

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL DUVAR UYGULAMALARINDA KULLANILAN  
FARKLI YETİŞTİRME ORTAMLARININ TERMAL  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nihan MERCAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE**

**Eylül 2020**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Nihan MERCAN

10.09.2020

## TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimde olduğu kadar, yüksek lisans çalışmamın ortaya çıkmasında da buyk emekleri olan, sabır ve özenle kıymetli zamanından ayıran, güler yüzünü ve değerli bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE'ye teŐekkürlerimi sunarım. Gerek laboratuvar çalışmalarım, gerek saha çalışmalarımda kaynak ve yol gösteren, her daim yardımlarını esirgemeyen Arř. Gör. Hasan ZER'e çok teşekkür ederim. Yine lisans ve yüksek lisans eğitimlerimde kıymetli bilgilerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR ve Sayın Dr. Öđr. Üyesi Glgn DEDE'ye teşekkür ederim.

Bu aşamaya gelirken hayatımın her anında yanımda olup desteklerini hiç esirgemeyen annem Fadime MERCAN ve abim Kaan MERCAN'a, sevgili yol arkadaşım Mustafa Buđra MERT'e ve özellikle teyzem Yasemin SARIHAN olmak üzere emeği geçen herkese en içten sevgilerimi ve teŐekkürlerimi sunarım.

Bu alışmayı Rahmetli Babam Cemal MERCAN'a ithaf ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ .....	5
2.1. Yeşil Duvar Sistemleri.....	6
2.2. Yeşil Duvar Sistemlerinde Kullanılan Bitkiler.....	8
2.3. Yeşil Duvar Sistemlerinde Kullanılan Yetiştirme Ortamları .....	9
2.4. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar .....	10

### BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOT .....	25
3.1. Yetiştirme Ortamı Bileşeni Olarak Kullanılan Materyallerin Temini.....	25
3.2. Çalışmada Kullanılan Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....	28

3.2.1. Partikül boyut dağılımı belirlenmesi .....	28
3.2.2. Hacim ağırlığının belirlenmesi.....	29
3.2.3. Toplam porozitenin belirlenmesi .....	30
3.2.4. Su tutma kapasitesinin belirlenmesi .....	31
3.3. Yeşil Duvar Sistemin Kurulması.....	31
3.4. Termal Ölçümlerin Yapılması.....	32
3.5. Termal Görüntüleme Çalışmaları.....	34
3.6. Yeşil Duvar Sisteminin Bitkilendirilmesi .....	34
3.7. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler .....	35
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	36
4.1. Çalışmada Kullanılan Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....	37
4.1.1. Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları.....	38
4.1.2. Yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları.....	40
4.1.3. Yetiştirme ortamlarının porozitesi .....	41
4.1.4. Yetiştirme ortamlarının su tutma kapasiteleri.....	42
4.2. Yeşil Duvar Uygulamalarının Model Bina Sıcaklıklarına Etkileri.....	43
4.3. Bitki Kullanılan Yeşil Duvar Uygulamalarının Model Bina Sıcaklıklarına Etkileri.....	48
4.4. Yeşil Duvar Uygulamalarının Termal Görüntülenmesi.....	49
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
dB	: Desibel
Hz	: Hertz
kHz	: Kilohertz
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kWh	: Kilowatt Saat
MSW	: Evsel Katı Atık
ÖA	: Özgöl Ağırlık
Rw	: Ses Azaltma İndeksi
V	: Hacim
YDS	: Yeşil Duvar Sistemi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Geçmiş ve günümüzden yeşil duvar uygulamalarına örnekler .....	5
Şekil 2.2. Tek katmanlı ve çift katmanlı yeşil yüzeyler .....	7
Şekil 2.3. Yaşayan duvar sistemleri .....	8
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı bileşenleri.....	26
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri .....	27
Şekil 3.3. Partikül boyut dağılımının belirlenmesinde kullanılan elek düzeneği....	29
Şekil 3.4. Halkalara doldurulacak numunelerin suya doymun hale getirilmesi.....	29
Şekil 3.5. Numunelerin çelik halkalara doldurulması .....	30
Şekil 3.6. Çelik halkalara doldurulmuş numunelerin suya doymun hale getirilmesi .....	30
Şekil 3.7. Çelik halkalara doldurulmuş numunelerin drene edilmesi .....	31
Şekil 3.8. Model bina ve yeşil duvar sistemi .....	32
Şekil 3.9. Yeşil duvar sistemi, bağlantı ve sulama ekipmanları .....	33
Şekil 3.10. Yeşil duvar sistemi ve sıcaklık ölçüm noktaları .....	33
Şekil 3.11. Yeşil duvar sisteminin termal görüntülenmesi .....	34
Şekil 3.12. Bitkilendirilmiş yeşil duvar.....	35
Şekil 4.1. Yalnız yetiştirme ortamı kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri.....	44
Şekil 4.2. Bitki kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri .....	48
Şekil 4.3. Bitki kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri .....	49
Şekil 4.4. Kontrol uygulamasının termal görüntüsü .....	50
Şekil 4.5. Yalnız yetiştirme ortamı bulunan yeşil duvar uygulamasının termal görüntüsü .....	51

Şekil 4.6. Bitkilendirilmiş yeşil duvar uygulamasının termal görüntüsü ( <i>Euryops pectinatus</i> ).....	52
---	----



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Hazırlanan yetiştirme ortamları, karışımlarda kullanılan materyeller ve oranları.....	27
Tablo 4.1. Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları.....	38
Tablo 4.2. Yetiştirme ortamlarının bazı fiziksel özellikleri ve ideal değerlerle karşılaştırılması.....	40
Tablo 4.3. Yeşil duvar ve kontrol uygulamalarında ölçülen en yüksek sıcaklık farkları .....	47

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Yeşil duvar, yetiştirme ortamı, ısı izolasyonu, termal inceleme

Şehirlerin gittikçe daha çok betonlaşması buralarda yaşayan insanların doğal çevre ile ilişkisini azaltmıştır. Bu durum özellikle büyük şehirlerde yaşayan insanların doğal ortamlara olan özlemini arttırmış ve yaşam alanlarında doğal çevreye ait unsurları daha çok görmek istemesine yol açmıştır. Günümüz mimarisinin bu duruma getirdiği çözüm ise bitkilerin mimari tasarıma entegre edildiği yeşil duvar uygulamalarıdır. Bununla birlikte, yeşil duvar uygulamalarının estetik faydalarının yanında, ses ve ısı izolasyonu ve gri suların arıtılması gibi önemli işlevleri anlaşıldıkça bu uygulamalar oldukça yaygınlaşmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna pozitif etkilerini ortaya koymasına rağmen, bu uygulamalarda kullanılan yetiştirme ortamlarının bu etkiye katkısı tam olarak açıklanamamıştır. Bu çalışma evsel ve tarımsal kökenli organik atıkların yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamı olarak kullanılabilirliğinin ortaya koyulması ve bu kullanımın ısı izolasyonuna etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda ana materyaller olan torf ve evsel katı atık kompostu, %12.5, 25 ve 50 (%v/v) oranlarında pirinç kabuğu ve perlite karıştırılarak yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Hazırlanan yetiştirme ortamlarının bazı fiziksel özellikleri incelenmiş ve kompostun diğer bileşenlere göre, partikül boyutu çok küçük tanelerden oluştuğu, hacim ağırlığının yüksek, porozitesinin ise ideal yetiştirme ortamlarında istenen değerleri sağlayamadığı, ancak pirinç kabuğu ve perlit ile karıştırıldığında (minimum %50) bu değerlerin ideal değerlere yaklaştığı belirlenmiştir. Bitkili ve bitkisiz yeşil duvar uygulamasında yapılan termal ölçümlerde ise, her iki uygulamanın da ısı yalıtımına önemli etkileri olduğu anlaşılmıştır. Yapılan ölçümlerde, yeşil duvar kullanılmayan kontrol uygulamasına göre, yalnız yetiştirme ortamı içeren uygulamaların 6°C derece (%50 Torf + %50 Perlit), bitki kullanılan yeşil duvar uygulamaların ise 14°C derece daha düşük sıcaklıkta olduğu görülmüştür. Kompost içeren yetiştirme ortamlarında da elde edilen sonuçlar torf kullanılan uygulamalarla benzerdir. Ayrıca pirinç kabuğu ve perlit ilavelerinin ısı izolasyonuna etkileri benzerlik gösterse de, perlit kullanımının ısı yalıtımını arttırdığı söylenebilir. Elde edilen tüm sonuçlar birlikte incelendiğinde yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonu sağlamasında, bitkilerin yol açtığı gölgelemenin yanında yetiştirme ortamlarının da önemli rolü olduğu sonucuna varılmıştır.

# INVESTIGATION OF THERMAL EFFECTS OF DIFFERENT GROWING MEDIA USED IN GREEN WALL APPLICATIONS

## SUMMARY

Keywords: Green wall, growing media, heat insulation, thermal examination

As a result of the concreting of the cities, the relationship of the people living here with the natural environment has decreased. This situation has increased the longing of people living in big cities for natural environments and has caused them to want to see the elements of the natural environment more in their living spaces. The solution that today's architecture brings to this situation is green wall applications in which plants are integrated into architectural design. Besides the aesthetic benefits of green wall applications, these applications have become quite common thanks to important functions such as sound and heat insulation and treatment of gray water. Although the studies on the subject reveal the positive effects of green wall applications on thermal insulation, the contribution of the growing media used in these applications to this effect has not been fully explained. This study was carried out in order to reveal the usability of municipal and agricultural origin organic wastes as a growing medium in green wall applications and to examine the effects of this use on heat insulation. For this purpose, the growing media were prepared by mixing the main materials, peat and municipal solid waste compost, with 12.5, 25, 50% (v / v) of rice hull and perlite. Some physical properties of the prepared growing media were examined and it was determined that the compost was composed of very small particles, its volume weight was high, and its porosity could not provide the desired values in ideal growing media. However, when these values are mixed with rice hull and perlite, it has been determined that they approach the ideal values. In the thermal measurements made in green wall applications with and without plants, it was understood that both applications have significant effects on thermal insulation. According to the measurements, it was observed that the applications containing only growing medium were 6 degrees (50% Peat + 50% Perlite), and the green wall applications using plants were 14 degrees lower than the control application without the green wall. The results obtained in growing media containing compost are similar to those using peat. In addition, although the effects of rice husk and perlite additions to thermal insulation are similar, it can be said that the use of perlite increases thermal insulation. When all the obtained results are examined together, it is concluded that the green wall applications have an important role in providing thermal insulation, besides the shading provided by the plants, the growing media also plays an important role.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Şehirler ve şehirleri oluşturan temel unsur olan yapılar, insanların ihtiyaç ve isteklerine göre değişime uğrarlar. Bundan dolayıdır ki geçtiğimiz yüz yıl mimari ve inşaat alanında önemli değişimler görülmüş ve genel eğilim beton, çelik ve cam malzemelerin yoğunlukla kullanıldığı geniş ve yüksek binaların yapımı ile şehirlerin görünümü büyük oranda değişmiştir. Bu değişime asfalt ve beton yollar ve meydanlar da eklenince şehirlerdeki yeşil alanlar azalmış ve şehirde yaşayan insanların doğal çevre ile olan bağlantısı önemli ölçüde kesilmiştir.

Yüksek bir hızla büyüyen şehirlerin yol açtıkları, doğal çevre tahribatı, havanın kirlenmesi, su kaynaklarının azalması ve diğer ekolojik sorunların yanı sıra şehirlerde yaşayan insanların doğal çevreye olan özlemleri, mimari ve inşaat alanında yeni bir yaklaşım olan yeşil duvar ve çatı uygulamalarının doğmasına neden olmuştur [1]. Başlangıçta daha doğal bir görünüm isteği ve estetik arayışıyla ortaya çıkmış olan bu uygulamaların çevresel faydaları ve ekonomik avantajları yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya koyulmaya başlandıkça, bu uygulamalara olan ilgi de artmış ve küresel ölçekte bir mimari akıma dönüşmüştür [1,2,3]. Ayrıca yeşil duvar ve çatı uygulamalarının bu faydalarından dolayı da bu uygulamalara hükümet ve yerel yönetimlerin de ilgisi ve desteği artmıştır. Bu destek ve verilen mali teşvikler yeşil duvar ve çatı sistemlerinin gelişim ivmesini arttırmış ve dünya genelinde hızla artan uygulamalarla büyük bir hacme ulaşmasını sağlamıştır [3,4,5].

Yeşil duvar uygulamaları yapı yüzeylerinin farklı teknikler kullanılarak bitkilerle kaplanmasıdır. Bu uygulamada birçok farklı teknik kullanılabilmeyle birlikte, yeşil duvarların uygulamada en çok rastlanan çeşitleri, yeşil yüzeyler ve yaşayan duvarlar olarak isimlendirilen sistemlerdir [6]. Yeşil yüzeyler tek ve çift katmanlı olarak sınıflandırılır ve tırmanıcı bitkilerin duvar yüzeyine veya inşa edilen kafes benzeri

donatılara tutunarak yükselmesi ve duvar yüzeyini kaplaması ile uygulanır. Yaşayan duvarlar ise duvar yüzeyine monte edilen donatılara, çeşitli malzemelerden ve çeşitli ebatlarda yapılmış saksıların yerleştirilerek, bitkilerin bu saksılarda yetiştirilmesi ile kurulurlar. Kullanılacak yeşil duvar sisteminin seçiminde, bina ve duvar yapısı gibi belirleyici unsurlar başta olmak üzere birçok belirleyici faktör bulunmaktadır [6,7,8].

Yeşil duvar sistemleri birçok bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden en önemlilerinden birisi de kullanılacak bitki yetiştirme ortamıdır. İster toprakta isterse saksıda olsun yatay düzlemde yapılan konvansiyonel bitki yetiştiriciliğinde olduğu gibi, dikey yetiştiricilik yapılan yeşil duvar uygulamalarında da yetiştirme ortamı ideal bitki büyümesinin sağlanmasında en önemli faktördür [9,10,11]. Bununla birlikte dikey yetiştiricilikte, bitkisel üretimin diğer önemli gereklilikleri olan sulama ve gübreleme gibi ihtiyaçların karşılanması daha zor ve masraflıdır. Bundan dolayı yetiştirme ortamının bitki besin elementi ve su tutma kapasitesinin yüksek olması, sık sulama gerektirmemesi istenir. Ayrıca özellikle yüksek yapılara uygulanan yeşil duvar sistemlerinde, bağlantı donatıları, saksılar, sulama ve gübreleme sistemi, yetiştirme ortamı ve bitkilerin bütünleşik bir yapı oluşturduğu düşünüldüğünde, saksıların yerinden sökülerek veya saksılara ulaşılarak yetiştirme ortamı ilavesi ve yabancı otların temizlenmesi gibi, konvansiyonel saksılı bitki yetiştiriciliğinin sıradan faaliyetlerini yerine getirmek oldukça güçtür [9,10,11]. Bu yüzden seçilen yetiştirme ortamının stabilitesinin yüksek olması, ayrışarak azalmaması ve yabancı ot tohumlarını içermemesi oldukça önemlidir [11].

Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan yetiştirme ortamlarının bir diğer önemli fiziksel özelliği de hacim ağırlığıdır. Kullanılan yetiştirme ortamının hafif olması, binaya getireceği ilave yükün az olması oldukça önemlidir. Hacim ağırlığının az olması, yetiştirme ortamının porozitesinin yüksek olması, dolayısıyla yetiştirme ortamının büyük partikül çapına sahip olması ile mümkündür. Ancak büyük partikül çaplı taneciklerin ağırlıklı olarak bulunduğu yetiştirme ortamları, genellikle düşük su tutma kapasitesine sahiptir. Bu durum yetiştirme ortamında optimum hacim ağırlığı ve su tutma kapasitesinin birlikte sağlanabilmesi için, ideal partikül boyut dağılımına sahip yetiştirme ortamlarının kullanılmasını gerektirmektedir [13,14].

Yeşil duvar ve çatı sistemleri ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, bu uygulamaların küresel ısınma ve şehirlerdeki hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması gibi önemli çevresel sorunların çözümünde önemli rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, bu sistemlerin binalarda ses ve ısı izolasyonuna ve gri suların arıtılmasına odaklanmış görünmektedir. Yapılan çalışmalarda, yeşil duvar sistemleri özellikle sıcak iklim koşullarında, bina sıcaklıklarının düşürülerek soğutma amaçlı kullanılan enerjiden önemli ölçüde tasarruf sağladığı, bunun yanında yapay sulak alanlarda kullanılan bitkilerle arıtım ilkesine benzer şekilde, binalarda oluşan ve miktar olarak en büyük atık su çeşidi olan gri suların arıtılıp tekrar kullanılması ile de kanalizasyona giden atık su miktarını düşürdüğü rapor edilmektedir. Bunun yanında konu ile ilgili literatürde, yeşil duvar sistemlerinin başta trafik olmak üzere çeşitli kaynaklardan gelen gürültülerin bina içine ulaşmasını azaltarak binalarda daha sessiz ortamların oluşmasına katkı sağladığının belirlendiği birçok çalışma bulunmaktadır [2,15,16].

Özellikle sıcak iklim koşullarında binaların yüksek sıcaklığa karşı izole edilebilmesi, soğutma için kullanılan enerji miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Yeşil duvar sistemleri bu izolasyonun sağlanmasında oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Yapılan çalışmalar, bu işlevin ortaya çıkmasında üç önemli faktörün etkili olduğunu göstermiştir. Bu faktörler, bitkilerin sağladığı gölgeleme etkisi, bitkilerden ve yetiştirme ortamından oluşan buharlaşma ve yetiştirme ortamının sağladığı izolasyondur. Ancak literatürdeki konu ile ilgili yayınlarda bu faktörlerin binalardaki termal izolasyona olan katkı düzeyleri ile ilgili bazı çalışmalar yürütülmüş olsa da ortak bir kanı oluşturacak kesin bulgular ve her bir faktör için ayrıntılı incelemeler bulunmamaktadır [2,15,16].

Literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi ve yeşil duvar sistemlerinin termal katkılarının açıklanmasına katkı sağlamak için gerçekleştirilen bu çalışmanın ana amacı, önemli yeşil duvar uygulama tekniklerinden olan yaşayan duvarlarda, ideal bitki büyümesi sağlamak için kullanılabilir, evsel ve tarımsal kökenli organik atıkların değerlendirildiği yetiştirme ortamı alternatifleri geliştirerek, bu yetiştirme

ortamlarının termal özellikleri incelenerek, binaların ısı izolasyonuna olan etkilerinin belirlenmesidir.

Bu temel amaçtan yola çıkılarak planlanan ve sonuçlandırılan bu çalışma ile ulaşılmak istenen hedefler aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir.

- Yeşil duvar uygulamalarında bitki yetiştirmek için ideal özelliklere sahip alternatif yetiştirme ortamları geliştirilmesi
- Evsel katı atık kompostu, önemli bir tarımsal kökenli organik atık olan pirinç kabuğu ve perlitin yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamı bileşeni olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi ve bu amaç doğrultusunda başta fiziksel özellikler olmak üzere önemli karakteristik özelliklerin tespit edilmesi
- Geliştirilen yetiştirme ortamlarının termal özelliklerinin belirlenmesi ve binalardaki ısı izolasyonuna olan katkılarının ortaya koyulması
- Yeşil duvar uygulamalarının temel bileşenleri olan bitki ve yetiştirme ortamlarının ısı izolasyonuna olan katkı düzeylerinin incelenmesi
- Evsel ve tarımsal kökenli organik atıklar için sürdürülebilir ve ekonomik bir bertaraf yöntemi önerilmesi
- Yeşil duvar uygulamalarının önemli bir girdisi olan yetiştirme ortamı için ucuz bir alternatif ortaya konulması ve yeşil duvar uygulamasının maliyetinin azaltılmasına katkı sağlanması
- Yeşil duvar uygulamalarının yaygınlaşmasına destek olunması ve sağladığı ekolojik faydalar ile doğal çevrenin korunmasına destek verilmesi
- Bilimsel literatüre katkı sağlanarak konu ile ilgili ileride yapılacak çalışmalar için zemin hazırlanması

## BÖLÜM 2. KONUYLA İLGİLİ OLARAK DAHA ÖNCE YAPILMIŞ BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Yeşil duvarların ilk uygulamalarının oldukça uzun bir geçmişi vardır. Bu uygulama başlangıçta bilinçli veya tesadüfi olarak evlerin yakınına dikilen estetik amaçlı ve çoğu sarmaşık olarak isimlendirilen tırmanıcı bitkilerin evin dış duvarlarını sarması ile ortaya çıkmıştır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde ve kırsal kesimlerde sıklıkla görülen bu ilk uygulamalarda, bitkinin yapı yüzeyini kaplaması, yapıya görsel katkı sağlamakta ve yapının doğa ile uyumunu tamamlamaktadır. Ancak bu örneklerde henüz yeşil duvar uygulamalarının estetik faydası dışındaki diğer yararları bilinmemektedir.



Şekil 2.1. Geçmiş ve günümüzden yeşil duvar uygulamalarına örnekler

Günümüzde ise yine geçmiş uygulamalarda olduğu gibi, özellikle şehirde yaşayan insanların, yaşam alanlarında daha fazla bitkisel öge olmasını daha görsel ve estetik bulmaları ve bu türden taleplerin artması ile yeşil duvarlar mimaride kullanılmaya başlanmıştır. Ancak günümüz şehirlerinde bulunan binaların geniş ve yüksek olması bitkilerin bu mimariye eklenmesini oldukça teknik bir konu haline getirmiştir. Bu durum yeşil duvarlar ile ilgili çalışmaların artmasına ve yeni inşaat teknikleri



geliştirilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte yeşil duvar uygulamaları ve bu konuda yapılan çalışmaların artması ile yeşil duvarların sadece görselliği arttırmakla kalmayıp, önemli çevresel ve ekonomik faydalarının da olduğunu ortaya koymuştur [17, 18, 19].

## 2.1. Yeşil Duvar Sistemleri

Yeşil duvar sistemleri için en yalın tanımlama, mimari öğelerde dikey bitki yetiştiriciliğidir. Bununla birlikte bu sistemlerin günümüzdeki uygulamaları oldukça karmaşık ve kompleks sistemlerdir. Bunun nedeni bu sistemlerin oldukça farklı alanlara ve değişik yapılara kurulmasıdır. Bu alan ve yapılardan bazıları her boyutta ve yükseklikteki binalar, parklar, yollar, farklı kullanım alanlarına göre bölünmüş sahalar olarak sıralanabilir [19, 20, 21].

Yeşil duvar uygulamalarının yaşam döngüsünde dört temel adımdan bahsetmek mümkündür. Bu adımlar mimari tasarım, inşaat işlemleri, bitkilendirme ve bakım aşamalarıdır. Bu aşamaların her birini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler arasında en önemli iki unsur seçilen yerin iklim koşulları ve yapının fiziki özellikleridir. Bu iki temel özellik seçilecek kurulum yöntemini, bitki türlerini, yetiştirme ortamını ve bakım sıklık ve prosedürlerini doğrudan etkileyecektir [21,22].

Yeşil duvar sistemlerinin kurulumunda kullanılan iki temel teknik vardır. Bunlar tek ve çift katmanlı yeşil yüzeyler ve yaşayan duvarlar olarak isimlendirilmiştir. Yeşil yüzeyler genellikle alçak yapılarda kullanılırlar. Maliyet ve bakım gereksinimleri düşüktür. Bu sistemlerde tırmanıcı bitkilerin yüzeye tutunarak büyümesi ve yapı yüzeyini kaplaması sağlanır. Yapının ve kullanılan bitkinin türüne göre tek veya çift katmanlı olarak uygulanırlar [21,22,23].

Tek katmanlı yeşil yüzeylerde bitki doğrudan duvar yüzeyine tutundurulur. Çift katmanlı yeşil yüzeylerde ise bitkinin tutunabilmesi için yüzey boyunca kurulmuş kafes benzeri bir yapı elemanı kullanılır. Yeşil yüzey sistemlerinde bitkiler doğrudan toprağa veya saksılara dikilebilir. Dolayısı ile bitkinin su ve bitki besin elementi

ihtiyacının sağlanacağı kökleri zeminde bulunur ve bu durum bakım işlem ve maliyetlerini düşürücü önemli bir unsurdur. Buna karşın bu sistemler özellikle yüksek binalar için elverişli değildir. Yüksek binalarda bu sistem uygulanacaksa genellikle bitkiler zemin yerine çatıya dikilerek bitkinin yukarıdan aşağıya doğru büyümesi ve duvar yüzeyini kaplaması sağlanır [21,22,23].



Şekil 2.2. Tek katmanlı ve çift katmanlı yeşil yüzeyler

Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan bir diğer önemli teknik ise yaşayan duvarlardır. Bu teknikte bitkiler ayrı ayrı saksılara dikilir ve saksılar duvara genellikle çelik donatılarla tutturulur. Kullanılan saksılar çok çeşitli malzemelerden yapılabilir. Bu sistemin en önemli avantajı her türden yapıya kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır. Bu sistem bina yüzeylerini kaplamanın yanında, herhangi bir binaya ihtiyaç duyulmadan bağımsız alanlar oluşturmak için iç ve dış mekanlara kurulabilir. Sistemin bir diğer önemli avantajı ise oldukça fazla türden bitkinin kullanılabilmesine imkân sağlamasıdır. Kurulumda sağladığı avantajların yanında yaşayan duvar sistemleri gri su arıtımı gibi önemli ilave katkılar da sağlaması açısından yüksek bir potansiyele sahiptir [21,22,23].

Buna karşın bu sistemlerin kurulması genellikle yüksek maliyet gerektirir, sulama, gübreleme ve ilaçlama gibi bakım işlemleri zordur ve ideal bitki büyümesini sağlamak için uygun yetiştirme ortamlarının kullanılması gerekir. Bitkiler saksıya

dikilmeden önce yetiştirme ortamı hastalık ve yabancı ot tohumlarından temizlenmelidir.



Şekil 2.3. Yaşayan duvar sistemleri

## 2.2. Yeşil Duvar Sistemlerinde Kullanılan Bitkiler

Yeşil duvar sistemlerinin günümüz uygulamalarında çok çeşitli bitki türleri kullanılmakta ve konuyla ilgili yapılan teknik ve bilimsel çalışmalarda, bu alanda potansiyeli yüksek yeni bitkiler ortaya koyulmaya devam etmektedir. Yeşil duvar uygulamasında bitki seçiminde en önemli etken bölgenin iklim koşullarıdır. Özellikle sıcak iklim koşullarında, ortam sıcaklığına uyumlu, az su tüketen bitkiler tercih edilmektedir. Bunun yanında yeşil duvar uygulamalarında bitki bakım işlemleri zor ve maliyetli olduğundan, çok hızlı büyümeyip budama gerektirmeyen, bitki hastalık ve zararlılarına karşı dirençli bitkiler tercih edilmektedir.

Diğer taraftan bitkilerin seçimindeki bir diğer önemli faktör ise yeşil duvar uygulamasının hangi amaçla yapıldığıdır. Isı yalıtımı amacıyla yapılan yeşil duvar uygulamalarında genellikle gölgelendirme özelliği yüksek olan geniş yapraklı bitkiler tercih edilirken, ses izolasyonu amaçlı yeşil duvar uygulamalarında yaprak yoğunluğu yüksek bitkiler, gri su arıtımı amacıyla kurulan yeşil duvar uygulamalarında ise suya dayanıklı ve organik yükü tüketme kapasitesine sahip bitkiler tercih edilmektedir [17,21,23].

Bununla birlikte yeşil duvar uygulama teknikleri olan yeşil yüzeyler ve yaşayan duvar uygulamalarında bitki türü kesin olarak ayrılmış olup, yeşil yüzeylerde tırmanıcı bitkiler kullanılmaktadır. Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan tipik bitkiler sarmaşıklar, küçük otsu türler, çok yıllık çiçekler, alçak çalılar ve bazı otsu bitkilerdir [24].

### **2.3. Yeşil Duvar Sistemlerinde Kullanılan Yetiştirme Ortamları**

Bitkisel üretimde istenen bitki büyümesini elde etmek için bu amaca uygun ideal yetiştirme ortamlarının kullanılması gerekir. Konvansiyonel bitki yetiştiriciliğinde kullanılan doğal toprak ve hayvan gübresi karışımları ile bazı organik ve inorganik bileşenlerden oluşturulan yetiştirme ortamları, yeşil duvar uygulamaları için yeterli bitki büyümesini sağlayamamaktadır. Bunun yanında özellikle yüksek yapılara uygulanacak yeşil duvar sistemlerinde, kullanılan yetiştirme ortamının hafif olması oldukça önemlidir [13,14].

Buna karşın genellikle büyük tanecik boyutuna ve yüksek porozite değerine sahip hafif yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitesi düşüktür. Bu durumda özellikle sıcak iklim koşullarında kurulacak yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamının çabuk kurmasına ve sıklıkla sulama gerektirmesine neden olacaktır. Bu kısıtlamalar dikkate alındığında yeşil duvar uygulamalarında kullanılacak ve ideal bitki büyüme potansiyeli gösterecek yetiştirme ortamları, düşük yoğunluğa sahip olurken aynı zamanda yeterli su tutma özelliği göstermesi gerekmektedir [13,14].

Bunun yanında yine yeşil duvar uygulamalarında kullanılmak üzere yetiştirme ortamı seçiminde, yetiştirilecek bitki türünün özellikleri yanında, yetiştirme ortamlarının bazı önemli fiziksel özellikleri olan, kurduktan sonra çok fazla sıkışmaması, yeniden su çekme süresinin düşük olması, biyolojik olarak ayrışmaya karşı stabil olması ve yabancı ot tohumu içermemesi gibi özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [13,14].

Yeşil duvar uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve literatürde konuyla ilgili çalışmalarda denenen bazı organik ve inorganik yetiştirme ortamı bileşenleri aşağıda sıralanmıştır [9,13,14].

- Torf
- Hindistan cevizi lifleri
- Evsel atık kompostu
- Fındık zürufu
- Pirinç kabuğu
- Perlit
- Ponza
- Zeolit
- Dere kumu
- Biyokütle külü
- Silika
- Vermikülit
- Hidrojeller

#### **2.4. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar**

Yeşil duvar uygulamaları ile ilgili literatürde laboratuvar ölçekli ve saha çalışması olarak gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar yeşil duvar uygulamalarının mimari kullanım alanları, inşaat teknikleri, kullanılan bitki ve materyaller, ekolojik etkileri ile yeşil duvar uygulamalarının gri su arıtımı, ses izolasyonu ve ısı izolasyonu üzerine yapılmış araştırmalardır.

Ancak literatürde yeşil duvar uygulamalarında kullanılabilecek yetiştirme ortamlarının, termal özellikleri ve ısı yalıtımına etkileri ile ilgili kapsamlı bir araştırma bulunamamıştır. Literatürde bulunan çalışmalarda, kullanılan yöntemler ve ulaşılan hedefler aşağıda sunulmaktadır.

Prodanovic ve ark (2017) çalışmalarında gri su arıtımı amacıyla yeşil duvarların kullanılmasını ve arıtımın ilk basamağı olan yetiştirme ortamlarını incelemişlerdir.

Hidrolik özelliği yavaş olarak hindistan cevizi lifi, taş yünü ve fito-köpük kullanmışlardır. Hidrolik olarak hızlı malzemelerden ise perlit, vermikülit, genişletilmiş kil ve dere kumu kullanmışlardır. Hidrolik özellikleri ve kirletici giderim performansını değerlendirme amacıyla iki ay boyunca bitkisiz olarak sütun deneyi yapmışlardır. Hidrolik olarak yavaş olan yetiştirme ortamlarının hidrolik olarak hızlı olan yetiştirme ortamlarına göre daha tutarlı bir kirletici giderme performansı gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Hidrolik olarak yavaş yetiştirme ortamlarında yaklaşık %90 toplam askıda katı madde, %50 toplam azot, %30 toplam fosfor, %70 KOİ ve %80 escherichia coli (E. coli) giderimi sağlamışlardır. Hidrolik olarak yavaş yetiştirme ortamlarının gri su arıtma verimleri tutarlı olmasına rağmen tıkanma eğilimi gösterdiğini ve yeşil duvarlarda tek başına kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Hidrolik olarak hızlı yetiştirme ortamlarında ise %80 toplam askıda katı madde, %30 toplam azot, %15 toplam fosfor, %30 KOİ ve %20 escherichia coli (E. coli) giderimi saptanmıştır. Hidrolik olarak hızlı yetiştirme ortamları arasında perlit en iyi hidrolik ve arıtma performansına sahipken, yavaş yetiştirme ortamlarında hindistan cevizi lifinin en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Daha düşük bekleme süresine sahip perlitte kirletici gideriminde fizikokimyasal proses kirletici giderimde baskın rol oynamakta olduğunu ve yetiştirme ortamının önemini vurguladığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada perlit ve hindistan cevizi lifinin kirletici giderim performansında diğer yetiştirme ortamlarına oranla önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ve bu iki yetiştirme ortamının kombinasyonunun yeşil duvarlarda gri su arıtımı için optimum kirletici giderimi sağlayabileceğini belirtmişlerdir [25].

Masi ve ark. (2016) çalışmalarında Maharashtra Eyaleti, Pune'daki bir iş merkezi binası için gri suyun geri dönüştürülmesi amacıyla pilot bir yeşil duvar tasarlamışlardır. Deneysel aşamaları iki adet olacak şekilde tasarlamışlardır ve ilk aşamada yetiştirme ortamı olarak hafif ve genişletilmiş kil agregası kullanılarak sonuçlar analiz edilmiştir. İlk aşamada elde edilen analiz sonuçları tatmin edici olmadığından deneysel çalışmanın ikinci aşamasına geçmişlerdir. İkinci aşamada hidrolik bekleme sürelerini artırma ve daha gözenekli bir yetiştirme ortamı sağlama amacıyla hafif genişletilmiş kil agregası artı kum ve hafif genişletilmiş kil agregası

artı hindistan cevizi lifi kullanmışlar ve bu sayede yeşil duvarın kirlilik giderim verimini artırmayı hedeflemişlerdir. Arıtma veriminde beklenen artışı ikinci aşamada elde etmişlerdir. İlk aşamada KOİ giderimi hafif genişletilmiş kil agregası ile %16 - 20 arasında olduğu saptanmıştır. İkinci aşamada ise genişletilmiş kil artı hindistan cevizi karışımından oluşan yetiştirme ortamında %14 - 86 KOİ giderimi, genişletilmiş kil artı kum karışımından oluşan yetiştirme ortamında ise %7 - 80 KOİ giderimine ulaşıldığı saptanmıştır. Elde edilen atık su kalitesi, analiz edilen tüm numuneler için sulamada yeniden kullanım için Hindistan yasası şartnamelerini karşıladığı vurgulanırken, yalnızca ikinci aşamada elde edilen numuneler tuvaletlerin sifonlarında kullanım için gerekli kriterleri sağlamakta olduğu belirtilmiştir [26].

Fowdar ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada duş, banyo ve yıkama sularından oluşan atıksuları arıtma amacıyla düşük enerji ve bakım ihtiyacı olan ve kum filtrelerinde süs bitkisi (sarmaşık dahil) yetiştirilen yaşayan duvar sistemi kullanmışlardır. Çalışmanın aynı zamanda şehirlerde estetik ve kritik olan mikro iklim faydaları da sağladığını belirtmişlerdir. Önerilen sistemin bitki türleri, canlı bölge tasarımı, bekleme süresi, hidrolik besleme hızı ve kirletici yükleme konsantrasyonu gibi tasarım parametrelerini belirleyebilmek için Melbourne/ Avustralya'da büyük ölçekli bir sütun deneyi gerçekleştirmişlerdir. Süs bitkisi türlerinin (örneğin, canna lilies, lonicera japonica,) kullanımının kirletici maddelerin uzaklaştırılmasına katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir. Bitki türünün seçiminin kirlilik gideriminde önemini özellikle vurgulamışlardır. Azot gideriminde kullanılan bitki türlerinin büyük oranda etkili olduğu belirtilirken (>%80), fosfor giderimde bu oran değişkenlik gösterdiği saptanmıştır (% 13 ila % 99). Carex appressa ve canna lilies yapılan deneysel çalışmalarda en iyi sonuçları veren bitki türleri olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, süzülme işleminin bir sonucu olarak fosfor gideriminin uzun vadede azalabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada genellikle mükemmel askıda katı madde giderimi ve organik madde giderimi verimliliği elde edildiği belirtilmiştir. (akm için >%80 ve BOİ için >%90). Çalışmanın yenilikçi ve estetik açıdan hoş canlı duvarların ev ölçeğinde gri su arıtımı için tasarlanabileceğini ve gri su arıtımında efektif olarak kullanabileceğini belirtmişlerdir [27].

Azkora ve ark., (2015), yaptıkları çalışmada, yeşil duvar sistemlerinin, binalardaki pasif ses izolasyonu amacıyla kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada modüler bir yeşil duvar sistemi kullanılmış olup bu sistemde, geri dönüştürülebilir polietilen malzemeden yapılmış saksılar bulunmaktadır. Saksıların uzunluğu 600 mm, genişliği 80 mm ve yüksekliği 400 mm olup, saksılar UV ışınlarına karşı dayanıklıdır. Çalışmada yetiştirme ortamı olarak Hindistan cevizi liflerinden elde edilen bir yetiştirme ortamı kullanılmış olup, bu yetiştirme ortamı süs bitkisi yetiştiriciliğinde sıklıkla kullanılan ticari bir yetiştirme ortamıdır. Araştırma da kullanılan yeşil duvar sistemi, 1.205 mm genişliğinde ve 2.005 mm'lik bir alanı temsil eden 10 modüler yetiştirme ünitesinden (saksı) oluşmuştur. Yeşil duvar sistemindeki saksılar, 0,02 mm kalınlığında çelik çubuklarla duvara monte edilmiş ve test standartlarına uygun olarak mastik Perennator TX 2001 S ile sızdırmaz hale getirilmiştir. Testler standart kaynak oda ve alıcı oda olacak şekilde yatay iletim odalarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan ortalama ses seviyeleri 0,01 - 5 kHz arasındadır. Ses ölçümleri alıcı alandaki bir mikrofon yardımı ile ölçülmüştür. Ölçümlerde ses kaynağı ve mikrofon bir metrelik bir yarı çap içinde 32 s / ölçüm döngüsü için 16 s / devir hızında döndürülmüştür. Eşdeğer ses emme alanı, alıcı odada ölçülen yankılanma süresi (T) olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca alıcı odanın arka plan gürültüsü de 0.1 kHz ila 5 kHz arasında ölçülmüştür. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar bir bütün olarak ele alındığında, yeşil duvar sistemlerinin, sistem elemanları arasındaki izolasyonun sağlanması gibi verimlilik artırıcı bazı tasarım ayarlamalarının dikkatlice yapılması koşuluyla, binalar için bir ses yalıtım aracı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmış ve çalışmada kullanılan yeşil duvar sisteminin 15 dB'lik ses azaltma indeksi ( $R_w$ ) ve 0.40 ağırlıklı bir ses emme katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir [28].

Renterghem ve ark., (2012), yeşil çatı ve yeşil duvarların binaların içerilerinin sessizleştirilmesine etkilerini inceledikleri çalışmada, trafik sesinin, bitkilendirilmiş kaplama sistemleri olan yeşil çatı ve duvarlar ile binalara etkisinin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında, altı katlı binalara karşılık gelen 19.2 m x 19.2 m boyutlarında iki bitişik kanyon oluşturulması düşünülmüştür. Kanyonda 3D konfigürasyonlar sokakları ve tamamen kapalı yol kenarındaki avluları içermekte



olup, sokak boyutları 9.6 m genişlik, 19.2 uzunluğa sahiptir. Avlu boyutları ise 19.2 m / 19.2 m / 19.2 m'dir (genişlik / derinlik / yükseklik). Gerçekliği arttırmak amacı ile binalara pencereler eklenmiştir. Kanyon modelinde, toplam olarak 21 bina yeşil duvar ve çatı sistemleriyle giydirilmiştir. Trafik sesi oluşumunda, uyumlu trafik modeli ile hareket eden tek şeritli bir yol planlanmış ve karayolu trafiğinin araç hızları arasında eşit olarak değiştiği varsayılmıştır. Ses oluşumunda seçilen trafik modeli oldukça önemli görülmüş olup, bu parametreler sokakta yayılan sesin frekans içeriğini değiştirmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarında, yeşil çatıların avlularda sessizliği artırmak için önemli olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte, yeşil duvarlar, akustik olarak sert dış cephe malzemeleri ile dar şehir kanyonlarına uygulandığında daha verimli bulunmuşlardır. Çalışmada farklı bitki türlerinin ses izolasyonuna etkisinin sınırlı olduğu, yeşil çatı ve yeşil duvar sistemlerinin şekillerinin daha etkili olduğu belirtilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar kullanılan yetiştirme ortamı içerisindeki suyun ses izolasyonunun da önemli olabileceğini göstermiştir. Çalışmada ses izolasyonunu artırmak için, yetiştirme ortamında minimum su içeriği önerilmesine rağmen, uzun süreli gürültü azaltma etkisini değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir [29].

Wong ve ark., (2010), yeşil duvar sistemlerinin binalarda ses azaltıcı unsurlar olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, HortPark (Singapur) ta bulunan sekiz yeşil duvar sisteminin ses izolasyonuna etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı inşaat teknikleri ve bitki tipleri ile oluşturulmuş sekiz farklı yeşil duvar sistemi vardır. Ayrıca boş bir duvar da kontrol uygulaması olarak kullanılmıştır. Kontrol için kullanılan ile birlikte dokuz duvar da 4 m genişliğinde, 8 m yüksekliğinde ve 0.3 m kalınlığında olup, betonarme çerçevelerin tuğla ile doldurulması ile inşaa edilmiştir. Yeşil duvar sistemleri ve duvar arasında 0,085 m boşluk bulunmaktadır. Ses ölçümleri için, Pembe gürültü kaynağı bir dakikalık süreler de ses üretilmiş olup, okumalar, üçüncü oktav bantlarında 63-10 kHz frekans aralığında kaydedilmiştir. Okumalar sırasında tüm koşulların aynı olması amacıyla, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı ve yönü takip edilmiş ve önemli ölçüde farklı olmadıkları ve eşit ortamların oluştuğu belirlenmiştir. Ses okuması yapan mikrofonlar, ortalama bir insan kulağı yüksekliğini temsil etmesi amacı ile 1,5 m yüksekliğindeki ayakların

üzerine ve üç farklı pozisyonda yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, düşük ila orta ses şiddetleri arasında, seslerde daha güçlü bir zayıflama olduğunu gösterirken, yüksek ses şiddetlerinde zayıflamanın daha az olduğunu göstermiştir. Bunun yanında çalışmada, yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna olan etkisinin, yetiştirme ortamı tarafından emilme ve bitkilerden sesin saçılımı şeklinde gerçekleştiği, ayrıca farklı bitki türlerinin ses izolasyonuna etki düzeylerinin de farklılık gösterdiği rapor edilmiştir [30].

Horoshenkov ve ark., (2013), topraklı ve topraksız yetiştirme ortamlarında, yavaş büyüyen bitkiler kullanarak, yaprak morfolojisi ve alanının akustik emme katsayısına etkilerini araştırmışlardır. Yazar ve arkadaşları çalışmanın çıkış noktasının, literatürdeki konu ile ilgili çalışmalarda genellikle matematiksel modellerin kullanılmasından dolayı, sistematik bir laboratuvar çalışmasında frekansa bağlı akustik emme katsayısının doğru ölçümlerine ihtiyaç duyulması olarak belirtmektedirler. Bunun yanında bitkilerin ses izolasyonuna olan etkileri uzun zamandır bilinmesine rağmen hala bitki morfolojisi kullanılarak bitkilerin akustik emme katsayısını belirleyecek teorik bir model ortaya koyulamamıştır. Bu çalışmada yavaş büyüyen bitkiler üzerinde incelemeler yapılmasının nedeni, yeşil duvar ve çatı uygulamalarında bu bitkilerin tercih edilmesidir. Çalışmada kullanılan bitkilerin seçiminde bitkilerin yaprak alanı ve morfolojisi ön planda tutulmuş olup, bitki köklerinin etkisi göz önüne alınmamıştır. Denemelerde insan yapımı yetiştirme ortamı ve doğal kil bazlı toprak kullanılmıştır. Emilim katsayıları verileri 50 - 1600 Hz frekans aralığında elde edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile, yaprak alan yoğunluğu ve yaprak yönelim açısının akustik emme katsayısı ve dolayısı ile ses izolasyonuna etki eden en önemli morfolojik özellikler olduğu rapor edilmiştir [31].

Thomazelli ve ark. (2016) yeşil duvarların akustik özelliklerini, ses absorblama ve izolasyona bağlı olarak incelemiştir. Çalışmada jeotekstilden yapılmış küçük cepler kontrplak levhalara sabitlenerek bir yeşil duvar ünitesi oluşturulmuştur. Yetiştirme ortamı olarak Hindistan cevizi liflerinden elde edilen yetiştirme ortamı ve perlit karışımı kullanılmıştır. Kullanılan yetiştirme ortamının porozitesi %87,

hacimsel yoğunluğu  $71 \text{ kg/m}^3$  ve su tutma kapasitesi  $400 \text{ ml/l}$  olarak ölçülmüştür. Bitki seçiminde çevresel şartlara dayanıklılık ve yüksek yaprak hacmi gibi iki önemli kriter göz önünde bulundurulmuş ve *Callisia* bitkisi kullanılmasına karar verilmiştir. Deneysel çalışmalarda, yeşil duvarın ses absorblama özelliği, ISO 135 de verilen prosedürler kullanılarak absorblama katsayısına göre değerlendirilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı toplam alan  $7,2 \text{ m}^2$ 'dir. Ses ölçümleri  $100 - 5000 \text{ Hz}$  arasında ve 4 farklı mikrofon ve kaynak pozisyonunda yapılmıştır. Ses izolasyon ölçümlerinde ise ISO 140-5'de tarif edilen prosedürler takip edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yeşil duvar uygulamasının ses izolasyonuna önemli katkılar sağladığını, yetiştirme ortamı ve bitkilerin her ikisinin de bu katkıda önemli olduğunu ve bitki yoğunluğunun izolasyon etkinliğini arttırdığını göstermiştir [32].

Wong ve ark., (2009), yaptıkları çalışmalarında yeşil duvar uygulamalarının binalardaki enerji tüketimi ve sıcaklık üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu incelemede üç ana unsur üzerinde durulmuş olup, bu unsurlar termal transfer etkileri, gölgelemenin etkileri ve bitkilerin yaprak alan indeksleridir. Termal transfer etkileri binaya ısı geçişindeki üç temel bileşen ile, ortalama ısı kazanımı ile belirlenmiştir. Gölgeleme katsayısı bitki ve çıplak duvarın arasındaki güneş radyasyonunun oranı ile bulunmuştur. Düşük güneş radyasyonu değeri, bitkinin duvarı etkili bir şekilde gölgelediği anlamına gelir. Yaprak alanı endeksi, bir bitkinin birim zemin alanı başına yaprak alanıdır ve bu çalışmada yaprak alan indeksi değerleri LAI-2000 bitki kanopi analizörü kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlara göre, yeşil duvar uygulamaları bina sıcaklığının düşürülmesinde etkilidir. Gölgeleme katsayısı ve yaprak indeksi arasında önemli bir korelasyon bulunmuş olup, binanın soğutulması için harcanan enerji miktarının düşürülebilmesi için, gölgeleme katsayısı düşük bitkilerin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yine elde edilen sonuçlardan,  $0,041$  gölgeleme katsayısına sahip, %50 yeşil duvarla kaplanmış binalarda, termal transfer etkilerinin %40,68 azaltılabileceği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yeşil duvar uygulamalarının termal etkilerin daha iyi anlaşılabilmesi için gerçek boyutlu binalarda ölçümler yapılarak sonuçların karşılaştırılması önerilmektedir [33].

Perez ve ark., (2011), “Binalarda pasif enerji tasarrufu için yeşil duvar sistemleri” başlıklı çalışmalarında, yeşil duvar uygulamalarını üç ana sınıflandırmaya tabi tutarak incelemişlerdir. Bu sınıflandırmanın amacı, sistemler arasındaki tanımlamayı ve farklılaşmayı kolaylaştırmak ve gelecekteki araştırmalarda kolaylık sağlamak olarak belirtilmiştir. Bu sınıflandırmalardan birincisi yeşil duvar uygulamalarını geleneksel ve yenilikçi olarak ikiye ayırmaktadır. İkinci sınıflandırmada yeşil duvar uygulamalarının pasif enerji tasarruf sistemleri olarak kullanılmasındaki mekanizmaların incelenmesini içermektedir. Son sınıflandırmada ise bu sistemlerin kuru Akdeniz iklim koşullarında ve gerçek bir uygulamada ki davranışları incelenmiştir. Çalışmada yeşil duvar uygulama sistemleri yeşil cepheler ve yaşayan duvar sistemleri olarak ikiye ayrılmıştır. Yeşil cepheler, genellikle sarmaşık türü tırmanıcı bitkilerle oluşturulan sistemlerdir. Yaşayan duvarlar ise plastik veya geotekstil gibi malzemelerden üretilmiş saksılar kullanılarak bitkilendirilmiş yeşil duvar uygulamalarıdır. Çalışmaya göre yeşil duvar uygulamalarının pasif enerji sistemi olarak kullanılmasında dört temel mekanizma göz önünde bulundurulması gerekir. Bu mekanizmalar, bitki örtüsü tarafından sağlanan gölge nedeniyle güneş radyasyonunun kesilmesi, bitki örtüsü ve yetiştirme ortamı tarafından sağlanan ısı yalıtımı, bitki ve yetiştirme ortamından evapotranspirasyon ile oluşan evaporatif soğutma ve bitki ve yetiştirme ortamının rüzgarı engellemesi olarak ifade edilebilir. Ayrıca çalışma kapsamında gerçek bir yeşil duvar uygulamasında yürütülen incelemeler yapılmış olup, bu incelemeler bitkilerin yapraklı olduğu bahar ve yaz aylarında ve bina cephesinin %62’si bitki yaprakları kaplıyken gerçekleştirilmiştir. Bu incelemede yeşil duvar ile kaplı cephelerin doğrudan güneş alan cephelere göre duvar sıcaklığının daha düşük olduğu, yüzey sıcaklığı değerleri arasındaki farkın ortalama 5.5°C ölçüldüğü ve bu farkın Ağustos ve Eylül aylarında en yüksek değere ulaştığı, en yüksek sıcaklık farkı değerinin eylül ayında kuzey batı cephesinde 17.5°C olarak ölçüldüğü, nem değerlerinin incelenmesinde ise özellikle en yüksek yeşillik yoğunluğuna sahip olan haziran ve eylül aylarında, yeşil duvar uygulaması ile bina yüzeyin arasındaki boşlukta ölçülen nem değerlerinin dış ortam nem değerlerinden yüksek olduğu ve en yüksek günlük nem farkı değerinin %7 ile temmuz ayında belirlendiği rapor edilmiştir. Çalışma kapsamında edinilen bilgilere göre, yeşil duvar uygulamalarının, özellikle yaz aylarında binaların soğutulması için harcanan

enerjinin azaltılmasında etkili olduğu, bu etkideki en önemli olgunların ise gölgeleme ve evaporatif soğutma olduğu belirtilmektedir [34].

Perini ve ark., (2011), binaların yeşil duvarlar ile kaplanmasının hava akışı sıcaklık üzerinde ki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada yapılan incelemeler iki araştırma sorusu ile formüle edilmiştir. Birinci araştırma sorusu Farklı yeşil duvar sistemlerinin arasında rüzgar hızını azaltmasında farklılıklar var mıdır. İkinci araştırma sorusu ise binaların yeşil duvar ile kaplanmış yüzeyleri ile kaplanmamış yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşuyor mu olarak belirlenmiştir. Bu araştırma için, kullanılan materyaller, bitki tipi ve konfigürasyon olarak değişiklik gösteren yeşil duvar sistemleri seçilmiştir. Bu sistemlerin hepsi Hollanda' da olup aralarındaki mesafe en fazla 20 km'dir. Seçilen yeşil duvar sistemlerden birincisinde tırmanıcı bitkiler doğrudan bina yüzeyine tutunmuştur. İkinci ve üçüncü yeşil duvar sisteminde ise sırası ile alüminyum ve plastikten yapılmış saksılar bina duvarına monte edilerek bitkilendirilmiştir. İkinci uygulamada yetiştirme ortamı olarak toprak, üçüncüsünde ise saksı toprağı kullanılmıştır. Tüm yeşil duvar sistemlerinde sulama, drenaj ve bitki besin maddesi ilaveleri bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, yeşil duvar kaplanmış ve kaplanmamış yüzeylerde 1m den 10 cm ye kadar hava sıcaklığında herhangi bir fark gözlenmemiştir. Buna karşılık yüzey sıcaklıkları incelendiğinde yeşil duvar sistemleri ile kaplı yüzeylerin sıcaklığı daha düşüktür. Ayrıca doğrudan tırmanıcı bitkilerin kullanıldığı yeşil duvar sisteminin bulunduğu yüzeylerde ölçülen sıcaklık değerleri, saksılı sistemlerinkine göre yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni olarak saksılı sistemlerde kullanılan materyallerin izolasyon sağlaması olarak açıklanmıştır. Sistemler arasındaki ortalama sıcaklık farkı 5°C'ye kadar yükselmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde yeşil duvar sistemlerinin ısı izolasyonunda ki katkılarının açık olduğu ve farklı tür yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna katkı düzeylerinde farklılıklar görüldüğü belirtilmektedir [2].

Perez ve ark., (2011) çalışmalarında Akdeniz iklim koşullarında yeşil yüzeylerin davranışlarını binalardaki enerji tasarrufu açısından incelemiştir. Bu çalışmada yeşil yüzeylerin oluşturulmasında dört farklı tür tırmanıcı bitki kullanılmıştır.

Bitkiler bir yıl boyunca büyütülmüş ve bina yüzeyinde kapladıkları alan takip edilmiştir. Bu bitkiler, ivy (*Hereda helix*), honeysuckle (*Lonicera japonica*), virginia creeper (*Parthenocissus quinquefolia*) ve clematis (*Clematis sp.*) olup, çalışma için seçilen bitkilerin ışık iletim faktörleri sırasıyla, 0.20, 0.18, 0.15, 0.41 olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda yapraksız dönemde yeşil yüzeylerin ara boşluk aydınlanması arasındaki aylık farklar 10000-3000 lux iken yapraklı dönemde bu değer yaklaşık olarak 80000 lux olarak ölçülmüştür. Bitkisiz yüzeyin sıcaklığı, bitkilendirilmiş yüzeyden 5.55°C daha yüksek bulunmuş olup, en yüksek sıcaklık farkı 15.18°C ile eylül ayında oluşmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yeşil yüzeylerin gölge yapma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı, bina duvarlarının yüzey sıcaklığının düşürülmesinde etkili olduğu, tırmanıcı bitkilerle bina duvarı arasında ki boşlukta düşük sıcaklık ve yüksek nemden dolayı bir mikro klima oluştuğu, yeşil yüzeylerin bir rüzgar bariyeri gibi davrandığının doğrulandığı şeklinde rapor edilmiştir. Diğer taraftan çalışmada elde edilen sonuçların yeşil yüzeylerin bina izolasyonuna etkilerinin tam olarak açıklanmasına izin vermediği belirtilmektedir [35].

Wong ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada yeşil duvar uygulamalarının bina duvarları üzerindeki termal etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla sekiz farklı yeşil duvar uygulaması hazırlanmış ve bu uygulamaların bina yüzeyleri ve ortam sıcaklıklarına olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca oluşabilecek farklılıkların belirlenebilmesi için bir adet kontrol duvarı kullanılmıştır. Yeşil duvar sistemlerinin bağlı olduğu duvarlar ve kontrol duvarı betondan yapılmış olup boyutları, yüksekliği 8 m, genişliği 4 m ve kalınlığı 0.3 m'dir. Yeşil duvar uygulamaları yeşil yüzeylerden yatay ve dikey kompleks yaşayan duvarlara kadar bir çok türdedir. Isı değişimlerini belirlemek için sıcaklık ölçerler kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı (0.15, 0.30, 0.60 ve 1 metre mesafeler de), yetiştirme ortamı sıcaklığı, bitki yüzey sıcaklığı ve duvar sıcaklığı takip edilmiştir. Yapılan ölçümlerde bitki yoğunluğu en fazla olan yeşil duvar uygulamasının duvar sıcaklığı en düşük değer de olmakla birlikte tüm yeşil duvar sistemlerinin duvar yüzeyi sıcaklığı kontrol duvarının sıcaklığından daha düşük bulunmuştur ve günlük sıcaklık dalgalanmaları kontrol duvarına göre daha karardır. Yeşil duvar sistemlerinin bağlı olduğu duvar ve kontrol duvarı arasında ki

en yüksek sıcak farkı 10.94°C olarak ölçülmüştür. Akşam ve geceleri yetiştirme ortamının yüzey sıcaklığı duvardan daha düşük iken gündüzleri bu durum tersine dönmektedir. Bu durum yetiştirme ortamının gündüzleri doğrudan solar radyasyona maruz kalması, buna karşılık duvarın bitki ve yetiştirme ortamı sayesinde solar radyasyondan belli derecede korunmasındandır. Çalışmada ortam sıcaklıkları incelendiğinde duvar yüzeylerindeki benzer şekilde yeşil duvar uygulamalarının ortam sıcaklıkları düşük bulunmuştur. En yüksek ortam sıcak farkı 11.58°C olarak ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde, yeşil duvar uygulamalarının özellikle çalışmanın yapıldığı ülke olan Singapur gibi tropik iklimli sıcak ülkelerde ısı izolasyonunu açısından çok önemli katkılar sağlayacağı görüşü bildirilmektedir [36].

Cheng ve ark., (2010), yeşil duvar sistemleri ve bitki örtüsünün, binaların termal performansı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu amaçla bir toplu konut apartmanının bir cephesine yeşil duvar sistemi kurulmuştur. Yeşil duvar sistemi 100x50x75 cm<sup>3</sup> boyutlarında alüminyumdan yapılmış panellerden oluşmaktadır. Yetiştirme ortamı olarak ticari torf kullanılmış olup, plastik sulama boruları ile bitkilerin su ve bitki besin maddesi ihtiyaçları karşılanmıştır. Her bir panele sıcaklık ve nem ölçümleri için sensörler yerleştirilmiş olup nem değerleri sulama işleminden üç saat sonra kaydedilmeye başlanmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, yeşil duvar sisteminin uygulandığı cephenin, çıplak beton cephelere göre, sıcaklık dalgalanmalarına rağmen, binanın iç ve dış sıcaklığını düşürdüğü, güneş ısısının transferini geciktirdiği ve binanın soğutma amacıyla kullandığı klimaların güç tüketimini azalttığı şeklinde rapor edilmiştir. Genellikle yetiştirme ortamı dış ortam sıcaklığından 1-2°C daha fazla ölçülmüştür. Bununla birlikte bazı güneşli günlerde, öğleden sonraları yapılan ölçümler dış ortam ile bitki yetiştirme ortamı arasındaki sıcaklık farkının 14°C ye kadar çıkabildiği görülmüştür. Ayrıca çalışma sonuçlarında, canlı bitkilerin ve yetiştirme ortamı içerisindeki nemin birlikte oluşturduğu soğutma etkisinden dolayı, yeşil duvar sisteminin binanın görselliğine sağladığı katkılardan daha önemli olabileceği vurgulanmaktadır. Çalışma sonuçlarının ortaya koyduğu bir diğer husus olarak ta, yeşil duvar sistemlerinde yetiştirme ortamı neminin dikey profilde

azalma gösterebildiği ve bu durumun özellikle bazı hassas bitkilerde sorunlara yol açabileceğidir [37].

Cuce (2017) yaptığı çalışma ile yeşil duvar sistemlerinin termal düzenleyici etkisini sayısal ve deneysel incelemelerle ortaya koymaya çalışmıştır. Bu amaçla yeşil duvar sistemlerinin önemli bir türü olan yeşil yüzeyleri kullanmıştır. Çalışmada yeşil yüzey, bir tür tırmanıcı bitki olan ve bu uygulamalarda oldukça sık kullanılan *Hedera helix* bitkisi kaplıdır. Bitkinin yaklaşık olarak on yıl önce dikilmiş olduğu ve simültane olarak büyüdüğü tespit edilmiş olup, bitki doğrudan duvara tutunmuş ve yaklaşık 10 cm'lik bir bitki yoğunluğu oluşturmuştur. Bununla birlikte çalışmanın yapıldığı duvara sıcaklık değişimlerin belirlenebilmesi için ısı sensörleri yerleştirilmiş, uygulamanın oluşturacağı farkların tespit edilebilmesi için ise aynı özelliklere sahip bitkilendirilmemiş boş bir duvar kontrol uygulaması olarak kullanılmıştır. Kontrol ve yeşil duvar sisteminin bulunduğu duvarların her ikisi de kırmızı tuğladan yapılmıştır. Bunun yanında çalışmanın ikinci bölümünde termal etkilerin daha açık ortaya koyulabilmesi ve yeşil duvar sisteminin absorbladığı solar radyasyonun sayısal olarak ifade edilebilmesi amacıyla ilk bölümde elde edilen verilerle bir model oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar yeşil duvar uygulamalarının duvar sıcaklığının düşürülmesine olan etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre güneşli hava koşullarında çıplak duvar sıcaklığı 13.3°C iken, yeşil yüzeyde ölçülen sıcaklık 7.2°C olmuş ve 6.1°C'lik bir sıcaklık farkı oluşmuştur. Yaklaşık 10 cm'lik bir kalınlığa sahip olan bitkilendirme ile 6°C lik bir ısı azalmasının sağlanması ve ölçüm yapılan diğer noktalarda da benzer sonuçlar elde edilmesi yeşil duvarların termal başarısını ortaya koymuş ve bitki yoğunluğunun artması ile bu etkinin daha ilerilere götürülebileceği anlaşılmıştır [38].

Pan ve Chu (2016) Hong Kong' da yaptıkları çalışmalarında yeşil duvarların enerji tasarrufu potansiyelleri ve yaşam döngülerinin çevresel etkilerini incelemişlerdir. Bu kapsamda ticari olarak kurulan yeşil duvar sistemlerinin binalardaki soğutma amacıyla tüketilen enerjiye etkileri ve kullanım sırasında ve kullanım ömrü dolduktan sonra yeşil duvar sistemi bileşenlerinin çevresel etkileri araştırılmıştır. Enerji tasarrufunun belirlenmesinde Hong Kong da ki yaygın olan küçük bir daire



kullanılmış olup, dairedeki soğutma amaçlı kullanılan enerji miktarları yeşil duvar sistemli ve yeşil duvar systemsiz olarak ölçülmüştür. Yeşil duvar panelleri dairenin maksimum güneş ışığı alan güney cephesine yerleştirilmiştir. Kullanılan paneller 2.99 m – 2.75 m ebatlarında olup toplam 8.22 m<sup>2</sup> lik bir alan kaplamaktadır. Yeşil duvar sistemi dairenin dış duvarına metal iskelet ile yerleştirilmiş olup, *Peperomia claviformis* bitkisi kullanılarak yeşillendirilmiştir. Yapılan ölçümlerde yeşil duvar sistemi kullanılan dairenin güneşli, bulutlu ve yağmurlu havalardaki enerji tüketimleri sırasıyla, 1.30, 0.84, 0.71 kwh olarak belirlenmiştir. Yeşil duvar sistemi tipik olarak sıcak ve nemli geçen ağustos ve eylül aylarında yaklaşık %16'lık bir elektrik enerjisi tasarrufu sağlamıştır. Malzeme adımı katkısı olarak tüm çevresel etki kategorilerine katkısı %46-97 arasında olmuştur. Çevresel yüklerin karşılaştırılması ve soğutmada kullanılan elektrikten sağlanan kazanımlar göstermiştir ki, , bina duvarlarına monte edilen dikey yeşillikler, yaz aylarında soğutma için enerji tasarrufu sağlayabilir ve kentsel peyzaj ve bahçecilik için çok az arazinin bulunduğu şehirlerde çevresel olarak sürdürülebilir bir seçenek sağlayabilir [39].

Wong ve Baldwin (2016), sub-tropik bölgelerdeki yüksek binalarda yeşil duvar uygulamalarının enerji tasarrufuna olan katkılarını araştırdıkları çalışmalarında, dış izolasyonu bulunmayan yüksek binaların, sıcak yaz aylarında soğutma amaçlı tüketilen enerjinin yeşil duvar sistemlerinin sağlayacağı izolasyon ile azaltılmasına odaklanmışlardır. Çalışma kapsamında kullanılan yeşil duvar sistemleri iki katmanlı yeşil yüzeylerdir. Yeşil yüzeyler genellikle tırmanıcı bitkilerin bina duvarının yüzeyine tutunması ve büyüme periyodu içerisinde yüzeyi kaplaması ile oluşur. Bununla birlikte çalışmada yüksek binalar tercih edildiğinden, yeşil yüzeylerde çift katmanlı diye tabir edilen ve duvar ile bitki arasına bitkinin tutunup tırmanabileceği bir destek platformuna sahip sistem kullanılmıştır. Bitkilerin dikildiği saksılar zemindedir ve binanın etrafına dağılmıştır. Çalışma sonucunda çift katmanlı yeşil yüzeylerin yüksek katlı binalarda ilave bir izolasyon katmanı vazifesi görerek, soğutma için harcanan enerjide tasarruf sağladığı bildirilmiştir. Bu sonuca ulaşmada etkili olan bulgular olarak, iç mekanın ısınmasında yalnız doğrudan ışınımın hesaba katılması ve yeşil yüzeylerin bunu engellemesi, bu durumun soğutma ihtiyacını azaltması ile soğutma enerji ihtiyacında yaklaşık %72 oranında azalma sağlanması gösterilmektedir. Bununla birlikte yine çalışma sonucunda, bu konudaki

mekanizmanın daha kesin olarak ortaya koyulmasına ve özellikle nem ve hava akımı gibi faktörlerin etkilerinin belirlenmesine ve yüksek binalara yönelik yapılacak yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir [40].

Coma ve ark., (2017) halihazırda en çok kullanılan iki yeşil duvar sistemi olan yaşayan duvarlar ve iki katmanlı yeşil yüzeylerin, binalardaki enerji tasarrufuna olan katkılarını karşılamışlardır. Bu amaçla 3x3x3 m ebatlarında beton donatılardan yapılmış kübik deneysel evler tasarlamışlardır. Evlerin çaltıları ekstra çeşitli izolasyon malzemeleri kullanılarak kaplanmıştır. Duvarları 30x19x29 cm ebatlarında tuğlalardan inşa edilmiştir. Yeşil yüzey çalışması için, bitkilerin tutunabileceği katman olarak 2 mm metal kafes kullanılmış olup, bu sistem duvar ile yeşil yüzey arasında 25cm bir hava boşluğu sağlamaktadır. Yaşayan duvar uygulamasında ise yetiştirme ortamını içeren 600x400x80 mm boyutlarında plastik saksılar ve sulama sistemi duvarlara monte edilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak Hindistan cevizi liflerinden elde edilen yetiştirme ortamı kullanılmıştır. Yeşil yüzeylerde *Parthenocissus tricuspidata*, yaşayan duvarlarda ise *Rosmarinus officinalis* ve *Helichrysum thianschanicum* bitkileri kullanılmıştır. Ayrıca kontrol uygulaması olarak bir ev bitkilendirilmeden kullanılmıştır. Tüm deneysel evlerde iç ve dış ortam sıcaklıklarını ölçen sensörler bulunmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre soğutma gerektiren mevsimde her iki sistemde önemli ölçüde başarı göstermiş olup, yeşil duvarlar %58.9, yeşil yüzeyler ise %33.8 enerji tasarrufu sağlamıştır. Isıtma ihtiyacı mevsimlerde ise yeşil duvar sisteminin katkısı sınırlı olmasına rağmen her iki sistemde ekstra enerji ihtiyacı göstermemiştir [41].

Pulselli ve ark., (2014) farklı yeşil duvar sistemlerini enerji tasarrufu özelliklerine göre değerlendirmişlerdir. Çalışmada incelenen yeşil duvar sistemleri yeşil yüzeyler ve yaşayan duvarlardır. Deneysel çalışmalar için toplam hacmi 1000 m<sup>3</sup> olan bir binanın 98 m<sup>2</sup>'lik ön cephesi kullanılmıştır. Bu alana yeşil yüzey ve yaşayan duvarlar için gerekli donatılar yapılarak bitkilendirilmiştir. Her iki sistemde de sulama ve bitki besin maddesi ihtiyacı bilgisayar kontrollü sistemlerce sağlanmaktadır. Çalışmada çevresel performansların belirlenmesi amacıyla kullanılan birim ünite başına enerji tasarruf miktarı, tüketilen enerjinin tasarruf edilen enerjiye oranı olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte yine çalışma kapsamında enerji tasarrufunun bir

belirleyicisi olarak fayda maliyet analizleri de yapılmıştır. Bunun nedeni yeşil duvar sistemlerinin kurulum maliyetinin yanında, bitkilerin yaşamlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmeleri için gerekli olan sulama ve gübreleme gibi uygulamaların gerektirdiği enerjinin de düşünülmesi gerekliliğidir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde ve 25 yıllık bir kullanım ömrü göz önüne alındığında, yeşil yüzey ve yaşayan duvar sistemlerinin her ikisinin de binalardaki enerji tasarrufuna katkı sağlayacağı bildirilmektedir. Bununla birlikte fayda maliyet analizi sonuçlarına ile, yeşil duvar sistemlerinin ihtiyaç duyacağı sulama ve gübreleme gibi unsurların yerine getirilmesi için kullanılan enerjinin karşılanmasında, sisteme entegre edilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemli katkılar sunacağı ortaya koyulmuştur [42].

Hoelscher ve ark., (2016), tırmanıcı bitkiler kullanılarak oluşturulan yeşil yüzeylerin binalar ve kanyon şeklindeki sokaklardaki soğutma etkilerini, gölgeleme, terleme ve izolasyon özelliklerini ayrı ayrı göz önünde bulundurarak incelemişlerdir. Çalışmanın saha incelemeleri, üç ayrı binanın yüzeyine uygulanan yeşil yüzey sistemi ile sıcak yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Yeşil yüzeylerin oluşturulmasında bu çalışmalarda sıklıkla kullanılan *Parthenocissus tricuspidata*, *Hedera helix* ve *Fallopia baldschuanica* bitkileri kullanılmıştır. *Parthenocissus tricuspidata*, *Hedera helix* bitkileri doğrudan duvar yüzeyine tutunmaktadır, *Fallopia baldschuanica* bitkisinin kullanıldığı uygulama ise, çift katmanlı yeşil yüzey olarak ifade edilen yöntemle, bitkinin tutunabileceği bir kafes sistemi bulunmaktadır. Farklı bitkilerin yaprak alan indekslerini belirlemek için 2 m<sup>2</sup>'lik bir bölümde ki bitkilerin yaprakları hasat edilmiş ve yaprak alanına karşılık gelen duvar alanı belirlenerek yaprak alan indeksi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, *Parthenocissus tricuspidata* bitkisinin yaprak alan indeksi 1.9, *Hedera helix* bitkisinin yaprak alan indeksi 3.0 ve *Fallopia baldschuanica* bitkisinin yaprak alan indeksi 3.0 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yaprak alanı ve duvar alanına bağlı terleme oranının belirlenmesinde yaprak sapları ve gövdeye bağlı dalların alanları da belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümleri dış yüzeyler için, çıplak dış duvar yüzeyinde, bitkilendirilenin alt bölümünde kalan duvar yüzeyinde ve bitki yapraklarında yapılırken, iç yüzey sıcaklık ölçümleri aynı odadaki bitkili ve çıplak alana karşılık gelen duvar yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir.

Meteorolojik veriler olan hava sıcaklığı, bağıl nem ve güneş ışını radyasyonu, yeşil yüzeye 0.4 m mesafede ve yerden 2.8 m yüksekte 5 dakikalık periyotlarda ölçülmüş olup, güneş ışını radyasyonu  $Wm^2$  olarak ölçüldükten sonra tüm günlük toplam değeri  $J m^2$  olarak verilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, yeşil yüzeylerin kalyon şeklindeki sokakların sıcaklığına önemli bir etki yapmadığı buna karşılık, yeşillendirilmiş duvarların sıcaklığının çıplak duvarlara göre  $15.5^{\circ}C$  daha düşük bulunduğu, iç duvar sıcaklığının  $1.7^{\circ}C$  dereceye kadar düştüğü, soğuma etkisinin ağırlıklı olarak gölgelenmeye ve kısmen de terlemeye bağlı gerçekleştiği rapor edilmiştir [43].

## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT**

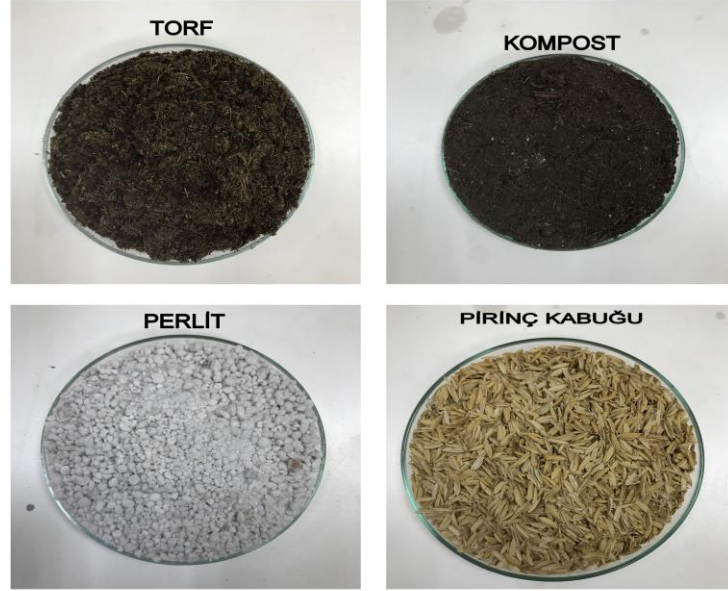
Yeşil duvar ve çatı sistemleri günümüz mimarisinin en popüler uygulamaları arasındadır. Bununla birlikte bu yükselen akım ile, doğal çevrenin en önemli unsuru olan bitkilerin kullanılması binaların ve şehirlerin görüntüsünü değiştirmeye başlamıştır. Bu değişim, yapı ve şehirlere olan görsel katkının yanında, küresel ısınma gibi insan sağlığı ve doğal çevre açısından oldukça önemli problemlerin çözümüne destek olmakta ve önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Günümüzde yapılan çalışmalar ile yeşil duvar uygulamalarının faydaları kesin sonuçlarla ortaya koyulmaya başladıkça, bu konuya olan ilgi de artmakta ve bu faydaların daha ileri boyutlara ulaştırılması için çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalara katkı sağlamak ve yeşil duvar uygulamalarında kullanılan yetiştirme ortamlarının ısı izolasyonuna olan etkilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için planlanan ve gerçekleştirilen bu çalışmada, belirlenen hedeflere ulaşmak için kullanılan yöntemler bu bölümde açıklanmıştır.

### **3.1. Yetiştirme Ortamı Bileşeni Olarak Kullanılan Materyallerin Temini**

Yeşil duvar uygulamalarında çok değişik yetiştirme ortamları denenmiştir. Bununla birlikte yeşil duvar uygulamalarının, dikey bitki yetiştirme faaliyeti olduğu düşünüldüğünde, istenen ideal bitki büyütme şartlarını sağlayacak yetiştirme ortamının bulunması oldukça önemlidir. Bu çalışmada organik ve inorganik malzemeler ve atıklardan yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Bu amaçla iki ana materyal olarak evsel atık kompostu ve ticari torf seçilmiş ve bu iki ana materyel pirinç kabuğu ve perlit ile çeşitli oranlarda karıştırılarak yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Torf hali hazırda gerek süs bitkisi yetiştiriciliğinde gerekse yeşil duvar uygulamalarında en sık kullanılan yetiştirme ortamı olduğundan bu çalışmada

kontrol uygulaması olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı bileşenleri Şekil 3.1.'de görülmektedir.



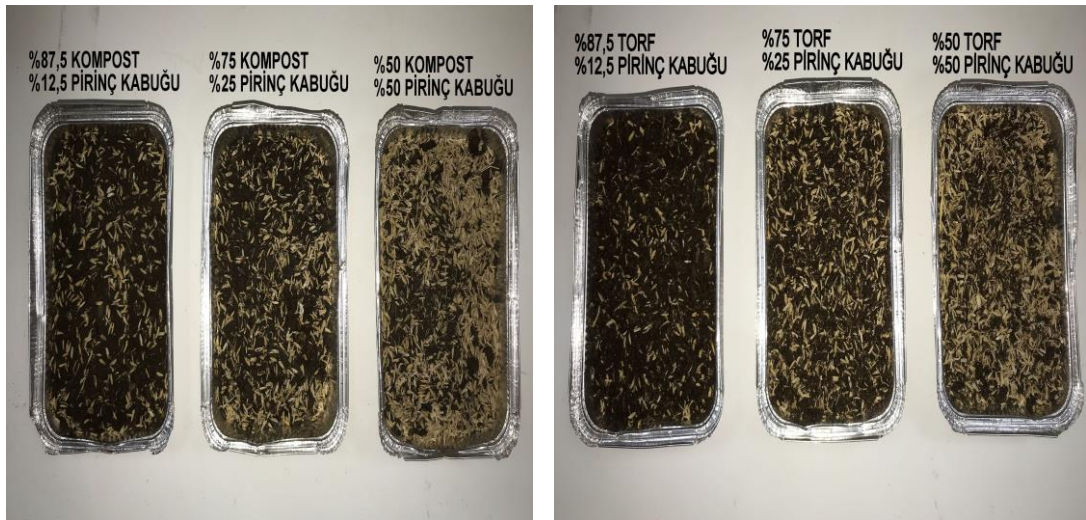
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı bileşenleri

Ana karışım malzemelerinden olan evsel atık kompostu, bir büyükşehir belediyesine ait evsel katı atık kompostlama tesisinden temin edilmiş olup, kullanılan torf ise ticari olarak satılmaktadır. Torfa benzer şekilde perlit de ticari olarak satılan ve tarımsal kullanım amacıyla üretilmiştir. Pirinç kabukları ise pirinç hasadından sonra, pirinçlerin işlenerek kabuklarından ayrılması faaliyetini sürdüren bir işletmeden temin edilmiştir. Tüm yetiştirme ortamları, temin edildikleri halleri ile kullanılmış olup, ilave yıkama parçala işlemleri uygulanmamıştır.

Çalışmada kullanılan materyaller belirli oranlarda karıştırılarak yetiştirme ortamları elde edilmiştir. Bu yetiştirme ortamları ve karışım oranları Tablo 3.1.'de, karışımlardan alınan numunelere ait görseller ise Şekil 3.2.'de verilmiştir. Karışımların hazırlanmasında kullanılan materyallerin hacim ağırlıkları birbirlerinden farklı ve genellikle çok düşük olduğundan karışımlar, kullanılan materyaller hacimsel olarak oranlanarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.1. Hazırlanan yetiştirme ortamları, karışımlarda kullanılan materyeller ve oranları

Yetiştirme Ortamı Kodu	Kullanılan Materyaller ve oranları
C	% 100 Evsel Katı Atık Kompostu
T	% 100 Torf
PK	% 100 Pirinç Kabuğu
PR	% 100 Perlit
CPK1	% 87,5 Evsel Katı Atık Kompostu+%12,5 Pirinç Kabuğu
CPK2	% 75 Evsel Katı Atık Kompostu+%25 Pirinç Kabuğu
CPK3	% 50 Evsel Katı Atık Kompostu+%50 Pirinç Kabuğu
CPR1	% 87,5 Evsel Katı Atık Kompostu+%12,5 Perlit
CPR2	% 75 Evsel Katı Atık Kompostu+%25 Perlit
CPR3	% 50 Evsel Katı Atık Kompostu+%50 Perlit
TPK1	% 87,5 Torf +%12,5 Pirinç Kabuğu
TPK2	% 75 Torf +%25 Pirinç Kabuğu
TPK3	% 50 Torf +%50 Pirinç Kabuğu
TPR1	% 87,5 Torf +%12,5 Perlit
TPR2	% 75 Torf +%25 Perlit
TPR3	% 50 Torf +%50 Perlit



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri



Şekil 3.2. (Devamı)

### 3.2. Çalışmada Kullanılan Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında organik ve inorganik materyaller kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarının, yeşil duvar uygulamaları açısından önemli fiziksel özellikleri yapılan analizlerle belirlenmiştir. Analizlerde Avrupa Birliği Standartları ve konuyla ilgili literatürde kabul görmüş yöntemler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yetiştirme ortamlarının bitki besin elementi içeriği benzeri kimyasal özellikleri incelenmemiştir. Bunun nedeni kimyasal özelliklerin bitki büyütme periyodu boyunca yapılacak basit ilavelerle değiştirilebilmesi buna karşılık yetiştirme ortamının fiziksel özelliklerinin bitki dikim işleminden sonra değiştirilmesinin çok zor olmasıdır. Yapılan analizlerde hazırlanan yetiştirme ortamlarının belirlenen bazı fiziksel özellikleri; partikül boyut dağılımı, hacimsel yoğunluk, toplam porozite ve su tutma kapasitesi olarak sıralanabilir.

#### 3.2.1. Partikül boyut dağılımı belirlenmesi

Partikül boyut dağılımı, numunelerin 35°C sıcaklıkta kurutulması sonrası; 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm aralıklara sahip titreşimli elek düzeneğinde 10'ar dakikalık süre ile elenmesi sonucunda, her bir elek katmanında kalan numune tanelerinin ağırlığının belirlenmesi ve toplam miktara olan oranının hesaplanması ile bulunmuştur [44,45].

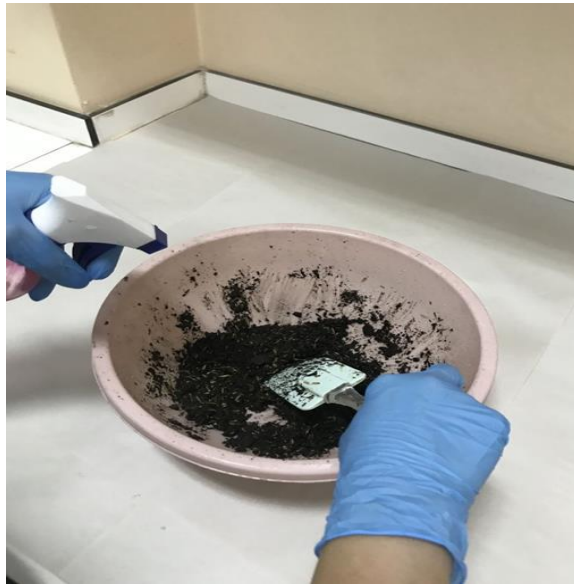




Şekil 3.3. Partikül boyut dağılımının belirlenmesinde kullanılan elek düzeneği

### 3.2.2. Hacim ağırlığının belirlenmesi

Yetiştirme ortamı numunelerinin hacim ağırlıkları, AB standart yöntemlerinde belirtildiği üzere, hacmi önceden bilinen çelik halkalara doldurulmuş suya doymun numunelerin 10 cm basınç uygulanması ile bulunmuştur [44,45].



Şekil 3.4. Halkalara doldurulacak numunelerin suya doymun hale getirilmesi



Şekil 3.5. Numunelerin çelik halkalara doldurulması

### 3.2.3. Toplam porozitenin belirlenmesi

Yetiştirme ortamı numuneleri toplam porozite değerleri; hacimleri önceden belirlenmiş olan çelik halkalara, suya doymun hale getirilmiş numunelerin içerisinde barındırılan su miktarları belirlenerek aşağıda yer alan Formül (3.1) ile bulunmuştur [44,45].

$$TP \text{ (Toplam Porozite) (\%)} = (1 - (\text{Hacim Ağırlığı} / \text{Özgöl Ağırlık})) \cdot 100 \quad (3.1)$$



Şekil 3.6 Çelik halkalara doldurulmuş numunelerin suya doymun hale getirilmesi

### 3.2.4. Su tutma kapasitesinin belirlenmesi

Yetiştirme ortamı numuneleri su tutma kapasitesi değerleri; hacimleri önceden belirlenmiş olan çelik halkalara doldurulmuş suya doymun haldeki numunelerin 10cm basınç ile drene edilmesi sonrası numunelerde kalmış olan su miktarlarının belirlenmesi ile bulunmuştur [44,45].



Şekil 3.7. Çelik halkalara doldurulmuş numunelerin drene edilmesi

### 3.3. Yeşil Duvar Sistemin Kurulması

Çalışma kapsamında küçük ölçekli bir bina modeli hazırlanmış ve yeşil duvar sistemi bu binanın üzerine kurulmuştur. Model bina 100cm x 100 cm x100 cm ebatlarında olup, 20 mm kalınlığında ki betopan malzemeden inşa edilmiştir. Bina zemin ve çatısı, yeşil duvar uygulaması dışında kaldığından, 5 cm kalınlığında karbon takviyeli strafor ile kaplanarak ısı yalıtımı yapılmıştır.

Binanın dış yüzeylerine saksıların montajı için 5 mm kalınlığındaki çelik tellerden oluşan kafes sistemi bağlanmıştır. Kafes sistemi ile bina yüzeyi arasında doğal hava akımının sağlanması için 5 cm boşluk bulunmaktadır. Binanın tüm dış yüzeylerini saracak şekilde monte edilen çelik kafes üzerine 2 lt hacmindeki saksılardan her

yüzeyde 30 saksı olacak şekilde toplam 120 adet yerleştirilmiştir. Ayrıca yine kafes sistemine her bir saksıya ulaşacak şekilde damla sulama düzeneği kurulmuştur.

Bunun yanında özdeş bir model bina da kontrol uygulaması olarak inşa edilmiş ve bu binaya yeşil duvar sistemi kurulmamıştır. Binaların ön cepheleri güney yönüne gelecek şekilde çevrilmiştir.

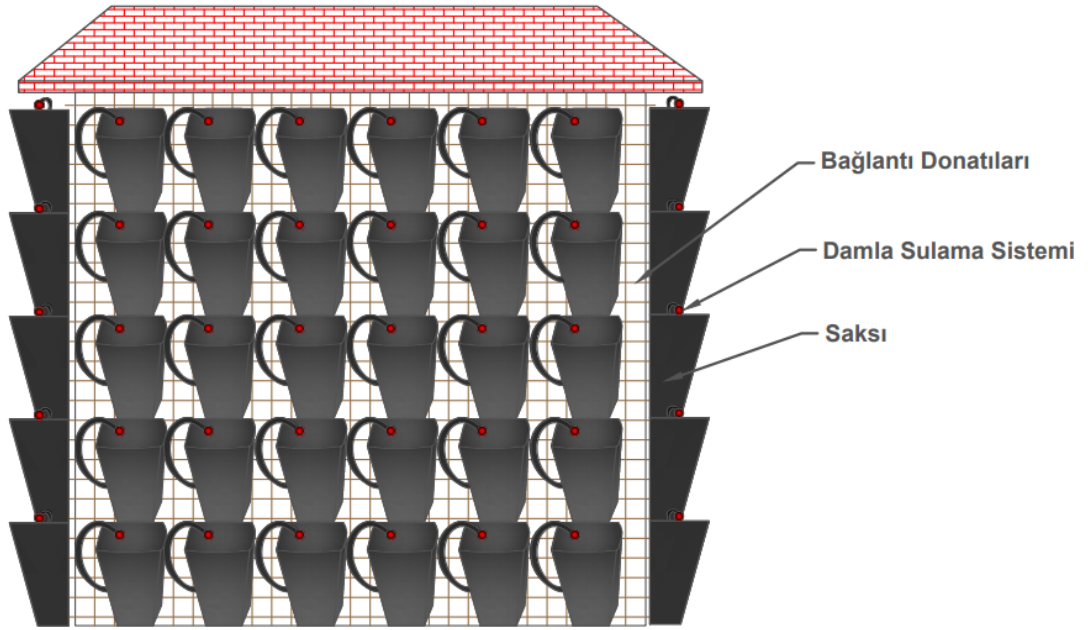


Şekil 3.8. Model bina ve yeşil duvar sistemi

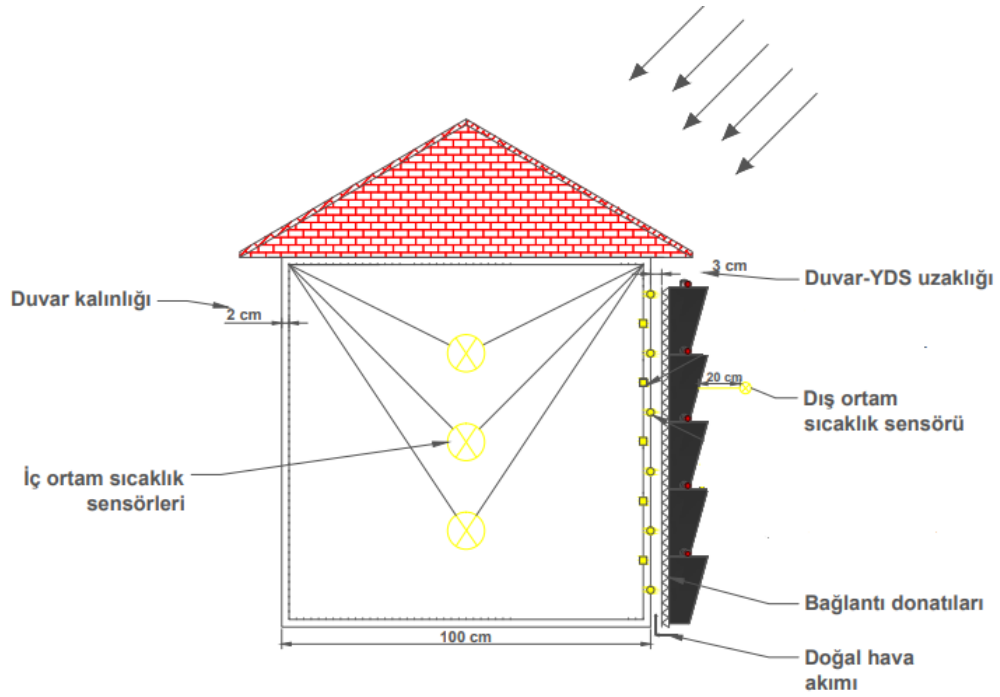
### 3.4. Termal Ölçümlerin Yapılması

Çalışma kapsamında kurulan yeşil duvar sisteminin ısı izolasyonuna olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla, model bina ve yeşil duvar sistemindeki ölçümler için; binaların içlerine duvarlardan eşit mesafede olacak şekilde üç adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Aynı zamanda dış ortam sıcaklık ölçümleri de saat 06:00 – 23:00 aralığında, dış ortam sıcaklık sensörleri ile yapılmıştır.

Kurulan model bina ve yeşil duvar sistemi ile sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da ayrıntılı olarak görülmektedir.



Şekil 3.9. Yeşil duvar sistemi, bağlantı ve sulama ekipmanları



Şekil 3.10. Yeşil duvar sistemi ve sıcaklık ölçüm noktaları

### 3.5. Termal Görüntüleme Çalışmaları

Sıcaklık ölçümleri yetiştirme ortamının termal etkileri ile ilgili önemli veriler sağlamıştır. Buna karşın termal izolasyon etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla yeşil duvar sistemi kurulu model binaların termal görüntülemesi yapılmıştır. Çalışmada termal görüntüleme için Optris PI 400 (Almanya) termal kamera kullanılmıştır. (Şekil 3.11.) Bu görüntüleme sadece yetiştirme ortamı etkilerinin görülmesinde kullanılmamış, aynı zamanda bitkili ve bitkisiz uygulamalar arasındaki farkların anlaşılmasına da katkı sunmuştur.



Şekil 3.11. Yeşil duvar sisteminin termal görüntülenmesi

### 3.6. Yeşil Duvar Sisteminin Bitkilendirilmesi

Yürütülen çalışma temel olarak yetiştirme ortamının termal etkileri üzerine odaklanmıştır. Bununla birlikte bitkili ve bitkisiz yeşil duvar uygulamalarındaki farkların anlaşılabilmesi amacıyla, termal etkisi en yüksek olan yetiştirme ortamı bitkilendirilerek incelemeler yapılmıştır.

Bitki seçiminde yeşil duvar uygulamalarında kullanım açısından gerekli görülen özellikler dikkate alınmış *Euryops pectinatus* (sarı çalı papatyası) bitkisi seçilmiştir. Bitkiler fide olarak temin edilmiş ve bir ay boyunca büyütülerek yaklaşık 20 cm boya ulaşmaları sağlanmıştır.



Şekil 3.12. Bitkilendirilmiş yeşil duvar (*Euryops pectinatus*)

### 3.7. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Yetiştirme ortamlarının fiziksel özelliklerinin incelendiği laboratuvar analizleri üç tekerrür olarak yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar varyans ve LSD testleri ile istatistiki olarak incelenmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde ise seçilen ölçüm noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları alınarak kullanılmıştır.

## **BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Son yüz yılda kalabalıklaşan şehirler ve betonun insanların yaşam alanlarını tamamen çevrelemesi, doğal çevreyle iç içe yaşama taleplerini artırmıştır. Modern dünyanın sunduğu konforlu yaşam şartlarında bu taleplerin karşılanabilmesi için bulunan çözüm ise, mimari uygulamalara daha çok doğal çevre unsuru eklemek olmuştur. Bu durum doğal çevrenin en önemli bileşeni olan bitkilerin yaşam alanlarımıza daha çok dahil olduğu yeşil duvar uygulamalarının hızla artan bir mimari akıma dönüşmesine yol açmıştır [14].

Bununla birlikte yaşayan ve yaşamını sürdürebilmesi için birçok ihtiyacı olan bir unsur olan bitkilerin, mimari tasarımlara eklenmesi, birçok karmaşık prosesin başarıyla işletilmesini gerektirmektedir. Öyle ki, tasarım aşamasında, bölgenin iklim şartlarına ve yapılan mimari tasarıma en uygun bitki türleri seçilse dahi, sulama, gübreleme vb. temel bitki bakım faaliyetlerinin uygun şartlarda sağlanması gerekir [9,14].

Ancak yatay düzlemde yapılan konvansiyonel bitki yetiştiriciliğinde dahi birçok soruna yol açan bu faaliyetlerin, dikey düzlemde bitki yetiştirme faaliyeti olan yeşil duvar uygulamalarında yerine getirilmesi oldukça zor ve maliyetlidir. Bu zorlukların en aza indirilebilmesi için, yeşil duvar uygulamalarında doğru bitki seçiminin yanında, yeşil duvar sistemlerinin zorlu koşullarında ideal bitki büyümesini sağlayacak, bitki bakım faaliyetlerini minimum düzeyde tutacak ve yeşil duvar uygulamalarının maliyetini arttırmayacak yetiştirme ortamlarının kullanılması zorunludur [17,21].

Bitkilerin doğal yetişme ortamı topraktır. Bununla birlikte saksılı yetiştiricilik ve bu yetiştiriciliğin en uç örneklerinden birisi olan yeşil duvar uygulamaları, yetiştirme ortamı olarak toprak kullanımının sorunlara yol açmasından dolayı, farklı yetiştirme



ortamı alternatiflerine ihtiyaç duyar. Bundan dolayıdır ki son yıllarda bu ihtiyacı karşılamak için organik ve inorganik materyallerden yetiştirme ortamı alternatifleri geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır ve yapılan çalışmalar, evsel, endüstriyel ve tarımsal kökenli organik atıkların önemli bir yetiştirme ortamı olarak kullanılma potansiyeli olduğunu bildirmektedir [9,14].

#### **4.1. Çalışmada Kullanılan Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi**

Saksılı bitki yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamının temel görevi, bitki kökleri için sağlam bir tutunma ortamı olması, bitki büyümesi için gerekli su ve bitki besin maddesini bitkiye temin edebilmesidir. İlave olarak yeşil duvar uygulamalarında kullanılacak yetiştirme ortamlarının, hafif olması, yabancı ot tohumu ve bitkisel hastalık içermemesi, biyolojik ayrışmaya karşı stabil olması ve düşük maliyetli olması istenir [44,45].

Ayrıca son yıllarda yeşil duvar uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar, bu uygulamaların mimari estetik katkısının yanında, özellikle ses ve ısı izolasyonu ile binalardaki gri suların artırılarak geri dönüşümlü olarak kullanılabilmesi için yeşil duvarların önemli katkılar sunabileceğini işaret etmektedir. Yeşil duvar sistemlerine yüklenecek bu yeni misyonlar, bu sistemlerin tüm bileşenlerinin bu amaçlara göre yeniden planlanmasını zorunlu kılmakta ve yeşil duvar uygulamalarında kullanılacak yetiştirme ortamlarının da daha fazla özelliğe sahip olmasını gerektirmektedir.

Bu şartları sağlayacak nitelikli bir yetiştirme ortamı geliştirilmesi ve bu yetiştirme ortamının yeşil duvar uygulamalarının en önemli faydalarından biri olan ısı izolasyonuna olan etkilerinin araştırılabilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuş ve literatürdeki benzer çalışmalarda rapor edilen sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

#### 4.1.1. Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları

Çalışma kapsamında evsel atık kompostu ve torf ana bileşenler olmak üzere, ana materyallere farklı oranlarda pirinç kabuğu ve perlit karıştırılarak yetiştirme ortamları hazırlanmış ve bu yetiştirme ortamlarının, yetiştirme ortamları için önemli bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. İncelenen özelliklerin başında partikül boyut dağılımı gelmektedir. Çalışmada incelenen yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1 Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları

Yetiştirme Ortamları	Partikül Boyut Dağılımı (ağırlık %)							
	>8 mm	4-8 mm	2-4 mm	1-2 mm	0.5-1 mm	0.25-0.5 mm	0.125-0.25 mm	<0.125 mm
C	0	2	10	12	17	29	18	12
T	12	20	23	19	12	8	4	2
PK	-	-	72	21	5	2	-	-
PR	-	28	53	12	4	2	1	-
CPK1	-	2	16	13	16	26	15	12
CPK2	0	2	21	16	16	22	14	9
CPK3	0	1	39	19	13	15	8	5
CPR1	0	4	16	10	17	26	16	11
CPR2	0	9	19	12	15	23	14	8
CPR3	0	15	33	12	9	15	11	5
TPK1	11	18	28	19	11	8	4	1
TPK2	8	16	37	20	10	5	3	1
TPK3	5	12	50	20	8	3	1	1
TPR1	12	21	25	19	11	7	4	1
TPR2	10	23	32	16	9	5	4	1
TPR3	8	26	39	14	5	4	3	1

Partikül boyut dağılımı yetiştirme ortamının fiziksel özelliklerini kontrol eden en önemli unsurların başındadır [44,45]. Öyle ki su tutma kapasitesi başta olmak üzere birçok fiziksel özellik partikül boyut dağılımının değişiminden önemli ölçüde etkilenir. Çalışmada kullanılan ana materyallerden kompost 4 mm'den küçük tanecik boyutuna sahip partiküllerden meydana gelmekte ve yaklaşık %60'ını 0.5 mm'den

küçük tanecikler oluşturmaktadır. Bu durumun tam zıttı olarak torfta ise yetiştirme ortamını oluşturan taneciklerin yaklaşık %85'i 1 mm'den büyük taneciklerden oluşmaktadır.

Yetiştirme ortamı karışımlarının diğer iki bileşeni olan pirinç kabuğu ve perlit ise benzer şekilde büyük oranda 1-8 mm arası partikül boyutuna sahip taneciklerden oluşmaktadır (Tablo 4.1.). Bu durum, özellikle kompost içeren yetiştirme ortamlarında, pirinç kabuğu ve perlit oranının artması ile 1 mm'den büyük partiküllerin miktarının artmasına yol açmıştır. Öyle ki en yüksek oranda (%50) pirinç kabuğu ve perlit içeren uygulamalar olan CPK3 ve CPR3 uygulamalarının yarısından fazlası 1 mm'den büyük taneciklerden oluşmuştur. Bununla birlikte kullanılan evsel katı atık kompostunun çok küçük partikül boyutlu taneciklerden oluşması nedeni ile, kompost kullanılarak hazırlanan tüm karışımların tanecik boyutları da düşüktür.

Özellikle 1 mm'den büyük tanecik yapısına sahip pirinç kabuğu ve perlitin kullanımı, hazırlanan yetiştirme ortamı karışımlarının tanecik boyut dağılımlarını iyileştirmiştir. Bazı fiziksel özelliklerin tanecik boyut dağılımı ile değiştiği düşünüldüğünde bu durum oldukça önemli olacaktır. Küçük tanecikli yetiştirme ortamlarının özellikle saksıya doldurulduktan sonra sıkışması ve kuruduktan sonra büzüşmesi bitki köklerine zarar verebilir. Ayrıca yine küçük tanecik boyutuna sahip yetiştirme ortamlarının kuruduktan sonra tekrar su çekmesi de daha zor olmakta ve uzun zaman almaktadır [45,46].

Diğer yetiştirme ortamı ana materyalli olan torfun tanecik boyutu genellikle 1 mm'den büyüktür. Torf kullanılarak hazırlanan karışımlarda pirinç kabuğu ve perlitin de büyük tanecikli partiküllerden oluşması nedeniyle ağırlıklı partikül çapları 1 mm'den büyüktür. En yüksek partikül boyutlu uygulamalar kompostta olduğu gibi %50 ile en yüksek oranda pirinç kabuğu ve perlit kullanılan uygulamalar olan TPK3 ve TPR3'de gerçekleşmiştir. Bu uygulamalarda yetiştirme ortamını oluşturan ağırlıklı partikül boyutu 1 - 4 mm arasında bulunmaktadır.

#### 4.1.2. Yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları

Tablo 4.2.'de hazırlanan yetiştirme ortamlarının hacim ağırlığı, porozite ve su tutma kapasitesi değerleri verilmiş ve verilen değerlerin ideal süs bitkisi yetiştirme ortamları için literatürde bulunan değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 4.2.'deki değerler incelendiğinde en yüksek hacim ağırlığının  $0.65 \text{ g/cm}^3$  ile kompostta belirlendiği ve %87.5 ve %75 kompost içeren CPK1, CPK2, CPR1 ve CPR2 uygulamaların hacim ağırlıklarının da, literatürde ideal yetiştirme ortamları için verilen hacim ağırlığı değerinin üstünde olduğu ve sırasıyla 0.63, 0.51, 0.64 ve  $0.54 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunduğu görülmüştür.

Tablo 4.2. Yetiştirme ortamlarının bazı fiziksel özellikleri ve ideal değerlerle karşılaştırılması

Yetiştirme Ortamları	Hacim Ağırlığı ( $\text{g/cm}^3$ )	Porozite (%V/V)	Su Tutma Kapasitesi (ml/l)
C	0.65 a*	67.1 g	450.3 a
T	0.22 d	89.7 d	529.3 a
PK	0.11 g	92.6 abc	69.0 j
PR	0.12 fg	91.4 bcd	285.0 h
CPK1	0.63 a	68.1 g	398.0 e
CPK2	0.51 b	72.8 f	297.0 gh
CPK3	0.33 c	76.9 e	224.6 i
CPR1	0.64 a	68.6 g	445.0 d
CPR2	0.54 b	72.0 f	366.0 f
CPR3	0.37 c	77.4 e	306.3 g
TPK1	0.19 de	90.5 cd	490.0 b
TPK2	0.16 ef	92.0 abcd	444.6 d
TPK3	0.12 fg	93.2 ab	389.0 e
TPR1	0.19 de	92.3 abc	515.0 a
TPR2	0.17 e	92.8 abc	489.0 b
TPR3	0.15 efg	94.3 a	470.6 c
İdeal Değerler**	<0.40	>80	600-1000

\*LSD,  $p = 0.05$ , \*\* İdeal Değerler [44, 45].

Buna karşılık %50 oranında kompost içeren uygulamalar olan CPK3 ve CPR3 uygulamalarının hacim ağırlıkları ideal değerler aralığında ve sırasıyla 0.33 ve 0.37 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Elde edilen hacim ağırlığı sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, kompostun başlangıçta oldukça yüksek olan hacim ağırlığı değeri, düşük hacim ağırlıklı pirinç kabuğu ve perlit ilavesi ile azalmıştır. Kompostun ideal yetiştirme ortamlarında istenen hacim ağırlığı değerine ulaşması için %50 oranında pirinç kabuğu veya perlitle karıştırılması gerekir.

Torf kullanılan tüm yetiştirme ortamlarının hacim ağırlığı değerleri ideal değer olan <40 değerinin altında bulunmuştur. Torfun saf haldeki hacim ağırlığı 0.22 g/cm<sup>3</sup>'tür. Pirinç kabuğu ve perlitin her ikisinin de hacim ağırlığı torftan düşüktür. Bundan dolayı karışımlardaki pirinç kabuğu ve perlit oranları arttıkça hazırlanan yetiştirme ortamlarının hacim ağırlığı azalmıştır. Pirinç kabuğu ve perlit kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarında en düşük hacim ağırlıkları, 0.12 g/cm<sup>3</sup> TPK3 (%50 Torf + %50 Pirinç Kabuğu) ve 0.15 g/cm<sup>3</sup> ile TPR3 (%50 Torf + %50 Perlit) uygulamalarında belirlenmiştir (Tablo 4.2.).

Yeşil duvar uygulamaları özellikle yüksek yapılara uygulandıklarında binaya getirdiği toplam ağırlık önemli bir parametredir. Bu durum hafif dolayısıyla düşük hacim ağırlıklı yetiştirme ortamlarının kullanılmasının önemini daha da arttırmaktadır [14]. Çalışmada kullanılan pirinç kabuğu ve perlit bu açıdan değerlendirildiğinde, yetiştirme ortamının ağırlığının azaltılmasında oldukça faydalı bulunmuştur. Yetiştirme ortamının ağırlığının azalması kurulacak yeşil duvar uygulamasının, bağlantı donatılarına olan ihtiyacı azaltacak, dengesini arttıracak ve maliyetine olumlu etkiler yapacaktır.

#### **4.1.3. Yetiştirme ortamlarının porozitesi**

Yetiştirme ortamının hafif olmasına katkı sağlayan bir diğer parametre de porozitesinin yüksek olmasıdır. İdeal süs bitkisi yetiştirme ortamlarının porozite değeri 80 (% V/V)'in üstünde olmalıdır [44, 45]. Yüksek porozite değeri yetiştirme ortamlarının bitki köklerine yeterli havayı sağlayabileceğini ve saksıda sıkışma

yapmayacağını da belirtmektedir. Tablo 4.2.'deki porozite değerleri incelendiğinde kompost kullanılan tüm uygulamaların porozite değerlerinin ideal değerinin altında olduğu görülebilir. Bunun nedeni kompostun çok küçük partikül boyutuna sahip taneciklerden oluşmasıdır. Bununla birlikte pirinç kabuğu ve perlit kullanımı porozite değerlerini arttırmış ve %50 pirinç kabuğu (%76.9 %V/V) ve %50 perlit (%77.4 %V/V) kullanılan uygulamalarda porozite değeri sınır değere oldukça yakın bulunmuştur.

Torfun porozite değeri 89.7 (%V/V) olarak belirlenmiştir. Torf kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarının porozite değerleri ideal yetiştirme ortamlarında istenen değerlerdedir. Bu uygulamalarda en yüksek porozite değerleri %50 pirinç kabuğu kullanılan TPK3 uygulamasında 93.2 (%V/V), %50 perlit kullanılan TPR3 uygulamasında 94.3 (%V/V) olarak bulunmuştur. Yüksek porozite değeri su tutma kapasitesi açısından sorun teşkil edebilir. Ancak özellikle yeşil duvar uygulamalarında, yetiştirme ortamının taşınması ve yüksekteki saksılara yerleştirilmesi açısından oldukça faydalı olacak ve yetiştirme ortamı kurduğunda büzülerek bitki köklerini sıkıştırmasını da azaltacaktır.

#### **4.1.4. Yetiştirme ortamlarının su tutma kapasiteleri**

Yetiştirme ortamlarının en önemli fiziksel özelliklerinden birisi su tutma kapasitesidir. Bitkilerin en büyük ihtiyacı sudur ve sulama işlemleri bitkisel üretimin en önemli maliyet kalemlerinden birini oluşturur. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde kurulacak yeşil duvar sistemlerinde kullanılacak yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitelerinin yüksek olması, sürekli sulama gerektirmemesi istenir. Her ne kadar çoğu yeşil duvar sistemlerinde sulama faaliyetleri otomatik ve kontrollü sistemlerle yapılsa da, sulamanın sıklığı yeşil duvar bakım maliyetlerini arttıracaktır. İdeal süs bitkisi yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitelerinin 600-1000 mg/l aralığında olması istenir [44, 45].

Çalışmada hazırlanan tüm yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitesi değerleri ideal değer aralının altındadır. İdeal yetiştirme ortamına en yakın özelliklere sahip olan ve

sektörde en çok kullanılan yetiştirme ortamı olan torfun, su tutma kapasitesi de ideal değer aralığının alt sınırına yakın olmasına rağmen, bu değerlerde değildir.

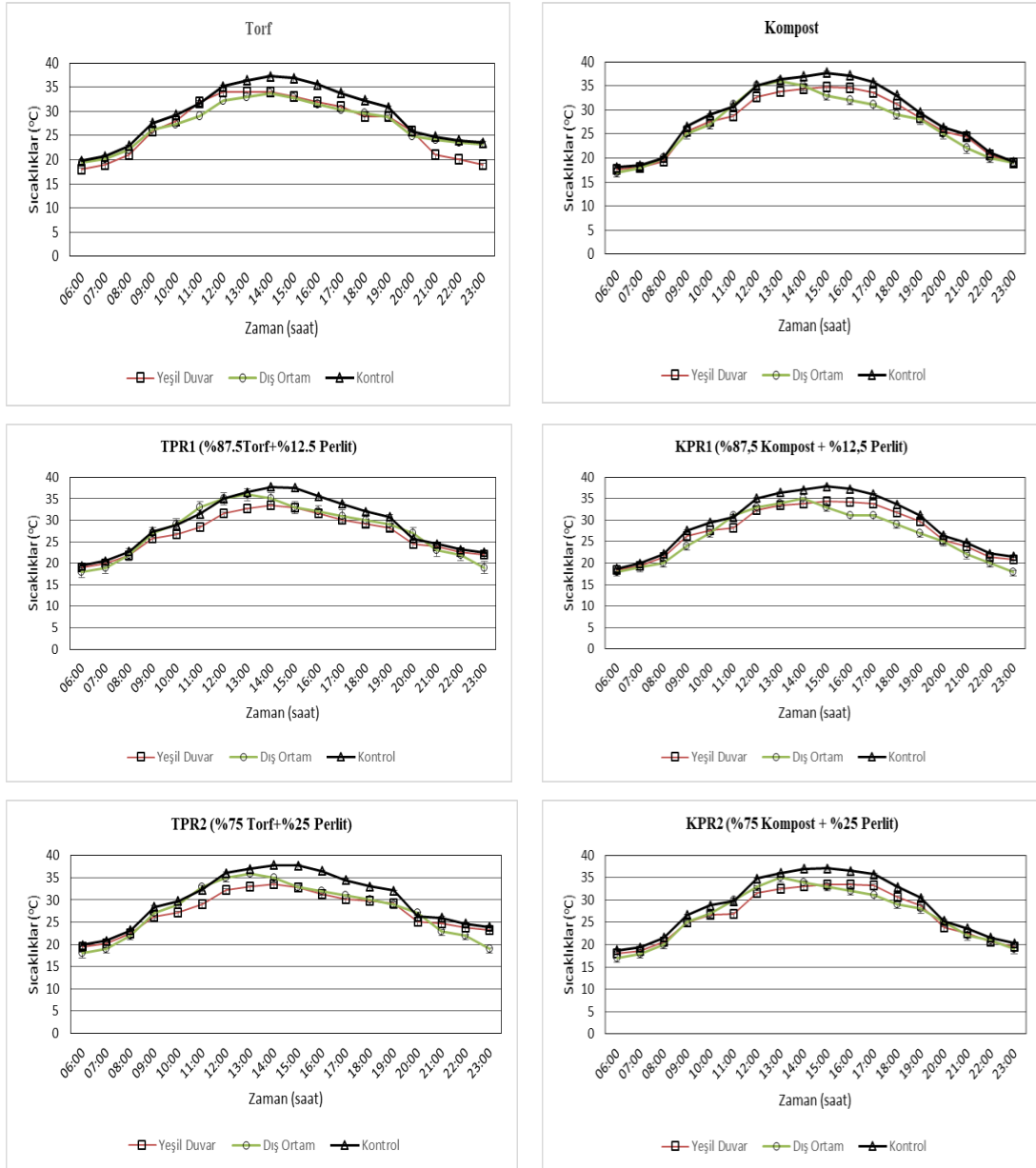
Yetiştirme ortamı bileşeni olarak kullanılan kompost, torf, pirinç kabuğu ve perlitin belirlenen su tutma kapasiteleri sırasıyla 450, 529, 69, 285 mg/l'dir. Yapılan analizlerde özellikle pirinç kabuğunun (69 mg/l) su tutma kapasitesinin çok düşük bulunması, pirinç kabuğunun yüksek porozite değerine 92.6 (%V/V) sahip olması bir başka deyişle büyük partiküllerinden dolayı aşırı boşluklu bir yapıya sahip olmasındandır. Su, büyük partiküller arasındaki boşluklardan yer çekiminin etkisiyle kolaylıkla drene olmaktadır. Karışımlarda kullanılan pirinç kabuğu oranı arttıkça yetiştirme ortamlarının, su tutma kapasitesi azalmıştır. Bu durum perlit kullanılan yetiştirme ortamlarında da görülmekle birlikte, azalma pirinç kullanılan uygulamalara göre daha düşüktür. Konu ile ilgili literatürde bulunan çalışmalarda pirinç kabuğu ve perlit gibi porozite artırıcı yetiştirme ortamları kullanıldığında, bitkilerin kurumaması için sulama programına özellikle dikkat edilmesi önerilmektedir [45].

#### **4.2. Yeşil Duvar Uygulamalarının Model Bina Sıcaklıklarına Etkileri**

Yeşil duvar uygulamalarının bina iç sıcaklıklarına etkilerinin belirlenmesi amacıyla, yalnızca yetiştirme ortamı bulunan saksılardan oluşan yeşil duvar sisteminin monte edildiği model bina, kontrol amacıyla kullanılan ve yeşil duvar sistemi kurulmayan model bina ve dış ortam sıcaklığı, sabah saat 06.00 – 23.00 arasında ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 4.1.'de sunulmuştur. Bununla birlikte ölçüm saatinin 23.00'la sonlandırılmasının nedeni bu saatten sonra, soğuyan hava nedeniyle yeşil duvar ve kontrol uygulaması arasındaki farkın azalarak sıcaklık değerlerinin sabit ve birbirine yakın devam etmesidir. Bu durum literatürdeki çalışmalarda da gözlenmiştir [6,19].

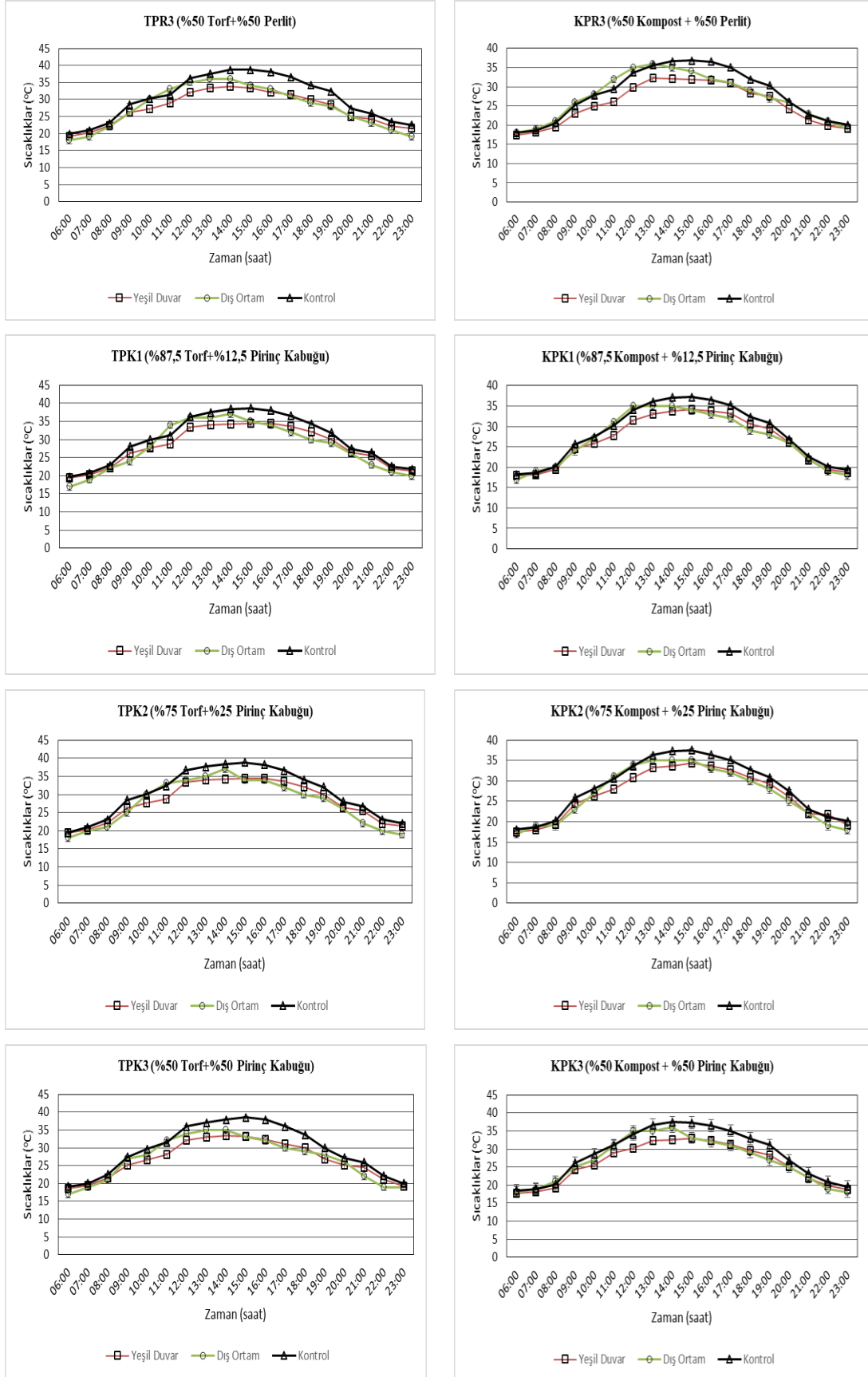
Ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde tüm uygulamalar için, çıplak duvarlı kontrol uygulamasının sıcaklığı, yetiştirme ortamının sıcaklığından yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte model binalar kapalı bir yapı olduğu ve hava akımı olmadığından kontrol uygulaması özellikle günün sıcak saatleri olan 12:00 – 16:00

saatleri arasında dış ortam sıcaklığının da üstüne çıkmış ve pik değerlere ulaşmıştır. Bu duruma neden olan bir diğer unsur ise, doğrudan termal radyasyona maruz kalan çıplak duvarların aşırı ısınması ve duvar sıcaklıklarının bina iç sıcaklığını yükseltmesidir.



Şekil 4.1. Yalnız yetiştirme ortamı kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri





Şekil 4.1. (Devamı)

Yeşil duvar sistemi kullanılan ve kullanılmayan her iki model evde ölçülen tüm sıcaklıklar, farklı oranlarda olsa da, dış hava sıcaklığıyla paralel olarak seyretmiştir. Ayrıca bazı günlerde dış hava sıcaklıklarında kısmi olarak ani düşüşler görülmesinin nedeni havanın bulutlu olmasından kaynaklanmıştır. Böyle günlerde güneşten gelen termal radyasyonda da azalma görüldüğünden bina sıcaklıklarında da benzer düşüşler görülmüştür.

Bununla birlikte farklı yetiştirme ortamlarının kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarının tamamında, saat 06:00 - 17:00 arasında bina iç sıcaklıkları dış ortam sıcaklığından düşük değerlerde ölçülmüştür. Dış ortam sıcaklığının kaydedilen en yüksek değeri 37°C, yetiştirme ortamı kullanılan model binada ölçülen en yüksek sıcaklık değeri 34.7°C kontrol uygulamasında ölçülen en yüksek sıcaklık değeri ise 38.8°C olmuş ve bu değerler dış ortam için saat 14:00'de, diğer iki değer için saat 15:00'da kaydedilmiştir (Şekil 4.1). Dış ortam, yetiştirme ortamı kullanılan uygulamalar ve kontrol amaçlı kullanılan model evde ölçülen en düşük sıcaklıklar ise sırasıyla 17.0, 17.3 ve 18.0°C olarak kaydedilmiş ve kayıt saatleri 06:00 olmuştur (Şekil 4.1.).

Şekil 4.1.'deki sonuçlar tablo 4.3.'deki sıcaklık farkı değerleri ile birlikte incelendiğinde yetiştirme ortamlarının bina iç sıcaklığı üzerindeki etkisi, dolayısıyla ısı izolasyonu başarısı daha iyi anlaşılabilir. Yetiştirme ortamı kullanılan model ev ile kontrol uygulaması arasındaki sıcaklık değerleri arasında en büyük farklar saat 14:00 – 16:00 arasında ölçülmüştür. Bu saat aralığında güneşten yayılan termal radyasyon en yüksek seviyededir ve model evleri doğrudan etkilemektedir.

Yetiştirme ortamları arasında en yüksek sıcaklık farkı 6°C ile %50 torf ve %50 perlit kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamları olan TPR3 uygulamasında bulunmuştur. Bu materyallerle hazırlanan diğer uygulamalar olan TPR1 ve TPR2 uygulamalarında elde edilen en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 4.5 ve 5.2°C'dir. Kompost ve perlit kullanılarak hazırlanan CPR1, CPR2 ve CPR3 uygulamalarında ise en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla, 3.4, 3.9 ve 5.1°C bulunmuştur. Torf ve kompostta pirinç

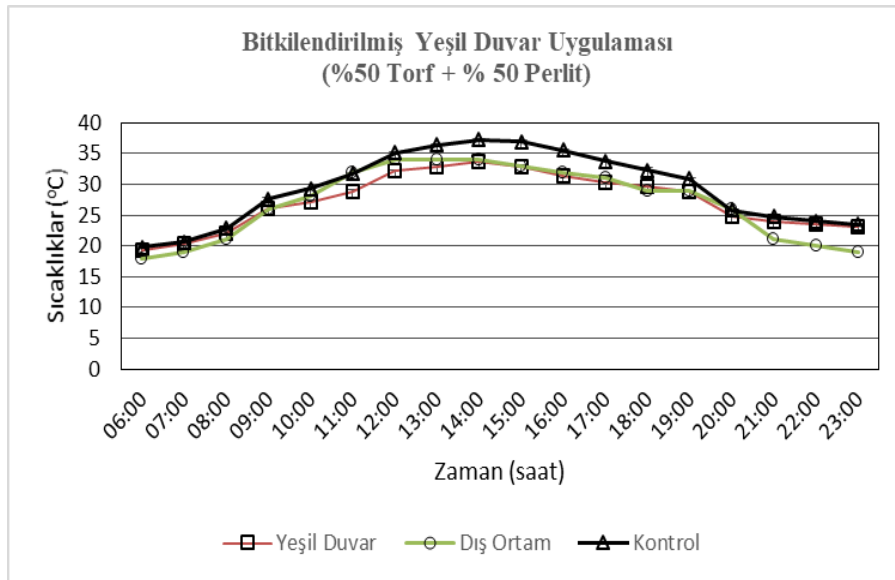
kabuğu ilavesiyle hazırlanan yetiştirme ortamlarında ise en yüksek sıcaklık farkı, 5.4°C ile TPK3 (%50 torf + %50 pirinç kabuğu) uygulamasında olurken, kompost ve pirinç kabuğu kullanıldığında bu değer 4.8°C' de ve CPK3 (%50 kompost+ %50 pirinç kabuğu) uygulamasında kaydedilmiştir. Bu durumdan dolayı ana materyaller olan evsel katı atık (MSW) kompostu ve torfun izolasyon özellikleri kıyaslandığında, sonuçlar birbirlerine yakın olmakla birlikte torf kullanımının daha iyi bir ısı izolasyonu sağladığı söylenebilir. Yine benzer bir kıyaslama perlit ve pirinç kabuğu arasında yapılacak olursa, ölçülen sıcaklık sonuçlarının birbirlerine yakın olmasına rağmen perlitin ısı izolasyonuna katkısının daha fazla olduğu ifade edilebilir. Bunun yanında, yetiştirme ortamı karışımlarındaki, perlit ve pirinç kabuğu oranları arttıkça, kontrol uygulaması ile sıcaklık farkları da artmaktadır. Bu durum karışımlardaki perlit ve pirinç kabuğu miktarının artmasının ısı izolasyonunu arttırdığını açık olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 4.3. Yeşil duvar ve kontrol uygulamalarında ölçülen en yüksek sıcaklık farkları

Yetiştirme Ortamları	Dış Ortam(°C)	Yeşil Duvar(°C)	Kontrol (°C)	Sıcaklık Farkı (°C)	Saat
T	32	31,4	35,5	4,1	16:00
K	33	34,7	37,7	2,9	15:00
CPK1	35	33,7	37,1	3,3	14:00
CPK2	35	33,6	37,3	3,7	14:00
CPK3	36	32,5	37,4	4,8	14:00
CPR1	33	34,3	37,8	3,4	15:00
CPR2	33	33,1	36,9	3,9	14:00
CPR3	34	31,8	36,8	5,1	15:00
TPK1	37	34,1	38,3	4,2	14:00
TPK2	37	33,8	38,4	4,6	14:00
TPK3	32	32,3	37,8	5,4	16:00
TPR1	33	32,9	37,5	4,5	15:00
TPR2	32	31,3	36,5	5,2	16:00
TPR3	33	32,1	38,1	6.0	16:00

### 4.3. Bitki Kullanılan Yeşil Duvar Uygulamalarının Model Bina Sıcaklıklarına Etkileri

Yeşil duvar uygulamalarının termal etkilerinin daha iyi ortaya koyulabilmesi amacıyla ısı izolasyonu açısından en iyi sonuçları veren TPR3 (%50 Torf + %50 Perlit) ve CPR3 (%50 Kompost + %50 Perlit) yetiştirme ortamlarına bitki dikilerek (*Euryops pectinatus*), termal etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de sunulmuştur.

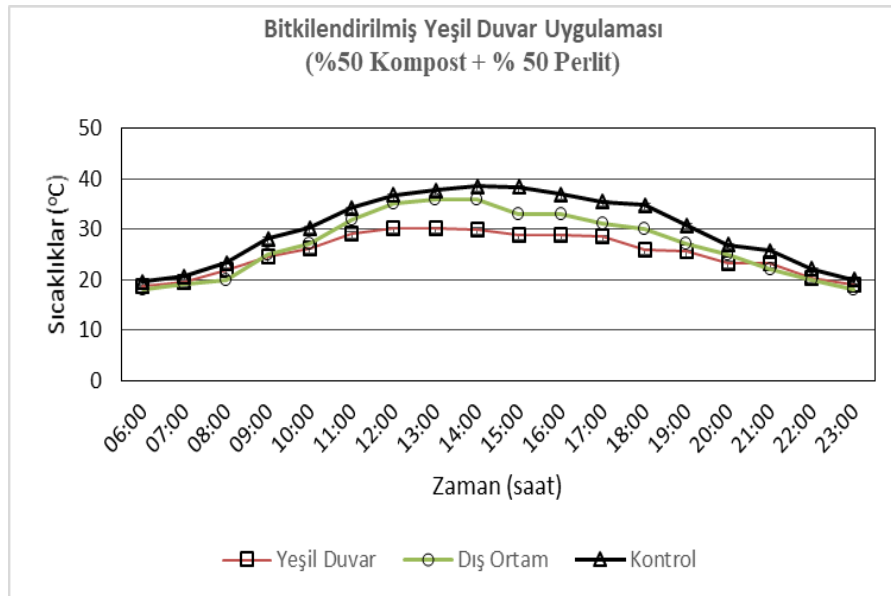


Şekil 4.2. Bitki kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri

Bitki kullanılan uygulamalarda belirlenen en yüksek sıcaklık farkları incelendiğinde, %50 Torf + %50 Perlit içeren yetiştirme ortamında 10.5°C, %50 Kompost + %50 Perlit içeren uygulamada ise 9.5°C'lik bir fark olduğu görülebilir. Bitki kullanılmayan uygulamalarda belirlenen en yüksek sıcaklık farkının 6°C olduğu göz önünde bulundurulduğunda bitkilerin yaklaşık olarak 5°C'lik bir ilave sıcaklık farkı sağladığı söylenebilir.

Literatürdeki konuyla ilgili çalışmalarda, yeşil duvar ile kontrol uygulamalarının, bina içi ve bina yüzeylerindeki sıcaklık farklarının 5-17°C arasında olabildiği rapor

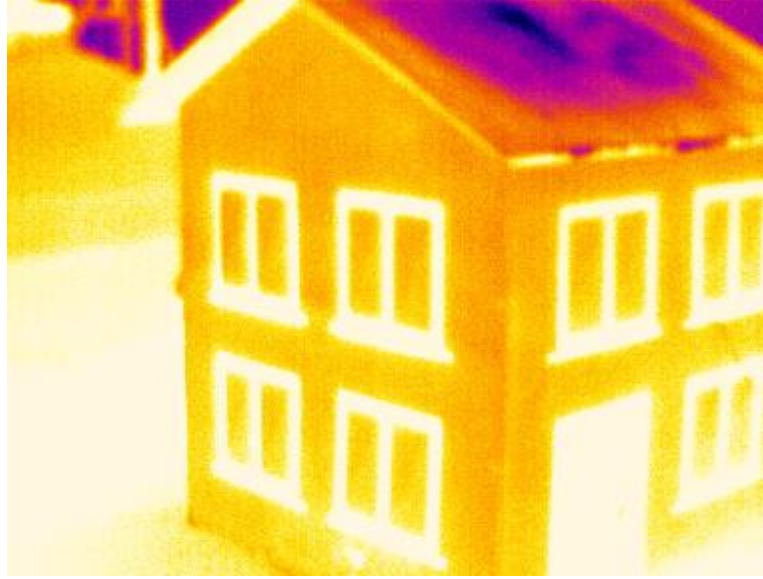
edilmektedir [2,35,48,49]. Çalışmada kullanılan bitkiler fide olarak temin edilip yaklaşık bir ay büyütülmüştür. Ortalama boyları 20 cm dolaylarındadır. Bitkilerin boyları ve kapladıkları alan arttığında gölge etkileri büyüyeceğinden daha fazla ısı izolasyonu sağlayacaktır. Bundan dolayı gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen değerler literatürde bulunan değerlere benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte literatürde yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna etkilerinde, bitkilerin sağladığı gölgelendirme, yetiştirme ortamının sağladığı izolasyon ve terleme olmak üzere üç önemli faktörün rol oynadığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan, literatürdeki sonuçlarla aynı doğrultuda olarak, yetiştirme ortamının ısı izolasyonunda önemli etkiye sahip olduğu ve bu etkinin bitkilerin kullanılmasıyla önemli ölçüde arttığı söylenebilir.



Şekil 4.3. Bitki kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamasının model bina iç sıcaklıkları ve ölçüm anındaki dış ortam sıcaklık değerleri

#### 4.4. Yeşil Duvar Uygulamalarının Termal Görüntülenmesi

Yeşil duvar uygulamasının termal etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla; kontrol uygulaması, yalnız yetiştirme ortamı kullanılan yeşil duvar uygulaması ve bitkilendirilmiş yeşil duvar uygulamasının termal görüntülenmesi yapılmış ve bu görüntüler sırasıyla Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da sunulmuştur.



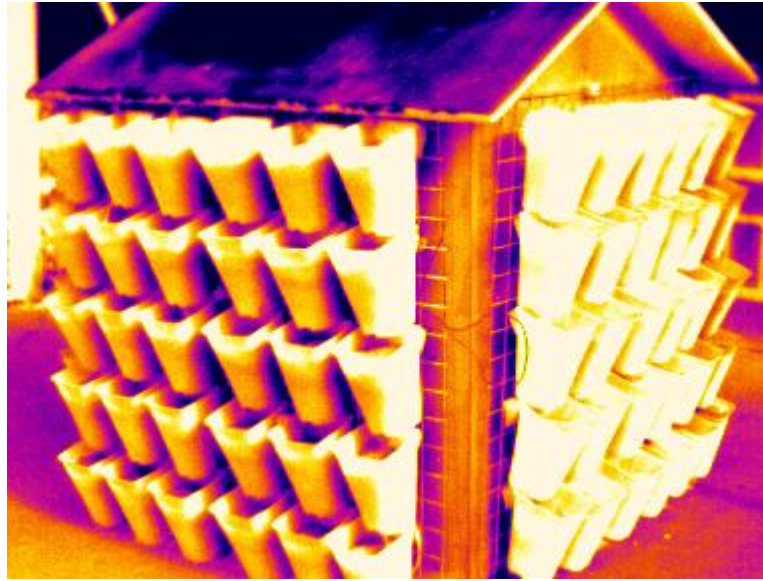
Şekil 4.4. Kontrol uygulamasının termal görüntüsü

Elde edilen görüntülerden de anlaşılacağı gibi doğrudan güneş ışınlarının altında olan kontrol uygulamasında, tüm yüzeyler sıcak olup sıcaklık yüzeyde homojen olarak yayılmıştır. Kontrol uygulamasında binayı güneş ışınlarından koruyarak gölgelendirme sağlayacak herhangi bir unsur bulunmamaktadır. Bundan dolayı doğrudan termal radyasyona maruz kalan duvarlar ısınmış ve bu ısı binanın içine yayılmıştır (Şekil 4.4.). Kontrol uygulamasında tespit edilen yüksek bina iç sıcaklığı ile termal görüntülemeye elde edilen veriler uyumludur. Bununla birlikte elde edilen görüntüler, literatürdeki çalışmalarda, yeşil duvar uygulaması olmayan duvarlarda elde edilen termal görüntülerle büyük oranda benzerlik göstermektedir [38,47,50].

Şekil 4.5.'deki yalnız yetiştirme ortamı bulunan saksılarla oluşturulmuş yetiştirme ortamına ait termal görüntüler incelendiğinde ise, termal radyasyonun yol açtığı sıcaklığın saksı ön yüzeylerinde kaldığı, duvar kenarları gibi, duvarın saksı bulunmayan yüzey parçalarının, kontrol uygulamasına benzer şekilde sıcak olduğu, buna karşılık saksıların arkasında kalan yüzeylerin ve yetiştirme ortamının termal radyasyondan etkilenecek ısınmadığı söylenebilir.

Bu durum yalnız yetiştirme ortamı bulunan yeşil duvar uygulamalarında bina içi sıcaklığının, kontrol uygulamasına göre bazı uygulamalarda 6°C daha soğuk olmasını açıklamaktadır. Saksı yüzeyleri sıcakken, yetiştirme ortamlarının ısınmaması, kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkının ve dolayısıyla bina iç sıcaklığının düşük olmasının, yalnız saksıların sağladığı gölgelendirme ile değil aynı zamanda yetiştirme ortamının izolasyon etkisinin de göstergesidir.

Termal görüntüleme ile elde edilen görüntüler, farklı düzeylerde olsa da, hazırlanan tüm yetiştirme ortamlarının kullanıldığı uygulamalarda benzerdir. Görüntülerin benzer olması, farklı yetiştirme ortamları kullanılarak ölçülen sıcaklık değerleri ile de uyumludur. Bununla birlikte tüm yetiştirme ortamları için termal görüntü alınmış olmasına rağmen, görüntülerin benzer olması nedeniyle, bu bölümde yalnız kontrol uygulaması ile en yüksek bina iç sıcaklık farkını veren uygulama olan TPR3 (%50 Torf + %50 Perlit) uygulamasına ait görüntüler sunulmuştur. Elde edilen termal görüntüler literatür ile de uyumludur [38,47,50].



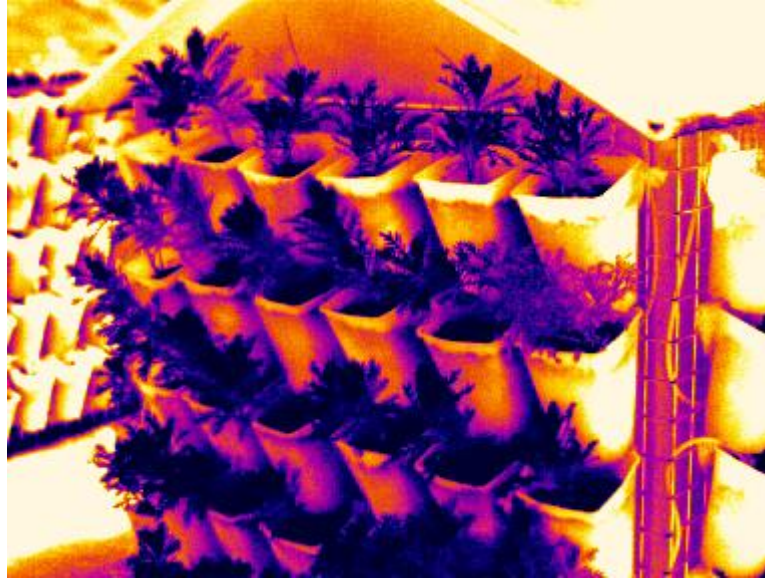
Şekil 4.5. Yalnız yetiştirme ortamı bulunan yeşil duvar uygulamasının termal görüntüsü

Çalışma kapsamında yeşil duvar sistemlerinin sağladığı ısı izolasyonunda bitki ve yetiştirme ortamının fonksiyonlarının anlaşılabilmesi için, bitkilendirilen yeşil duvar uygulamasına ait termal görüntüler alınmış ve bu görüntülere ait en iyi örnek Şekil 4.6.'da sunulmuştur. Bitkili yeşil duvar uygulamasında elde edilen termal görüntüde,

yalnız yetiştirme ortamı kullanılan yeşil duvara benzer şekilde, termal radyasyonun bina duvarlarına ulaşmasını önemli ölçüde engellemiş ve gölgelendirme sağlamıştır. Literatürdeki çalışmalarda belirtildiği üzere bitki yaprakları ile dal ve gövde parçaları termal radyasyonu kesen ve gölgelendirme sağlayan önemli unsurlardır [34, 37]. Bu durum termal görüntülerde de açıkça görülmektedir.

Bitki kullanılan yeşil duvar uygulamasında, yalnız yetiştirme ortamı kullanılan uygulamalara göre gölgeleme alanı ve etkisi daha büyüktür. Özellikle yalnız yeşil yetiştirme ortamı kullanılan uygulamalarda, duvar kenarları gibi açıkta kalan alanların ısınması, bitkilerin sağladığı gölgelenme ile oldukça azalmıştır. Yine alt sıradaki bitkiler, bir üst sıradaki saksıların ön yüzeyini kapladıklarından bu bölgelere ulaşacak termal radyasyonu önlemiş ve saksıların dolayısıyla saksılardaki yetiştirme ortamlarının ısınmasını engellemiştir.

Bu durum bitkili yetiştirme ortamlarında ölçülen sıcaklıkların, yalnız yetiştirme ortamı kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklardan daha düşük bulunmasını da açıklamaktadır.



Şekil 4.6. Bitkilendirilmiş yeşil duvar uygulamasının termal görüntüsü (*Euryops pectinatus*)



## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Özellikle sıcak iklim bölgelerindeki binalarda, güneşten gelen termal radyasyon oldukça fazladır. Yüksek termal radyasyona maruz kalan binaların önce dış yüzeyleri ısınır ve bu durum binanın yapım özellikleri, kullanılan malzeme ve izolasyon yöntemlerine göre değişen oranlarda olmakla birlikte bina iç sıcaklığını yükseltir. Yükselen iç sıcaklıklar ister ev isterse iş yeri amacıyla kullanılsın buraları yaşam alanı olarak kullanan insanların konforunu düşürür ve rahatsız olmalarına neden olur. Bundan dolayı özellikle sıcak bölgelerde en önemli enerji tüketim kalemlerinden birisi soğutma amaçlı olarak kullanılan enerjidir.

Son yıllarda mimaride yeşil duvar sistemlerinin kullanılmaya başlanması, yeşil duvar sistemlerinin faydaları ile ilgili çalışmaları arttırmış ve bu çalışmalar sonucunda, bu sistemlerin bina sıcaklıklarının düşürülmesinde etkili olarak kullanılabileceğini ve önemli bir enerji tasarrufu sağlanacağını ortaya koymuştur. Bununla birlikte yeşil duvar sistemlerinin binalarda sağladığı termal izolasyonun daha iyi açıklanabilmesi ve bu etkinin daha ileri boyutlara taşınabilmesi için çalışmalar hızla sürmektedir.

Yapılan bu araştırmalara katkı sağlayabilmek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlamak için getirilen öneriler bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmada yeşil duvar uygulamaları için yetiştirme ortamı alternatifleri olarak, evsel katı atık kompostu, torf, pirinç kabuğu ve perlit çeşitli oranlarla karıştırılarak incelenmiştir. Hazırlanan yetiştirme ortamlarının bitki büyütme performansı ve yeşil duvar uygulamalarında kullanılabilirliği ile ilgili bazı fiziksel özellikleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kompost çok küçük partikül boyutunda tanelerden oluşmaktadır. Bu durum kompostun özellikle porozitesini oldukça

düşürmektedir. Buna karşılık hacim ağırlığı yüksektir. Hacim ağırlığının yüksek olması içerisinde inorganik maddelerin fazla olduğunu işaret etmektedir. Bununla birlikte komposta artan oranlarda pirinç kabuğu ve perlit eklenerek hazırlanan yetiştirme ortamlarının, karışımdaki oranların artmasıyla, hacim ağırlığı azalmakta ve porozite artmaktadır.

En yüksek oran olan %50 pirinç kabuğu ve perlit ilavelerinde elde edilen hacim ağırlıkları süs bitkileri yetiştirme ortamları için istenen ideal değer aralığında bulunurken, porozite değeri ise ideal değerler aralığının alt sınırına önemli ölçüde yaklaşmıştır. Çalışmada denenen tüm yetiştirme ortamlarının su tutma kapasiteleri, süs bitkisi yetiştirme ortamları için istenen ideal değerlerden düşük bulunmuştur. Bundan dolayı bu yetiştirme ortamlarının yeşil duvar uygulamalarında kullanılması sırasında bitkilerin zarar görmemesi için sulama programlarına özel önem verilmesi gerekmektedir.

Bunun yanında çalışmanın ana hedeflerinden biri olan farklı yetiştirme ortamlarının yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyon etkisine olan katkı düzeylerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, denenen tüm yetiştirme ortamlarının ısı izolasyonuna katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Çalışmada kontrol uygulaması olarak kullanılan çıplak model bina ile yeşil duvar uygulaması kullanılan model bina arasında belirlenen en yüksek ısı farkı 6°C olarak kaydedilmiş ve bu fark %50 Torf ve %50 Perlit kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamında bulunmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre torf ve perlit kullanılan yetiştirme ortamları kullanılan yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna katkıları, kompost ve pirinç kabuğu kullanılan yetiştirme ortamlarınınkinden daha fazladır.

Ayrıca yeşil duvar uygulamalarında kullanılan yetiştirme ortamı ile bitkilerin ısı izolasyonuna etkileri arasındaki ilişki incelendiğinde, bitkili uygulamaların, kontrol uygulaması ile yaklaşık 10.5°C'lik bir ısı farkı oluşturduğu görülmüştür. Bitkilerin sağladığı gölgelendirme, ısı farkının oluşmasında en önemli etkidir. Literatürde

sunulan konuyla ilgili çalışmaların sonuçlarına göre, pasif izolasyon da denen bu etki bitkilerin yaprak yoğunluğu arttıkça artmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen tüm sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, denenen yetiştirme ortamı bileşenleri olan evsel katı atık kompostu, torf, pirinç kabuğu ve perlitin, su tutma kapasitelerinin artırılması gibi fiziksel özelliklerinde yapılacak bazı ilave iyileştirmelerle yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamı olarak kullanılabilceği, kullanılan yetiştirme ortamlarının yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna olan olumlu etkilerinde önemli bir faktör olduğu ve ısı izolasyon etkisinin bitkilerle önemli ölçüde arttığı söylenebilir.

Bununla birlikte bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı türdeki yetiştirme ortamlarının ve bitkilerin denenmesi, farklı hacimdeki saksıların kullanılması, yetiştirme ortamlarının farklı nem içeriklerinde incelenmesi ile ısı izolasyonuna olan etkilerin araştırılması konu hakkındaki bilgileri daha ilerilere taşıyacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Haggag, M., Hassan, M., Elmasry, S., Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate, *Energy and Buildings* 82, 668-674, 2014.
- [2] Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R., Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, *Building and Environment* 46, 2287-2294, 2011.
- [3] Dover, J.W., *Green Infrastructure: Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments*, ISBN 978-0-415-5213-9, Routledge, 2015.
- [4] Dover, J.W., *Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments*, 1, 227-232, 2017.
- [5] Jasionkowski, R., Czarnecka, A.L., The potential of urban agriculture for sustainability of cities in Poland, *Ecological Questions* 24, 59-64, 2016.
- [6] Ottel , M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haasa, E.M., Raiteri, R., Comparative life cycle analysis for green fac, ades and living wall systems *Energy and Buildings* 43, 3419–3429, 2011.
- [7] Dunnet, N., Kingsbury, N., *Planting Green Roofs and Living Walls*, Timber Press, Oregon, 2004.
- [8] K hler, M., Green facades – a view back and some visions, *Urban Ecosyst* 11, 423–436, 2008.
- [9] Kazemi, F., Mohorko, R., Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates, *Urban Forestry & Urban Greening* 23, 13–26, 2017.
- [10] Young, T., Cameron, D.D., Sorrill, J., Edwards, T., Phoenix, G.K., Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance, *Urban Forestry & Urban Greening* 13, 507–516, 2014.
- [11] Sailor, D.J., Hagos, M., An updated and expanded set of thermal property data for green roof growing media *Energy and Buildings* 43, 2298–2303, 2011.

- [12] Graceson, A., Hare, M., Hall, N., Monaghan, J., Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs, *Biosystems Engineering* 124, 1-7, 2014.
- [13] Abad, M., Fornes, F., Carrion, C., Noguera, V., Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat, *Hortscience* 40, 2138-2144, 2005.
- [14] Dede, G., Pekarchuk, O., Ozer, H., Dede, O.H., Alternative Growing Media Components For Green Wall Designs in Terms of Lightweight, 2nd International Congress on Engineering and Architecture, 2019.
- [15] Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R., Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs, *Environ Pollut* 26, 159:2119, 2011.
- [16] Sheweka, S., Mohamed, N.M., Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change Energy *Procedia* 18, 507 – 520, 2012.
- [17] Charoenkit, S., Yiemwattana, S., Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate, *Building and Environment* 115, 67-79, 2017.
- [18] Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B., Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience* 57(10), 823–833, 2007.
- [19] Medl, A., Mayr, S., Rauch, H.P., Weihs, P., Florin Florineth Microclimatic conditions of 'Green Walls', a new restoration technique for steep slopes based on a steel grid construction, *Ecological Engineering* 101, 39–45, 2017.
- [20] Mårtensson, L.M., Wuolo, A., Fransson, A.M., Emilsson, T., Plant performance in living wall systems in the Scandinavian climate, *Ecological Engineering* 71, 610–614, 2014.
- [21] Serra, V., Bianco, L., Candelari, E., Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S., Larcher, F., Schiavi, A., A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research Project, *Energy and Buildings* 146, 333–352, 2017.
- [22] Koc, C.B., Osmond, P., Peters, A., Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies, *Urban Ecosyst*, 2016.
- [23] Bianco, L., Serra, V., Larcher, F., Perino, M., Thermal behaviour assessment of a novel vertical greenery module system: first results of a long-term monitoring campaign in an outdoor test cell, *Energy Efficiency*, 2016.

- [24] Timur, O.B., Karaca, E., Vertical gardens, in: O. Murat (Ed.), *Advances in Landscape*, INTECH, 2013.
- [25] Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., Deletic, A., Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal, *Ecological Engineering*, 102, 625-635, 2017.
- [26] Masi, F., Bresciani, R., Rizzo, A., Edathoot, A., Patwardhan, N., Panse, D., Langergraber, G., Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: a case-study in Pune, 2016.
- [27] Fowdar, H.S., Hatt, B.E., Breen, P., Cook, P.L.M., Deletic, A., Designing living walls for greywater treatment, *Water Research*, 110, 218-232, 2017.
- [28] Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L.F., Bures, S., Álvaro, J.E., Erkoreka, A., Urrestarazu, M., Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings, *Applied Acoustics*, 89, 46-56, 2015.
- [29] Renterghem, T.V., Botteldooren, D., Verheyen, K., Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth, *Journal of Sound and Vibration*, 331, 2404-2425, 2012.
- [30] Wong, N.H., Tan, A.Y.K., Tan, P.Y., Chiang, K., Wong, N.C., Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment*, 45, 411-420, 2010.
- [31] Horoshenkov, K.V., Khan, A., Benkreira, H., Acoustic properties of low growing plants, 2013.
- [32] Thomazelli, R., Caetano, F.D.N., Bertoli, S.R., Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation, *Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics*, 2017.
- [33] Wong, N.H., Tan, A.Y.K., Tan, P.Y., Wong, N.C., Energy simulation of vertical greenery systems, *Energy and Buildings* 41, 1401–1408, 2009.
- [34] Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., Cabeza, J.F., Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings, *Applied Energy* 88, 4854–4859, 2011.
- [35] Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., Cabeza, L.F., Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate, *Energy Conversion and Management* 52, 1861–1867, 2011.
- [36] Wong, N.H., Tan, A.Y.K., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K., Wong, N.C., Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment* 45, 663–672, 2010.

- [37] Cheng, C.Y., Cheung, K.K.S., Chu, L.M., Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls, *Building and Environment* 45, 1779-1787, 2010.
- [38] Cuce, E., Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation, *Applied Energy* 194, 247–254, 2017.
- [39] Pan, L., Chu, L.M., Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study, *Building and Environment* 96, 293-300, 2016.
- [40] Wong, I., Baldwin, A.N., Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region, *Building and Environment* 97, 34-39, 2016.
- [41] Coma, J., Perez, G., Gracia, A., Bures, S., Urrestarazu, M., Cabeza, L.F., Vertical greenery system for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades, *Building and Environment* 111, 228-237, 2017.
- [42] Pulselli, R.M., Pulselli, F.M., Mazzali, U., Peron, F., Bastianoni, S., Energy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems, *Energy and Buildings* 73, 200–211, 2014.
- [43] Hoelscher, M.T., Nehls, T., Jänicke, B., Wessolek, G., Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation, *Energy and Buildings* 114, 283–290, 2016.
- [44] Abad, M., Noguera P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V., Physico-Chemical and Chemical Properties of Some Coconut Coir Dusts for Use as a Peat Substitute for Containerised Ornamental Plants, *Bioresource Technology*, 82, 241-245, 2003.
- [45] Dede, O.H., Oztekin, M.H., Relationship Between Optical Microscopic Structure and Physical Characterization of Organic Wastes Originated Peat Substitutes, *Applied Ecology And Environmental Research*, 16(2), 1173-1184, 2018.
- [46] Paredes, C., Cegarra, J., Roig, A., Sfinchez-Monedero, M. A., Bernal M. P., Characterization of olive mill wastewater (alpechin) and its sludge for agricultural purposes, *Bioresource Technology* 67, 111-115, 1999.
- [47] Kontoleon, K.J., Eumorfopoulou, E.A., The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone, *Building and Environment*, 45, 1287-1303, 2010.
- [48] Stec, W.J., van Paassen, A.H.C., Maziarz, A., Modelling the double skin façade with plants, *Energy and Buildings*, 37, 419-427, 2005.

- [49] Barrio, E.P.D., Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, *Energy and Buildings*, 27 (2), 179-193, 1998.
- [50] Drozd, W., Problems and benefits of using green roofs in Poland, 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development, 214, 2019.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Nihan MERCAN, 1994 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli'de tamamladı. 2012 yılında İzmit Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.