en düşük sıcaklık 02.01.2016 (-7,95°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.21). Bu tarihte Yeşil Çatı Yüzey Sıcaklığı (-15,95°C), Kaynak Çatı Yüzey Sıcaklığından (-19,95°C) 4°C daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.16).



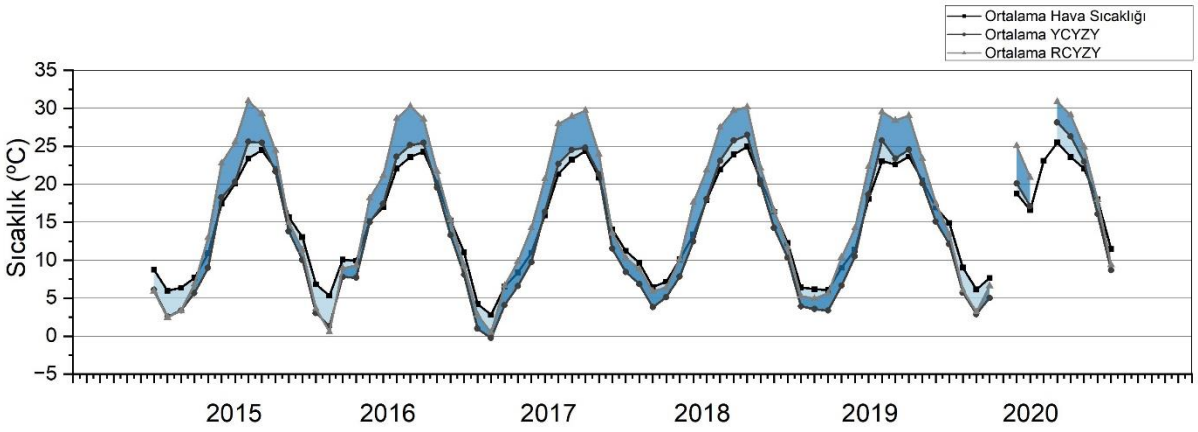
Şekil 4.21: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün çatı yüzeyi sıcaklık değerleri

Tablo 4.16: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, çatı yüzeyi sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Düşük Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Yüzeyi Sıcaklığı	Yeşil Çatı Yüzeyi Sıcaklığı
KIŞ	2015	9.01.2015	-6,67	-13,23	-13,28
	2016	2.01.2016	-7,95	-19,95	-15,95
	2017	7.01.2017	-5,04	-10,33	-7,97
	2018	28.02.2018	-2,04	-5,89	-4,77
	2019	9.01.2019	-3,59	-6,48	-9,87
	2020	9.02.2020	-2,72	-5,11	-9,47

4.2.8. Çatı Yüzeyi Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri

Tüm yılların yüzey katmanı sıcaklık verileri karşılaştırıldığında benzer bir desen görülmektedir. Özellikle yaz aylarında iki yüzey arasında ciddi sıcaklık farkları görülmüştür. Kış aylarına bakıldığında çoğu zaman iki katman benzer sıcaklık değerleri vermiştir (Şekil 4.22). Yeşil çatı ile kaplı yüzey sıcaklıkları tüm yıllar boyunca geleneksel çatıdan daha soğuk değerler göstermiştir.



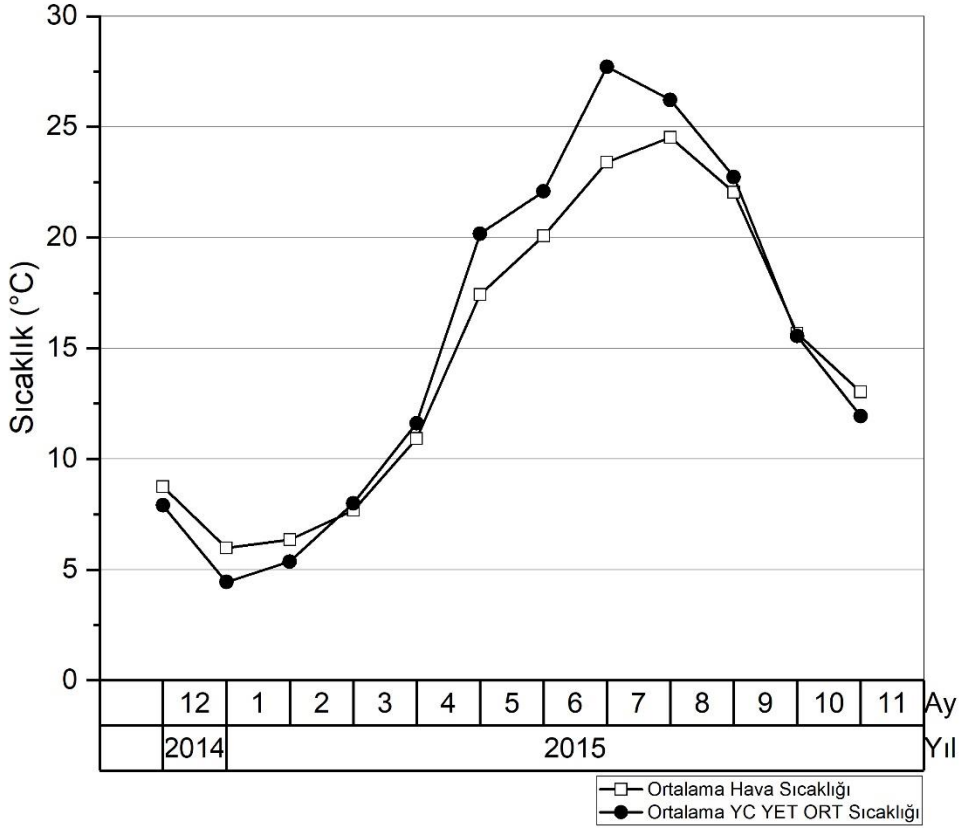
Şekil 4.22: 2015-2020 yılları ortalama çatı yüzeyi ve hava sıcaklığı değerleri[2]

[2] Koyu taralı bölümler kaynak çatı yüzeyi ile yeşil çatı yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Açık taralı bölümler ortalama hava sıcaklığı ile yeşil çatı yüzey sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir.

4.3. Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

4.3.1. 2014-2015 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

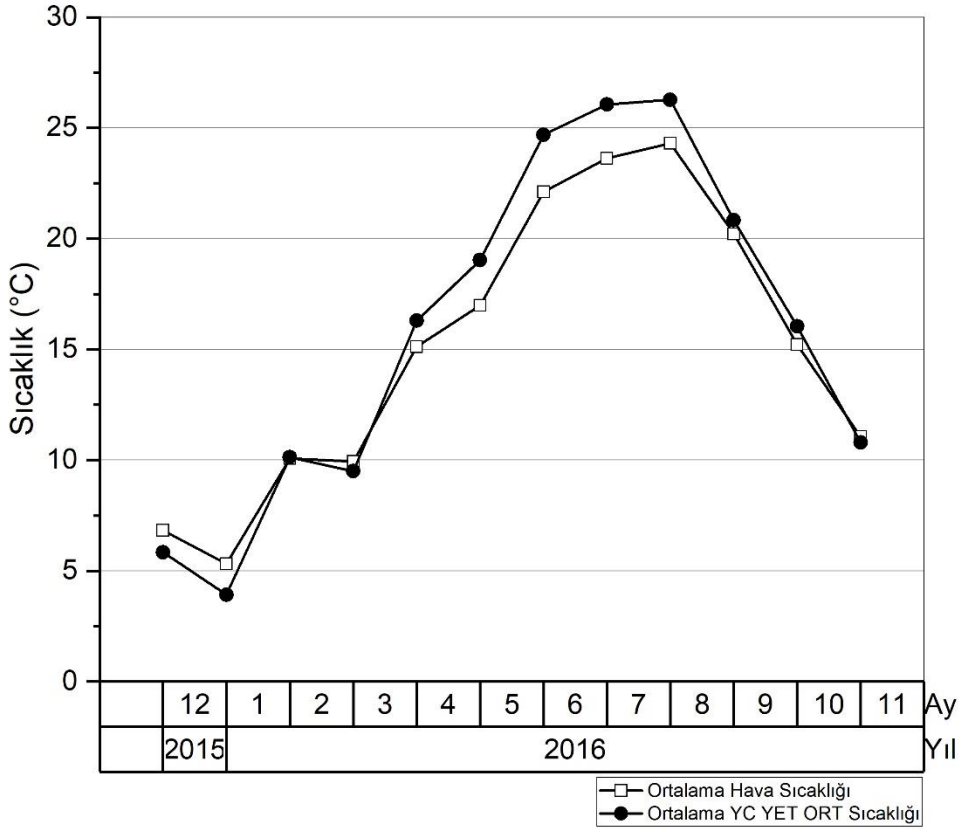
Yapılan çalışmada 2014-2015 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 7 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2015 (0,32°C), Nisan 2015 (0,70°C), Mayıs 2015 (2,73°C), Haziran 2015 (2,01°C), Temmuz 2015 (4,31°C), Ağustos 2015 (1,69°C), Eylül 2015 (0,69°C)'dür (Şekil 4.23). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Temmuz (4,31°C) ayında görünmektedir.



Şekil 4.23: 2015 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.2. 2015-2016 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

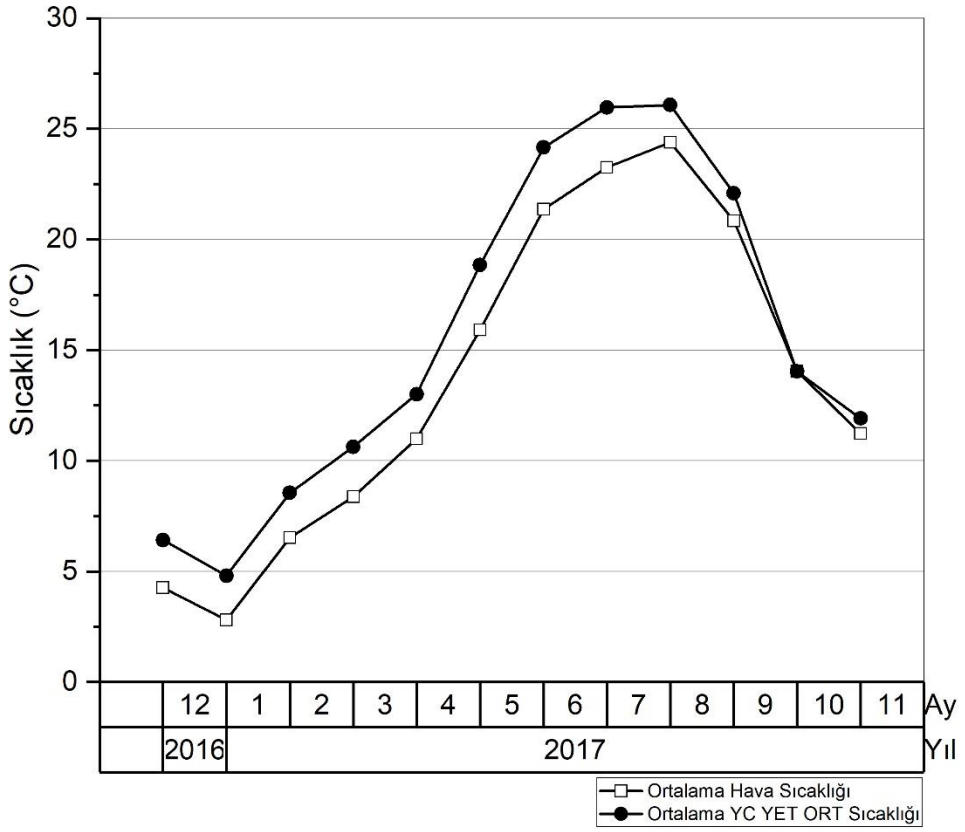
Yapılan çalışmada 2015-2016 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 8 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Şubat 2016 (0,06°C), Nisan 2016 (1,16°C), Mayıs 2016 (2,03°C), Haziran 2016 (2,58°C), Temmuz 2016 (2,43°C), Ağustos 2016 (1,96°C), Eylül 2016 (0,61°C), Ekim 2016 (0,83°C)'dir (Şekil 4.24). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Haziran (2,58°C) ayında görünmektedir.



Şekil 4.24: 2016 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.3. 2016-2017 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

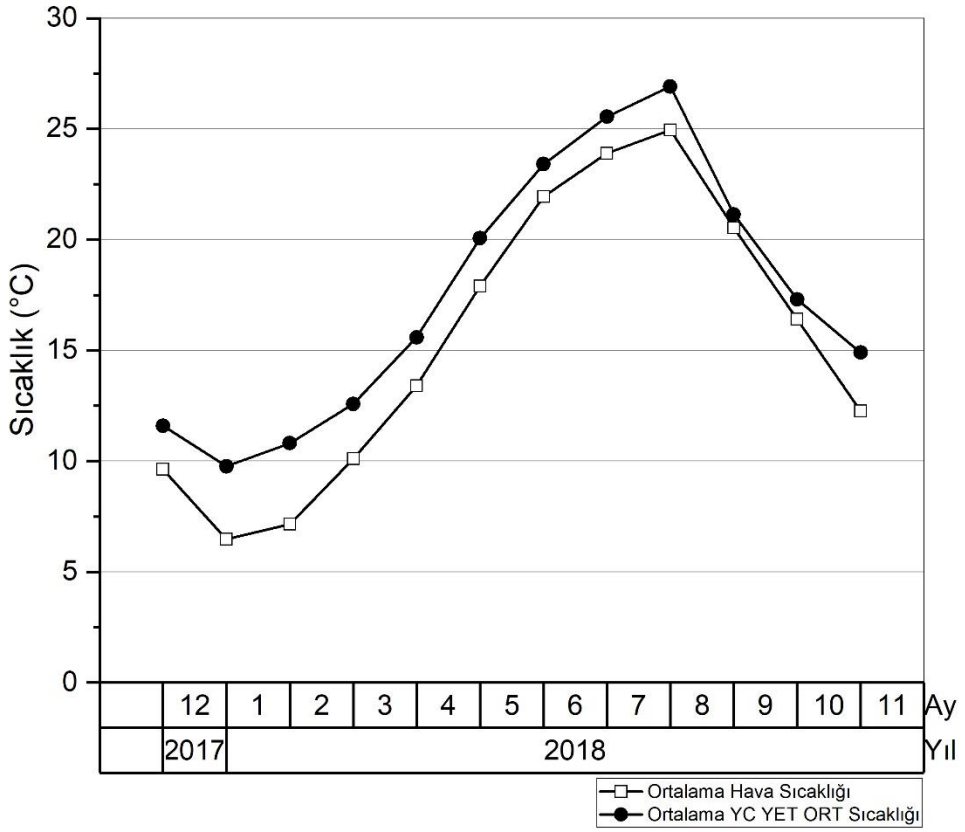
Yapılan çalışmada 2016-2017 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 11 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2016 (2,15°C), Ocak 2017 (2,01°C), Şubat 2017 (2,02°C), Mart 2017 (2,24°C), Nisan 2017 (2,02°C), Mayıs 2017 (2,92°C), Haziran 2017 (2,78°C), Temmuz 2017 (2,70°C), Ağustos 2017 (1,68°C), Eylül 2017 (1,23°C), Kasım 2017 (0,68°C)'dır (Şekil 4.25). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Mayıs (2,92°C) ayında görünmektedir.



Şekil 4.25: 2017 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.4. 2017-2018 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

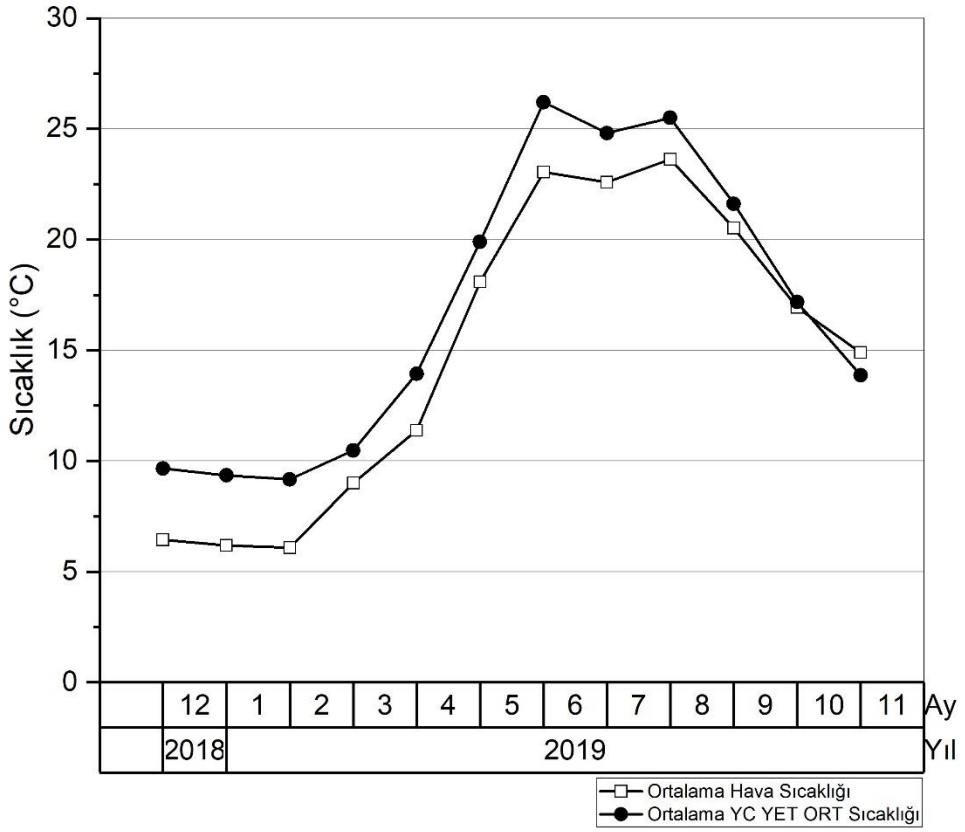
Yapılan çalışmada 2017-2018 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 12 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2017 (1,96°C), Ocak 2018 (3,29°C), Şubat 2018 (3,65°C), Mart 2018 (2,48°C), Nisan 2018 (2,19°C), Mayıs 2018 (2,16°C), Haziran 2018 (1,46°C), Temmuz 2018 (1,64°C), Ağustos 2018 (1,95°C), Eylül 2018 (0,60°C), Ekim 2018 (0,89°C), Kasım 2018 (2,64°C)'dır (Şekil 4.26). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Şubat (3,65°C) ayında görünmektedir.



Şekil 4.26: 2018 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.5. 2018-2019 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

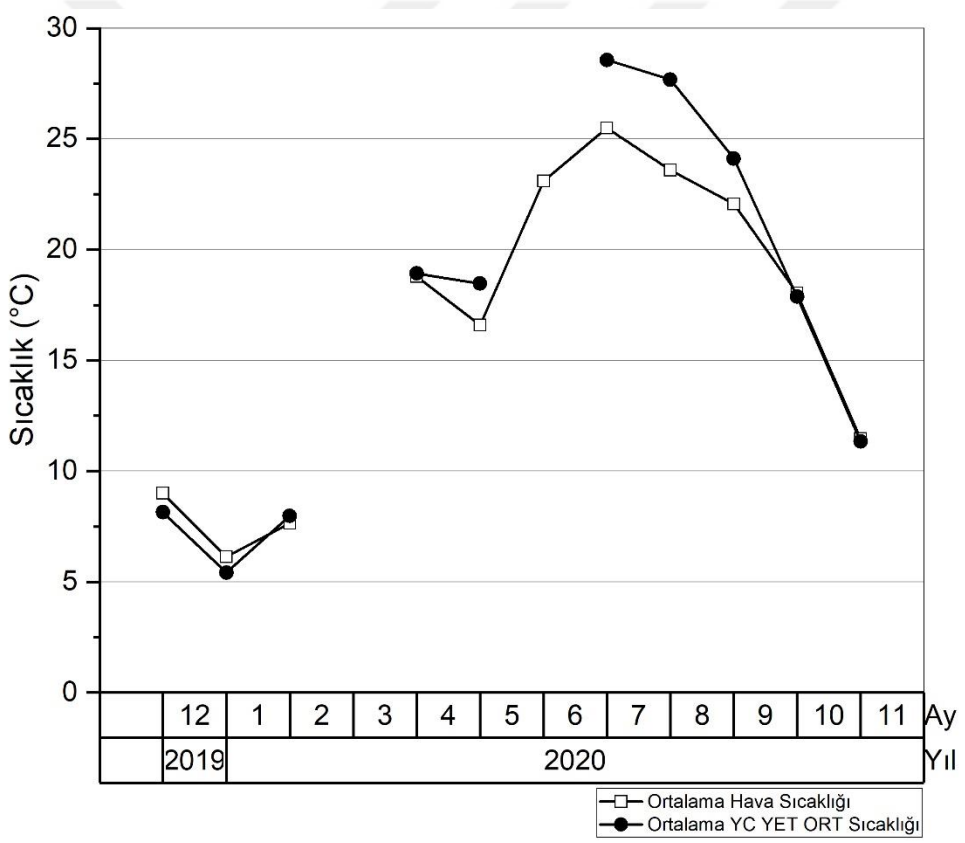
Yapılan çalışmada 2018-2019 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 11 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2018 (3,21°C), Ocak 2019 (3,17°C), Şubat 2019 (3,08°C), Mart 2019 (1,47°C), Nisan 2019 (2,55°C), Mayıs 2019 (1,81°C), Haziran 2019 (3,15°C), Temmuz 2019 (2,21°C), Ağustos 2019 (1,86°C), Eylül 2019 (1,09°C), Ekim 2019 (0,23°C)'dir (Şekil 4.27). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Aralık 2018 (3,21°C) ayında görünmektedir.



Şekil 4.27: 2019 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.6. 2019-2020 Çatı Sistemi Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı

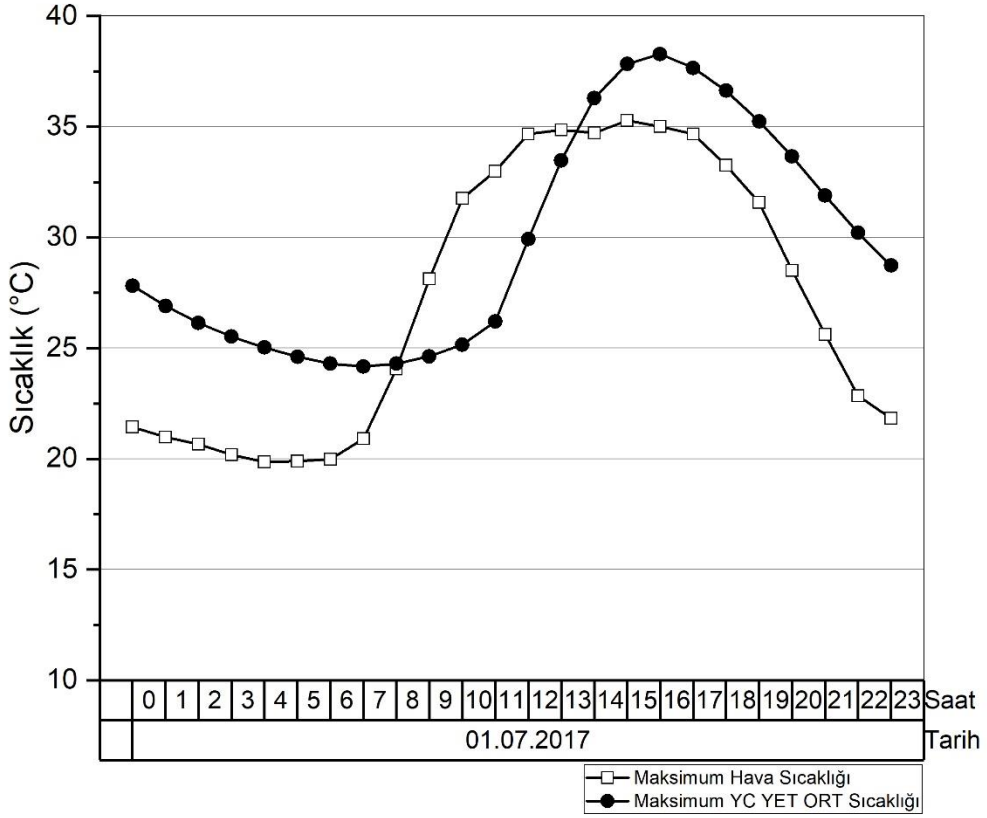
Yapılan çalışmada 2019-2020 yıllarına ait Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 2 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 6 ayı boyunca Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığının Ortalama Hava Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Şubat 2020 (0,33°C), Nisan 2020 (0,14°C), Mayıs 2020 (1,87°C), Temmuz 2020 (3,07°C), Ağustos 2020 (4,08°C), Eylül 2020 (2,04°C)'dür (Şekil 4.28). Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı verileri arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Ağustos (4,08°C) ayında görünmektedir. 2019-2020 yılına ait bu grafikte Ortalama Yetiştirme Ortamı Sıcaklık verileri Mart 2020 ve Haziran 2020 aylarında elde edilememiştir.



Şekil 4.28: 2020 yılı yetiştirme ortamının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.3.7. Yetiştirme Ortamının En Yüksek- En Düşük Sıcaklık Değerleri

Yeşil çatı sisteminin yetiştirme ortamı sıcaklığı ile ortalama hava sıcaklığı karşılaştırıldığında değerler arasında ortalama 0,06-4,3°C sıcaklık farkı görülmüştür. En yüksek sıcaklık farkları 3-4°C olarak saptanmıştır. Bu en yüksek sıcaklık değerleri her yıl farklı aylarda ve mevsimlerde görülmektedir. Yaz aylarında yeşil çatı yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklık değerlerinden 2-4°C daha yüksek görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında yaz mevsimlerinden elde edilen en yüksek sıcaklık 01.07.2017 (35,28°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.29). Hava sıcaklığının en yüksek değerde olduğu bu tarihte yeşil çatı yetiştirme ortamı sıcaklığı 38,27°C olarak görülmüştür (Tablo 4.17).

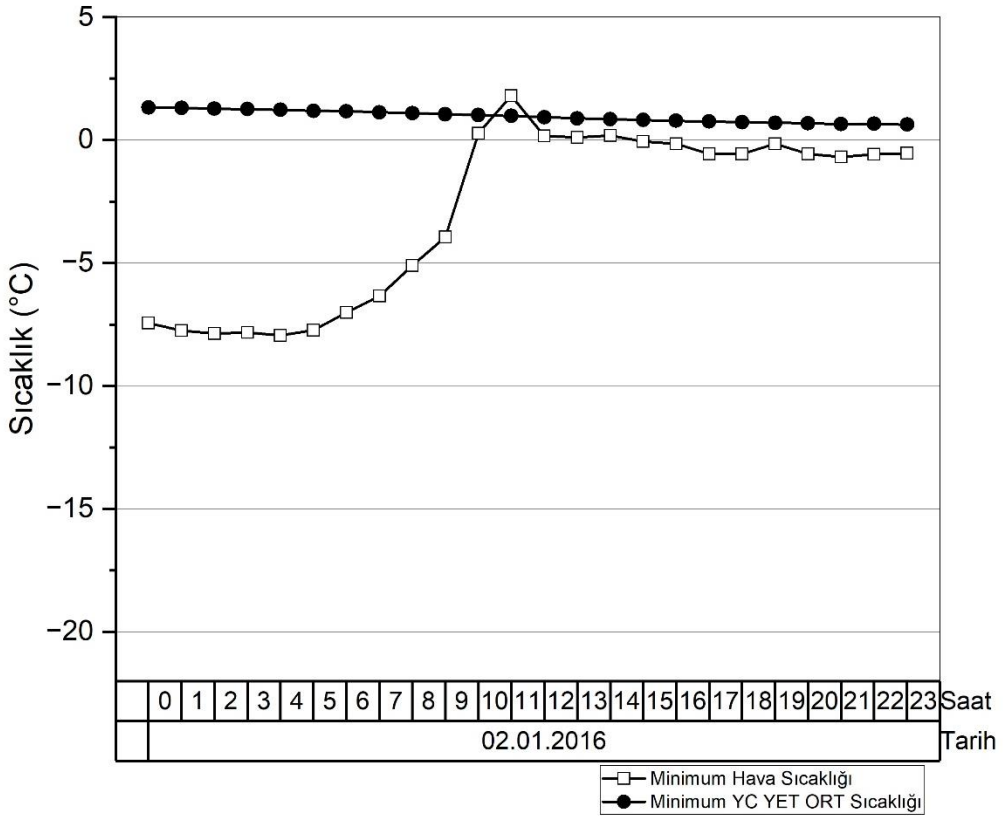


Şekil 4.29: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri

Tablo 4.17: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Yüksek Hava Sıcaklığı	Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı
YAZ	2015	28.07.2015	33,72	41,37
	2016	17.06.2016	33,44	32,17
	2017	1.07.2017	35,28	38,27
	2018	17.07.2018	31,72	32,36
	2019	3.08.2019	32,56	30,01
	2020	29.07.2020	30,45	36,84

Kış ayı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında yeşil çatı yetiştirme ortamı 0,3-4°C'lik sıcaklık farkı oluşturmuştur. Yeşil çatı yetiştirme ortamı 2015, 2016 ve 2020 yıllarında ortalama hava sıcaklığından daha düşük değerler görülürken, 2017, 2018 ve 2019 yıllarında ortalama hava sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta olduğu görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında kış mevsimlerinden elde edilen en düşük sıcaklık 02.01.2016 (-7,95°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.30). Hava sıcaklığının en düşük değerde olduğu bu tarihte yeşil çatı yetiştirme ortamı sıcaklığı 0,62°C olarak saptanmıştır (Tablo 4.18).



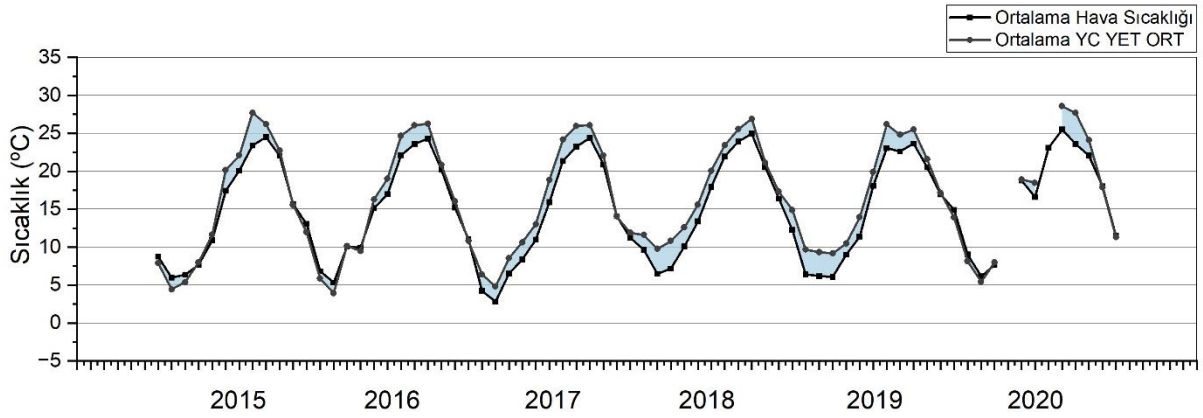
Şekil 4.30: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri

Tablo 4.18: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Düşük Hava Sıcaklığı	Yetiştirme Ortamı Sıcaklığı
KIŞ	2015	9.01.2015	-6,67	0,51
	2016	2.01.2016	-7,95	0,62
	2017	7.01.2017	-5,04	5,03
	2018	28.02.2018	-2,04	6,15
	2019	9.01.2019	-3,59	5,39
	2020	9.02.2020	-2,72	4,53

4.3.8. Yetiştirme Ortamı Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri

Tüm yılların yetiştirme ortamı sıcaklık verilerine bakıldığında 2015-2016 yıllarının kış mevsimleri hariç, ortalama hava sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta olduğu görülmektedir (Şekil 4.31). İki veri seti arasındaki sıcaklık farkları yaz ve kış mevsiminde en yüksek değerdeyken sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine daha yakın değerlerde olduğu görülmüştür.



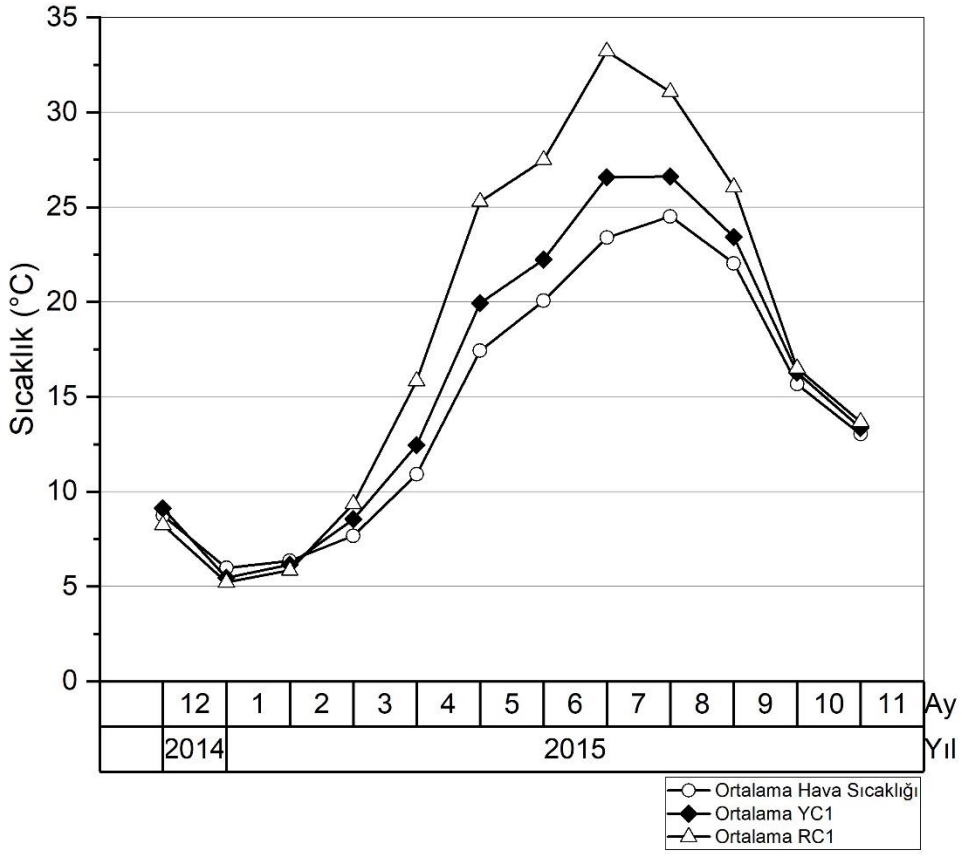
Şekil 4.31: 2015-2020 yılları ortalama yetiştirme ortamı ve hava sıcaklığı değerleri[3]

[3] Açık renk ile taralı bölüm yeşil çatı yetiştirme ortamı sıcaklığı ile ortalama hava sıcaklığı farkını göstermektedir.

4.4. Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

4.4.1. 2014-2015 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

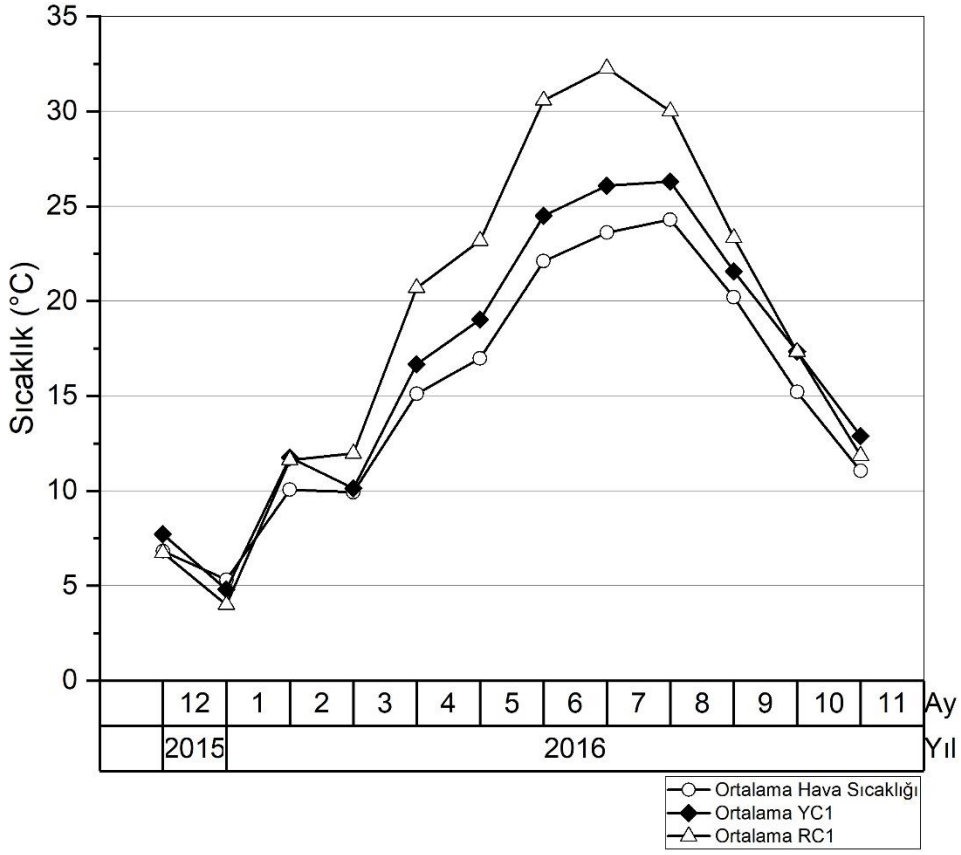
Yapılan çalışmada 2014-2015 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 9 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2015 (0,81°C), Nisan 2015 (3,37°C), Mayıs 2015 (5,35°C), Haziran 2015 (5,25°C), Temmuz 2015 (6,63°C), Ağustos 2015 (4,45°C), Eylül 2015 (2,62°C), Ekim 2015 (0,21°C), Kasım 2015 (0,32°C)'dır. Kalan 3 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2014 (0,86°C), Ocak 2015 (0,23°C), Şubat 2015 (0,29°C)'tır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Temmuz (6,63°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.32). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Temmuz (9,82°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.32: 2015 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.2. 2015-2016 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

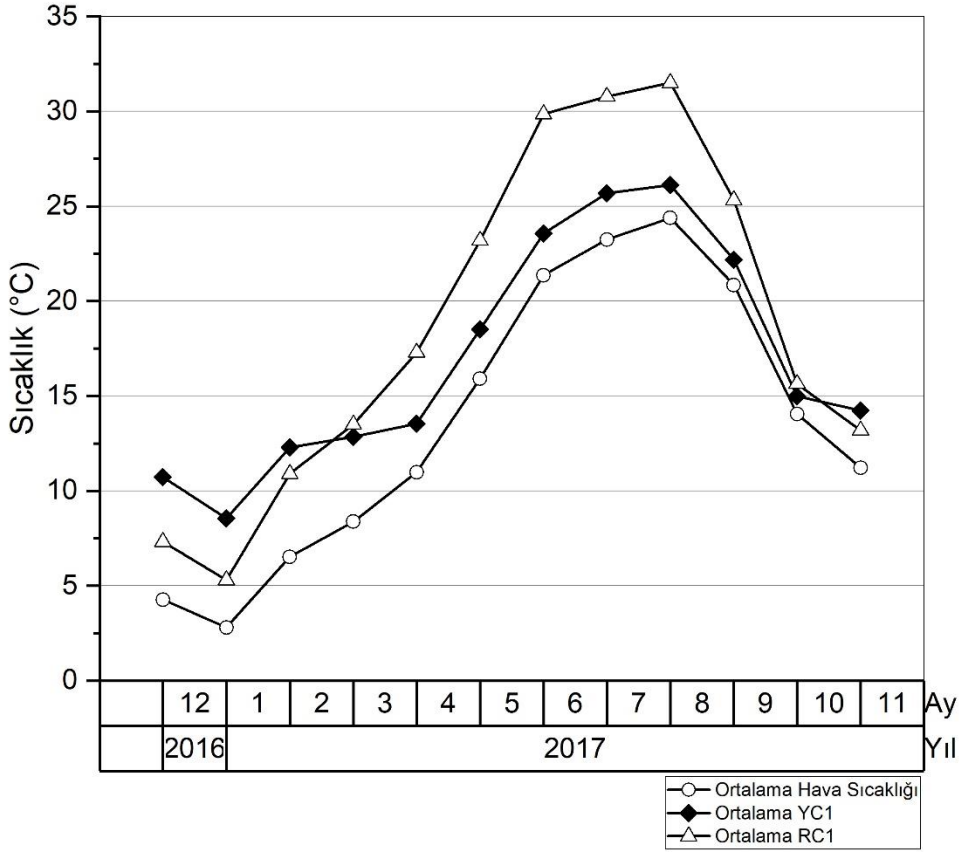
Yapılan çalışmada 2015-2016 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 7 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2016 (1,83°C), Nisan 2016 (4,03°C), Mayıs 2016 (4,16°C), Haziran 2016 (6,09°C), Temmuz 2016 (6,19°C), Ağustos 2016 (3,70°C), Eylül 2016 (1,76°C)'dür. Kalan 5 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2015 (0,97°C), Ocak 2016 (0,80°C), Şubat 2016 (0,13°C), Ekim 2016 (0,01°C), Kasım 2016 (1,02°C)'dır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Temmuz (6,19°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.33). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Temmuz (8,66°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.33: 2016 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.3. 2016-2017 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

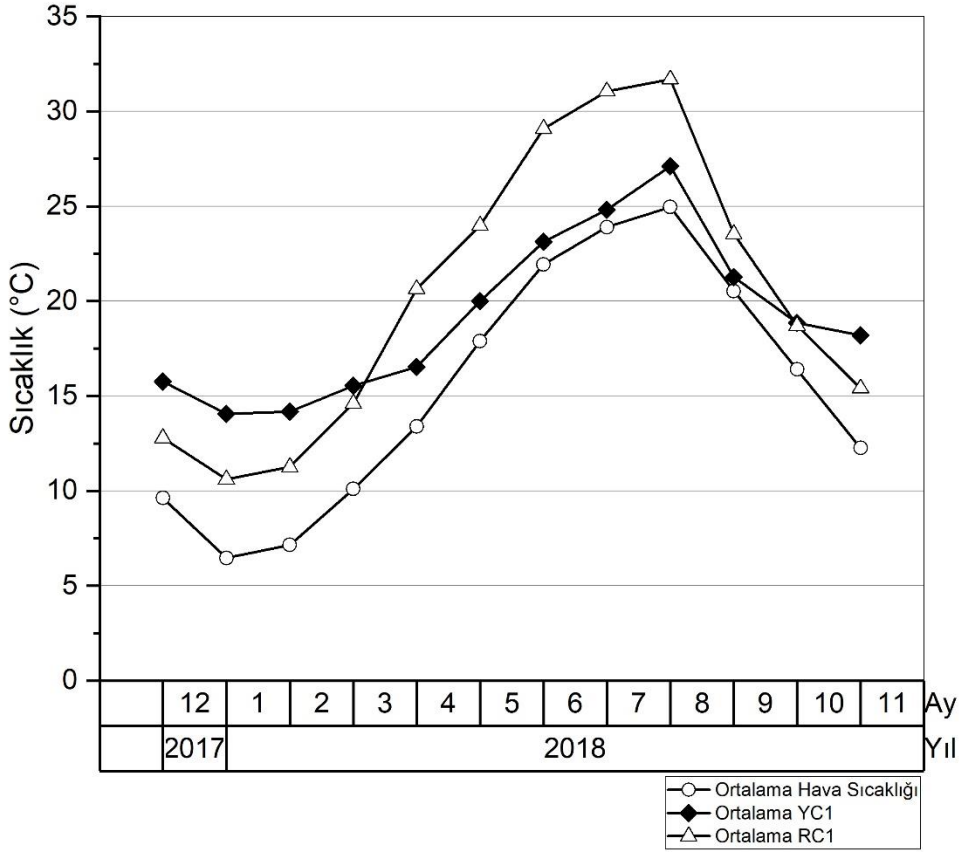
Yapılan çalışmada 2016-2017 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 8 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2017 (0,65°C), Nisan 2017 (3,73°C), Mayıs 2017 (4,67°C), Haziran 2017 (6,29°C), Temmuz 2017 (5,09°C), Ağustos 2017 (5,37°C), Eylül 2017 (3,15°C), Ekim 2017 (0,65°C)'dir. Kalan 4 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2016 (3,41°C), Ocak 2017 (3,25°C), Şubat 2017 (1,40°C), Kasım 2017 (1,05°C)'dır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Haziran (6,29°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.34). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Haziran (8,49°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.34: 2017 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.4. 2017-2018 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

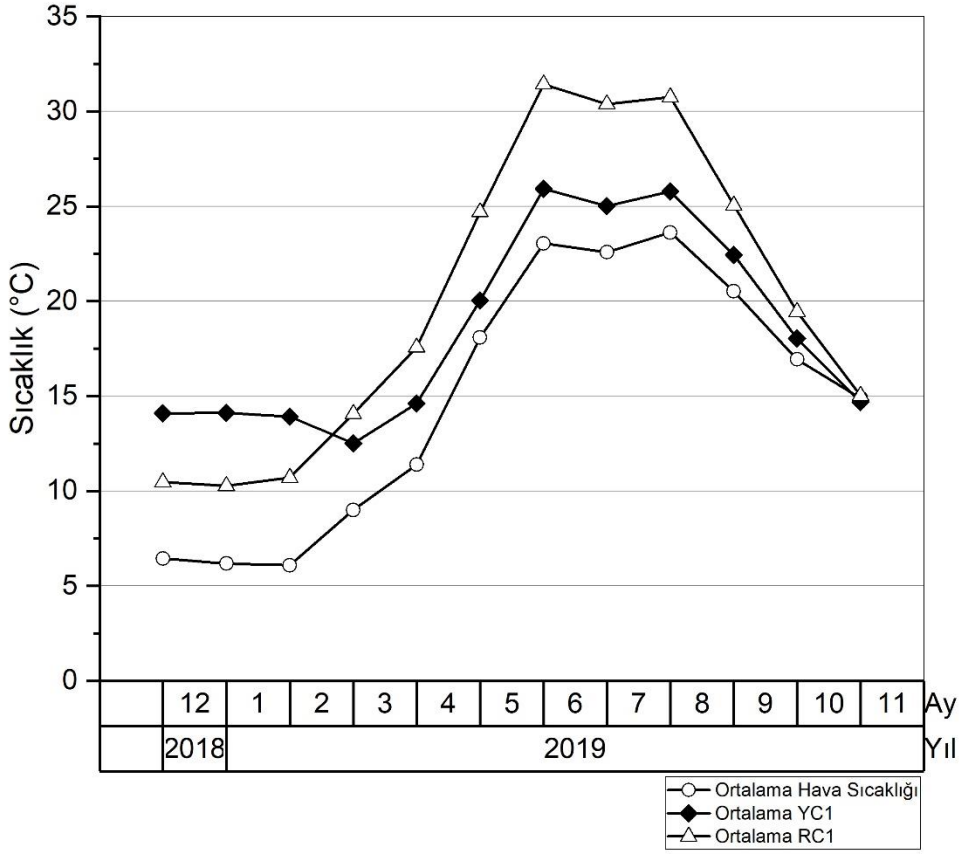
Yapılan çalışmada 2017-2018 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 6 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Nisan 2018 (4,10°C), Mayıs 2018 (3,97°C), Haziran 2018 (5,95°C), Temmuz 2018 (6,24°C), Ağustos 2018 (4,58°C), Eylül 2018 (2,27°C)'dür. Kalan 6 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2017 (2,96°C), Ocak 2018 (3,45°C), Şubat 2018 (2,91°C), Mart 2018 (0,93°C), Ekim 2018 (0,14°C), Kasım 2018 (2,78°C)'dır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Temmuz (6,24°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.35). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Nisan (7,24°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.35: 2018 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.5. 2018-2019 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

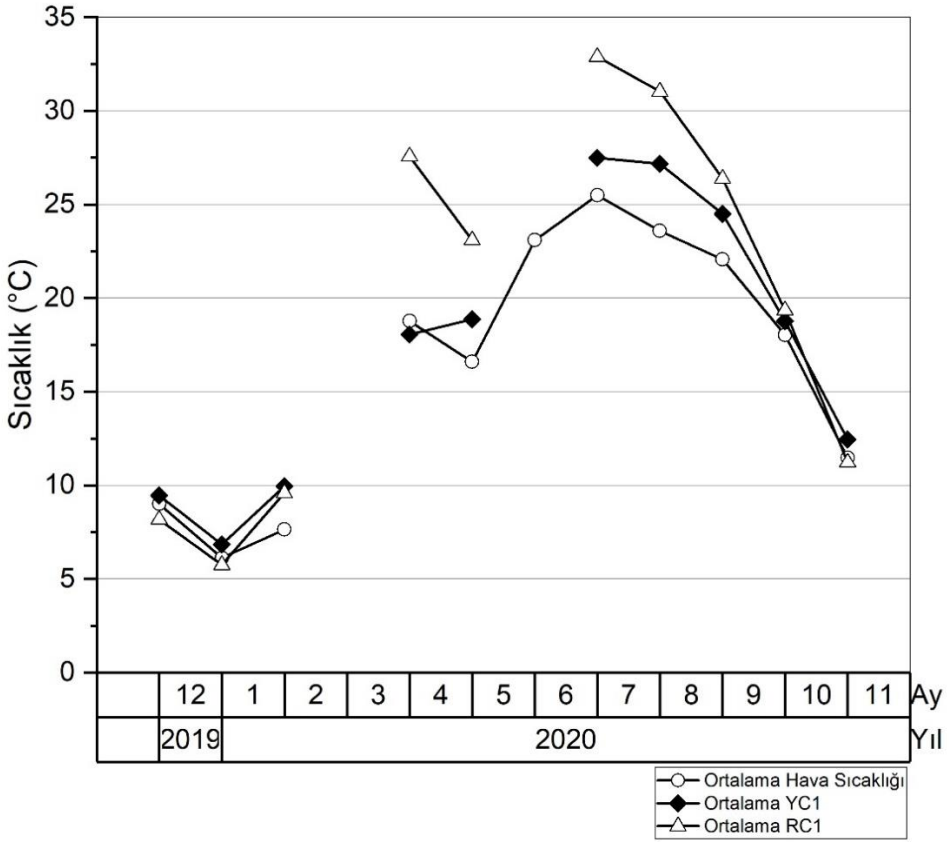
Yapılan çalışmada 2018-2019 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 9 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2019 (1,56°C), Nisan 2019 (2,95°C), Mayıs 2019 (4,65°C), Haziran 2019 (5,50°C), Temmuz 2019 (5,37°C), Ağustos 2019 (4,96°C), Eylül 2019 (2,60°C), Ekim 2019 (1,40°C), Kasım 2019 (0,33°C)'dır. Kalan 3 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2018 (3,63°C), Ocak 2019 (3,84°C), Şubat 2019 (3,22°C)'tır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Haziran (5,50°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.36). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Haziran (8,38°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.36: 2019 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.6. 2019-2020 Yalıtım Sisteminin Sıcaklığı

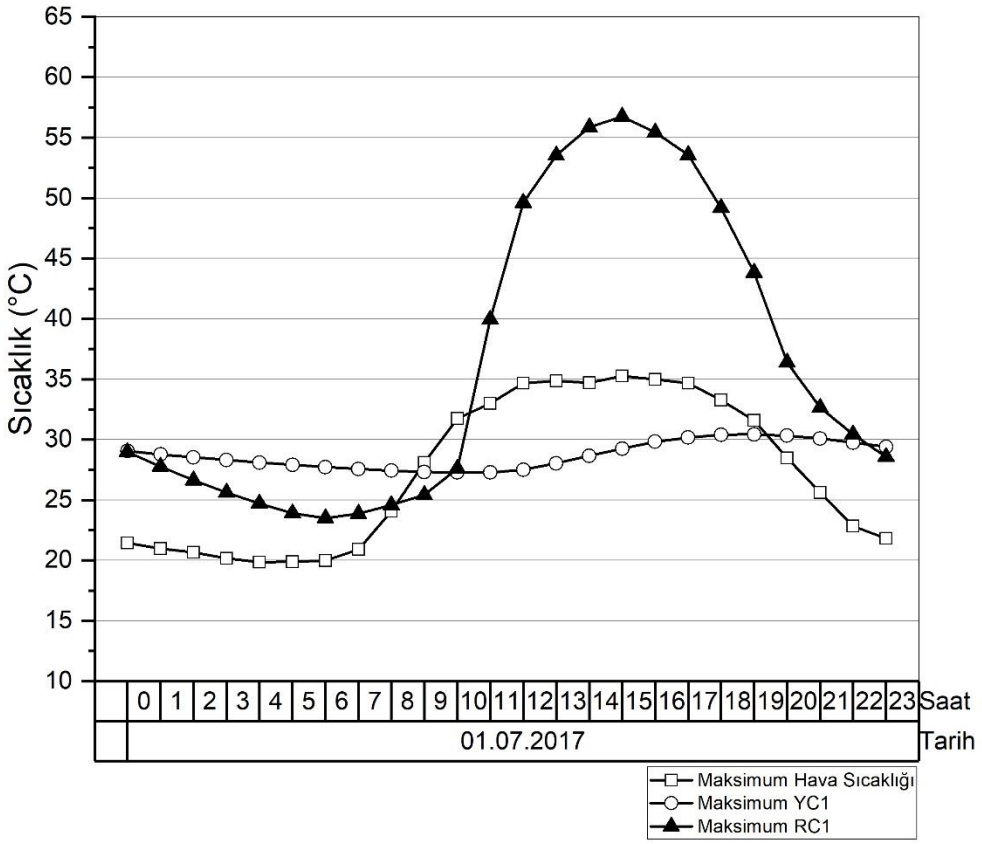
Yapılan çalışmada 2019-2020 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 6 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığının (RC1), Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (YC1) daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Nisan 2020 (9,50°C), Mayıs 2020 (4,23°C), Temmuz 2020 (5,39°C), Ağustos 2020 (3,85°C), Eylül 2020 (1,88°C), Ekim 2020 (0,58°C)'dir. Kalan 4 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1), Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığından (RC1) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2019 (1,29°C), Ocak 2020 (1,09°C), Şubat 2020 (0,37°C), Kasım 2020 (1,22°C)'dır. İki katman arasındaki en fazla sıcaklık farkı Nisan (9,50°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.37). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) arasındaki en büyük sıcaklık farkı Nisan (8,79°C) ayında saptanmıştır.2019-2020 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (YC1) ve Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı (RC1) verileri Mart 2020 ve Haziran 2020 aylarında elde edilememiştir.



Şekil 4.37: 2020 yılı yalıtım katmanlarının aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.4.7. Yalıtım Katmanlarının En Yüksek - En Düşük Sıcaklık Değerleri

İki çatı yüzeyinin yalıtım katmanları incelendiğinde aralarında yüksek sıcaklık farkları ortaya saptanmıştır. Ortalama Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinin 1-10°C üzerinde seyrettiği görülmüştür. 2015-2020 yılları ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde benzer motifler görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında yaz mevsimlerinden elde edilen en yüksek sıcaklık 01.07.2017 (35,28°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.38). Bu tarihte Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı sıcaklığı (56,73°C), Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı sıcaklığından (30,43°C) 26,30°C daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.19).

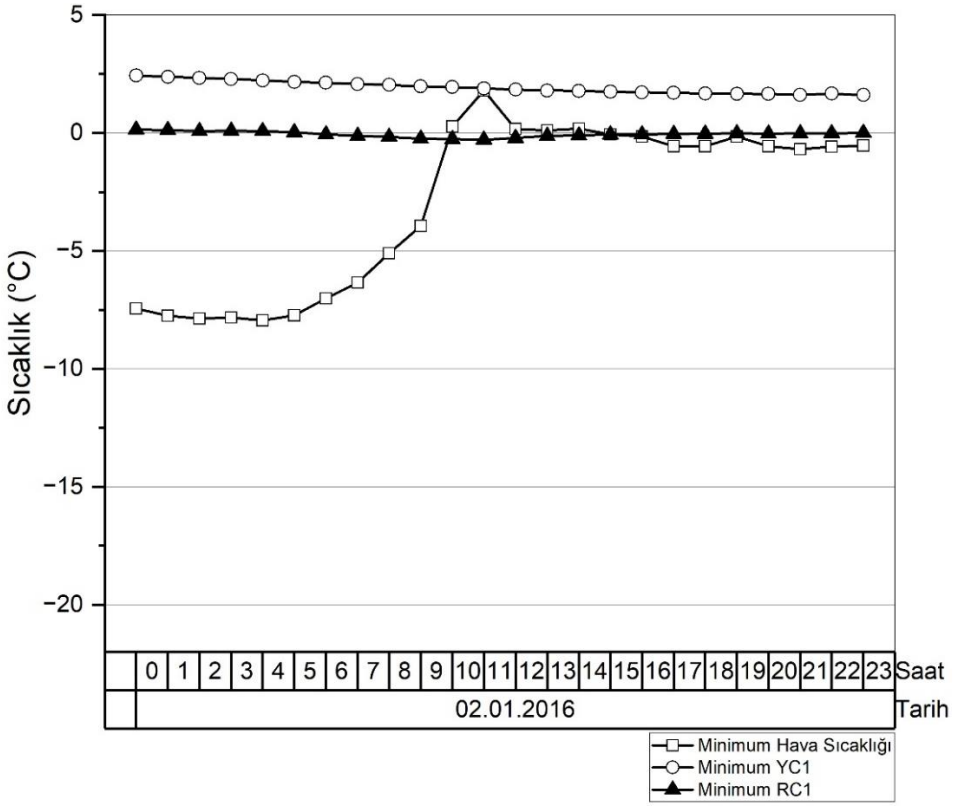


Şekil 4.38: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün yalıtım katmanları sıcaklık değerleri

Tablo 4.19: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yalıtım katmanları sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Yüksek Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı	Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı
YAZ	2015	28.07.2015	33,72	53,78	30,65
	2016	17.06.2016	33,44	54,02	27,44
	2017	1.07.2017	35,28	56,73	30,43
	2018	17.07.2018	31,72	49,51	25,82
	2019	3.08.2019	32,56	52,25	28,11
	2020	29.07.2020	30,45	50,03	29,13

Kış ayı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında iki yalıtım katmanı arasında 0,1-3,5°C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Yeşil çatı Yalıtım Katmanı ve Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı 2015, 2016 ve 2020 yıllarında ortalama hava sıcaklığına denk veya daha düşük sıcaklık değerleri yansıtmıştır. Aynı iki yalıtım katmanı 2017, 2018 ve 2019 yıllarında ortalama hava sıcaklığından daha yüksek sıcaklık değeri oluşturmuştur. 2015-2020 yılları arasında kış mevsimlerinden elde edilen en düşük sıcaklık 02.01.2016 (-7,95°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.39). Hava sıcaklığının en düşük değerde olduğu bu tarihte Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı sıcaklığı (1,6°C), Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı sıcaklığından (-0,28°C) 1,88°C daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.20).



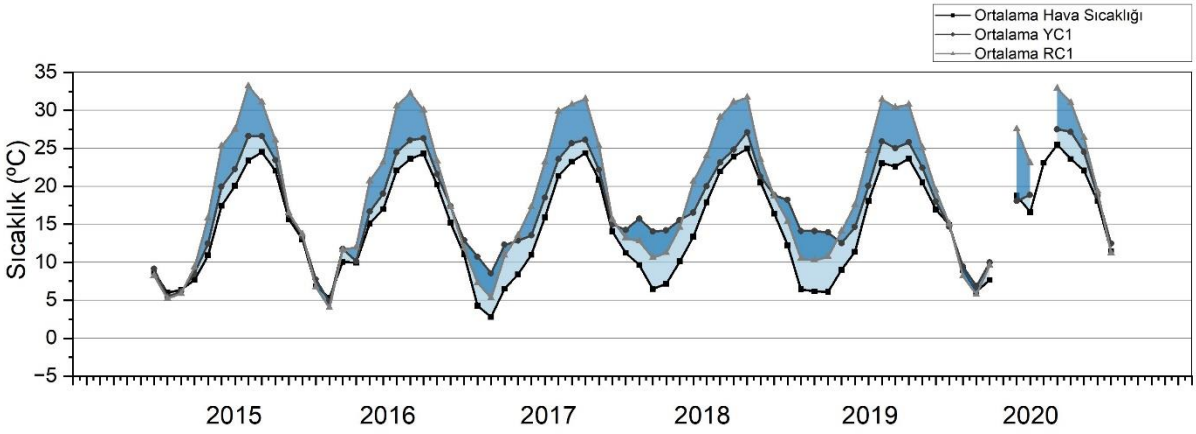
Şekil 4.39: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün yalıtım katmanları sıcaklık değerleri

Tablo 4.20: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, yalıtım katmanları sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Düşük Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı	Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı Sıcaklığı
KIŞ	2015	9.01.2015	-6,67	-5,93	2,56
	2016	2.01.2016	-7,95	-0,28	1,6
	2017	7.01.2017	-5,04	1,6	8,47
	2018	28.02.2018	-2,04	2,89	10,51
	2019	9.01.2019	-3,59	1,17	10,56
	2020	9.02.2020	-2,72	0,81	8,96

4.4.8. Yalıtım Katmanı Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri

Tüm yılların yalıtım katmanı sıcaklık verileri karşılaştırıldığında benzer desenler görülmektedir. Özellikle yaz aylarında iki yalıtım katmanı arasında ciddi sıcaklık farkları ölçülmüştür. Kış aylarına bakıldığında ise yeşil çatı ile örtülü olan yalıtım katmanının geleneksel çatı yalıtım katmanına kıyasla daha yüksek sıcaklıkta olduğu görülmektedir (Şekil 4.40). 2015-2020 sonbahar mevsimleri incelendiğinde tüm veriler birbirlerine yakın sıcaklık değerleri göstermiştir.



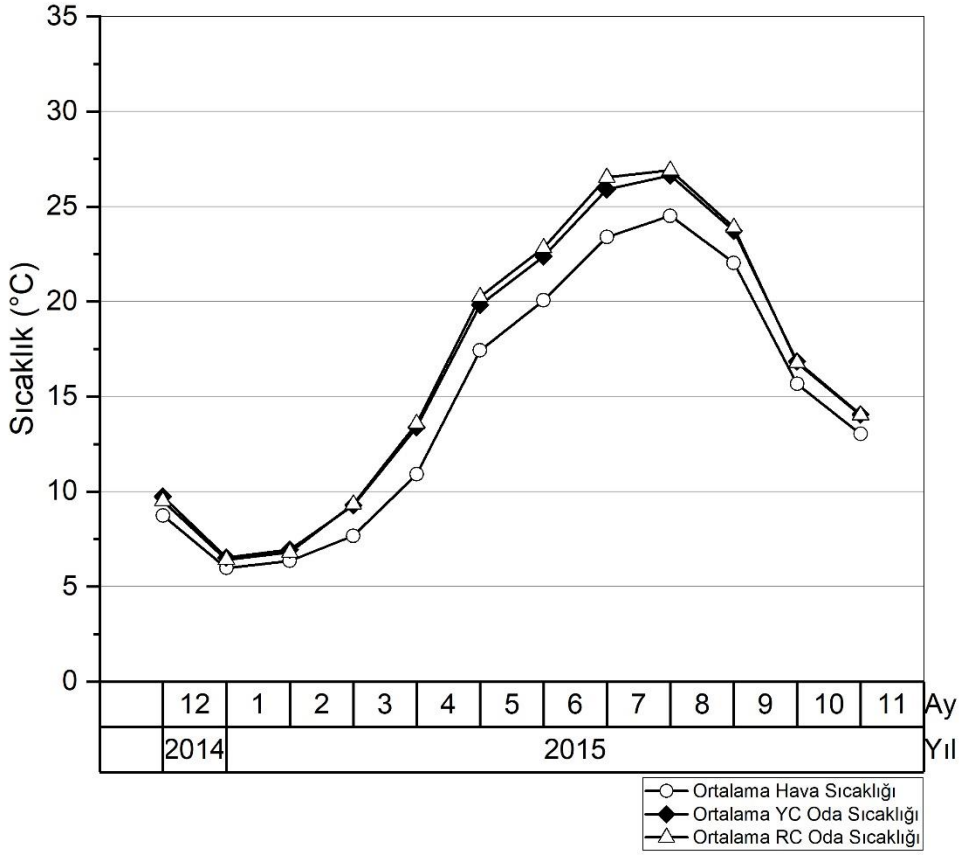
Şekil 4.40: 2015-2020 yılları ortalama yalıtım katmanı ve hava sıcaklığı değerleri[4]

[4] Koyu taralı bölümler kaynak çatı yalıtım katmanı ile yeşil çatı yalıtım katmanı arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Açık taralı bölümler ortalama hava sıcaklığı ile yeşil çatı yalıtım katmanı sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir.

4.5. İç Mekan Sıcaklığı

4.5.1. 2014-2015 İç Mekan Sıcaklığı

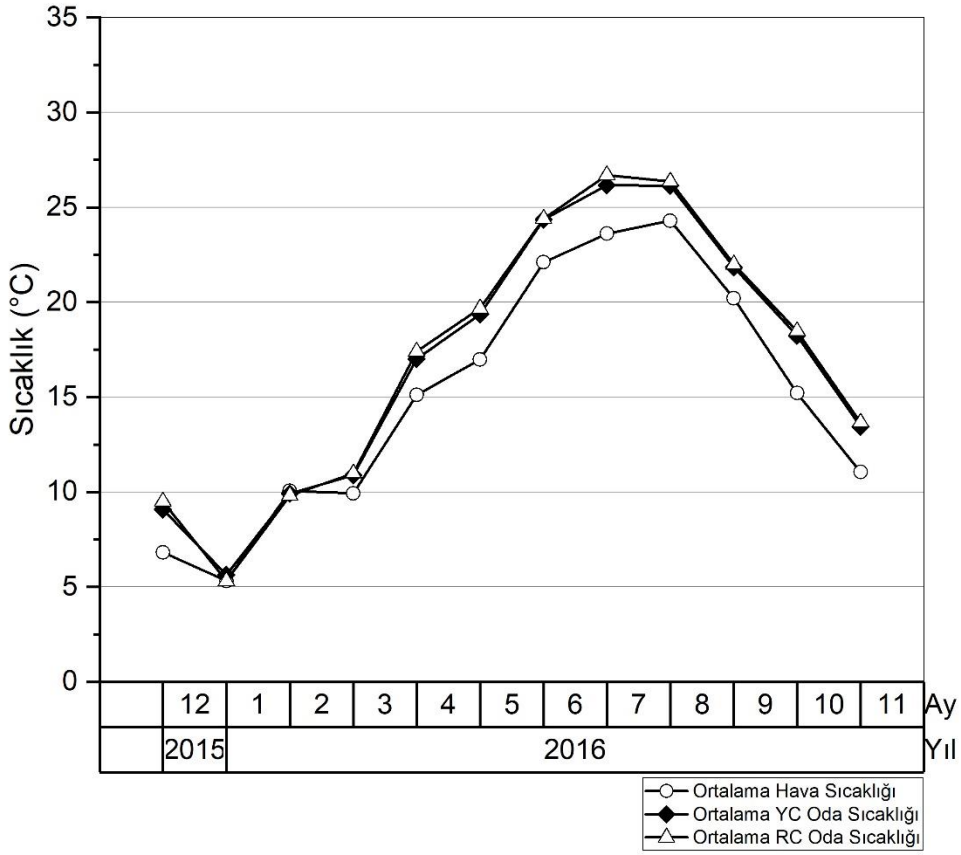
Yapılan çalışmada 2014-2015 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 7 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2015 (0,04°C), Nisan 2015 (0,18°C), Mayıs 2015 (0,42°C), Haziran 2015 (0,45°C), Temmuz 2015 (0,62°C), Ağustos 2015 (0,26°C), Eylül 2015 (0,19°C)'dür. Kalan 5 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Aralık 2014 (0,22°C), Ocak 2015 (0,12°C), Şubat 2015 (0,13°C), Ekim 2015 (0,07°C), Kasım 2015 (0,03°C)'dır. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Temmuz (0,62°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.41). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Temmuz (3,14°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.41: 2015 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.2. 2015-2016 İç Mekan Sıcaklığı

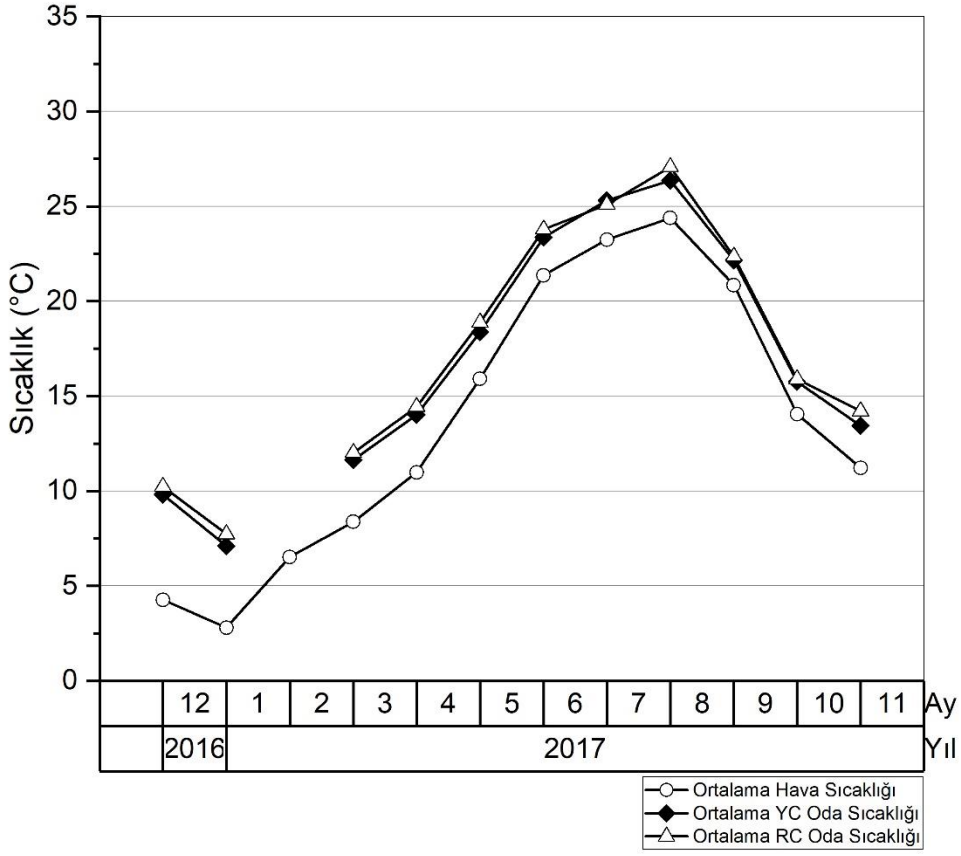
Yapılan çalışmada 2015-2016 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 10 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2015 (0,41°C), Mart 2016 (0,10°C), Nisan 2016 (0,39°C), Mayıs 2016 (0,31°C), Haziran 2016 (0,04°C), Temmuz 2016 (0,53°C), Ağustos 2016 (0,21°C), Eylül 2016 (0,14°C), Ekim 2016 (0,23°C), Kasım 2016 (0,21°C)'dır. Kalan 2 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Ocak 2016 (0,31°C), Şubat 2016 (0,08°C)'dır. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Temmuz (0,53°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.42). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Ekim (3,26°C) ayında saptanmıştır.



Şekil 4.42: 2016 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.3. 2016-2017 İç Mekan Sıcaklığı

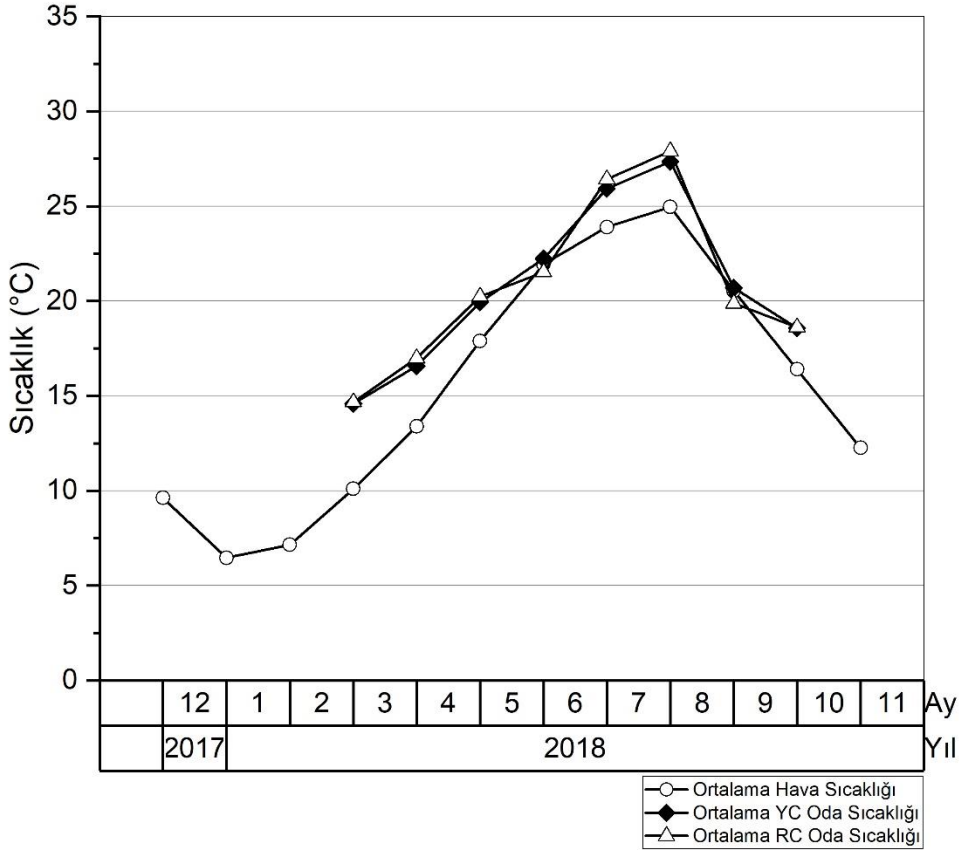
Yapılan çalışmada 2016-2017 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 10 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2016 (0,41°C), Ocak 2017 (0,62°C), Mart 2017 (0,38°C), Nisan 2017 (0,41°C), Mayıs 2017 (0,50°C), Haziran 2017 (0,41°C), Ağustos 2017 (0,71°C), Eylül 2017 (0,20°C), Ekim 2017 (0,13°C), Kasım 2017 (0,76°C)'dır. Kalan 1 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu ay; Temmuz 2017 (0,21°C)'dur. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Ağustos (0,71°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.43). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Aralık (5,97°C) ayında saptanmıştır. 2016-2017 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı verileri Şubat ayında elde edilememiştir.



Şekil 4.43: 2017 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.4. 2017-2018 İç Mekan Sıcaklığı

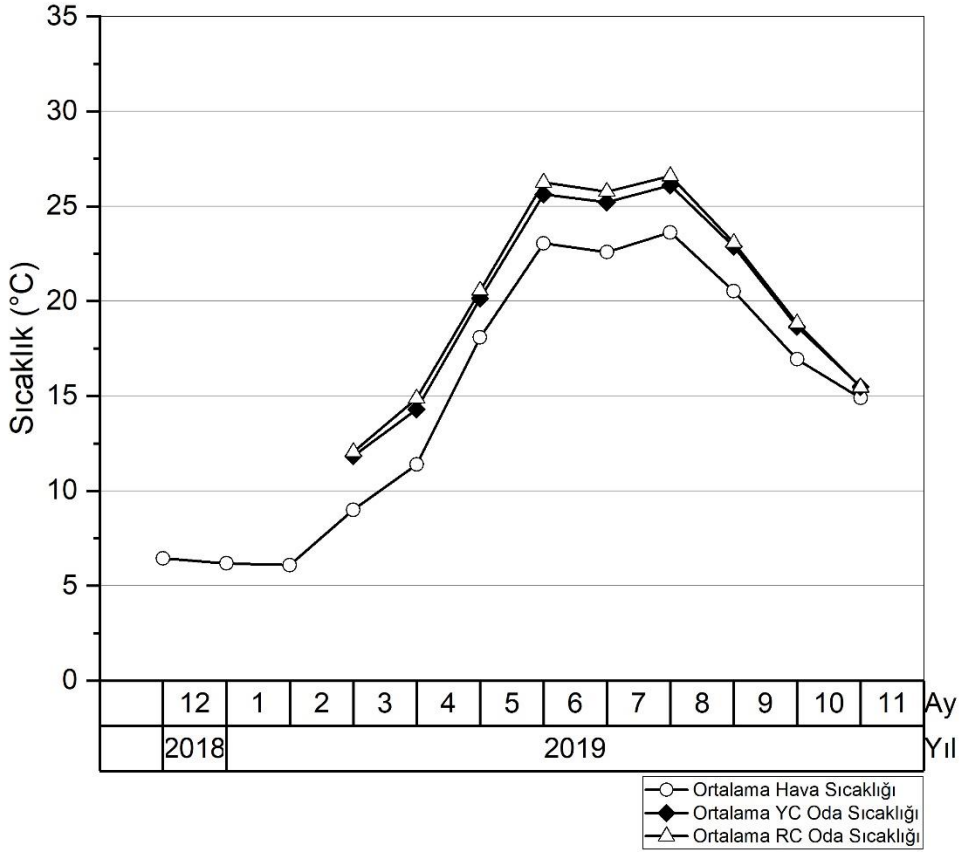
Yapılan çalışmada 2017-2018 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 6 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2018 (0,07°C), Nisan 2018 (0,41°C), Mayıs 2018 (0,29°C), Temmuz 2018 (0,49°C), Ağustos 2018 (0,55°C), Ekim 2018 (0,03°C)'dir. Kalan 2 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Haziran 2018 (0,71°C), Eylül 2018 (0,81°C)'dur. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Eylül (0,81°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.44). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Mart (4,57°C) ayında saptanmıştır. 2017-2018 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı verileri Aralık 2017, Ocak 2018, Şubat 2018 ve Kasım 2018 aylarında elde edilememiştir.



Şekil 4.44: 2018 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.5. 2018-2019 İç Mekan Sıcaklığı

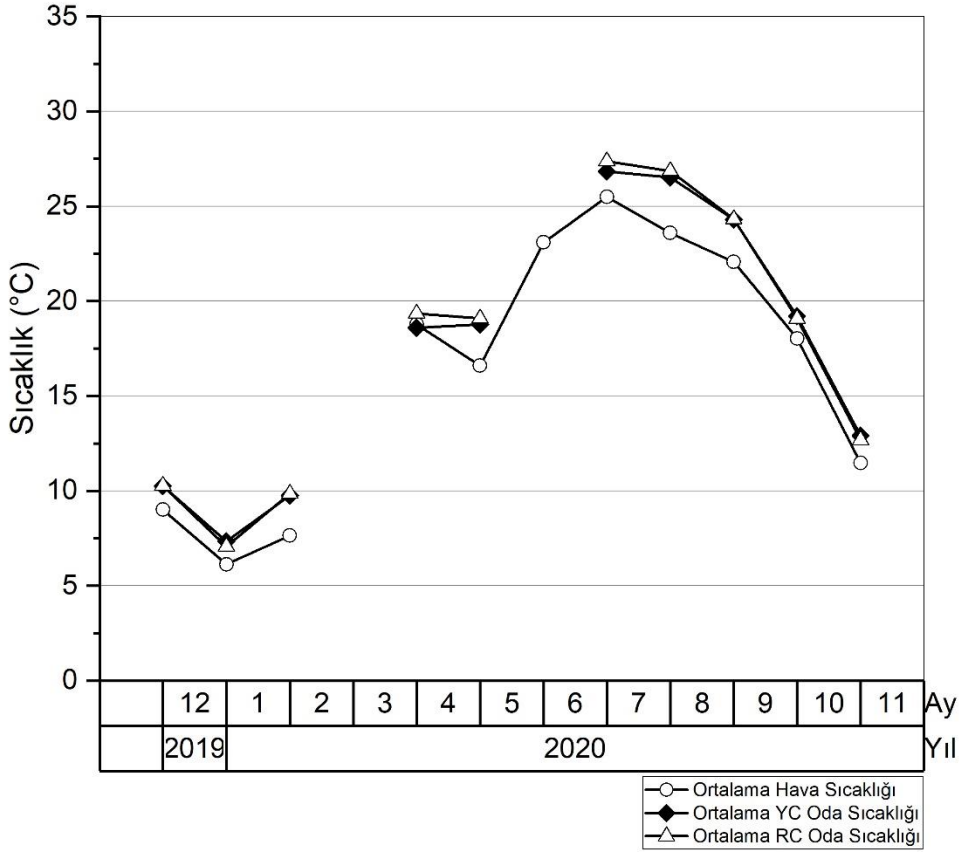
Yapılan çalışmada 2018-2019 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 8 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Mart 2019 (0,21°C), Nisan 2019 (0,58°C), Mayıs 2019 (0,43°C), Haziran 2019 (0,64°C), Temmuz 2019 (0,56°C), Ağustos 2019 (0,48°C), Eylül 2019 (0,19°C), Ekim 2019 (0,17°C)'dir. Kalan 1 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu ay; Kasım 2019 (0,03°C)'dır. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Haziran (0,64°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.45). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Nisan (3,48°C) ayında saptanmıştır. 2018-2019 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı verileri Aralık 2018, Ocak 2019 ve Şubat 2019 aylarında elde edilememiştir.



Şekil 4.45: 2019 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.6. 2019-2020 İç Mekan Sıcaklığı

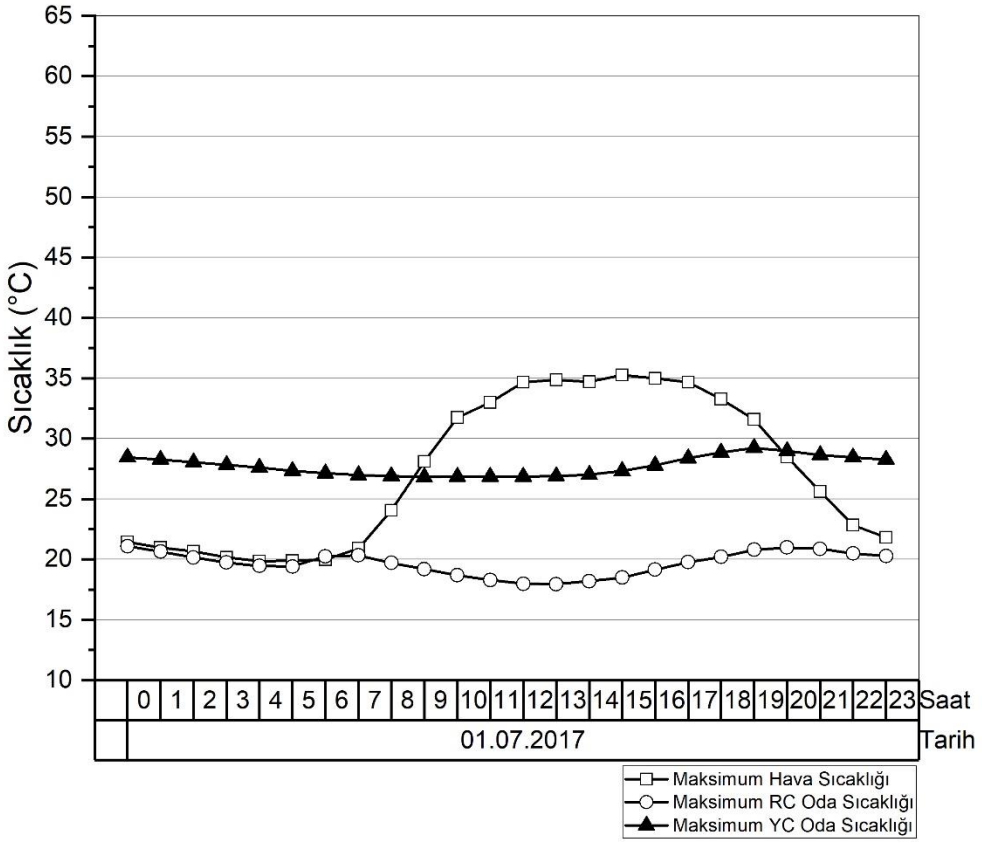
Yapılan çalışmada 2019-2020 yıllarına ait Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Hava Sıcaklığı olmak üzere 3 veri seti incelenmiştir. Elde edilen verilerde, yılın 7 ayı boyunca Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığının, Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu aylar; Aralık 2019 (0,02°C), Şubat 2020 (0,10°C), Nisan 2020 (0,76°C), Mayıs 2020 (0,31°C), Temmuz 2020 (0,54°C), Ağustos 2020 (0,33°C), Eylül 2020 (0,03°C)'dir. Kalan 3 aylık süreçte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı, Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu aylar; Ocak 2020 (0,27°C), Ekim 2020 (0,12°C), Kasım 2020 (0,21°C)'dir. İki oda arasındaki en fazla sıcaklık farkı Nisan (0,76°C) ayında görülmüştür (Şekil 4.46). Ortalama Hava Sıcaklığı ile Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı arasındaki en büyük sıcaklık farkı Ağustos (3,27°C) ayında saptanmıştır. 2019-2020 yılına ait bu grafikte Ortalama Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı ve Ortalama Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı verileri Mart ve Haziran ayında elde edilememiştir.



Şekil 4.46: 2020 yılı iç mekanların aylık ortalama sıcaklık değerleri

4.5.7. İç Mekan En Yüksek - En Düşük Sıcaklık Değerleri

2015-2020 yılları arasındaki ortalama iç mekan sıcaklık grafikleri incelendiğinde, oda sıcaklıklarının, ortalama hava sıcaklığından 0,01-5,9°C daha yüksek çıktığı görülmüştür. Yıl genellerine bakıldığında iki oda arasında 0,03-0,8°C'lik sıcaklık farkları görülmektedir. 2015-2020 yılları yaz ayları genelinde yüzeyi yeşil çatı ile kaplı olan oda, kaynak çatı yüzeyi ile kaplı olan odadan 0,04-0,7°C daha düşük sıcaklık değerleri yansıtmıştır. 2015-2020 yılları arasında yaz mevsimlerinden elde edilen en yüksek sıcaklık 01.07.2017 (35,28°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.47). Bu tarihte Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı (21,09°C), Yeşil Çatı Oda Sıcaklığından (29,23°C) 8,14°C daha düşük çıkmıştır (Tablo 4.21).

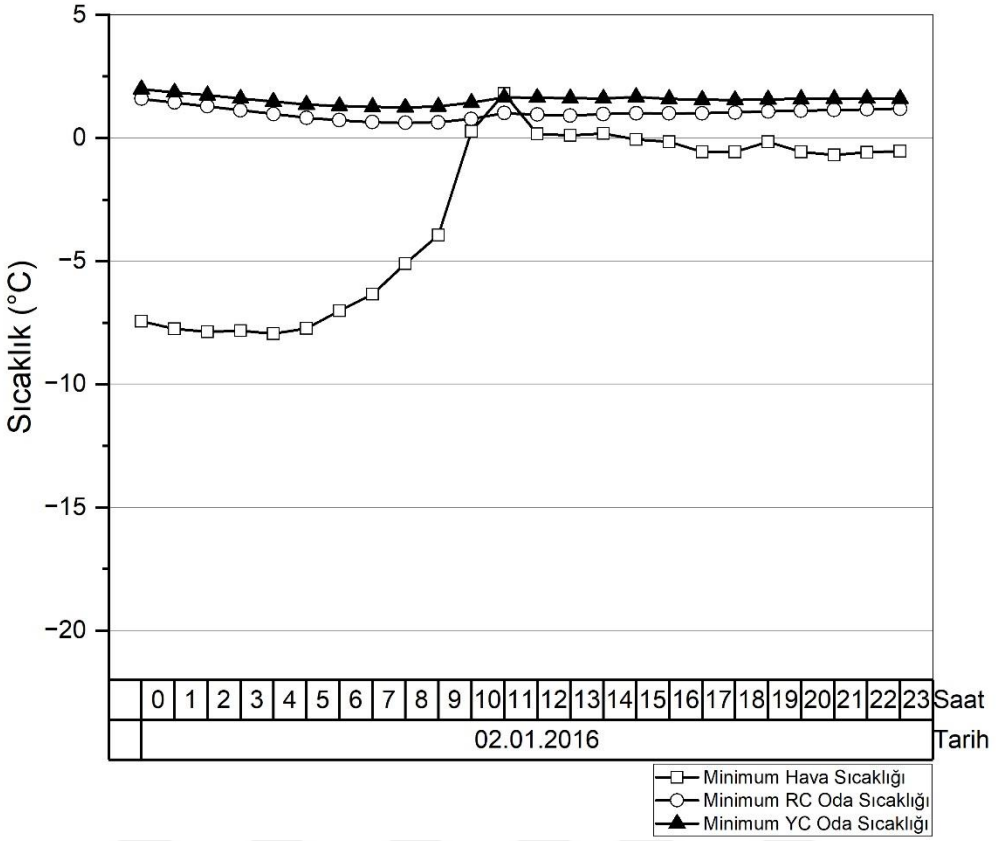


Şekil 4.47: Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklığa denk gelen günün iç mekan sıcaklık değerleri

Tablo 4.21: 2015-2020 Yaz mevsiminde en yüksek hava sıcaklığına denk gelen günlerin, iç mekan sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Yüksek Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı	Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı
YAZ	2015	28.07.2015	33,72	31,52	30,26
	2016	17.06.2016	33,44	27,72	27,09
	2017	1.07.2017	35,28	21,09	29,23
	2018	17.07.2018	31,72	Veri Elde Edilememiştir	Veri Elde Edilememiştir
	2019	3.08.2019	32,56	30	28,95
	2020	29.07.2020	30,45	29,85	28,2

Kış ayı sıcaklık değerleri incelendiğinde 2017-2018 ve 2018-2019 yılları arasındaki 2 yıllık süreçte sıcaklık verilerinin elde edilemediği görülmüştür. Kalan 4 yıllık kış mevsimleri boyunca oda sıcaklıkları arasında benzer bir denge görülmemiştir. Bazı yıllar yeşil çatı ile kaplı oda daha iyi performans gösterirken bazı yıllarda da Kaynak çatı daha iyi performans göstermiştir. Yeşil çatı kaplı odanın kaynak çatı kaplı odadan daha yüksek sıcaklıkta çıktığı aylarda 0,08-0,3°C'lik fark oluşturmuştur. Kaynak Çatı kaplı odanın yeşil çatı kaplı odadan daha yüksek çıktığı aylarda ise 0,02-0,6°C'lik fark görülmüştür. 2015-2020 yılları arasında kış mevsimlerinden elde edilen en düşük sıcaklık 02.01.2016 (-7,95°C) tarihinde görülmüştür (Şekil 4.48). Hava sıcaklığının en düşük değerde olduğu bu tarihte Yeşil Çatı Oda sıcaklığı (1,24°C), Kaynak Çatı Oda sıcaklığından (0,61°C) 0,63°C daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.22).



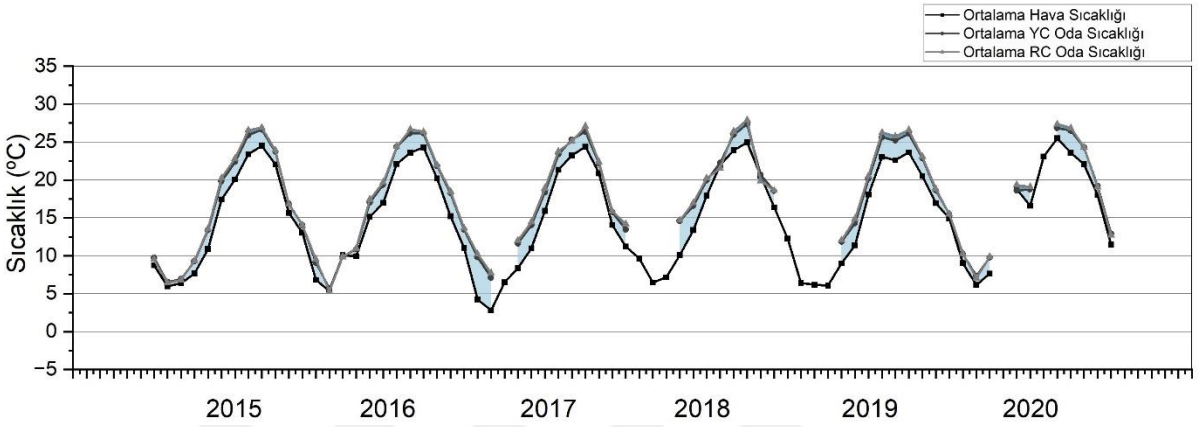
Şekil 4.48: Kış mevsiminde en düşük sıcaklığa denk gelen günün iç mekan sıcaklık değerleri

Tablo 4.22: 2015-2020 Kış mevsiminde en düşük hava sıcaklığına denk gelen günlerin, iç mekan sıcaklık değerleri

	Yıl	Tarih	En Düşük Hava Sıcaklığı	Kaynak Çatı Oda Sıcaklığı	Yeşil Çatı Oda Sıcaklığı
KIŞ	2015	9.01.2015	-6,67	1,59	2,71
	2016	2.01.2016	-7,95	0,61	1,24
	2017	7.01.2017	-5,04	Veri Elde Edilememiştir	Veri Elde Edilememiştir
	2018	28.02.2018	-2,04	Veri Elde Edilememiştir	Veri Elde Edilememiştir
	2019	9.01.2019	-3,59	Veri Elde Edilememiştir	Veri Elde Edilememiştir
	2020	9.02.2020	-2,72	Veri Elde Edilememiştir	Veri Elde Edilememiştir

4.5.8. İç Mekan Tüm Yıllar Sıcaklık Değerleri

Tüm yılların iç mekan sıcaklık verileri karşılaştırıldığında iki ortam arasında yakın sıcaklık değerleri görülmüştür (Şekil 4.49). İç mekan sıcaklık verilerinin en eksiksiz olduğu 2015 yılı incelendiğinde, yeşil çatı ile kaplı olan odanın kış mevsiminde daha sıcak (0,2°C), yaz mevsiminde ise daha serin (0,6°C) olduğu görülmektedir.



Şekil 4.49: 2015-2020 yılları ortalama iç mekan ve hava sıcaklığı değerleri[5]

[5] Koyu taralı bölümler kaynak çatı iç mekan ile yeşil çatı iç mekan arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Açık taralı bölümler ortalama hava sıcaklığı ile yeşil çatı iç mekan sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Bu araştırma ile, yeşil çatı sistemlerinin bina enerji dengesine ve kentsel ısı adasına etkileri değerlendirilmiştir. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Yeşil Çatı Araştırma Projesi Gözlem İstasyonu'nda ölçülen 6 yıllık veri seti incelenmiş, binaya ve çevreye verdiği etkiler değerlendirilmiştir. Yeşil çatı ve kaynak çatı sıcaklıkları; yüzey katmanı, yetiştirme ortamı, yalıtım katmanı ve iç mekan olmak üzere 4 farklı katmanda incelenmiştir. Sıcaklığın en yüksek- en düşük değerlerine göre mevsimsel değerlendirmeler yapılmıştır.

(Bevilacqua ve diğ., 2016) yeşil çatı sisteminin, yaz aylarında bitki örtüsünün gölgeleme etkisi, sistemin artan termal kütlesi ve evapotranspirasyon, binaya çatıdan giren ısı akışlarının azaltılması gibi etkiler sağladığını, kışın ise iç mekanlardan dış ortama ısı kayıplarını azaltmak için ek yalıtım sağladığını bildirmektedir. Elde edilen bulgularda bu durum doğrulanmaktadır. Çatı sisteminin dış yüzey katmanı sıcaklık ortalamaları incelendiğinde; geleneksel çatı yüzey sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinin 7-10 °C üzerinde seyrettiği görülmüştür. Yaz aylarında ortalama yeşil çatı yüzey sıcaklığı değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinden 1- 3 °C daha yüksek görülmüş ve bu değerler geleneksel çatıya kıyasla daha yakın bir dalgalanma göstermiştir. Kış ayı ortalamaları incelendiğinde ise iki katman arasında 1-2 °C'lik fark olduğu saptanmıştır.

İtalya'da üniversite binası üzerine kurulmuş geniş bir yeşil çatının deneysel analizini yapan bir çalışmada ise, yaz aylarında herhangi bir yalıtım malzemesi olmayan yeşil çatıların, geleneksel çatılara göre yaklaşık 12°C daha düşük sıcaklıklara sahip olduğunu, kış mevsiminde bile konvansiyonel ve yeşil çatılar arasındaki sıcaklık farkının 4°C kadar olduğunu belirtmiştir (Bevilacqua ve diğ., 2016).

Çalışmada elde edilen bulgularda yeşil çatı sisteminin yetiştirme ortamı sıcaklığı ile ortalama hava sıcaklığı arasında ortalama 0,06-4,3°C sıcaklık farkı görülmüştür. En yüksek sıcaklık farkları ise 3-4°C olarak saptanmıştır. Bu en yüksek sıcaklık değerleri her yıl farklı aylarda ve mevsimlerde görülmektedir. Yaz aylarında yeşil çatı yetiştirme ortamı sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklık değerlerinden 2-4°C daha yüksek görülmüştür. Kış ayı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında yeşil çatı yetiştirme ortamı 0,3-4°C'lik sıcaklık farkı oluşturmuştur.

Estonya'da yapılan benzer özellikteki sığ yetiştirme ortamlı bir çalışma, 10 cm kalınlığında yetiştirme ortamına sahip bir yeşil çatının, yaz aylarında sıcaklık dalgalanmalarını önemli ölçüde azalttığını, kış aylarında ise etkili bir ısı yalıtımı sağladığını tespit edilmiştir. Ek olarak yeşil çatıların, yetişme ortamı kalınlığı ve bitki yoğunluğu az olsa bile, kentlerdeki hava sıcaklığı değerlerini düşürebileceği belirtilmiştir (Teemusk ve Mander, 2009).

Permpituck ve Namprakai (2012) yaptıkları çalışmada, 10 cm ve 20 cm toprak kalınlığına sahip iki farklı yeşil çatı ve geleneksel çatı yüzeyini karşılaştırmıştır. Çalışma, 10 cm toprak derinliğine sahip yeşil çatının, açık çatı yüzeyine göre %46,24, 20 cm toprak derinliğine sahip çatı yeşil çatının ise, açık çatı yüzeyine göre %93,96 daha az ısı transferi sağlayabileceğini göstermiştir. Toprak derinliği 10 cm olan yeşil çatının yıllık enerji tüketimi, açık çatı yüzeyine göre %14,53 daha azdır. Toprak derinliği 20 cm olan çatı örtüsünün ise açık çatı yüzeyine göre %20,65 daha az ısı transferi sağlamaktadır. Sonuçlar ayrıca, zemin tabakasının kalınlığının artmasının binanın enerji tüketimini azalttığını göstermektedir.

İki çatı yüzeyinin yalıtım katmanları incelendiğinde aralarında yüksek sıcaklık farkları saptanmıştır. Ortalama kaynak çatı yalıtım katmanı sıcaklık değerleri, ortalama hava sıcaklığı değerlerinin 1-10°C üzerinde seyrettiği görülmüştür. Sıcaklığın en yüksek değerde olduğu günler geleneksel çatı yalıtım katmanı sıcaklığı, yeşil çatıya kıyasla 30°C daha sıcak olduğu görülmüştür. Kış ayı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında iki yalıtım katmanı arasında 0,1-3,5°C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur.

Japonya'da yaz aylarında yapılan ölçümler sonucunda çim kaplı yeşil çatıdan elde edilen veriler yüzey çatı katmanı sıcaklığının 60°C'den 30°C'ye düştüğünü göstermiştir. Bu sonuçlar, buharlaşmanın soğutma etkisinin yeşil çatılarda ısı artışını azaltmada önemli olduğunu doğrulamıştır. Ayrıca, şehir ölçeğinde yapılan diğer simülasyon çalışmaları, yeşil çatıların potansiyel sıcaklık düşüşünü 0.3-3°C arasında sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Santamouris, 2014a).

İtalya Ancona'da yapılan başka bir çalışma, yaz aylarında yeşil çatıların yüzey sıcaklıklarının ve günlük sıcaklık değerlerinin düşmesini sağladığını göstermiştir. Bitki tabakasının gölgeleme etkisi ve evapotranspirasyon ve toprak yüzeyinin oluşturduğu termal kütle sayesinde çatı alt yüzeyinde sıcaklıkların dış hava sıcaklığından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kış aylarında ise yeşil çatıların ek bir yalıtım etkisi yaratarak ısı dağılımını azalttığı belirtilmiştir (D'orazio ve diğ., 2012).

Farklı iki çatı yüzeyi ile kaplı iç mekan sıcaklık verileri incelendiğinde, oda sıcaklıklarının, ortalama hava sıcaklığından 0,01-5,9°C daha yüksek çıktığı görülmüştür. Yıl genellerine bakıldığında iki oda arasında 0,03-0,8°C'lik sıcaklık farkları görülmektedir. Bazı yıllar yeşil çatı ile kaplı oda daha iyi performans gösterirken bazı yıllarda da kaynak çatı daha iyi performans göstermiştir. Yeşil çatı kaplı odanın kaynak çatı kaplı odadan daha yüksek sıcaklıkta çıktığı aylarda 0,08-0,3°C'lik fark oluşturmuştur. Kaynak Çatı kaplı odanın yeşil çatı kaplı odadan daha yüksek çıktığı aylarda ise 0,02-0,6°C'lik fark görülmüştür.

Yunanistan'da yapılan bir araştırma, yeşil çatıların kapladığı alana bağlı olarak soğutma için kullanılan enerjiyi %2 ile %48 arasında azalttığını ortaya koymuştur. Yeşil çatılar, kurulduğu binanın bina iç mekanlarında hava sıcaklığının modülasyonuna katkıda bulunmaktadır. Yaz döneminde yeşil çatılı dış yüzeyler geleneksel düz çatılara göre daha az ısıtılır. Ayrıca yaz döneminde ekili olan yeşil çatılar ısı kayıplarını da azaltmaktadır (Niachou ve diğ., 2001).

Singapur NTU'da kurulan başka bir yeşil çatı sistemi ise, minimum bakım gerektiren otomatik izleme cihazları ile donatılmıştır. Termal ve hidrolojik etkilerini araştırmak için yeşil çatı üzerinde sürekli veri izleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma, yeşil çatıların gün boyunca (10:00-16:00) geleneksel bir çatıya kıyasla yüzey sıcaklığını 7.3ºC'ye kadar azaltabileceğini ve ortam hava sıcaklığına ise 0.5ºC'ye kadar etki gösterebileceği belirlenmiştir (Qin, 2013).

Ülkemiz ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer almaktadır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, farklı özellikte iklim tiplerinin doğmasına yol açmıştır (Karasal iklim, Akdeniz iklimi, Marmara iklimi ve Karadeniz iklimi). Yurdumuzun kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle daha ılıman iklim özellikleri görülür (Eken ve ark., 2005). Ülkemizin bu kadar çeşitli iklim yapısına sahip olması sebebiyle ülke genelinde standart bir yeşil çatı uygulaması gerçekleştirmek mümkün değildir. Yeşil çatılar iklim koşullarına bağlı olarak farklı avantajlar ve dezavantajlar sunabilir. İstanbul gibi nemli ve ılıman bir iklimin hakim olduğu bölgelerde yeşil çatılar, bitki çeşitliliği, su tutma kapasitesi ve hava kalitesini iyileştirme gibi avantajlar sağlayabilir. Ancak, aşırı yağışların olduğu dönemlerde bitki seçiminin ve drenaj sisteminin doğru yapılmaması, olumsuz sonuçlara yol açabilir. Diğer yandan, Ege ve Akdeniz gibi kıyı bölgelerinde sıcak ve kuru iklim koşulları nedeniyle yeşil çatılar daha fazla bakım ve sulama gerektirebilir. Bu nedenle, iklim koşulları göz önünde bulundurularak yerel iklimin yeşil çatı sistemlerine uygunluğu

değerlendirilmelidir. Türkiye ile benzer iklim şartlarına sahip ülkelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde, benzer sonuçlar bulunmaktadır.

Sistem katmanlarından elde edilen mevsimsel verilere göre, yıllık bazda benzer sonuçlar görülmektedir. Uygulamanın yapıldığı koşullar göz önüne alındığında uygulama alanının ormanın yakınında olduğu ve mümkün olan en sığ ve minimal koşullara sahip bir yeşil çatı sistemi oluşturulduğu görülmektedir. Bu zorlu koşullarda dahi yeşil çatı katmanları hem bina enerji dengesine hem de çevreye olumlu etkilerde bulunmuştur. Mevsimsel olarak yüzey katmanları karşılaştırıldığında tüm mevsimlerde gün sıcaklığının en yüksek olduğu değerlerde yeşil çatı yüzeyinin 3-10°C daha serin olduğu görülmektedir. Ortalama sıcaklıklara bakıldığında ise yeşil çatı kış ayı hariç diğer 3 ayda kaynak çatıdan daha düşük sıcaklıklara sahiptir. Yalıtım katmanları incelendiğinde sıcaklık dalgalanmalarından en çok kaynak çatının etkilendiği görülmektedir. Yalıtım katmanının üstünde bulunan bitkisel katman, yetiştirme katmanı, drenaj katmanı ve filtre katmanı sayesinde sıcaklık dalgalanmalarından kaynak çatıya göre etkilenmemiştir. Oluşturulan yeşil çatı çok sığ olmasına rağmen yalıtım katmanı kaynak çatıya kıyasla 20-30°C daha serin olduğu gözlemlenmiştir. Yeşil çatı ile kaplı bu yalıtım katmanı sıcaklık dalgalanmalarından daha az etkilendiği için işlevini koruyup daha uzun ömürlü ve sürdürülebilir olacaktır. Diğer yandan kaynak çatıda kullanılan yalıtım katmanı sıcaklık dalgalanmalarından çok etkilendiğinden malzeme ömrü kısalacak ve işlevini daha kolay kaybedecektir. Bu da uzun vadede bina enerji dengesini olumsuz etkileyecek ve çevreye daha da çok ısı yayacaktır (Bknz. Ekler Bölümü, Ek-1 ve Ek-2).

Yeşil çatılar, enerji tüketimini azaltmak ve iç mekanda ısıl konforu korumak için oldukça etkilidir. Aynı zamanda bu çatılar kentsel ısı adası etkisini de hafifletmeye yardımcı olmaktadır. Bu faydalar; bitki örtüsünün gölgeleme etkisi, bitkileri ve yetiştirme ortamını kapsayan evapotranspirasyon ve özellikle kış aylarındaki ısı yalıtımı yardımıyla sağlanmaktadır. Ayrıca yetiştirme ortamı ve yalıtım tabakasındaki artışla birlikte enerji tüketimi de azalmaktadır. Hatta farklı yeşil çatı türleri, özellikle soğutma mevsiminde dikkate değer sonuçlar vermektedir (Beşir ve Cüce, 2018). Yeşil çatıların genellikle düşük maliyetler ile kent ısısını düşürebileceği ve yalıtım etkisiyle binaları soğutarak binalara enerji tasarrufu sağlayabileceği belirtilmektedir (Lehmann, 2014).

(Fioretti ve ark., 2010) yeşil çatının yarattığı en önemli etkilerden biri sıcaklık dalgalanmalarını ve yüzey sıcaklığının azaltılması olduğunu bildirmiştir. Yapılan çalışmada, yağış klimatolojisi

ve genel iklim koşullarının az elverişli olduğu Akdeniz bölgesinde bitki örtüsünün iyi geliştiği ve bina ısı dengesine olumlu etki gösterdiği bildirilmektedir. Bu, yeşil çatı yapısının ısı yalıtım performansının yanı sıra bitki örtüsü tabakası vasıtasıyla güneş radyasyonunun azaltılması için de geçerlidir. Çatı yüzeyinden geçen günlük ısı akışı, yeşil çatının kaynak çatıdan daha iyi performans gösterdiği ve dolayısıyla günlük enerji talebini azalttığını göstermiştir.

Yeşil çatı uygulamalarının, nüfus ve yapılaşmanın yoğun olduğu İstanbul gibi kentlerde olumlu etkiler sağlayabileceği çalışmalardan elde edilen bulgularla desteklenmiştir. Ancak, çarpık kentleşme sonucu tüm mevcut yapılara yeşil çatı uygulamalarının yapılamaması gibi kısıtlar vardır. Mevcut bina yapısının yeşil çatı sistemine uygunluğu değerlendirilmelidir.

Ülkemizde yeşil çatı uygulamalarına yönelik bilinç ve farkındalık yakın tarihlerde oluşmaya başlamıştır. Büyük ölçekli projeler dışında yeşil çatı uygulamalarının örneklerine çoğunlukla rastlanmamaktadır. Yeşil çatı uygulamalarının teşvik edilmesi adına bakanlıklar ya da yerel yönetimlerce oluşturulmuş teşvikler de bulunmamaktadır.

Yoğun yapılaşmanın olduğu sıkışık kent dokusunda yeni üretilen projelerde, kentlerin nefes almasını sağlayarak yaşam kalitesini arttıracak yeşil çatı uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Özellikle profesyonel ve önde gelen mimarlık büroları tarafından üretilen tasarımların ve yarışma projelerinin bu hassasiyeti gösterdiği gözlemlenmektedir. Öte yandan mevcut yapıların çatıları yeşillendirilerek kaybedilen yeşil alanların kısmen geri kazanımı da mümkündür. Ancak bu konuda yeterli farkındalığın ve uygulamanın olmadığı görülmektedir (Kaymak, 2014).

Türkiye'de son dönemde inşa edilen gökdelen ya da alışveriş merkezleri, otel ve hastaneler gibi yapılarda yeşil çatıların oluşturulmaya ve geleneksel çatıların terk edilmeye başlandığı görülmektedir. Ayrıca Türkiye'de gelecek yıllarda yapılması düşünülen ve içerisinde yeşil çatıları barındıran bazı yeni bina ve sitelerin ortaya çıkması, yeşil çatıların Türkiye'deki geleceği açısından önemli gelişmelerdir. Yine de tarafımızdan yapılan tespite göre, Türkiye'de diğer ülkelere göre yeşil çatılar kapladığı alan bakımından az ve yetersiz kalmakta ve yapılış mantığı da ağırlıklı olarak sürdürülebilirlik yerine görsellik sağlamaya odaklanmaktadır (Aras, 2018).

Küresel ısınma çerçevesinde, Türkiye'de küresel ısınmaya paralel olarak ısı adası etkisi olduğu yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Bu durum da Türkiye'de iklim değişimine uyumlu bina teknolojilerine geçilmesinin gerekliliğini bir kere daha bizlere göstermektedir. Uluslararası

alanda yapılan araştırmalar yeşil çatı sistemlerinin iklim değişimine uyum gösterebildiğini ortaya koymuştur. Türkiye'de yeşil çatı sistemlerinin gösterdiği performans bilinmediğinden bu bilinmezlik sistemin yaygınlaşmasında da olumsuz bir etki yaratmaktadır (Aras, 2018).

Dünya ölçeğinde yerel yönetimlerin teşvik ve desteğiyle yaygın hale gelen yeşil çatı sistemleri Türkiye açısından tekil uygulamalar olarak sürmektedir. Bunun sebepleri arasında yeşil çatı sektörünün tam olarak gelişmemiş olması ve yeşil çatıların faydalarına dair yetersiz bilgi öne çıkmaktadır. Kentsel sürdürülebilirlik çerçevesinde yoğun ve seyrek yeşil çatı sistemlerinin çevre mevzuatı içine dahil edilmeleri gerekmektedir (Aras, 2018).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sonuçları, yeşil çatı sistemleriyle kaplanmış olan çatıların, çatı yüzey sıcaklığını 5-30°C, mekân içi hava sıcaklığını ise 0,03-0,8°C düşürdüğünü göstermektedir. Yapılan bu çalışma İstanbul'un Bahçeköy gibi yeşil alan varlığı zengin bir ilçesinde yapılmış ve en sığ koşullarda oluşturulmuş 5 cm yetiştirme ortamlı, 11 m^2 yüzey alanına sahip olan bir alan bile kent ve bina sıcaklık dengesine bu derecede etki edebiliyorsa, kentin daha yoğun yapışmış bölgesinde, daha iyi yetiştirme koşullarına sahip bir sistemde çok daha etkili sonuçlar verecektir.

Yeşil çatı sistemleri, kentsel alanlarda sürdürülebilirlik ve çevresel iyileştirmeler sağlamak için önemli bir çözüm sunmaktadır. Araştırma sonuçlarına dayanarak, yeşil çatıların çatı yüzeyi ve iç mekân sıcaklığını düşürdüğü, çevre kalitesini iyileştirdiği, enerji tasarrufu sağladığı ve kentsel ısı adası etkisini azalttığı görülmüştür. Ayrıca, yeşil çatılar doğal yaşam alanları sağlayarak biyoçeşitliliği artırırken, yağmur sularını emerek sel baskınlarını ve erozyon risklerini azaltmaktadır. Bu olumlu etkileriyle yeşil çatılar, iklim değişikliğiyle mücadele, enerji tüketiminin azaltılması ve kentlerin daha dayanıklı hale getirilmesi gibi hedeflere ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır.

Gelecekteki nüfus artışıyla birlikte kentleşme hızının artması, kentsel ısı adası etkisini daha da hissedilebilir kılacaktır. Kentsel ısı adası etkisini azaltmada bu denli etkili olan yeşil çatı sistemlerinin daha fazla uygulanması ve politikalarla desteklenmesi önem taşımaktadır. Yeşil çatılar, kentlerdeki yeşil alan miktarını artırarak çevresel dengeyi sağlayabilir ve aynı zamanda kent sıcaklık dengesini iyileştirerek yaşam kalitesini artırabilir. Bu sistemlerin yaygınlaşması için teşvikler ve yönergeler oluşturulmalı, yeşil çatılara geçişi teşvik eden politikalar geliştirilmelidir. Böylece, sürdürülebilir kentsel gelişim sağlanarak, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım atılmış olacaktır.

Sonuç olarak, yeşil çatılar günümüzde kentsel ısı adası etkisini azaltmak için uygun maliyetli stratejilerden biri olarak görülmektedir. Yeşil çatıların düşük maliyetlerle kent sıcaklığını düşürdüğü ve yalıtım etkisiyle binalara enerji tasarrufu sağladığı belirtilmektedir. Bu nedenle, yeşil çatıların yaygınlaştırılması ve teşvik edilmesi, sürdürülebilir bir gelecek için atılan önemli adımlardan biri olacaktır.

KAYNAKLAR

Akpınar, E. (2017). Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri Ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, 1, 35–53.

Aras, B. B. (2018). KentsSürdürülebilirlik KapsamindaYeşil Çati Uygulamalari. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 469–504.

Ayçam, İ., & Kınalı, M. (2013). Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 26–34.

Aytin, B. K., & Kisa, O. P. (2016). Contributions of Roof Gardens to Urban Life-Planting Proposals for roofs of New Term Accomodation Buildings in Erdine. *Inonu University Journal of Art and Design*, *6*(14), 1–17. https://doi.org/10.16950/i

Banting, D., Doshi, H., Li, J., Missios, P., Au, A., Currie, Beth Anne, Verrati, M. (2005). Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Prepared for City of Toronto and Ontario centres of Excellence. In *Earth and Environmental Technologies*.

Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*(September 2017), 915–939. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106

Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., & Arcuri, N. (2016). Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. *Energy and Buildings*, 122, 63–79.

Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, 48, 57–65.

Bölük, E. (2016). Aydeniz İklim Siniflandirmasina Göre Türkiye İklimi. *Aydeniz İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*, 18. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/aydeniz.pdf

Cantor, S. L. (2008). *Green Roofs in Sustainable Landscape Design*. Norton & Company,

Newyork.

Chenani, S. B., Lehvävirta, S., & Häkkinen, T. (2015). Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 90, 153–162.

Connelly, M., & Liu, K. K. Y. (2005). Green roof research in British Columbia – an overview. *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, 1–17.

D., D. (2002). *National Geographic News*. http://news.nationalgeographic.com/news/2002/11/1115_021115_GreenRoofs.html

D'orazio, M., Di Perna, C., & Di Giuseppe, E. (2012). Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate. *Energy and Buildings*, 55, 439–451.

Eken, M., Ceylan, A., Taşkesin, A. T., Şahin, H., & Şensoy, S. (2005). *Klimatoloji II*. 168.

Ekşi, M. (2012). *Yeşil Çatı Sistemlerinin Su ve Enerji Dengesi Açısından Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği.* Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ekşi, M. (2021). *Çatı Bahçeleri*. Yeni İnsan Yayınevi, İstanbul.

EKŞİ, M. (2006). *Çati Ve TerasBahçelerinde KullanilanKonstrüksiyon Elemanlari VeYeni Yaklaşimlar*. 1–138.

Ekşi, Mert, & Uzun, A. (2016). Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (66), 119–138.

Erkul, E. (2012). *Yeşil çatı sistemlerinin yapım açısından irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, *45*(8), 1890–1904. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.001

Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology*, 43(19), 7564–7570.

Gönençgil, B. (2011). *Şehirleşmenin Sıcaklık Trendleri Üzerine Etkileri ve Şehirsel Isı Adası Kavramı, Fiziki Coğrafya Araştırmaları, Sistematik ve Bölgesel*. Türk Coğrafya Kurumu Yayını, İstanbul.

Jarrett, A. R., Hunt, W. F., and Berghage, R. D. (2009). Evaluating aspreadsheet model to predict green roof stormwater management. *In Low Impact Development: New and Continuing Applications*, 252–259.

Jim, C. Y., & Tsang, S. W. (2011). Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Building and Environment*, *46*(6), 1263–1274. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.013

Kaymak, Y. (2014). *Çevre Odaklı Mimari Tasarım Yaklaşımı Kapsamında Yeşil Çatılar ve Türkiye Ölçeğinde Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma*. T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Mimari Tasarım Programı, İstanbul.

Kum, G., Kılıç, S. (2014). Şehirleşmenin sıcaklık ve yağış parametreleri üzerine etkisi: Gaziantep örneği. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(6), 21–42.

Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*. Academic press, Cambridge.

Lehmann, S. (2014). Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. *City, Culture and Society*, 5(1), 1–8.

Longobardi, A., D'Ambrosio, R., & Mobilia, M. (2019). Predicting stormwater retention capacity of green roofs: An experimental study of the roles of climate, substrate soil moisture, and drainage layer properties. *Sustainability*, 11(24), 6956.

M.E. Barış, N. Shakouri, S. Z. (2012). *Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. *1*.

Martin, B. K. (2008). *The Dynamic Stormwater Response of a Green Roof*. The Degree of Master of Landscape Architecture, The University of Guelph.

Mayer, H. (1999). Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 33(24-25), 4029–4037.

Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater

runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217–226.

MGM. (2023). *İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmî Web Sitesi, İnternet Erişimi. https://www.mgm.gov.tr/

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience, 57*(10), 823–833. https://doi.org/10.1641/B571005

Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.

Oke, T. R. (1995). *The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects*. Kluwer Academic, Boston.

Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens*. W.W. Norton & Company, Inc.500 Fifth Avenue, New York.

ÖZTÜRK, M. Z., ÇETİNKAYA, G., & AYDIN, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Journal of Geography, 35*, 17–27. https://doi.org/10.26650/jgeog295515

Peck, S., Kuhn, M. (2000). *Design Guidelines for Greenroofs, Prepared for CMHC and the Ontario Association of Architects (OAA)*.

Permpituck, S., & Namprakai, P. (2012). The energy consumption performance of roof lawn gardens in Thailand. *Renewable Energy*, 40(1), 98–103.

Qin, X. (2013). A Green Roof Test Bed for Stormwater Management and Reduction of Urban Heat Island Effect in Singapore. *British Journal of Environment and Climate Change*, *2*(4), 410–420. https://doi.org/10.9734/bjecc/2012/2704

Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., ... & Sulaiman, M.

Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155–168.

Santamouris, M. (2014a). Cooling the cities–a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.

Santamouris, M. (2014b). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, *103*, 682–703. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003

Seçkin, N. P. (2011). Güneşe Yaklaşan Yeşil Örtüleri Algılarken Mimarlıkta Malzeme. *TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyük Kent Şubesi Yayını*, 6(20), 42–50.

Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4, 100119.

Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*(March), 757–773. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006

Sharma, A., Conry, P., Fernando, H. J. S., Hamlet, A. F., Hellmann, J. J., & Chen, F. (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, *11*(6), 1–15. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/064004

Şimşek, Ç. K., Şengezer, B. (2012). İstanbul Metropoliten Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi. *The Importance of Green Spaces in Minimizing Urban Heat in The İstanbul Metropolitan Area*, 7 (2), 116–128.

Snodgrass, E.C. ve Snodgrass, L. L. (2006). *Green Roof Plants, A Resource and Planting Guide*. Timber Press, Portland.

Teemusk, A., & Mander, Ü. (2009). Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. *Building and Environment*, *44*(3), 643–650. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.011

Tokaç, T. (2009). *Bitkilendirilmiş Çatı Sistemlerinde Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

VERLYN KLINKENBORG. (2009). *Up on the Roof*. nationalgeographic.com/magazine/article/green-roofs

Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *57*, 740–752. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119

Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266–7273.

Yilmaz, E. (2008). *Organik Madde Toprak Suyu İ li ş kisi Relation between Soil Water and Organic Matter*. *1*(2), 15–21.

Yılmaz, E. (2013). *Ankara Şehrinde Isı Adası Oluşumu*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

YükseL, Ü. D., Yılmaz, O. (2008). Ankara kentinde kentsel isi adasi etkisinin yaz aylarinda uzaktan algilama ve meteorolojik gözlemlere dayali olarak saptanmasi ve değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).

Zhang, X., Shen, L., Tam, V. W., & Lee, W. W. Y. (2012). Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 314–319.

EKLER

EK -1 Mevsimlere göre hava sıcaklığı ile yeşil çatı ve kaynak çatı sisteminin yüzey sıcaklığı değerleri

Yıl	Mevsim	Hava Sıcaklığı			Yeşil Çatı Yüzey Katmanı			Kaynak Çatı Yüzey Katmanı			Yeşil Çatı Yetiştirme Ortamı		
		En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
2015	Kış	20,72	-6,67	7,05	18,73	-13,28	4,03	21,51	-13,23	3,9	13,66	0,51	5,92
	İlkbahar	28,21	-0,79	12,02	42,85	-4,86	10,99	48,35	-5,6	14,2	32,34	1,02	13,28
	Yaz	33,71	12,31	22,68	50,89	17,01	23,82	56,4	17,81	28,64	41,37	19,63	25,36
	Sonbahar	35,5	4,53	16,9	44,11	-1,3	15,15	49,46	0,32	16,89	29,75	6,89	16,73
2016	Kış	23,06	-7,95	7,34	23,31	-15,95	3,95	31,63	-19,95	4,25	21,16	0,62	6,55
	İlkbahar	29,13	-0,15	13,99	40,06	-5,36	13,34	51,85	-6	16,16	28,77	2,04	14,91
	Yaz	33,44	11,08	23,34	48,99	7,7	24,73	56,82	10,82	29,16	32,17	15,92	25,66
	Sonbahar	32,93	1,12	15,11	37,77	-4,06	13,17	41,58	-4,2	14,9	29,19	3,22	15,49
2017	Kış	17,38	-5,04	4,5	18,07	-7,97	1,57	27,12	-10,33	3,28	14,6	5,03	6,56
	İlkbahar	30,57	0,2	11,78	34,18	-4,66	10,93	46,87	-4,21	14,93	23,72	6,27	14,19
	Yaz	35,28	14,5	22,41	53,78	11,09	23,68	59,4	13,42	28,5	38,27	18,62	25,1
	Sonbahar	35,77	1,38	14,35	48,56	-2,71	12,34	50,53	-1,31	14,47	32,92	6,14	14,85
2018	Kış	20,5	-2,04	7,76	18,07	-4,77	5,26	24,61	-5,89	7,07	16,73	6,15	10,71
	İlkbahar	29,66	-3,6	13,8	40,19	-6,16	12,8	49,96	-7,7	16,52	24,58	5,32	16,08
	Yaz	31,72	12,85	23,61	42,77	9,1	25,11	51,66	12,23	29,13	32,36	17,5	25,3
	Sonbahar	28,5	3,18	16,38	43,55	-1,18	14,85	48,16	2,02	16,78	33,23	10,75	17,76
2019	Kış	19,66	-3,59	6,24	17,87	-9,87	3,62	30,52	-6,48	5,25	15,2	5,39	9,39
	İlkbahar	30,55	-1,4	12,82	46,25	-5,75	11,93	53,65	-1,72	15,62	30,5	6,25	14,76
	Yaz	32,56	14,41	23,08	45,44	11,2	24,55	54,04	12,03	28,97	30	18,44	25,48
	Sonbahar	30,9	6,22	17,44	34,1	2,21	15,75	43,69	2,62	18,06	22,47	10,55	17,55
2020	Kış	19,4	-2,72	7,6	14,54	-9,47	4,52	21,32	-5,11	5,22	10,72	4,53	7,14
	İlkbahar	31,48	6,38	16,68	39,89	3,12	17,25	49,08	4,42	21,08	26,96	11,45	18,48
	Yaz	30,45	14,66	24,05	48,43		26,72	52,77		29,53	36,84		27,88
	Sonbahar	35,89	3,7	17,19	41,77	-1,28	15,91	43,38	-0,99	17,41	28,38	5,74	17,74

EK -2 Mevsimlere göre yeşil çatı ve kaynak çatı sisteminin yalıtım katmanı ve iç mekan sıcaklığı verileri

Yıl	Mevsim	Yeşil Çatı Yalıtım Katmanı			Kaynak Çatı Yalıtım Katmanı			Yeşil Çatı İç Mekan			Kaynak Çatı İç Mekan		
		En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
2015	Kış	12,87	2,56	6,93	21,79	-5,93	6,46	14,97	2,71	7,75	15,11	1,59	7,58
	İlkbahar	22,63	4,16	13,66	47,21	-0,75	16,84	22	5,18	14,17	23,09	4,61	14,4
	Yaz	30,65	21,48	25,17	53,78	19,05	30,62	30,26	20,98	25	31,52	12,01	25,45
	Sonbahar	27,47	9,84	17,68	47,39	4,03	18,73	29,23	10,49	18,29	30,08	10,14	18,32
2016	Kış	25,06	1,6	8,01	33,55	-0,28	7,36		1,24	8,01		0,61	8,02
	İlkbahar	25,22	5,17	15,25	50,06	-2,02	18,58	26,13	6	15,73	27,38	5,18	16
	Yaz	27,44	18,42	25,62	54,02	14,33	30,93	27,09	19	25,55	27,72	18,76	25,81
	Sonbahar	25,42	7,45	16,92	39,44	1,13	17,03	25,74	8,83	18,05	26,86	8,58	18,24
2017	Kış	16,15	8,47	10,5	29,87	1,6	7,8			8,56			9,08
	İlkbahar	20,02	12,65	15,01	45,21	3,47	18,01	21,42		16,1	22,57		16,56
	Yaz	30,43	22,6	24,7	56,73	17,38	30,38	29,23	22,32	24,45	21,09	22,04	24,58
	Sonbahar	26,84	11,03	16,17	47,29	3,75	16,67	26,49		16,98	28,22		17,27
2018	Kış	18,71	10,51	14,67	25,68	2,88	11,55						
	İlkbahar	21,16	9,44	17,36	48,14	2,39	19,73	23,37		18,12	23,96		18,45
	Yaz	25,82	20,16	25,04	49,51	16,17	30,62		20,13	24,9		18,65	24,89
	Sonbahar	26,19	16,53	19,42	46,09	7,06	19,19			19,82			19,35
2019	Kış	17,57	10,56	14,04	29,04	1,17	10,47						
	İlkbahar	25,63	13,32	15,72	51,13	4,7	18,77	26,21		16,06	27,77		16,48
	Yaz	28,1	21,41	25,57	52,25	14,74	30,84	28,95	21,3	25,64	30	20,37	26,2
	Sonbahar	20,56	12,96	18,39	40,9	6,24	19,84	21,53	13,48	19	22,41	12,54	19,11
2020	Kış	10,44	8,95	8,7	16,84	0,81	7,75	11,52		9,09	11,69		9,03
	İlkbahar	23,28	14,68	18,82	46,95	10,05	23,28	23,7	14,77	18,76	24,74	14,61	19,1
	Yaz	29,12		27,24	50,03		31,47	28,2		26,59	29,85		26,98
	Sonbahar	23,77	9,15	18,54	41,23	3,47	18,95	26,08	9,97	19,06	26,11	9,58	18,97

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Yeşil çatı katmanlarının enerji dengesi ve kentsel ısı adası etkisi açısından değerlendirilmesi

ORİJİNALLİK RAPORU

%7	%6	%2	%2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%3
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
3	www.catider.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	www.iiste.org İnternet Kaynağı	<%1
5	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	acikerisim.dicle.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	www.mimarist.org İnternet Kaynağı	<%1
	journals.manas.edu.kg	

ETİK KURUL İZİN YAZISI

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

■ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Pavel Paşa İOKHİM
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

■ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Pavel Paşa İOKHİM
(İmza)