

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOLGU MALZEMELERİNİN BİTKİLENDİRİLMİŞ
SİSTEMLERDE FARKLI ÇEVRESEL PARAMETRELERE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hasan ÖZER

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOLGU MALZEMELERİNİN BİTKİLENDİRİLMİŞ
SİSTEMLERDE FARKLI ÇEVRESEL PARAMETRELERE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hasan ÖZER

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE

HAZİRAN 2024

Hasan Özer tarafından hazırlanan “Dolgu Malzemelerinin Bitkilendirilmiş Sistemlerde Farklı Çevresel Parametrelere Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 13.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

- Jüri Başkanı :** **Prof. Dr. Saim Özdemir**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Prof. Dr. Hüseyin Altundağ**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Doç. Dr. Ömer Hulusi Dede**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Doç. Dr. Can Serkan Keskin**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Dr. Öğr. Üyesi Hülya Demirel**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “DOLGU MALZEMELERİNİN BİTKİLENDİRİLMİŞ SİSTEMLERDE FARKLI ÇEVRESEL PARAMETRELERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

24/06/2024

Hasan ÖZER



TEŞEKKÜR

Tüm eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen başta annem ve babama, lisans eğitimimden itibaren rol modelim olan ve akademisyen olma vizyonunu bana kazandıran tecrübesini, bilgisini, desteğini ve ilgisini eksik etmeyen değerli hocam Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE'ye, bizlere akademisyenlik değerlerini, bilim ve araştırma heyecanını aşılayan ve her daim yol gösteren hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e, yoğun çalışmalarım esnasında gösterdiği sabır ve her koşulda yanımda olarak bana verdiği tüm destekler için eşim Tuğba ÖZER'e, teşekkürlerimi sunarım.

Hasan ÖZER



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ	7
2.1. Yeşil Duvar Sistemleri	8
2.2. Yeşil Duvarların Faydaları	9
2.3. Yeşil Duvarların Sınıflandırılması	11
2.3.1. Yeşil cepheler	11
2.3.2. Yaşayan duvarlar	12
2.3.3. Yosun duvarlar	14
2.3.4. Yeşil duvarların bileşenleri	15
2.4. Yeşil Duvarlarda Kullanılan Bitki Yetiştirme Ortamları	16
2.4.1. Farklı materyallerin karışımından elde edilen yetiştirme ortamları	17
2.5. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Yetiştirme Ortamı Karışımlarının Hazırlanması	30
3.2. Yetiştirme Ortamlarının Karakterizasyonu	32
3.3. Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	33
3.3.1. Partikül boyut dağılımı	33
3.3.2. Özgül ağırlık	34
3.3.3. Hacim ağırlığı	34
3.3.4. Toplam porozite	36
3.3.5. Su tutma kapasitesi	37
3.3.6. Hacmin büzüşmesi	38
3.4. Yetiştirme Ortamlarının Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	39
3.5. Yeşil Duvar Sisteminin Kurulumu	40
3.6. Yeşil Duvar Bitki Alanının Hesaplanması	42
3.7. Termal Ölçümlerin Yapılması	46
3.8. Ses Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi	47
3.9. İstatistiksel Analizler	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1. Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	50
4.2. Yetiştirme Ortamlarının Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi	56
4.3. Yetiştirme Ortamlarının Bitki Besin Elementi İçeriğinin İncelenmesi	59
4.4. Yeşil Duvar Bitki Alanı Artışının Dolaylı İzleme Tekniği İle İncelenmesi ..	62

4.4.1. Mazı bitkisi (<i>Thuja plicata</i>) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları.....	62
4.4.2. Şimşir bitkisi (<i>Buxus sempervirens L.</i>) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları.....	64
4.4.3. Yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yeşil duvar bitki alanı üzerindeki etkilerinin incelenmesi.....	66
4.5. Yeşil Duvarların Isı İzolasyonuna Etkilerinin İncelenmesi.....	70
4.6. Yeşil Duvarların Isı İzolasyonuna Etkilerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişimi	72
4.6.1. Nisan ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi.....	72
4.6.2. Mayıs ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi	76
4.6.3. Haziran ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi	80
4.6.4. Temmuz ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi.....	84
4.6.5. Eylül ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi	93
4.6.6. Yeşil duvarlarının ısı izolasyonuna etkilerinin termal görüntüleme ile incelenmesi.....	97
4.7. Yeşil Duvarların Ses İzolasyonuna Etkilerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişimi	100
4.7.1. Mazı bitkisi (<i>Thuja plicata</i>) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkileri	101
4.7.2. Şimşir bitkisi (<i>Buxus sempervirens L.</i>) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkileri.....	105
4.7.3. Farklı bitki türleri kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkilerinin değerlendirilmesi	109
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

T	: Torf
F	: Fındık Zürufu
P	: Pirinç Kabuğu
PE	: Perlit
TF1	: %87.5 Torf + %12.5 Fındık Zürufu
TF2	: %75 Torf + %25 Fındık Zürufu
TF3	: %50 Torf + %50 Fındık Zürufu
TP1	: %87.5 Torf + %12.5 Pirinç Kabuğu
TP2	: %75 Torf + %25 Pirinç Kabuğu
TP3	: %50 Torf + %50 Pirinç Kabuğu
TPE1	: %87.5 Torf + %12.5 Perlit
TPE2	: %75 Torf + %25 Perlit
TPE3	: %50 Torf + %50 Perlit
FP1	: %87.5 Fındık Zürufu + %12.5 Pirinç Kabuğu
FP2	: %75 Fındık Zürufu + %25 Pirinç Kabuğu
FP3	: %50 Fındık Zürufu + %50 Pirinç Kabuğu
FPE1	: %87.5 Fındık Zürufu + %12.5 Perlit
FPE2	: %75 Fındık Zürufu + %25 Perlit
FPE3	: %50 Fındık Zürufu + %50 Perlit
YO	: Yetiştirme Ortamı
DO	: Dış Ortam
KO	: Kontrol
SF	: Sıcaklık Farkı
BA	: Bitki Alanı
CO₂	: Karbondioksit
dB	: Desibel



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Yetiştirme ortamları ve karışım oranları (%V)	31
Tablo 3.2. Yetiştirme ortamlarında istenen ideal fiziksel özellikler (Dede ve Öztekin 2018; Abad ve ark, 2003).....	33
Tablo 4.1. Yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri	54
Tablo 4.2. Yetiştirme ortamlarının makro ve mikro bitki besin elementi içerikleri..	62
Tablo 4.3. Mazi bitkisi (<i>Thuja plicata</i>) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları.....	63
Tablo 4.4. Şimşir bitkisi (<i>Buxus sempervirens</i> L.) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları	65
Tablo 4.5. Mazi bitkisi nisan ayı sıcaklık farkları	74
Tablo 4.6. Şimşir bitkisi nisan ayı sıcaklık farkları	76
Tablo 4.7. Mazi Mayıs ayı sıcaklık farkları	78
Tablo 4.8. Şimşir bitkisi mayıs ayı sıcaklık farkları.....	80
Tablo 4.9. Mazi bitkisi haziran ayı sıcaklık farkları.....	82
Tablo 4.10. Şimşir haziran ayı sıcaklık farkları	84
Tablo 4.11. Mazi bitkisi temmuz ayı sıcaklık farkları.....	86
Tablo 4.12. Şimşir bitkisi temmuz ayı sıcaklık farkları	89
Tablo 4.13. Mazi bitkisi ağustos ayı sıcaklık farkları	91
Tablo 4.14. Şimşir bitkisi ağustos ayı sıcaklık farkları	93
Tablo 4.15. Mazi bitkisi eylül ayı sıcaklık farkları	95
Tablo 4.16. Şimşir bitkisi eylül ayı sıcaklık farkları	97



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yeşil duvarların tarihi örnekleri.....	9
Şekil 2.2. Şehirlerde yeşil alanların azalması	10
Şekil 2.3. Yeşil cephe uygulama örneği.....	12
Şekil 2.4. Dış mekân yaşayan duvar uygulama örneği	13
Şekil 2.5. İç mekân yaşayan duvar uygulama örneği (mutfak bahçesi).....	14
Şekil 2.6. İç mekân yosun duvar uygulama örneği.....	15
Şekil 2.7. Yeşil duvar sisteminin bileşenleri.....	16
Şekil 3.1. Yetiştirme ortamı numuneleri.....	32
Şekil 3.2. Yetiştirme ortamı numunelerinin titreşimli elek setinden elenmesi.....	34
Şekil 3.3. Yetiştirme ortamlarının hacim ağırlığının belirlenmesi	35
Şekil 3.4. Yetiştirme ortamlarının toplam porozitesinin belirlenmesi	36
Şekil 3.5. Yetiştirme ortamı numunelerinin kum kovaşında drene edilmesi.....	37
Şekil 3.6. Çelik halkalardan çıkartılan kuru numunelerin hacminin belirlenmesi.....	38
Şekil 3.7. 1:5 oranında numune ve saf su karışımlarının hazırlanması	39
Şekil 3.8. Yetiştirme ortamlarında pH ve elektriksel iletkenlik ölçümü.....	39
Şekil 3.9. Kül fırınında yakılacak numunelerin hazırlanması	40
Şekil 3.10. Model binalar ve yeşil duvar sisteminin kurulumu	41
Şekil 3.11. Bitkilendirilmiş yeşil duvar sistemi	42
Şekil 3.12. Yeşil duvar sistemi ve dijital görüntüleme	43
Şekil 3.13. Mazı bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü.....	44
Şekil 3.14. Mazı bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü.....	44
Şekil 3.15. Şimşir bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü.....	45
Şekil 3.16. Şimşir bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü.....	45
Şekil 3.17. Yeşil duvar sistemlerinin termal kamera ile görüntülenmesi	47
Şekil 3.18. Yeşil duvar sistemlerinde gürültü ölçümü	48
Şekil 4.1. Torf ve fındık zürufu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%).....	51
Şekil 4.2. Torf ve pirinç kabuğu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%).....	51
Şekil 4.3. Torf ve perlit karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)	51
Şekil 4.4. Fındık zürufu ve pirinç kabuğu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)	52
Şekil 4.5. Fındık zürufu ve perlit karışımlarının partikül boyut dağılımları (%).....	52
Şekil 4.6. Yetiştirme ortamlarının pH değerleri.....	56
Şekil 4.7. Yetiştirme ortamlarının elektriksel iletkenlik değerleri.....	57
Şekil 4.8. Yetiştirme ortamlarının organik madde değerleri.....	58
Şekil 4.9. Yetiştirme ortamlarının azot içeriği.....	60
Şekil 4.10. Yetiştirme ortamlarının fosfor içeriği	60
Şekil 4.11. Yetiştirme ortamlarının potasyum içeriği.....	61

Şekil 4.12. Farklı yetiştirme ortamlarındaki mazı (<i>Thuja plicata</i>) ın başlangıç ve final bitki alanı (BA1).....	68
Şekil 4.13. Farklı yetiştirme ortamlarındaki şimşir (<i>Buxus sempervirens L.</i>) ın başlangıç ve final bitki alanı (BA2)	69
Şekil 4.14. Bitki alanı ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki Spearman korelasyonu (BA1: Mazı (<i>Thuja plicata</i>) bitki alanı, BA2: Şimşir (<i>Buxus sempervirens L.</i>) bitki alanı)	70
Şekil 4.15. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamalarının nisan ayı sıcaklık ölçümleri	73
Şekil 4.16. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamalarının nisan ayı sıcaklık ölçümleri	75
Şekil 4.17. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina mayıs ayı sıcaklık ölçümleri	77
Şekil 4.18. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina mayıs ayı sıcaklık ölçümleri	79
Şekil 4.19. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina haziran ayı sıcaklık ölçümleri	81
Şekil 4.20. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina haziran ayı sıcaklık ölçümleri	83
Şekil 4.21. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina temmuz ayı sıcaklık ölçümleri	85
Şekil 4.22. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina temmuz ayı sıcaklık ölçümleri	88
Şekil 4.23. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina ağustos ayı sıcaklık ölçümleri	90
Şekil 4.24. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina ağustos ayı sıcaklık ölçümleri	92
Şekil 4.25. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina eylül ayı sıcaklık ölçümleri	94
Şekil 4.26. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina eylül ayı sıcaklık ölçümleri	96
Şekil 4.27. Yeşil duvar sistemi kurulu olan model binanın termal görüntüsü	98
Şekil 4.28. Kontrol uygulamasının termal görüntüsü	99
Şekil 4.29. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin nisan ayı ses azaltma indeksleri	101
Şekil 4.30. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin mayıs ayı ses azaltma indeksleri	102
Şekil 4.31. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin haziran ayı ses azaltma indeksleri	102
Şekil 4.32. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin temmuz ayı ses azaltma indeksleri	103
Şekil 4.33. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ağustos ayı ses azaltma indeksleri	104
Şekil 4.34. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin eylül ayı ses azaltma indeksleri	104
Şekil 4.35. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin nisan ayı ses azaltma indeksleri	105
Şekil 4.36. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin mayıs ayı ses azaltma indeksleri	106

Şekil 4.37. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin haziran ayı ses azaltma indeksleri	106
Şekil 4.38. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin temmuz ayı ses azaltma indeksleri	107
Şekil 4.39. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ağustos ayı ses azaltma indeksleri	108
Şekil 4.40. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin eylül ayı ses azaltma indeksleri	108
Şekil 4.41. Mazı ve şimşir bitki alanı ve ses azaltma indeksinin farklı frekans değerlerindeki Spearman korelasyonu (***) $p \leq 0.001$	110





DOLGU MALZEMELERİNİN BİTKİLENDİRİLMİŞ SİSTEMLERDE FARKLI ÇEVRESEL PARAMETRELERE VE GRİ SU ARITIMINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Yeşil duvar uygulamalarında kullanılacak yetiştirme ortamı karışımlarında organik malzeme ihtiyacı tarımsal kökenli organik atıklardan karşılanabilir. Bu yöntem hem yetiştirme ortamının maliyetini azaltır hem de tarım kaynaklı organik atıklar için ekolojik bir bertaraf alternatifi sağlar. Bu düşünceden yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, ülkemizde oldukça bol olarak bulunan tarımsal kökenli atıklar ve bazı inorganik materyaller kullanılarak yeşil duvar sistemleri için yetiştirme ortamı karışımları oluşturulmuş ve bu yetiştirme ortamlarının, yeşil duvarlardaki bitki büyümesi, ısı ve ses izolasyonuna olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla yeşil duvar uygulamalarında sıklıkla kullanılan torf ve tarımsal kökenli organik atıklardan fındık zürufu ana karışım materyalleri olarak seçilmiş ve bu ana materyallere hacimsel olarak %12.5, %25 ve %50 oranında pirinç kabuğu ve perlit karıştırılarak yetiştirme ortamları hazırlanmıştır (T: % 100 torf, F: % 100 fındık zürufu, TF1: %87.5 torf+%12.5 fındık zürufu, TF2: %75 torf+%25 fındık zürufu, TF3: %50 torf+%50 fındık zürufu, TP1: %87.5 torf+%12.5 pirinç kabuğu, TP2: %75 torf+%25 pirinç kabuğu, TP3: %50 torf+%50 pirinç kabuğu, TPE1: %87.5 torf+%12.5 perlit, TPE2: %75 torf+%25 perlit, TPE3: %50 torf+%50 perlit, FP1: %87.5 fındık zürufu+%12.5 pirinç kabuğu, FP2: %75 fındık zürufu+%25 pirinç kabuğu, FP3: %50 fındık zürufu +%50 pirinç kabuğu, FPE1: %87.5 fındık zürufu+%12.5 perlit, FPE2: %75 fındık zürufu +%25 perlit, FPE3: %50 fındık zürufu+%50 perlit.) Torf ve tarımsal kullanıma uygun perlit ticari ürünlerdir ve satın alınmıştır. Fındık zürufu ve pirinç kabuğu ise hasat işleminden sonra temin edilmiş, fındık zürufu parçalayıcı makineden geçirilmiştir. Pirinç kabuğuna ise herhangi bir ön işlem uygulanmamıştır. Tüm yetiştirme ortamı karışımları 50 litre olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri standart yöntemler ve bilimsel çalışmalarda uygulanmış analiz metotları kullanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar ideal bitki yetiştirme ortamlarında istenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yeşil duvar sisteminin kurulabilmesi ve ısı ve ses yalıtımındaki etkilerinin özdeş ortamlarda test edilebilmesi için model binalar inşa edilmiştir. Model binaların inşasında 125 cm x 125 cm x 125 cm ölçülerinde ve 2 cm kalınlığında betopan levhalar kullanılmıştır. Model binaların yeşil duvar sistemlerinin dışında kalan alanları olan zemin ve çatılarına 5 cm kalınlığında karbon takviyeli strafor ile yalıtım uygulanmıştır. Yeşil duvar sistemleri model binanın dört cephesinde, duvar yüzeyinden 3 cm boşluk kalacak şekilde monte edilmiştir. Yeşil duvar sistemi 5 mm kalınlığında tellerden örülmüş çelik kafes üzerine belirli bir açı ile tutturulmuş plastik saksılar ve damla sulama sistemlerinden oluşmaktadır. Yeşil duvar sistemindeki saksılar bitki dikimi öncesi hazırlanan yetiştirme ortamları ile doldurulmuş ve iğne ve düz yapraklı bitkileri temsil edecek şekilde seçilen mazı (*Thuja plicata*) ve şimşir (*Buxus sempervirens* L.) bitkileri dikilmiştir. Bitkiler düzenli olarak çeşme suyu ile sulanmıştır. Hazırlanan yetiştirme ortamlarının bitki büyümedeki başarıları, bu çalışmaya özgün bir yöntem

olarak, görüntü işleme yöntemiyle belirlenmiştir. Bu amaçla bitki büyüme dönemini oluşturan, nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında yeşil duvardan dijital görüntüler alınmış, bu görüntülerden imageJ programı kullanılarak, mazi (*Thuja plicata*) ve şimşir (*Buxus sempervirens* L.) bitkilerinin yeşil duvarda oluşturduğu bitki alanı hesaplanmıştır. Yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna olan etkilerinin belirlenmesi için, yeşil duvar sistemi kurulmuş ve yeşil duvar sistemi bulunmayan boş model binalara sıcaklık ölçüm sensörleri yerleştirilmiş ve sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Sıcaklık ölçümleri 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 ve 21:00 saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yetiştirme dönemi olan nisan-eylül arasındaki tüm aylarda ölçüm alınarak, bitki alanındaki değişimin ısı izolasyonu arasındaki etkileri gözlemlenmiştir. Yeşil duvar sistemlerinin ısı izolasyonuna etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, sıcaklık ölçümlerine ilave olarak termal görüntüleme de gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yeşil duvar uygulamalarının ses izolasyonuna etkileri, UNE-EN ISO 10140-2 standartlarına göre üretilen sesin (üçüncü oktav bantlarındaki) yeşil duvar sistemi kurulan ve kurulmayan model binalarda ölçülmesi ve oluşan farktan frekansa bağlı ses azaltma indeksinin hesaplanması ile belirlenmiştir. Çalışmada farklı frekansların etkilerinin belirlenmesi amacıyla 0.125 kHz, 0.250 kHz, 0.500 kHz, 1.000 kHz ve 2.000 kHz frekansları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm analiz ve ölçümler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve sonuçlar ortamlar olarak sunulmuştur. Tüm sonuçlar bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılan Anova ve LSD testleri ile istatistiksel incelemesi de yapılmıştır. Yetiştirme ortamlarının fiziksel özelliklerinin incelenmesinde, fındık zürufu (F) (0.28 g/cm^3) en yüksek, pirinç kabuğu (P) (0.11 g/cm^3) ise en düşük hacim ağırlığına sahip bulunmuştur. Torf (T) ve perlitin (PE) hacim ağırlıkları sırasıyla 0.21 g/cm^3 ve 0.15 g/cm^3 'tür. Karışımlarda pirinç kabuğu oranının yükselmesi, yetiştirme ortamının hacim ağırlığını önemli ölçüde azaltmaktadır. Pirinç kabuğu oranının en yüksek olduğu (%50) TP3 ve FP3 uygulamalarının hacim ağırlıkları sırasıyla 0.15 g/cm^3 ve 0.18 g/cm^3 'tür. İncelenen tüm yetiştirme ortamlarının yığın yoğunluğu, ideal yetiştirme ortamı için istenen sınır dahilindedir. Genel olarak, yetiştirme ortamının porozitesi, hacim ağırlığının azalmasıyla birlikte artar. Perlitin hacim ağırlığı pirinç kabuğuna göre daha düşük olmasına rağmen porozitesi (%94.39 V/V) yüksek bulunmuştur. Bu durum perlitin mikro gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Fındık zürufu (%81.43 V/V) en düşük porozite değerine sahiptir. Bu nedenle %87.5 fındık zürufu içeren FH1 (%82.41 V/V) ve FPE1 (%82.4 V/V) uygulamalarının porozite değerleri diğer uygulamalara göre daha düşüktür. Yetiştirme ortamında perlit ve pirinç kabuğu oranının artırılması ise porozite değerlerini arttırmıştır. Yetiştirme ortamı bileşenleri olan torf (770.38 mg/l) ve fındık zürufunun (619.29 mg/l) su tutma kapasiteleri, pirinç kabuğu (114.88 mg/l) ve perlitten (229.26 mg/l) önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. %50 fındık zürufu ve %50 pirinç kabuğu içeren FP3'ün (566.95 mg/l) ve %50 fındık züruf ve %50 perlit içeren FPE3'ün (580.51 mg/l) su tutma kapasitesi ideal değer aralığının oldukça altındadır. Yetiştirme ortamlarının kimyasal özelliklerinin incelenmesinde, yetiştirme ortamlarında ölçülen tüm pH değerleri süs bitkileri için istenilen aralıkta bulunurken, elektriksel iletkenlik değerlerinin tamamı ideal yetiştirme ortamı için istenilen değerlerden düşük bulunmuştur. Ölçülen en yüksek elektriksel iletkenlik değeri $482.78 \mu\text{S/cm}$ (FPE3)'dir. Elektriksel iletkenlik değerlerinin düşük olması, yeşil duvarların uzun süreli sulanması, saksıda kurumuş yaprak ve dalların ayrışması gibi EC'yi arttıran durumlar nedeniyle avantaj olarak değerlendirilmiştir. İnorganik yetiştirme ortamı bileşeni olan perlitin kullanıldığı tüm yetiştirme ortamı uygulamalarında, karışımdaki perlit miktarı arttıkça organik madde miktarı azalmıştır. Yetiştirme ortamları arasında en düşük organik madde içeriği FPE3

uygulamasında (%50.74) bulunmuştur. Bitki gelişimi için en önemli besin elementlerinden olan azot ve potasyumun en yüksek değerleri fındık zürufunda (N: %1.48; K: 2442.67 mg/kg), fosfor en yüksek değeri ise pirinç kabuğunda (P: 3231.26 mg/kg) bulunmuştur. Ayrıca torf en yüksek Ca (2587.28 mg/kg) ve Fe (192.39 mg/kg) içeriğine, pirinç kabuğu en yüksek Mg (1183.74 mg/kg) içeriğine ve fındık zürufu en yüksek Cu (5.87) ve Zn (36.35 mg/kg) içeriğine sahiptir. İnorganik yetiştirme ortamı bileşeni olan perlitin makro ve mikro besin içeriği oldukça düşük bulunmuştur. Bitki alanının görüntü analizi ile incelenmesi çalışmalarında ise, mazı bitkisinde en yüksek bitki alanına TF1 yetiştirme ortamında ulaşılmıştır. Bu yetiştirme ortamı kullanılan yeşil duvar sisteminde başlangıç (nisan) bitki alanı 0.327 m² ve yetiştirme dönemi sonu (eylül) bitki alanı 0.962 m² olarak hesaplanmıştır. Yeşil duvardaki en küçük bitki alanı artışı, 0.343 m² başlangıç bitki alanı ve 0.612 m² son bitki alanı ile FP3 uygulamasında belirlenmiştir. Mazı bitkisinde elde edilen sonuçlara benzer şekilde şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinde de TF1 yetiştirme ortamında en yüksek bitki alanına ulaşılmıştır. En yüksek değerlerin elde edildiği TF1 uygulamasında başlangıç bitki alanı 0.412 m², son bitki alanı ise 0.594 m² olarak gerçekleşmiştir. En düşük değer ise (0.521 m²) FP3 uygulamasında elde edilmiştir. Yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bitki alanı arasındaki en yüksek pozitif korelasyonlar, su tutma kapasitesi (R²:0.86; p <0.001), organik madde (R²:0.76; p <0.001), Ca (R²:0.52; p <0.001), Fe (R²:0.63; p <0.001) ve Mg (R²:0.57; p <0.05) de bulunmuştur. Genel bir sonuç olarak yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitesi ve organik madde içeriği azaldıkça, bitki büyümesi olumsuz etkilenmekte ve yeşil duvar bitki alanı da azalmaktadır. Çalışmada yeşil duvar uygulamasının ısı izolasyonuna olan etkilerini belirlenmek için yapılan sıcaklık ölçümlerinde, bitki alanı değerleri arttıkça yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonu değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yeşil duvar uygulanan model bina ve kontrol uygulaması arasında oluşan sıcaklık farkları incelendiğinde oluşan en yüksek sıcaklık farkı mazı bitkisi yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvar uygulamasında, ağustos ayı ölçümlerinde saat 15:00'te kaydedilmiştir (6.2 °C). Ağustos ayı TF1 uygulamasında en yüksek değer 6.0 °C olarak ölçülmüştür. TP1 uygulamasında 4.8 °C ve TPE1 uygulamasında 5.1 °C ölçülen diğer yüksek sıcaklık farkı değerleridir. Şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar sistemlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık farkları yine ağustos ayında ölçülmüştür. T uygulamasında 4.4 °C, TF1 uygulamasında 4.1 °C TPE1 uygulamasında 4.2 °C bu uygulamada ölçülen en yüksek sıcaklık farkı değerleridir. Yeşil duvarların ses izolasyonu etkilerini inceleme amacıyla yapılan ölçümler sonucunda ses azaltım indeksleri hesaplanmıştır ve sonuçlar incelendiğinde kullanılan her iki bitki türünde de eylül ayı ölçümlerinde en yüksek ses azaltım indeksi değerlerinin hesaplandığı görülmüştür. Mazı bitkisi için bu değer 16 dB ile TPE1 uygulamasında ve şimşir bitkisi için 14.9 dB ile T uygulamasında hesaplanmıştır. Hesaplanan bu iki değer kaynak ses 0.500 kHz frekans olarak ayarlandığında ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçların tamamı göz önüne alındığında, torf-fındık zürufu ve torf+perlit karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarında elde edilen tüm sonuçlar, karışımlardaki fındık zürufu ve perlit oranının artmasıyla bir miktar azalmış olsa da, yeşil duvar sistemleri için alternatif bir yetiştirme ortamı olabileceklerini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada bitki alanının belirlenmesinde kullanılan dolaylı izleme tekniği, yeşil duvar bitkilerine ve sistemlerine zarar vermeden bu çalışmanın güvenli ve uygun maliyetli bir şekilde yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bu yöntemle elde edilen basit ve hızlı bilgiler, farklı yetiştirme ortamlarının yeşil duvar bitkisi alanının genişlemesi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, kentsel

alanlarda bitki büyümesini ve genel sistem performansını iyileştirmek amacıyla yeşil duvar tasarımını optimize etmek için kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: yeşil duvarlar, yetiştirme ortamları, organik atıklar, görüntü işleme, bitki alanı, ısı ve ses izolasyonu



INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FILLERS ON VARIOUS ENVIRONMENTAL PARAMETERS IN PLANTED SYSTEMS

SUMMARY

There has been a significant population shift from rural areas to cities in the last century. The movement of people living in rural areas to cities has rapidly increased the demand for new buildings and cities have grown significantly. This situation has led to a decrease in green areas, defined as concretion, in cities, and important problems have begun to emerge in terms of the natural environment and human health. The formation of heat islands in cities, decrease in biodiversity, pollution of water resources and city noise can be listed as the most important of these problems. In recent years, important studies have been carried out to develop a solution to this situation. The focus of these studies, which are based on the basic idea of creating sustainable cities and living spaces, is to increase green areas in cities. One of the best solutions developed to increase green areas in cities is the widespread use of green wall and roof systems. Green wall and roof systems can basically be explained as planning plants as part of the architectural design and growing them on building walls, roofs or interiors. These systems are frequently used in today's architectural designs because they make a significant aesthetic contribution to architectural designs. However, studies on green wall systems in recent years reveal that these systems, in addition to being an aesthetic element in architectural design, can make much more important contributions to buildings and cities. Studies on the subject have shown that green wall systems reduce air pollution, capture greenhouse gases that cause global warming, reduce heat islands in cities, increase biodiversity, contribute to sound and heat insulation in buildings, reduce the amount of energy used especially for cooling purposes, harvest rainwater and gray water. It is reported that it has a significant potential in many areas such as purification. Especially in these days when climate change is being combated on a global scale and intense efforts are being made to create carbon neutral cities, it is very important to use the potential of green wall systems in this field. That is why, in many countries, in order to accelerate sustainable city transformation, significant support is given for the installation of green wall systems in new or existing buildings. However, green wall systems require maintaining a complex application such as plant cultivation as a part of architectural design. Considering that plant cultivation is a complex task even in gardens and fields where it is conventionally practiced, the difficulty of successfully carrying out this process in systems mounted on building walls and above the ground can be better understood. In order for plants to survive healthily in the green wall system, many factors important for plant development such as irrigation, meeting plant nutrient needs, and combating diseases and pests must be taken into consideration and optimized with engineering applications. In addition, even if ideal conditions for plant growth are created, the green wall system must also meet the aesthetic goals foreseen in the architectural design of the building. One of the most important needs for green wall systems to meet the desired aesthetic criteria and to achieve healthy plant growth is the plant growing media to be used. Essentially,

growing plants in green wall systems is similar to growing potted ornamental plants. However, the growing media to be used in green wall systems are required to have additional qualities compared to those used in potted ornamental plant cultivation. These qualities can be listed as being light enough not to put too much load on the building, having a high water retention capacity so that it does not require too much irrigation, and being free of plant diseases. To meet these qualities, a good solution is to use growing media consisting of a mixture of different organic and inorganic materials. The need for organic materials in growing media mixtures to be used in green wall applications can be met from organic wastes of agricultural origin. This method both reduces the cost of the growing media and provides an economical and ecological disposal alternative for organic waste of agricultural origin. In this study, which was carried out based on this idea, growing media for green wall systems were prepared using agricultural wastes and some inorganic materials, which are abundant in our country, and the effects of these growing media on plant growth, heat and sound insulation in green walls were examined. For this purpose, peat, which is frequently used in green wall applications, and hazelnut husk, one of the organic wastes of agricultural origin, were selected as the main mixture materials, and growing media were prepared by mixing rice hull and perlite in the ratio of 12.5%, 25% and 50% by volume to these main materials (P: 100% peat, H: 100% hazelnut husk, PH1: 87.5% peat+12.5% hazelnut husk, PH2: 75% peat+25% hazelnut husk, PH3: 50% peat+50% hazelnut husk, PR1: 87.5% peat+ 12.5% rice hull, PR2: 75% peat+25% rice hull, PR3: 50% peat+50% rice hull, PPE1: 87.5% peat+12.5% perlite, PPE2: 75% peat+25% perlite, PPE3 : 50% peat + 50% perlite, HR1: 87.5% hazelnut husk + 12.5% rice hull, HR2: 75% hazelnut husk + 25% rice hull, HR3: 50% hazelnut husk + 50% rice hull, HPE1: 87% .5 hazelnut husk + 12.5% perlite, HPE2: 75% hazelnut husk + 25% perlite, HPE3: 50% hazelnut husk + 50% perlite). Peat and perlite suitable for agricultural use are commercial products and were purchased. Hazelnut husk and rice hull were provided after the harvesting process, and the hazelnut husk was passed through the shredding machine. No pretreatment was applied to the rice hull. All growing media mixtures were prepared as 50 liters. The physical and chemical properties of all prepared growing media were determined using standard methods and analysis methods applied in scientific studies, and the results obtained were compared with the desired values in ideal plant growing media. Model buildings were built so that the green wall system could be installed and its effects on heat and sound insulation could be tested in identical environments. Concrete boards measuring 125 cm x 125 cm x 125 cm and 2 cm thick were used in the construction of the model buildings. Insulation was applied to the floors and roofs of the model buildings, which are areas outside the green wall systems, with 5 cm thick carbon-reinforced styrofoam. Green wall systems were mounted on all four facades of the model building, leaving a 3 cm gap from the wall surface. The green wall system consists of plastic pots and drip irrigation systems attached at a certain angle on a steel cage woven from 5 mm thick wires. The pots in the green wall system were filled with growing media prepared before planting, and thuja (*Thuja plicata*) and boxwood (*Buxus sempervirens* L.) plants, selected to represent needle and flat-leaved plants, were planted. The plants were watered regularly with tap water. The success of the prepared growing media in growing plants was determined by the image processing method, which is a unique method for this study. For this purpose, digital images were taken from the green wall in the months of April, May, June, July, August and September, which constitute the plant growth period, and from these images, using the imageJ program, thuja (*Thuja plicata*) and boxwood (*Buxus sempervirens* L.) plants were formed on the green Wall plant area

has been calculated. In order to determine the effects of the green wall system on thermal insulation, a green wall system was installed and temperature measurement sensors were placed in empty model buildings without a green wall system and temperature measurements were taken. Temperature measurements were carried out at 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 and 21:00. In addition, measurements were taken in all months between April and September, which is the growing period, and the effects of the change in plant area on heat insulation were observed. In order to better understand the effects of green wall systems on thermal insulation, thermal imaging was also carried out in addition to temperature measurements. Within the scope of the study, the effects of green wall applications on sound insulation were determined by measuring the sound produced (in the third octave bands) according to UNE-EN ISO 10140-2 standards in model buildings with and without green wall systems and calculating the frequency-dependent sound reduction index from the difference. In the study, frequencies of 0.125 kHz, 0.250 kHz, 0.500 kHz, 1.000 kHz and 2.000 kHz were used to determine the effects of different frequencies. All analyzes and measurements carried out within the scope of the study were made in three replicates and the results were presented as means. All results were analyzed statistically by ANOVA and LSD tests using computer software. In the examination of the physical properties of the growing media, hazelnut husk (H) (0.28 g/cm³) was found to have the highest volume weight, and rice hull (R) (0.11 g/cm³) had the lowest volume weight. The volumetric weights of peat (P) and perlite (PE) are 0.21 g/cm³ and 0.15 g/cm³, respectively. Increasing the rice husk ratio in mixtures significantly reduces the volume weight of the growing media. The volume weights of PR3 and HR3 applications, which have the highest rice hull ratio (50%), are 0.15 g/cm³ and 0.18 g/cm³, respectively. The bulk density of all growing media examined was within the desired limit for ideal growing media. In general, the porosity of the growing medium increases with decreasing bulk weight. Although the bulk weight of perlite is lower than rice husk, its porosity (94.39% V/V) was found to be high. This is due to the microporous structure of perlite. Hazelnut husk (81.43% V/V) has the lowest porosity value. For this reason, the porosity values of HR1 (82.41% V/V) and HPE1 (82.4% V/V) applications containing 87.5% hazelnut hull are lower than other applications. Increasing the ratio of perlite and rice hull in the growing media increased the porosity values. The water retention capacities of the growing media components peat (770.38 mg/l) and hazelnut husk (619.29 mg/l) were significantly higher than rice hull (114.88 mg/l) and perlite (229.26 mg/l). was found high. The water retention capacity of HR3 (566.95 mg/l) containing 50% hazelnut husk and 50% rice hull and HPE3 (580.51 mg/l) containing 50% hazelnut husk and 50% perlite is well below the ideal value range. In the examination of the chemical properties of the growing media, all pH values measured in the growing media were within the desired range for ornamental plants, while all electrical conductivity values were found to be lower than the desired values for the ideal growing media. The highest measured electrical conductivity value is 482.78 μ S/cm (HPE3). Low electrical conductivity values were considered as an advantage due to situations that increase EC, such as long-term watering of green walls and decomposition of dried leaves and branches in pots. In all growing media applications where perlite, an inorganic growing medium component, was used, the amount of organic matter decreased as the amount of perlite in the mixture increased. The lowest organic matter content among the growing media was found in the FPE3 application (50.74%). The highest values of nitrogen and potassium, which are the most important nutritional elements for plant development, are in hazelnut husk (N: 1.48%; K: 2442.67 mg/kg), while the highest value of phosphorus is in rice hull (P:

3231.26 mg/kg) was found. Additionally, peat has the highest Ca (2587.28 mg/kg) and Fe (192.39 mg/kg) content, rice hull has the highest Mg (1183.74 mg/kg) content, and hazelnut husk has the highest Cu (5.87) content. and Zn (36.35 mg/kg). The macro and micronutrient content of perlite, which is an inorganic growing media component, was found to be quite low. In the studies examining the plant area by image analysis, the highest plant area of the thuja plant was reached in the HR1 growing media. In the green wall system using this growing medium, the initial (April) plant area was calculated as 0.327 m² and the end of the growing period (September) plant area was calculated as 0.962 m². The smallest plant area increase in the green wall was determined in the HR3 application with an initial plant area of 0.343 m² and a final plant area of 0.612 m². Similar to the results obtained with thuja, the highest plant area was reached in the PH1 growing medium in green wall systems using boxwood. In the PH1 application, where the highest values were obtained, the initial plant area was 0.412 m² and the final plant area was 0.594 m². The lowest value (0.521 m²) was obtained in the HR3 application. The highest positive correlations between physical and chemical properties of growing media and plant area were water retention capacity ($R^2:0.86$; $p < 0.001$), organic matter ($R^2:0.76$; $p < 0.001$), Ca ($R^2:0.52$; $p < 0.001$), Fe ($R^2:0.63$; $p < 0.001$) and Mg ($R^2:0.57$; $p < 0.05$) were also found. As a general result, as the water holding capacity and organic matter content of the growing media decreases, plant growth is negatively affected and the green wall plant area decreases. In the study, in the temperature measurements made to determine the effects of the green wall system on thermal insulation, it was observed that as the plant area values increase, the thermal insulation values of green wall applications also increase. When the temperature differences between the green wall model building and the control application were examined, the highest temperature difference was recorded at 15:00 in August measurements in the green wall application where 100% peat was used as the arborvitae plant growing media (6.2 °C). In the PH1 application in August, the highest value was measured as 6.0 °C. Other high temperature difference values measured are 4.8 °C in the PR1 application and 5.1 °C in the PPE1 application. The highest temperature differences measured in green wall applications using boxwood plants were also recorded in August. 4.4 °C in P application, 4.1 °C in PH1 application and 4.2 °C in PPE1 application are the highest temperature difference values measured in this application. As a result of the measurements made to examine the sound insulation effects of green walls, sound reduction indexes were calculated and when the results were examined, it was seen that the highest sound reduction index values were calculated in the September measurements in both plant types used. For thuja, this value was calculated as 16 dB in the PPE1 application, and for boxwood plants, it was calculated as 14.9 dB in the P application. These two calculated values were measured when the source sound was set to 0.500 kHz frequency. Considering all the results obtained in the study, all the results obtained in the growing environments consisting of peat-hazelnut husk and peat+perlite mixtures showed that they can be an alternative growing environment for green wall systems, although the results decreased slightly with the increase in the ratio of hazelnut husk and perlite in the mixtures. The use of hazelnut husk, which is one of the organic wastes of agricultural origin and has no practical use yet, as a growing media component is important for the sustainable disposal method of this waste. In addition, it has been determined that the use of alternative growing media components in green wall systems is effective in increasing the benefits of green walls such as thermal insulation and sound insulation. In addition, the indirect monitoring technique used in determining the plant area in this study will allow this study to be carried out in a safe and cost-effective manner without

damaging green wall plants and systems. The simple and rapid information obtained by this method will help us better understand the effects of different growing media on the expansion of green wall plant area. The results obtained in this study can be used to optimize green wall design to improve plant growth and overall system performance in urban areas.

Key words: green walls, growing media, organic waste, image processing, plant area, heat and sound insulation





1. GİRİŞ

Yeşil duvarlar, şehirde yaşayan insanların ev, iş yeri ve ortak kullanım yapılarında, doğaya ait en önemli öge olan bitkileri daha fazla görmek istemeleri sonucu ortaya çıkmış ve son yıllarda mimarların sıklıkla kullandığı popüler bir tasarım uygulaması olmuştur (Wong ve ark. 2010). Bununla birlikte yapılan çalışmalar bu uygulamanın, şehirlerin estetik görünümünü güzelleştirmesinin yanında, şehirlerin sıcaklığının azaltılması ile küresel ısınmanın yavaşlatılması gibi önemli bir işlevinin olabileceğini belirtmektedir (Feng ve Hewage, 2014; Perini ve ark, 2017). Dünya genelinde bazı hükümetler ve şehir yönetimleri yeşil duvar uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için destek sağlamak ve kendi şehirlerinde bu tasarımların kullanım oranına yönelik gelecek hedefleri koymaktadır (Susca ve ark, 2011). Örneğin Singapur 2030 yılına kadar, yeşil duvar ve çatı uygulamalarını 200 hektara çıkarmayı planlamaktadır (Ministry of the Environment and Water Resources, 2017, Chew ve ark, 2019).

Hükümet ve şehir yönetimlerinin yeşil duvar ve çatı sistemlerini desteklemelerinin önemli nedenlerinden biriside, iklim değişikliğinin yol açtığı etkileri azaltmaktır. Öyle ki iklim değişikliği ile küresel ölçekte mücadele amacıyla ortaya koyulan en önemli aksiyon planlarını içeren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi ve Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı, sürdürülebilir şehirler için dijital ve yeşil dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Bundan dolayıdır ki son yıllarda yeşil duvar sistemleri ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların büyük çoğunluğu, binalardaki yeşil duvar uygulamalarının olumlu çevresel etkileri üzerine odaklanmıştır (Susca ve ark, 2011; Perini ve ark, 2012; Sheweca ve Mohamed, 2012). Konu ile ilgili çalışmalara göre yeşil duvarların çevresel etkileri, atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltarak oksijen üretmek, binalarda ısı yalıtımını sağlayarak binaların ısıtma ve soğutma amaçlı kullandıkları enerji miktarını azaltmak, şehirlerde oluşan ısı adalarını küçülterek etkilerini azaltmak ve kullanıldığı bölgenin sıcaklığını düşürmek, rüzgâr ile taşınan tozları tutarak şehirler ve binalar için toz filtrasyonu görevi görmek, ses izolasyonu sağlayarak modern şehirlerin en büyük problemlerinden birisi olan gürültü kirliliğini azaltmak, gri su arıtımı ve yağmur suyu

hasadı ile su tüketimin azaltılmasına katkı sunmak, biyoçeşitliliği korunmasına destek olmak olarak sıralanabilir.

Yeşil duvarların iklim değişikliğinin önlenmesindeki en önemli katkısı atmosferde biriken karbondioksitin tutulması ve oksijen üretilmesidir. Yeşil duvarların CO₂ tutma prosesi, bitkiler, bitki kalıntıları, yetiştirme ortamı, mikroorganizma faaliyetleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Temel olarak bir bitki yetiştirme prosesi olan yeşil duvarlar ile tutulabilecek CO₂ miktarının belirlenmesinde Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli raporlarında (IPCC GPG-LULUCF) açıklanan yöntemler kullanılabilir. Buna göre yeşil duvar uygulaması kullanılarak tutulabilecek CO₂ 'in hesaplanmasında, saksı üstü ve içerisindeki canlı bitki bölümleri, ölü bitki parçaları ve yetiştirme ortamı dikkate alınmalıdır. Ancak yeşil duvar sistemlerinin karbondioksiti tutarak atmosferden uzaklaştırması incelenirken, bu sistemlerin kurulum ve işletim aşamalarındaki karbon salınımlarının da dikkate alınması bir başka ifade ile yeşil duvar uygulamalarının da bir karbon ayak izine sahip olduğunun göz önünde bulundurulması, iklim değişikliği ile mücadelede ki net katkısının belirlenmesi açısından önemlidir. (IPCC GPG-LULUCF).

Yaşam alanlarının ısıtılması ve soğutulması, insanlığın en temel ihtiyaçlarından birisi olan barınma ihtiyacının bir parçasıdır ve küresel enerji tüketiminin önemli bir miktarı bu ihtiyacın karşılanması için harcanır. Yeşil duvar sistemleri binalara ısı izolasyonu sağlayarak tüketilen enerji miktarını önemli ölçüde azaltmaya katkı sunma potansiyeline sahiptir (Dede ve ark, 2021). Bununla birlikte ısı yeşil duvar ve çatı sistemlerinin ısı izolasyonuna etkilerini soğuk iklim koşullarındaki ve sıcak iklim koşullarındaki etkiler olarak iki ana başlıkta incelemek gerekir. Bununla birlikte literatürdeki çalışmalar, yeşil duvar ve çatı sistemlerinin sıcak iklim koşullarındaki ısı izolasyonu etkilerinin ön plana çıktığını rapor etmektedirler (Dede ve ark, 2021). Sıcak iklim koşullarında en önemli enerji tüketiminin soğutma ihtiyacını karşılamakta kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda, yeşil duvar ve çatı sistemleri soğutma ihtiyacını azalttığından, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlar ve karbon ayak izini düşürür. Soğuk iklim koşullarında ve kış aylarında yeşil duvar ve çatıların termal performansı binalarda enerji kullanımını azaltacak potansiyele sahiptir. Kış aylarında yaprak dökmeyen bitki türleri, yetiştirme ortamı ve sistemin diğer parçaları, bir dış yalıtım tabakası oluşturarak ısı kaybının azaltılmasına katkıda bulunur. Ancak soğuk hava koşullarında ve özellikle hava sıcaklığının 0°C'nin altına düştüğü durumlarda,

yeşil duvar sistemlerinin işletilmesi zordur. Düşük sıcaklıklarda bitkilerin sağlıklı bir şekilde yaşaması oldukça güçtür. Her ne kadar soğuğa dirençli bitki türleri seçilsede, 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda, yetiştirme ortamı içerisinde bulunan nem ve sulama sistemindeki sular donar. Bu durum bitki köklerinin zarar görmesi, sulama sisteminde patlaklar vb. problemlere yol açar (Dede ve ark, 2021).

Ses izolasyonu için bitkilerin kullanılması oldukça eski bir yöntemdir. Örneğin, araçlardan gelen gürültüyü önlemek için yol kenarlarına ağaç bariyerler yapılması oldukça yaygın bir uygulamadır. Yeşil duvarlar, binalarda ses izolasyonu açısından oldukça büyük fayda sağlarlar. Bu sistemlerde sesi engelleyen en önemli unsurlar yetiştirme ortamı ve bitkilerdir. Bununla birlikte bitki örtüsünün binanın yüzeyinde büyümesini sağlayan bir dizi çözümü entegre eden yeşil duvarların farklı tasarım stratejileri, yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonu performanslarına önemli ölçüde etki etmektedir. Hangi tür yeşil duvar sistemi kullanılırsa kullanılsın, ses izolasyonunun artırılması için bina ile yeşil duvar unsurları arasındaki fiziksel temaslara dikkat edilmesi gerekir. Bu temaslar sonucunda akustik köprülerin oluşabileceği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında çok yıllık bitkilerde yaprak dökme gibi mevsimlik durumlarında etkileri büyüktür. Yaprak tabakasının iyi bir şekilde gelişmesi ses izolasyonunu pozitif etkilemektedir. Bu nedenle biyokütle gelişimi iyi olan türlerin seçilmesi iyi bir seçenektir (Perez ve ark, 2017; Van Renterghem ve ark, 2013).

Gri sular en az kirli atık sular olduğundan minimum arıtma gerektirir ve yerinde arıtım yapılmasına da son derece elverişli atık sulardır. Yerinde gri su arıtımında çoğunlukla ucuz ve düşük enerji gerektiren sistemler tercih edilir. Kullanılabilir alanların oldukça kısıtlı olduğu şehir merkezlerinde ve kısıtlı alanı bulunan binalarda gri su arıtımı için maliyeti düşük ve çevreci bir yaklaşım olarak yeşil duvarlar önemli bir alternatiftir (Masi ve ark, 2016). Yeşil duvarlarda gri suyu filtre edebilecek yetiştirme ortamları tercih edilerek gri suyun yetiştirme ortamında filtre edilmesi sağlanır, ayrıca seçilen bitkilerde gri suyun arıtılmasında verimin daha da artırılmasına yardımcı olur. Yeşil duvarın uygulandığı binadaki gri suların yeşil duvarlara sulama sistemi aracılığıyla verilmesi hem yeşil duvarların sulama ihtiyacını karşılayarak maliyetinde önemli bir tasarruf sağlamış olur hem de gri suların arıtılarak tekrar kullanılmasına yani geri dönüştürülerek sürdürülebilir bir sistem oluşturulmasına katkı sağlanmış olur (Fowdar ve ark, 2017).

Yeşil duvar uygulamaların da bitkiler kullanılmaktadır ve bu durum konvansiyonel tasarım ve inşaat çalışmalarından oldukça farklıdır. Bitkilerin doğal yetiştirme ortamı olan toprakta bile son derece karmaşık olan bitki yetiştiriciliği, yeşil duvar uygulamalarında, çoğunlukla dik veya yüksek eğimli bir yüzeyde ve binaların karmaşık tasarımlarına uygun şekilde yapılmaktadır (Medl ve ark, 2017). Bu durumdan dolayı bir yeşil duvar tasarımı kullanım amacına ve bölgenin iklim koşullarına uygun bitkilerin seçilmesi ile başlayıp, bitkilerin sulama, gübreleme, ilaçlama gibi temel ihtiyaçlarının efektif olarak karşılanması için gerekli tedbirleri içine alan kapsamlı bir uygulamaya dönüştürmektedir (Perez ve ark, 2011; Huntar et ve ark, 2014).

Yeşil duvar tasarımında ki önemli konulardan birisi bitkilerin sağlıklı olarak yaşayacağı ve büyüyeceği uygun yetiştirme ortamlarının kullanılmasıdır (Kazemi ve Mohorko, 2017) Kullanılan yetiştirme ortamının bitkilerin su ve hava gibi temel ihtiyaçlarını karşılaması, buna karşın ağırlık, dayanıklılık, stabilite gibi özellikleri ile de tasarıma uygun olması gerekmektedir (Young ve ark, 2014). Literatürdeki birçok çalışmada önerilen çeşitli yetiştirme ortamı bulunmakla birlikte, uygulamada yetiştirme ortamı ana malzemesi olarak inorganik materyaller (kum, perlit vb.) kullanılmaktadır (Sailor ve Hagos, 2011). Ana materyal olarak inorganik malzemelerin tercih edilme sebebi, bu materyallerin organik yetiştirme ortamlarına göre yüksek stabilite ve dayanıklılığa sahip olmasıdır (Graceson ve ark, 2014). Oysaki ideal bitki yetiştirme ortamı özellikleri dikkate alındığında, inorganik yetiştirme ortamlarının birçok fiziksel ve kimyasal özelliği organik yetiştirme ortamlarına göre daha zayıftır (Graceson ve ark, 2014). Bunun yanında yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamı veya bileşeni olarak kullanılabilecek organik kökenli materyaller bulunmaktadır. Bunların başında da fındık zürufu, pirinç kabuğu gibi ayrışmaya karşı yüksek dirençli tarımsal kökenli organik atıklar gelmektedir.

Bu çalışmada son yıllarda hızla gelişen yeşil duvar uygulamalarının en önemli ihtiyaçlarından biri olan bitki yetiştirme ortamları için yenilikçi alternatifler olarak, tarımsal kökenli organik atıkların ve bazı inorganik materyallerin kullanılabilirliği ve hazırlanan bu yetiştirme ortamlarının yeşil duvar uygulamasında kullanımının, ısı yalıtımı, ses izolasyonu gibi bazı yenilikçi yaklaşımlara olan etkileri incelenmiştir.

Bu ana hedef doğrultusunda ulaşılmak istenen amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yeşil duvar uygulamalarında mevcut kullanılan yetiştirme ortamlarına alternatif olabilecek yeni yetiştirme ortamları geliştirilmesi
- Tarımsal kaynaklı organik atıkların sürdürülebilir ve ekonomik bir şekilde bertaraf edilmesi için bir çözüm sunulması
- Yeşil duvar uygulamalarının en önemli maliyet unsurlarından birisi olan yetiştirme ortamı için düşük maliyetli alternatifler sunulması
- Yenilikçi bir mimari uygulama olan ve birçok çevresel faydası bulunan yeşil duvar uygulamalarının gelişmesi ve yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması
- Yeşil duvar uygulamalarının yaygınlaşması sağlanarak karbon tutulumunun artırılması ve iklim krizi ile mücadeleye katkı sağlanması
- Konuyla ilgili mevcut literatüre katkı sağlanarak bundan sonra yapılacak çalışmalara temel oluşturulması



2. KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ

Geleneksel tarımsal uygulamaları kapsamında gerçekleştirilen bitki yetiştiriciliği insanlığın en eski faaliyet alanlarından birisidir. Ancak günümüz koşullarında görülen tarım arazilerinin azalması, toprakta verim düşüklüğü, sulama suyu tedariginde yaşanan sorunlar ve yağış azlığı gibi temel sorunlar, konvansiyonel bitki yetiştiriciliğine ilave olarak yeni tekniklerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Yeni geliştirilen tekniklerin başında da dikey tarım uygulamaları gelmektedir. Temel olarak bitkilerin üst üste dizilmiş sıralarda üretimi olarak açıklanabilecek dikey tarım, özellikle çok küçük alanlarda yüksek miktarda bitki yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Özellikle şehirlerin hızla genişlediği günümüzde sınırlı alan kullanımı ile bitkisel üretim son derece cazip bir uygulamadır. Bununla birlikte dikey tarım uygulaması kontrollü sulama ve gübreleme sistemleri içerdiğinden, sulama suyu ve gübreleme ihtiyacını da oldukça azaltmaktadır. Ayrıca dikey tarımın getirdiği kontrollü bitki yetiştirme sistemi ile istendiğinde sıcaklık, nem, ışık miktarı vb. bitki büyümesine etki eden önemli parametreler kontrol altında tutulabilmektedir. Bu durum optimum bitki büyüklüğüne erişme süresini azalttığı gibi iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden bitkilerin korunmasına olanak sağlar. Dikey tarım uygulamalarının tarımsal üretimin sürekliliği ile ilgili sağladığı avantajlarda dikkate değerdir. Geleneksel tarımsal üretimde bitki yetiştiriciliğinin gerçekleştirilebilmesi için uygun iklim koşullarının oluşması beklenir. Bu durum çoğu zaman yılda bir ürün alınmasına imkân tanır.

Oysa ki dikey tarım uygulamalarında sistemin bitki yetiştirme açısından önemli tüm parametreleri yıl boyunca sabit tutulabilir. Böylece yılın tamamında bitki yetiştiriciliği aynı koşullar altında sürdürülebilir. Tüm bu faydalar, yapılan çalışmalarla sürekli iyileştirilmeye çalışılan dikey tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlamış ve bitkisel üretimin sürdürülebilirliği açısından önemli bir alternatif haline getirmiştir.

Dikey tarım uygulamaları, süs bitkisi üretimi ve peyzaj çalışmalarında da kullanılmaya başlanmış ve bu kullanım ile yeşil duvar kavramı doğmuştur. Son yıllarda yaşanan hızlı şehirleşme ve betonlaşma insanların yaşam alanlarında doğal çevrenin en önemli

unsuru olan bitkileri daha fazla görmek istemesine neden olmaktadır. Başlangıçta peyzaj çalışmaları ile giderilmeye çalışılan bu talepler, günümüzde farklı bir noktaya evrilmiş ve yeşil duvar sistemleri binaların tasarımının bir parçası haline gelmeye başlamıştır. Burada yeşil duvar sistemin, şehirlere, binalara, biyoçeşitliliğe ve iklim değişikliği ile mücadeleye verdiği katkıların öğrenilmesi ile küresel ölçekte çok daha geniş bir uygulama alanına sahip olması kaçınılmazdır.

2.1. Yeşil Duvar Sistemleri

Yeşil Duvarlar bitkilerle kaplanmış ve dikey olarak inşa edilmiş yapılardır. Dikey bahçe (vertical garden), yaşayan duvar (living wall) gibi yaygın kullanılan farklı isimleri vardır. Daha kapsamlı bir tanım olarak yeşil duvarlar; farklı bitki türlerini, bitkilerin yetiştiği yetiştirme ortamlarını, sulama sistemlerini ve bağlantı elamanlarını içeren dikey bahçeler olarak da tanımlanabilir.

Her ne kadar günümüz de gelişmekte olan bir mimari akım olarak görülse de yeşil duvar ve çatı uygulamalarının tarihi mimarlık tarihinin başlarına kadar uzanır (Şekil 2.1). Mimarlık tarihinde çok eski çağlara ait yeşil duvar ve çatı örnekleri görmek mümkündür. Genel kabul ve bilinen en eski örnek olarak Babil'in asma bahçeleri ile başlatılan yeşil duvar ve çatılar, Mezopotamya, Asur, Sümer gibi çok eski uygarlıkların inşa ettikleri yapılarda kullanılmıştır Romalıların binaların duvarlarına kafesler yaparak, günümüz yeşil cephe tasarımlarına benzer şekilde tırmanıcı bir bitki olan üzüm yetiştirdikleri bilinmektedir (Külekçi, 2017).

Bununla birlikte yeşil duvar ve çatı uygulamalarının 1800' lü yıllardan itibaren özellikle Avrupa' da oldukça yaygın olduğu bilinmektedir. Bu dönemdeki uygulamalar genellikle yapıları şiddetli rüzgar veya yağmur gibi sert hava koşullarından korumak ve yalıtım sağlamak amaçlıdır. Bu dönemde ki yeşil duvar ve çatı uygulamalarında kullanılan bitkiler genellikle cim ve deniz yosunlarıdır (Külekçi, 2017).



Şekil 2.1. Yeşil duvarların tarihi örnekleri (<https://blog.growup.green/blogs/growupdates/the-historic-origins-of-vertical-gardens-gallery>).

2.2. Yeşil Duvarların Faydaları

Yeşil duvarların insan sağlığı ve doğal çevrenin korunmasına olan faydalarını anlamak için öncelikle şehirlerdeki yeşil alanların azalması sonucu ortaya çıkan olumsuzlukları göz önünde bulundurmak gerekir. Bu olumsuzluklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Şehirlerde biyo çeşitlilik kaybı ile canlı türlerinin gün geçtikçe azalması
- Betonlaşma sonucu geçirimsiz yüzeylerin oluşması ve şehir su baskınlarının artması
- Şehirlerde her yıl büyüyen ölçekte ısı adaları oluşması (ısı adaları şehirlerde bitki ve hayvan sayısının azalmasına neden olmaktadır)
- Sıcak hava dalgaları nedeniyle bitki, hayvan ve insan ölümlerinin sıklaşması
- Şehir ısının yükselmesi nedeniyle sıcak mevsimlerde soğutma ihtiyacından kaynaklı enerji tüketiminin artması
- Karbon yutaklarının azalması ve şehirlerin hava kalitesinin düşmesi
- Şehir gürültüsünün artması



Şekil 2.2. Şehirlerde yeşil alanların azalması

Bu sayılan nedenlerin tamamı hızlı şehirleşme sürecinde yeşil alanların ortadan kaldırılmasının sonuçlarıdır (Şekil 2.2). Bu yüzdendir ki günümüz sürdürülebilir şehir yaşamı felsefesi şehirlerdeki yeşil alanlarının artırılmasının yollarını aramaktadır. Bu arayış sürecinde karşılaşılan en iyi alternatiflerden birisi şehirlerde yeşil duvar sisteminin hızlıca yaygınlaştırılmasıdır. Konu ile ilgili yapılan tüm çalışmalar şehirlerde yeşil duvar sistemlerinin artırılmasının;

- Şehir hava kalitesini artırmak
- Yüzey sularının yönetimine katkı sağlamak
- Biyoçeşitliliği artırmak
- Küresel ısınmayı yavaşlatmak
- İnsan sağlığını olumlu etkilemek
- Gürültüyü azaltmak
- Enerji talebini düşürmek gibi olumlu etkileri olacağını rapor etmektedir.

Yeşil duvarların doğal çevre ve insan sağlığı ve doğal çevrenin korunması ve şehirler için sağladığı faydalar yanında, uygulandığı binalarada birçok katkıda bulunması bu uygulamaların hızla yaygınlaşmasını sağlamıştır. Yeşil duvar sistemlerinin uygulandıkları binalara olan faydalı aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Yeşil duvar ve çatı sistemlerinin yapıya sağladığı faydalar;
- Estetik katkı
- Isı izolasyonu
- Gölgeleme
- Rüzgara karşı koruma

- Ses izolasyonu
- Gri su arıtımı
- Yağmur suyu yönetimi (aşınmayı azaltma, yağmur suyu hasadı)
- Yangın güvenliği
- UV ışınlarına karşı koruma

2.3. Yeşil Duvarların Sınıflandırılması

Yeşil duvarların yapısal olarak birbirinden farklı özelliklere sahip birçok türü bulunmaktadır. Bundan dolayı farklı yapıdaki yeşil duvar sistemlerinin inşasında farklı bileşenlere ihtiyaç vardır. Yeşil duvar ve çatı sistemlerinin uygulandığı bölgenin iklimi, kullanılacak bitki türü, bölgenin ve yapının mimari özellikleri, inşaat teknikleri vb. faktörlere bağlı olarak değişen birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu yüzden farklı kriterlere göre yapılmış sınıflandırmalar kullanılır.

Yeşil duvar sistemleri, yeşil cepheler, yaşayan duvarlar ve yosun duvarlar olarak üç temel grup altında sınıflandırılabilir.

2.3.1. Yeşil cepheler

Yeşil cepheler olarak sınıflandırılan yeşil duvar sistemleri bu uygulamanın bilinen en eski örneklerindendir. Bu sistemde genellikle tırmanıcı bitkilerin bina duvarlarına boyunca yükselmesi ve bina duvarını kaplaması sağlanır (Şekil 2.3). Yeşil cepelerin günümüz modern örneklerinde tırmanıcı bitkilerin bina duvarına tutunmasını sağlama, dayanıklılık ve estetik görünümü iyileştirmek amacıyla, bina cephesine tel kafes, halat veya ağlarla bir bitki tırmanma alanı oluşturulur ve bitki tırmanışı bu yapı elemanları üzerinden yönlendirilir.



Şekil 2.3. Yeşil cephe uygulama örneği

Yeşil cephelerde bitkiler genellikle doğrudan toprağa dikilir. Ancak bina zeminine veya balkon ve teraslara yerleştirilen büyük hacimli saksılara da dikim yapılabilir. Bu tür yeşil duvar sistemlerinin sulama ve gübreleme gibi bitki bakım işlemleri basit ve düşük maliyetlidir. Buna karşın bu sistemlerde genellikle aynı türden bir ya da birkaç bitkinin bina yüzeyine tutunması sağlandığından bitki gelişimindeki olumsuzluklar, bitkide görülebilecekler hastalıklar nedeniyle yeşil duvarda oluşacak olumsuzlukların giderilmesi oldukça zordur. Çoğu zaman yeşil duvar sisteminin tamamen kaldırılması gerekebilir. Ayrıca tırmanıcı bitkilerin genellikle kışın yaprak dökmesine yeşil duvarın estetiğinin kaybolmasına ve kötü bir görüntü oluşmasına neden olabilir.

2.3.2. Yaşayan duvarlar

Yaşayan duvar olarak adlandırılan yeşil duvar sistemleri temelde saksılı süs bitkisi yetiştiriciliğinin dikey tarım prensipleri ile uygulanmasıdır. Bu sistemlerde kullanılan bitkiler ayrı ayrı ya da gruplar halinde saksılara dikilir. Yaygın olarak görülen uygulamalarda ayrı ayrı bitkilerin dikildiği saksılar belli bir açı ile yeşil duvara yerleştirilir. Saksıların belirli bir açı ile yerleştirilmesi, bitkilerin büyüdülerinde üst sıradaki saksıya çarpıp çarpmaması bunun yerine büyüyen bitkilerin üst sıradaki saksı ve sulama, drenaj sistemi gibi sistem elemanlarının saklayarak sadece bitkilerin görüldüğü bir yüzeyin oluşmasıdır. Yaşayan duvarlar olarak adlandırılan bu sistemlerde genellikle saksılar bina duvarına çelik donatılardan oluşan bir yapı elemanı ile monte edilirler (Şekil 2.4).

Bu sistemlerde sulama ve gübreleme gibi bitki bakım işlemleri damla sulama ve otomatik sistem kontrolleri ile sağlanır. Bu yüzden hem kurulum hem de işletim maliyetleri diğer yeşil duvar sistemlerine göre yüksektir. Bu sistemin en önemli avantajı farklı bitki türlerinin istenilen düzende konumlandırılabilmesi ile estetik açıdan oldukça gelişmiş uygulamalara imkân tanınması ve mimari tasarımın önemli bir parçası haline gelebilmesidir. Bunun yanında özellikle gri su arıtımı ve yağmur suyu hasadı gibi yeşil duvarların önemli faydaları bu sistem sayesinde aktif olarak kullanılabilir. Bitkilerde oluşabilecek hastalık ve bitki kayıpları nedeniyle oluşabilecek estetik sorunlar, bitkilerin kolayca değiştirilmesi ile hızlıca giderilebilir. Günümüzde bu sistemlerin kurulabilmesi için özel saksılar ve yapı bağlantı elemanları geliştirilmiş ve ticari olarak piyasaya sürülmüştür.



Şekil 2.4. Dış mekân yaşayan duvar uygulama örneği

Bitkilerde oluşabilecek hastalık ve bitki kayıpları nedeniyle oluşabilecek estetik sorunlar, bitkilerin kolayca değiştirilmesi ile hızlıca giderilebilir. Günümüzde bu sistemlerin kurulabilmesi için özel saksılar ve yapı bağlantı elemanları geliştirilmiş ve ticari olarak piyasaya sürülmüştür. Yaşayan duvar sistemleri hem iç hem de dış mekanlara uyumludur.



Şekil 2.5. İç mekân yaşayan duvar uygulama örneği (mutfak bahçesi)

Bununla birlikte bu sistemlerin son yıllardaki önemli bir uygulamasıda, dikey hobi veya mutfak bahçeleri oluşturulmasıdır. Bu uygulamada yeşil duvar sistemlerinde basit otsu bitkiler yetiştirilir ve insanların kendi yiyeceklerini üretme ve taze yeşillikleri kullanma konsepti ile mutfaklara uygulanması oldukça yaygınlaşmıştır (Şekil 2.5).

2.3.3. Yosun duvarlar

Bu yeşil duvar uygulaması genellikle iç mekanlar da kullanılır ve çeşitli türden yosunların korunmalarını sağlayan modüler sistemlerin iç mekan duvarlarına monte edilmesi ile oluşturulurlar. Bu sistemlerin temel amacı bina içlerinde ve özellikle ortak yaşam alanlarında estetik iyileştirme sağlanmasıdır. Bununla birlikte mekanda ki yankılanmayı azalttıkları için gürültü önlemede katkı sağlarlar. Bununla birlikte bu sistemlerde sulama sistemleri yoktur bu yüzden dış mekanlarda kullanılamazlar. Ancak çeşitli bitkilerle yosunların birlikte kullanıldığı hibrit uygulamalar iç mekanlarda oldukça yaygındır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. İç mekân yosun duvar uygulama örneği

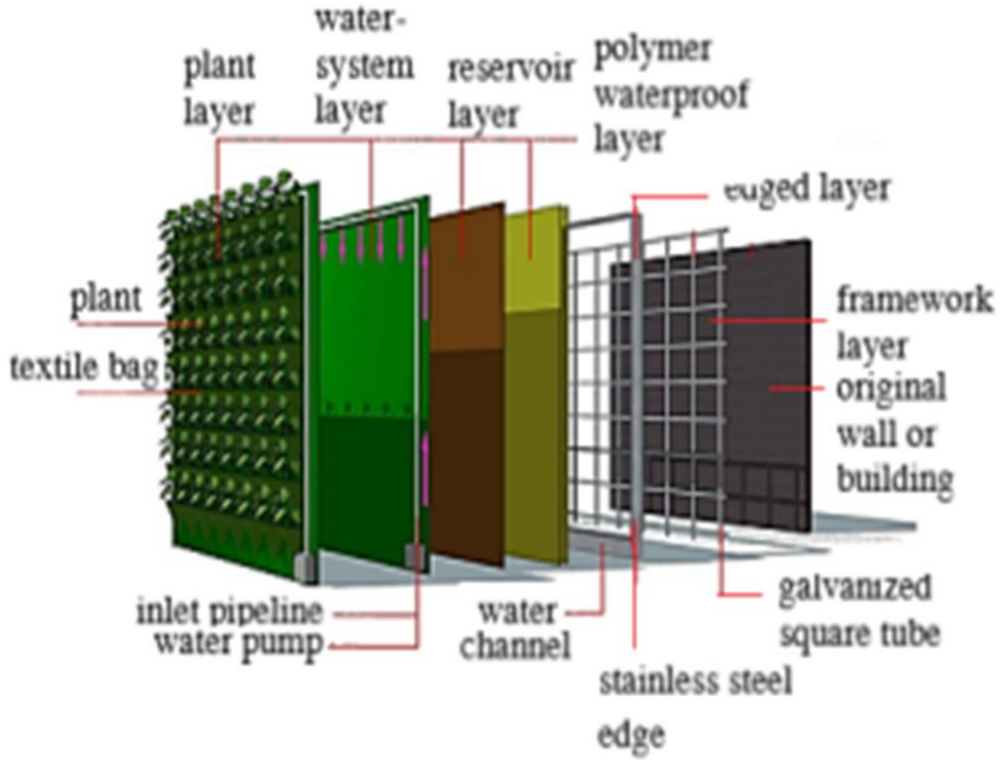
2.3.4. Yeşil duvarların bileşenleri

Yeşil duvar sistemleri, kendin yap projelerinden "raftan" satın alınabilen modüler yeşil duvar sistemlerine ve bir duvara özel olarak takılan tescilli sistemlere kadar tasarım ve yapımlarında büyük farklılıklar gösterir.

Yeşil duvarların yapısal olarak birbirinden farklı özelliklere sahip birçok türü bulunmaktadır. Bundan dolayı farklı yapıdaki yeşil duvar sistemlerinin inşasında farklı bileşenlere ihtiyaç vardır. Bununla birlikte bir yeşil duvar sisteminin inşası için ihtiyaç duyulan temel bileşenler, kullanılacak bitkiler ve saksılar, yetiştirme ortamı, sulama/gübreleme/ilaçlama elemanları, yapısal destek elemanları ve izolasyon malzemeleridir (Şekil 2.7).

Bununla birlikte yeşil duvarların genel bileşenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapısal destek
- Saksı veya cepler
- Yetiştirme ortamı
- Bitkiler
- Sulama /Gübreleme sistemi
- Su geçirmez katman
- Damlama tablası
- Rüzgâr koruyucuları
- Erişilebilirlik ve güvenlik ekipmanları



Şekil 2.7. Yeşil duvar sisteminin bileşenleri

2.4. Yeşil Duvarlarda Kullanılan Bitki Yetiştirme Ortamları

Yeşil duvar sistemlerinde yetiştirilen bitkilerin yetiştirme ortamı yeşil duvar sisteminin türüne bağlı olarak değişir. Yeşil cephe olarak isimlendirilen yeşil duvarlarda genellikle bitkiler toprağa ekilir. Doğal toprakta bitki yetiştirmek her zaman bazı avantajlara sahiptir. Çünkü doğal toprakta bitki köklerinin gelişimi için çok fazla alan vardır ve bitkinin suya ulaşımı kolaydır. Doğal toprak saksılardaki yetiştirme ortamına göre daha zor kurur. Ancak yaşayan duvarlar olarak isimlendirilen yeşil duvar sistemlerinde bitkiler saksıya ekilirler. Bu sistemin kullanımı bitkiler için ideal yaşam koşullarının sağlanabilmesi için kaliteli yetiştirme ortamlarının kullanımını zorunluluk haline getirir.

Bununla birlikte yeşil duvar sistemlerinde yetiştirme ortamının kullanılabilirliği sadece bitkiler için ideal şartları sağlaması ile sınırlı değildir. Bunun yanında yeşil duvarın kurulu olduğu bina duvarına fazla yük bindirmemesi için hafif olması, zamanla saksılardaki yetiştirme ortamının azalmaması içinde yüksek stabiliteye sahip olması ve yabancı ot tohumları içermemesi gerekmektedir. Yeşil duvar sisteminde yetiştirme ortamı olarak genellikle torf kullanılmakla birlikte çeşitli organik ve inorganik

materyallerin karışımından oluşan yetiştirme ortamları ile su kültürlerinin kullanıldığı uygulamalara da rastlanmaktadır. Yeşil duvar sistemlerinde kullanılan yetiştirme ortamlarının bazıları aşağıda sıralanmıştır (Dede ve ark, 2019).

- Su Kùltürleri
- Bitki besin maddeleri içerikli jel ve filmler
- Kaya ve cam yünü
- Kum ve çakıl
- Tarımsal genişletilmiş perlit
- Tarımsal ponza
- Torf
- Tarımsal kökenli organik atıklar
- Kompost

2.4.1. Farklı materyallerin karışımından elde edilen yetiştirme ortamları

Yeşil duvar sistemlerinde kullanılacak bitki yetiştirme ortamlarının seçimi, ideal bitki gelişiminin sağlanması ve bitkilerin yeşil duvarlar gibi özel uygulamaların koşullarında yetiştirilebilmesi için oldukça önemlidir. Bunun yanında yetiştirme ortamlarının, yeşil duvar sistemlerinin ısı ve ses yalıtımına etkileri ve gri su arıtımı gibi katkılarını optimum seviyede tutmaya da katkı sunmaları beklenir. Bu yüzden ki yeşil duvar sistemleri için yeni yetiştirme ortamlarının geliştirilmesi için çok yoğun çalışmalar sürdürölmektedir. Bu çalışmalarda genellikle organik ve inorganik malzemelerin farklı oranlardaki karışımları ile yetiştirme ortamları hazırlanmaktadır. (Dede ve ark, 2021).

Tarımsal kökenli organik atıklar yeşil duvar uygulamaları için yetiştirme ortamı bileşeni olma konusunda oldukça büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Bu kullanım şekli hem ucuz ve bol bulunabilecek yetiştirme ortamlarının elde edilmesine hem de çoğu zaman kontrolsüzce doğal çevreye atılan ve çevre kirliliğine yol açan bu atıklar için sürdürülebilir bir bertaraf yöntemi sunulmasına olanak vermektedir. Yetiştirme ortamı olarak kullanılabilecek bazı tarımsal kökenli organik atıklar aşağıda sıralanmıştır (Dede ve ark, 2021).

- Fındık zürufu
- Prinç kabuğu
- Hindistan cevizi kabuğu lifleri

- ay atığı
- züm cibresi
- Ormancılık atıkları
- Atık mantar kompostu
- Bahçe atıkları kompostu

2.5. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel alışmalar

Yeşil duvar sistemleri ile ilgili bilimsel çalışmalar genellikle yeşil duvar sistemleri kullanarak gri suların arıtılması ile ısı ve ses izolasyona etkileri konularına odaklanmıştır. Bununla birlikte bilimsel literatürde bu çalışmalarının sonuçlarının raporlandığı birçok sistematik derleme çalışmasına da rastlanmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmanın genellikle çalışma alanında bulunan binaların cephelerine yeşil duvar sistemi kurularak gerçekleştirildiğı, yeşil duvar sistemi olan ve yeşil duvar sistemi olmayan özdeş yapılar kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Bu durum her ne kadar gerçek koşullarda yeşil duvar sistemlerinin test edilmesi için sonuçlar üretse de, yeşil duvarların etkilerinin tam olarak ortaya koyulmasını güçleştirmektedir.

Bunun yanında yine konuyla ilgili bilimsel literatürde yeşil duvar sistemlerinde farklı bitki türlerinin denendiğı birçok çalışma olmasına rağmen, doğrudan bitki yetiştirme ortamlarına odaklanmış çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca yapılan literatür araştırmasında tarımsal kökenli organik atıkların yeşil duvar sistemlerinde yetiştirme ortamı olarak kullanımının, farklı bitki türlerinin gelişimine, yeşil duvarların ısı ve ses izolasyonuna olan etkilerine ilişkin kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Yine bu çalışmada yeşil duvarların bitki büyümesine olan etkilerinin dijital görüntülerin analiz edilmesi ile izlenmesi konularında yapılan literatür araştırmasında, bu konuda benzer bir çalışma yapılmadığı, dijital görüntüleme ve görüntü analizi işlemlerinin çoğunlukla yaprak indeksinin belirlenmesinde kullanıldığı görülmüştür. Literatürdeki bazı çalışmalarda ise yeşil duvar sistemindeki bitkileri veya bitkilerden toplanan yaprakların dijital görüntülerinin yaprak alanı indeksini hesaplamada kullanıldığı ve yaprak alan indeksindeki artışın yeşil duvar sistemlerinin ısı ve ses yalıtımına olan etkilerinin incelendiğı görülmektedir. Bu çalışmaların ortak sonucu olarak, dijital görüntülerin yeşil duvar sisteminin etkilerin incelenmesinde başarılı

sonuçlar üretebileceği ancak pratik olarak uygulanabilecek yöntemler üzerinde çalışmaların artırılması gerektiği rapor edilmektedir.

Yeşil duvar sistemleri ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda incelenen bazı çalışmaların amaç, yöntem ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Cosola ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir sistematik derleme çalışmasında yeşil duvarların kullanılmasının kentsel konfor üzerinde sıcaklık ve gürültünün azaltılması yoluyla oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Sonuçlar, sıcaklık azalmasının esas olarak seçilen bitki örtüsü tipinin gölgeleme kapasitesinden, bitkilerin buharlaşma-terleme sürecinden ve substrat varlığından etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca ses emme kapasitesinin sistemin konfigürasyonundan, alt tabakanın özelliklerinden ve bitki örtüsünün yoğunluğundan büyük lde etkilendiği belirlenmiştir. Her iki durumda da bulundukları çevresel koşulların, etkiyi daha büyük veya daha az lde değiştirebileceği belirtilmiştir (Cosola ve ark, 2022).

Shushunova ve ark. (2022) tarafından modüler, hidroponik ve konteyner gibi farklı yeşil duvar sistemlerinin kullanılmasıyla gürültü etkisinin azaltılmasının, bunların işletme ve bakım açısından fayda ve dezavantajlarının analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra en verimli olanlardan hidrofonik sistemler seçilmiş ve sistemin farklı koşulları ve bu türlerin gürültüyü nasıl azalttığı absorbsiyon katsayısının analiziyle incelenmiştir. Araştırmacılar alışma sonuçlarına dayanarak, hidroponik yeşil duvar sisteminin verimliliğinin alt tabakanın nemine ve bitkilerin varlığına bağlı olduğunu; bunun da kentsel çevredeki gürültü etkisini azaltmada bitki örtüsünün önemini doğruladığını ifade etmişlerdir (Shushunova ve ark, 2022).

Zhen ve Zou, (2022) bir binada tırmanıcı bitki yetiştirmenin doğrudan ve dolaylı termal faydalarını bitkinin dört yaşam evresi (yeşil, sarımsı, sararma ve solma) boyunca sıcaklık ve nemin saha ölçümlerine ve teorik analize dayanarak değerlendirmiştir. Sonuçlar, tırmanıcı bitkilerin doğrudan termal faydalarının yeşil, sarımsı ve sararma aşamalarında önemli olduğunu, burada yaşam aşamaları ilerledikçe kademeli olarak azaldığını ve yeşil aşamada beton duvarla karşılaştırıldığında 8 C'ye kadar soğutma kazanımları sağladığını, yalıtım faydalarının solma aşamasında hala yaklaşık 1 C olduğunu göstermiştir. Çalışmada tırmanıcı bitkilerin yeşil, sarımsı ve sararma aşamalarında önemli dolaylı termal faydaları olduğu; en iyi soğutma etkisinin sarımsı aşamada elde edildiği, ancak solma aşamasında anlamlı dolaylı termal fayda

bulunamadığı saptanmıştır. Ayrıca tırmanıcı bitkilerin çevredeki bağıl nemi artırarak ortam hava sıcaklığını azaltabileceği belirtilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçların, soğuk bölgelerde dikey yeşillendirme yapımını kolaylaştırmak ve ilgili uygulamaların özelliklerini belirlemek için bilimsel bir referans sağlayabileceği gibi aynı enlemdeki dikey yeşillendirme araştırmalarına da ışık tutabileceği ifade edilmiştir (Zhen ve Zou, 2022).

Gri suyun yeşil duvarlar yoluyla arıtılması kentsel alanlar için faydalı olabilir, kentsel bitki örtüsünün yayılmasını kolaylaştırabilir ve içme suyu tüketimini azaltabilir. Filtreleme malzemesinin bileşimi, seviye sayısı (yani sıralar) ve sistemin yaşı dahil olmak üzere yeşil duvarların arıtma performansını engelleyen birçok zorluk vardır. Costamagna ve ark. (2023) üç seviyede düzenlenmiş saksıların bulunduğu açık havadaki bir yeşil duvarda hindistancevizi lifi, perlit ve biyokömürden yapılmış bir filtreleme ortamına katkı maddesi olarak grafen (%5 v) eklenmesinin gri su arıtım performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Gri su arıtım performansı, iki ay boyunca haftalık olarak toplanan giriş ve çıkış numunelerinin fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılarak ölçülmüştür. Ayrıca yeşil duvarın her seviyesinden örnekler toplanmış ve üç ay boyunca yaşları farklı olan iki benzer sistemin performansı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, grafenin, birinci seviye dışında arıtım performansını önemli ölçüde iyileştirmediğini göstermiştir (örneğin; sırasıyla grafenli ve grafensiz; koi için %48'e karşı %15, takm için %72'ye karşı %51). Gri su arıtımı çoğunlukla yeşil duvarın ilk iki seviyesi boyunca gerçekleşmiş ve üç aylık işletme süresinden sonra marjinal tükenme (örneğin, NH_4^+-N için %15'e karşılık %7) görülmüştür (Costamagna ve ark, 2023).

Yeşil gürültü bariyerleri; kentsel trafik gürültüsünü azaltmanın alternatif yollarından biri haline gelmiştir. Lacasta ve ark. (2016) modüler bir yeşil gürültü bariyerinin akustik performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada ses yutma katsayılarını tahmin etmek için deneysel bir prototip kullanılarak gürültü yansımalarının in-situ ölçümleri yapılmıştır. Bu katsayıların, daha düşük bitki yoğunluğuna sahip benzer bir sistem için daha önce laboratuvar ölçümlerinde bulunanlardan daha yüksek, yaklaşık 0.7 değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Elde edilen değerler çevresel gürültüyü tahmin etmek için bu tür bariyerlerin özellikle bir çift paralel bariyer olarak kullanılması durumunda beklenen performansını analiz etmek amacıyla bir yazılıma aktarılmıştır. Yansıtıcı bariyerlere ilişkin sonuçlarla yapılan karşılaştırma, ses zayıflatmasında 4

dBa'ya kadar varan önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen değerlerin, paralel bariyerlere uygulanan emici işlemlerin etkinliğine ilişkin diğer yazarlar tarafından bildirilen sonuçlara benzer ve hatta daha yüksek olduğu ve ayrıca önerilen bariyerlerin, çevresel entegrasyon için estetik bir unsur sunduğu belirtilmiştir (Lacasta ve ark, 2016).

Alsaad ve ark. (2022) gri su arıtımı için tasarlanmış yaşayan duvar sisteminin cephenin higrotermal performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yaşayan duvarın etkisi üzerinde arkasındaki duvar yapısının öneminden dolayı çalışmada dört farklı duvar düzeneği simüle edilmiştir. Çoklu higrotermal parametreler simüle edilmiş ve değerlendirilmiş, ayrıca yaşayan duvarın duvarın ısı geçirgenliğine etkisi (U değeri) hesaplanmıştır. Çalışmalarında, ısı ve nem taşınması için kullanılan tipik simülasyon araçlarında bitkiler gibi karmaşık varlıkların temsil edilmesinin zor olduğunu belirterek, ENVI-Met ve Delphin olmak üzere iki aracın birleştirilmesi ile bu zorluğun üstesinden gelmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. ENVI-Met; incelenen alandaki küresel hava durumu verilerine dayanarak cephedeki yerel iklim koşullarını belirlemek için, Delphin ise; ENVI-Met tarafından hesaplanan yerel parametrelerden yararlanarak higrotermal simülasyonları gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, yaşayan duvarın U değerini, dış yüzey sıcaklığını ve duvardaki ısı akışını iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca yaşayan duvarın, kış aylarında duvardaki nem riskini artırmadığı ve yoğunlaşma riskini ortadan kaldırdığı belirlenmiştir (Alsaad ve ark, 2022).

Pan ve ark. (2018) tarafından Hong Kong'da nemli subtropikal ortamda dikey yeşillendirme sistemleri (VGS'ler) olan ve olmayan test odalarında yönelim ve hava durumunun termal performans üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her iki odanın duvar sıcaklıkları, dış ortam hava sıcaklıkları ve iç ortam hava sıcaklıkları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Ortalama hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, toplam güneşlenme süresi, bağıl nem, ortalama bulut örtüsü ve rüzgar hızının VGS'lerin termal göstergeleri üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Yönelim ve hava durumu, VGS'li ve VGS'siz duvarların günlük maksimum sıcaklıkları üzerinde önemli etkiler göstermiştir. Kuzeye bakan VGS, ortam sıcaklığını düşürme konusunda en yüksek kapasiteyi (10.1 °C) gösterirken, batıya bakan VGS, duvar sıcaklığında en büyük düşüşü (6.1 °C) sağlamıştır. İki test odasının iç hava sıcaklığı arasındaki VGS'ye atfedilen maksimum sıcaklık farkı 3.6 °C olarak tespit edilmiştir. Güneş radyasyonu, toplam güneşlenme süresi ve bağıl nem, odaların termal performansı ile anlamlı korelasyon göstermiştir.

Simülasyonlara göre VGS'lerin, bina kaplamalarının kararlı durum soğutma yükünü, yönlerine bağlı olarak %12 ila %42 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. En yüksek azalmanın VGS'nin kuzey duvarına yerleştirilmesi durumunda meydana geldiği bulunmuştur. Çalışmada genel olarak, VGS'lerin yapılı çevrede kullanılmasının hem dış hem de iç ortamlara kayda değer pasif soğutma faydaları getirebileceği ifade edilmiştir (Pan ve ark, 2018).

Literatürde yeşil duvarların düşük enerji gereksinimi ve yüksek ekolojik/toplumsal faydaları nedeniyle gri su arıtımına yönelik doğa temelli bir çözüm örneği olarak önerildiği, ancak arıtım performanslarına ilişkin göstergelerin sınırlı olduğu belirtilmektedir. Boano ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilmiş olan bir çalışmada saksı bazlı bir yeşil duvarın gri su arıtma performansının araştırılması amaçlanmıştır. Deneyler üç ay boyunca düşük sıcaklıkların kirleticilerin biyolojik olarak uzaklaştırılmasını engelleyebileceği kış mevsiminde açık havada yapılmıştır. Çalışmada günde 100 L sentetik gri su ile beslenen, her paneli dört dikey dikili saksı kolonu içeren bir dış mekan yeşil duvarı üzerinde pilot ölçekte deneyler gerçekleştirilmiştir. Sistem gerekli alanı en aza indirmek için yaygın uygulamalarla karşılaştırıldığında önemli bir hidrolik yükleme oranına ulaşan yüksek gri su akış hızlarıyla beslenmiştir. Giderim verimleri (ortalama değerler): %40 kimyasal oksijen ihtiyacı, %97 biyokimyasal oksijen ihtiyacı, %61 toplam Kjeldhal nitrojen, %56 NO₃-N, %57 toplam fosfor, %99 Escherichia coli ve %63 anyonik yüzey aktif maddeler olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların, bir açık hava yeşil duvarının; biyolojik arıtma prosesleri için zorlu koşullar altında ve yüksek hidrolik yükleme oranlarında bile gri su arıtılmasına yönelik potansiyelini kanıtladığı ifade edilmiştir (F. Boano ve ark, 2020).

Fransa'nın ANR Ulusal Araştırma Ajansı sponsorluğunda yürütülmüş ve Kent Bilimleri ve Teknikleri Araştırma Enstitüsü (IRSTV) tarafından 2010–2014 yılları arasında yönetilmiş olan VegDUD projesi olarak adlandırılan bir projede bitki örtüsünün kentsel sürdürülebilir kalkınmayı desteklemedeki rolünün değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Klimatoloji, hidroloji, çevresel akustik, ısı bilimleri gibi çeşitli bilimsel alanların yer aldığı bu çok disiplinli projede şehirlerin mevcut sürdürülebilir kalkınma zorluklarına uygulanabilir çözümler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında Guillaume ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, bina cepheleri ve çatı üst yüzeylerini yeşillendirmenin akustik seviye ve ses azalması süresi

göstergeleri üzerindeki etkisi sokak ölçeğinde değerlendirilmiştir. Çalışmada söz konusu projenin bir parçası olarak yeşillendirilen bina cepheleri ve çatı üst yüzeylerinin akustik özelliklerinin ölçümleriyle birlikte sayısal akustik yayılım modeli sunulmuş, bitki örtüsünün ses yayılımı üzerindeki etkisine ilişkin çeşitli simüle edilmiş senaryolar verilmiştir. Çalışma; çeşitli sanal bina yeşillendirme projeleri için elde edilen ses seviyelerinin ve erken bozulma sürelerinin karşılaştırılması aracılığıyla bitki örtüsünün bir kanyon caddesindeki ses düzeni üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Sayısal tahminler, bitkilendirilmiş yüzeylerin konumuna, frekans bantlarına ve işlenen malzemeler üzerindeki yansıma sayısına bağlı olarak üst kısımda ve cadde dışında daha belirgin bir etki göstermiştir (Guillaume ve ark, 2015).

Cortes ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada mantar bazlı (cork-based) yaşayan duvarlarının binaların enerji performansı ve yerel mikro iklim üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla Portekiz'de bir prototip yapılarak sistem genelinde ve çevresinde sıcaklıklar ölçülmüştür. Sistemin termal davranışını ve çevrenin mikro iklimi üzerindeki etkisini incelemek için bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli de kullanılmıştır. Ayrıca, bir referans binanın enerji ihtiyaçlarını hesaplamak amacıyla bir simülasyon modelinde gerçek iklim verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, incelenen mantar bazlı yaşayan duvarın ısı yalıtımı açısından iyi performans gösterdiğini ve dış mantar tabakasının nemlendirilmesiyle artırılmış buharlaşma etkilerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Dış yüzeydeki ve cephenin hemen önündeki ortam havasındaki maksimum sıcaklıklarda sırasıyla 14 °C ve 2 °C'ye varan düşüşler kaydedilmiştir. Çalışmada, DesignBuilder modeli referans bir binanın dış kısmına ıslak mantar tabakası uygulandığında ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının önemli ölçüde azaldığını (>%30) göstermiştir (Cortês ve ark, 2022).

Susca ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında bitki örtüsünün olumlu etkilerini çok ölçekli bir yaklaşımla değerlendirmeye almışlardır ve çalışmalarını kentsel ve bina ölçeğinde gerçekleştirmişlerdir. Kentin dört bölgesinde kentsel ısı adasını gözlemleyerek, en fazla bitki örtüsü olan ve en az bitki örtüsüne sahip alanlar arasında, ortalama 2 °C sıcaklık farkı bulmuşlardır. Çalışmalarını beş aşamada gerçekleştirmişlerdir. Birincisi şehrin farklı bölgelerinde kaydedilen saha verilerinin analizi; ikincisi şehrin merkezinde ve geniş ormanlık alanda kaydedilen sıcaklıkların karşılaştırılması; üçüncüsü üç çatı sistemi aracılığıyla ısı akışları farkının değerlendirilmesi; ardından yüzey albedosundaki artışı, salınan CO₂'nin (CO₂eq)

kilogram eşdeğerine dönüştürebilen bir klimatolojik modelin uygulanması ve son olarak yapı malzemelerinin ömrünün değerlendirilmesidir. Enerji tasarrufu, inşaat, değiştirme aşaması ve yüzey albedo analizleri sonucunda yeşil çatının, diğer çatıya göre etkisinin yüksek olduğunu saptamışlardır. Yeşil çatının kurulumu, diğer çatılara kıyasla binadaki enerji tüketiminde azalmayı önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuşlardır. Yeşil çatının inşaat aşaması, diğer çatıya göre daha az kilogram CO₂eq ürettiğini ölçmüşlerdir. Yine çalışmalarında yeşil çatının zaman içinde daha az yapı malzemesi değişimine ihtiyaç duyacağını ve bunun sonucunda yeşil çatının, iklim değişikliğinden diğer çatı uygulamalarına göre daha az etkileneceğini saptamışlardır (Susca ve ark, 2011).

Chianucci ve ark. (2015) çalışmalarında izole edilmiş ağaçların yaprak alan indeksini (L) tahmin etmek için dijital fotoğrafın kullanılıp kullanılamayacağını test etmişlerdir. Bu amaçla iki farklı fotoğraf yöntemini birleştirmişlerdir. Yöntemin kentsel ortamlarda uygulanabilirliğini değerlendirmek için fotoğraflar hem engelsiz (gölgeği çevreleyen açık gökyüzü) hem de engelli (gölgeği çevreleyen binalar) gökyüzü koşullarında elde ederek kullanmışlardır. Fotoğrafla elde edilen boşluk oranı tahminleri, yüksek kaliteli bir kuantum sensörü (LAI-2000 Plant Canopy analyzer, LICOR Inc, Lincoln, NE) tarafından elde edilen ölçümlerle karşılaştırmışlardır. Yaprak açısı dağılımını ve yaprak projeksiyon fonksiyonunu tahmin etmek için seviyeli fotoğraflar kullanıldığını belirtmişlerdir. İki fotoğrafik yaklaşımın birleştirilmesiyle elde edilen tahminlerden yaprak alanı indeksini tersine çevirmek için bir boşluk fraksiyonu yöntemi kullanılarak; sonuçları, hasattan elde edilen L'nin doğrudan ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Basit, hızlı ve uygun maliyetli prosedürleri nedeniyle dijital fotoğrafçılığın izole kentsel ağaçlardaki yaprak alanını tahmin etmek için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bitki örtüsü indekslerinin kullanılması, yeşil çatılar ve dikey yeşil sistemleri de dahil olmak üzere, fotoğrafik yöntemin kentsel ortamlarda uygulanabilirliğinin önemli ölçüde genişletilmesine olanak tanıdığını belirtmişlerdir (Chianucci ve ark, 2015).

Substratlar, yeşil duvarlar ve çatılarda büyüyen bitkilerin köklerine hava ve su sağlamak için kullanılmaktadır. Bu substratlar, suyu depolayan mikro gözeneklere ve drenajı ve hava girişini kolaylaştıran makro gözeneklere sahiptir. Attal ve ark. (2021) iki hafif substrat olarak Hindistan cevizi tozu ve perlit kullandıkları çalışmada nemin akustik emilim üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kuru ve nemli substratların 100

Hz ile 1000 Hz arasındaki etkili ses hızlarını, zayıflamayı, karakteristik empedanslarını, sıkıştırılabilirliklerini ve yoğunluklarını değerlendirmek için, bir empedans tüpü ve üç mikrofon-iki yük yöntemi kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Nemin bu miktarlar üzerindeki etkisinin, su ve mikro ölçekte substrat parçacıkları arasındaki etkileşime büyük ölçüde bağlı olduğu bulunmuştur. Rijit çerçeveli ve esnek çerçeveli gözenekli modellerin performansı kuru ve nemli hafif yüzeylerin karakterizasyonuna uygulandığında değerlendirilmiştir. Substrat katmanlarının ve kompozit bitki-substrat örneklerinin ses emilimi, farklı nem içerikleri açısından analiz edilmiştir (Attal ve ark, 2021).

Davis ve ark. (2017) tarafından bir dikey bahçe iç mekan akustik tasarımı açısından incelenmiştir. Yalnızca substrat içeren modüller ile eğrelti otları ekilen modüller test edilmiştir. Çalışmada dikey bahçe modüllerinin rastgele geliş ses yutma katsayısının tespit edilmesi ve açıklanması amaçlanmıştır. Ölçümler için toplam 10.125 m² taban alanı oluşturan 50 modül kullanılmıştır. Bağlı, dağınık ve doğrudan zemin üzerinde ve 5 ve 10 cm'lik hava boşluğuna sahip olmak üzere farklı konfigürasyonlar ölçülmüştür. Ayrıca her bir konfigürasyon, yalnızca substratla doldurulmuş modüllerle ve yoğun şekilde eğrelti otları ekilmiş substratla doldurulmuş modüllerle test edilmiştir. Eğrelti otlarının yoğun olarak ekildiği modüllerin ağırlıklı rastgele geliş ses emme katsayısı 1.00'a eşit olarak belirlenmiş, bu test edilen tüm farklı konfigürasyonlara uygulanmıştır. Düşük frekanslarda (100-315 Hz), orta frekanslarda (400-1250 Hz) ve yüksek frekanslarda (1600-5000 Hz) ses emme katsayıları sırasıyla 0.59-0.80, 1.00 ve 1.00 olarak tespit edilmiştir (Davis ve ark, 2017).

Yeşil duvarların binalar üzerindeki termal etkilerini ölçmek için yapılan bir deneyden elde edilen sonuçların sunulduğu bir çalışmada deneyler, La Rochelle şehrinde bulunan binaların küçültülmüş maketi üzerine kurulan yeşil duvarın izlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar yaz aylarında yeşil duvarların olumlu etkisini vurgularken kışın ısı kayıplarında orta düzeyde bir azalma olduğunu göstermiştir (Djedjig ve ark, 2017).

Afshari, A., (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada dolaylı Dikey Yeşil Sistemlerin (VGS) büyük ölçekli kurulumunun binaların soğutma ihtiyacı ve kentsel mikro iklim üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. VGS, duvarların yakınındaki hava sıcaklığını ve rüzgar hızını önemli ölçüde azaltır. Bunu yaparken kentsel ısı adası (UHI) yoğunluğunu da olumlu yönde etkiler. Bu, esas olarak hissedilir

ısının, VGS yapraklarından gelen buharlaşma ve terlemenin aracılık ettiği gizli ısıya dönüştürülmesi yoluyla elde edilir. Çalışmada evapotranspirasyonun fiziksel olarak karmaşık bir olgu olduğu ve bunun bina ve kentsel iklimle olan etkileşiminin doğru bir şekilde modellenmesinin zor olduğu belirtilerek prototip bina, VGS, asfalt yol, kentsel örtü ve atmosfer arasındaki termal etkileşimleri belirlemek için doğrusal olmayan dinamik bir termal ağ modelinin kullanılması önerilmiştir. Model, binanın içinde ve dışında hem hissedilir hem de gizli değişimleri hesaba katmaktadır. İlk olarak, hem bina enerji tüketimi verileri hem de kentsel hava sıcaklığı ölçümleri kullanılarak bir temel durum modeli (VGS olmayan) oluşturulmuş ve doğrulanmıştır. Doğrulan model VGS'nin kentsel bağlamda büyük ölçekli dağıtımının etkisini araştırmak için kullanılmıştır. VGS'nin kentsel alanındaki tüm binalara uyarlanmasının, soğutma yükünde %5 - 8'lik bir azalmaya ve kentsel hava sıcaklığında yaklaşık 0.7 – 0.9 °C' lik dramatik bir düşüşe yol açarak kentsel ısı adası yoğunluğunu neredeyse yarı yarıya azaltabileceği belirlenmiştir (Afshari, 2017).

Tudiwer ve Korjenic (2017), cephe yeşillendirme özelliklerinin kışın binaların ısı ihtiyacının azaltılmasına ilişkin etkilerini araştırmışlardır. 2017 yılında yayınlanmış olan çalışmalarında yazarlar cephe yeşillendirmeyi destekleyenlerin, sistemlerinin kışın ısı ihtiyacını azaltabileceğini iddia ettiklerini, ancak şu ana kadar buna dair bir kanıt olmadığını ve her yeşillendirme sisteminin farklı olduğunu belirtmişlerdir. Bir ısıtma sezonu için iki yeşil cephenin araştırıldığı çalışmada gerçekleştirilen ölçümler, aynı binaların yeşillendirilmeyen kısımlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü ana kadar yeşillendirilmiş cephelerde U değerinin nasıl hesaplanacağına dair genel bir yöntem mevcut olmadığını ifade eden yazarlar çalışmalarında geliştirdikleri yöntemin, cephenin yeşillendirilen kısmı ile yeşillendirilmeyen kısmının karşılaştırılmasını mümkün kıldığını belirtmektedir. Araştırma sonuçlarının kışın cephelerin yeşillendirilen ve yeşillendirilmeyen kısımları arasında ısı direnç farkı olduğunu ortaya çıkardığı, yeşillendirme sistemine ve konumuna bağlı olarak 0.31 m²K/W ile 0.68 m²K/W arasında olduğu rapor edilmiştir (Tudiwer ve Korjenic, 2017).

Manso ve ark. (2017), simüle edilmiş koşullarda yeşil yüzeyler için modüler bir sistemin ses emilimini substrat, bitkiler, bitki çeşitliliği ve yüksekliği gibi faktörlerin nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Sonuçlar, substratın (S2) eklenmesinin ağırlıklı ses emme katsayısını %15 oranında artırabildiğini ve bitkilerin (S3) eklenmesinin bunu %20 daha fazla iyileştirdiğini göstermiştir. Ancak daha küçük ve daha yüksek bitki

eşitlerinin kullanılması durumunda (S4), ağırlıklı ses yutma katsayısının (α_w) 0.80'e ulaşabildiğı ve sınıfı B bir yutma elde edilebileceğı bildirilmiştir (Manso ve ark, 2017).





3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yeşil duvar sistemlerinde bitkilerin yetiştirilmesi konvansiyonel bitki yetiştiriciliğine göre oldukça önemli farklılıklar içerir. Bu farklılıklar arasında en öne çıkanı bitki büyütmedeki temel hedeflerdir. Konvansiyonel bitki yetiştiriciliğinde genellikle genellikle le en kısa sürede en yüksek bitki büyümesi hedeflenir. Oysaki yeşil duvar sistemlerinde temel hedef bitkilerle kaplanmak istenen alanın makul bir süre içerisinde kaplanmasının ardından bitki büyümesinin yavaşlamasıdır. Bunun nedeni hızlı bitki büyümesinin yeşil duvar için istenen estetik görüntüyü bozması ve yeşil duvar koşullarında oldukça zahmetli ve masraflı bir işlem olan budama gerektirmesidir. Ayrıca büyüyen bitkiler daha çok su ve kökleri için daha geniş saksı hacmine ihtiyaç duyacaktır. Bu yüzden bitki yetiştirme koşullarının en ince ayrıntısına kadar düşünülmesi gerekir. Ancak yetiştirme koşullarında sağlıklı bitki yetiştirmek için gerekli sınır koşullarına yaklaşılmamasının da bitkilerde bazı olumsuzluklara neden olabileceği de unutulmamalıdır. Bu yüzden ki yeşil duvar sistemlerinde bitki yetiştirme ortamlarının önemi büyüktür ve yetiştirme ortamlarının tüm özelliklerinin önceden bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada her bir bitkinin ayrı ayrı saksılarda yetiştirildiği yaşayan duvarlar olarak isimlendirilen yeşil duvar sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde bitki yetiştiriciliği saksılı süs bitkisi yetiştiriciliğinde olduğu gibi gerçekleştirilir. Bundan dolayı çalışmada hazırlanan bitki yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri, saksılı süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılan yetiştirme ortamları için geliştirilmiş standart yöntemler ve bitki yetiştirme ortamları ile ilgili bilimsel çalışmalarda uzun dönemli olarak kullanılmış analiz metotları ile belirlenmiştir.

Yeşil duvar sisteminde yetiştirilen bitkilerin büyümelerinde ise yenilikçi bir yöntem denenmiştir. Genellikle bitki büyümesi, bitki boyu, gövde çapı, kanopi çapı gibi doğrudan bitki üzerinde yapılan ölçümlerle ve bitki gövde ve kök kuru ağırlıklarının ölçülmesi gibi bitkilerin hasat edilmesi gereken işlemlerle gerçekleştirilir. Bu geleneksel yöntem her ne kadar yüksek bir doğruluk oranı ile bitki büyümesini ortaya koysa da yeşil duvar sistemleri için kullanılması önemli sorunlara yol açacaktır. Yeşil

duvar sistemlerinin bina cephesinde oldukça yüksek şekilde olmalarından dolayı bitkilere erişimin güç olması ve ölçüm için bitki numunesi alınmasının yeşil duvarın bütünlüğüne zarar verecek olması bu sorunlardan bazılarıdır. Bu yüzden gerçekleştirilen çalışmada bitki büyümesi uzaktan görüntüleme teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. Temel olarak bu yöntem yeşil duvar sisteminin farklı zamanlarda dijital olarak fotoğraflanması ve bu fotoğrafların bilgisayar programı kullanılarak analiz edilmesi sonucu bitki alanındaki değişimlerin hesaplanmasına dayanmaktadır. Görüntü analizi her ne kadar bitki büyümesinin izlenmesinde bilinen bir yöntem olsa da literatürde, yeşil duvar sistemlerinde bitki büyümesinin belirlenmesine dair bir çalışma bulunamamıştır. Bundan dolayı yeşil duvar sistemlerindeki bitki büyümesinin izlenmesinde kullanılan bu yöntem oldukça yenilikçidir ve bu konuda gerçekleştirilecek çalışmalara zemin hazırlayacaktır.

Bununla birlikte çalışmada ki bir başka yenilikçi yöntem ise, yeşil duvarların ısı ve ses izolasyonuna etkilerinin belirlenmesinde, görüntü analizi ile hesaplanan bitki alanlarının kullanılmasıdır. Bu kullanım şeklinin oldukça pratik sonuçlar üreteceği düşünülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda yeşil duvar sistemlerinin ısı ve ses izolasyonuna etkileri genellikle yaprak alan indeksleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu uygulama da kendi içerisinde görüntü işleme teknikleri ile gerçekleştirilmesine rağmen bitki yapraklarının koparılması da içinde barındıran bir dizi karmaşık işlemi içermektedir. Ayrıca bitki büyümesinin her aşamasını takip etmek ve bunu ısı ve ses izolasyonu ile ilişkilendirmek için pratik değildir.

Bu çalışmada yetiştirme ortamlarının hazırlanması ve özelliklerinin belirlenmesi, model binaların inşası ve yeşil duvar sisteminin kurulması, bitki alanlarının hesaplanması ve ısı ve ses ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan tüm yöntemler, konu ile ilgili görseller ve formül gösterimleri ile bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

3.1. Yetiştirme Ortamı Karışımlarının Hazırlanması

Süs bitkisi yetiştiriciliği, seracılık, yeşil duvar ve çatı sistemlerinde ağırlıklı yetiştirme ortamı olarak kullanılmasına rağmen, torfun yenilenebilir bir kaynak olmaması ve torf üretiminin yüksek oranda doğal çevre tahribatına yol açmasından dolayı alternatif yetiştirme ortamı alternatifleri geliştirmek her zaman çok değerli bir uygulama olmuştur. Bunun yanında alternatif yetiştirme ortamları geliştirmek için en önemli

kaynaklar tarımsal kökenli organik atıklardır. Çoğu zaman tek başlarına istenilen özellikleri sağlamakta sıkıntılar oluştursa da tarımsal kökenli organik atıkların yetiştirme ortamı bileşeni olarak kullanılması, bu atıklar içinde önemli bir bertaraf seçeneği sunmakta ve bu atıklardan kaynaklanacak çevresel risklerin önüne geçilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada yeşil duvar uygulamalarında kullanılmak üzere torf, fındık zürufu, pirinç kabuğu ve perlitin çeşitli oranlarındaki karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Torf, yeşil duvarlarda yaygın olarak kullanılan yetiştirme ortamı olduğundan %100 torftan oluşan yetiştirme ortamı kontrol uygulaması olarak kullanılmıştır. Ayrıca yetiştirme ortamı olarak literatürdeki çalışmalarda torfa en yakın özellikler gösteren fındık zürufu da saf halde denenmiştir. Bunun yanında ana yetiştirme ortamı bileşenleri olan torf ve fındık zürufu da belirli oranlarda karıştırılmış ve yetiştirme ortamları hazırlanmıştır.

Torf ve tarımsal perlit ticari olarak satılan ürünlerdir ve doğrudan piyasadan temin edilmiştir. Pirinç kabuğu, pirinç hasadının ardından pirincin kabuğundan ayrılmasından sonra toplanmış, yıkama ve parçalama gibi bir ön işlem uygulanmamıştır. Fındık kabuğu ise fındık hasadından sonra toplanmış ve parçalayıcı makine kullanılarak parçalanmıştır. Hazırlanan yetiştirme ortamları ve karışım oranları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Yetiştirme ortamları ve karışım oranları (%V)

Yetiştirme ortamları	Materyallerin karışım oranları
T	%100 Torf
F	%100 Fındık Zürufu
P	%100 Pirinç Kabuğu
PE	%100 Perlit
TF1	%87.5 Torf + %12.5 Fındık Zürufu
TF2	%75 Torf + %25 Fındık Zürufu
TF3	%50 Torf + %50 Fındık Zürufu
TP1	%87.5 Torf + %12.5 Pirinç Kabuğu
TP2	%75 Torf + %25 Pirinç Kabuğu
TP3	%50 Torf + %50 Pirinç Kabuğu
TPE1	%87.5 Torf + %12.5 Perlit
TPE2	75% Torf + %25 Perlit
TPE3	%50 Torf + %50 Perlit
FP1	87.5% Fındık Zürufu + %12.5 Pirinç Kabuğu
FP2	%75 Fındık Zürufu + %25 Pirinç Kabuğu
FP3	%50 Fındık Zürufu + %50 Pirinç Kabuğu
FPE1	%87.5 Fındık Zürufu + %12.5 Perlit
FPE2	%75 Fındık Zürufu + %25 Perlit
FPE3	%50 Fındık Zürufu + %50 Perlit

3.2. Yetiştirme Ortamlarının Karakterizasyonu

Yeşil duvar sistemleri bitki yetiştirme alanına göre sınıflandırıldığında iki temel uygulama ile karşılaşılır. Birinci uygulama tırmanıcı bitkilerin doğrudan toprağa dikilmesidir. İkinci uygulama ise farklı tür ve boyutlarda olabilen saksılara bitkilerin tek veya gruplar halinde dikilmesi ve bu saksıların donatılarla duvara sabitlenmesi şeklindeyir. Bu uygulama şekli saksılı süs bitkisi yetiştiriciliğine benzer ve bitki köklerinin tutunabilmesi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu su ve bitki besin elementlerinin sağlanabilmesi için yetiştirme ortamlarının kullanılmasını gerektirir. Bununla birlikte yeşil duvar sistemlerinde kullanılacak yetiştirme ortamlarının seçiminde, uygulama koşulları göz önünde bulundurularak hafif olması, yüksek stabiliteye sahip olması ve ideal bitki büyümesini karşılayabilmesi istenir. Yetiştirme ortamlarının ideal bitki büyümesini sağlayabilecek özellikler taşıdığının belirlenmesi, yeşil duvar sistemlerinde kullanılabilirliği açısından çok önemlidir. Çalışmada farklı materyallerin karışımları ile hazırlanan yetiştirme ortamlarından yeterli miktar ve sayıda numuneler alınmıştır. Yetiştirme ortamları 50 L' lik karışımlar halinde hazırlanmış ve homojen olarak karıştırıldıktan sonra numuneler alınmıştır. Yetiştirme ortamlarından alınan numune örnekleri şekil 3.1'de görülmektedir.



şekil 3.1. Yetiştirme ortamı numuneleri

3.3. Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Yeşil duvar sistemlerinde bitki yetiştirilmesi her ne kadar bu uygulamaya özel birçok zorluk barındırsa da temelde saksılı süs bitkisi yetiştiriciliği gibi her bir bitkinin ayrı saksılarda yetiştirildiği bir uygulamadır. Bundan dolayı süs bitkisi yetiştirme ortamlarında kullanılan analiz yöntemleri yeşil duvar sistemlerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılabilir. Bu çalışmada hazırlanan yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri, saksılı süs bitkisi yetiştirme ortamları için geliştirilen standart yöntemler. AB standartları ve konuyla ilgili bilimsel literatürde ki yöntemler kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar saksılı süs bitkisi yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri için istenen ideal değerler (Tablo 3.2) ile karşılaştırılmıştır. Bunun yanında saksılı süs bitkisi yetiştiriciliğinde ve yeşil duvar sistemlerinde kullanılan en yaygın yetiştirme ortamı olan torf kontrol uygulaması olarak kullanılmış ve elde edilen fiziksel analiz sonuçları torf ile de karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.2. Yetiştirme ortamlarında istenen ideal fiziksel özellikler (Dede ve Öztekin 2018; Abad ve ark, 2003).

Fiziksel özellikler	İdeal değerler
Özgül Ağırlık	1.4-2.0 (g/cm ³)
Hacim Ağırlığı	<0.40 (g/cm ³)
Porozite	>80 (% V/V)
Su tutma kapasitesi	600-1000 (ml/l)
Büzüşme	<30 (% V/V)

3.3.1. Partikül boyut dağılımı

Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımlarının belirlenmesi için alınan numuneler 35 °C’de kurutulmuştur. Ardından tartılarak, analizde kullanılacak miktarın toplam ağırlığı belirlenmiş ve titreşimli elek setine alınmıştır (Şekil 3.2). Elek seti sırası ile 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 ve 0.125 mm aralıklara sahip elekler bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Titreşimli elek setinde 10 dakikalık eleme işleminden sonra en üst elekten başlayarak tüm eleklerde tutulan numuneler tartılmış ve denklem (3.1) kullanılarak toplam numune içerisindeki yüzdelik miktarları hesaplanmıştır (Dede ve Öztekin 2018; Abad ve ark, 2003).

$$\%P_n = (M_n / M_t) \cdot 100 \quad (3.1)$$

% P_n; incelenen tane boyutlarındaki numune yüzdesi

M_n; İncelenen elek aralığındaki numune miktarı (g)

Mt; Kullanılan toplam numune miktarı (g)



Şekil 3.2. Yetiştirme ortamı numunelerinin titreşimli elek setinden elenmesi

3.3.2. Özgül ağırlık

Yetiştirme ortamlarının özgül ağırlıklarının belirlenmesinde Avrupa Birliği standart yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde özgül ağırlığı belirlemek için numunelerin organik madde ve kül miktarları belirlendikten sonra denklem 3.2 kullanılarak özgül ağırlık değerleri hesaplanır (Dede ve Öztekin, 2018).

$$d_0 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 100 / ((\% \text{ om}/1.45) + (\% \text{ km}/2.65)) \quad (3.2)$$

d_0 : numunelerin özgül ağırlıkları

om: numunelerin organik madde içeriği (%)

km: numunelerin mineral maddesini (kül) içeriği

2.65 g/cm³ ve 1.45 g/cm³ değerleri organik maddece yüksek yetiştirme ortamları (1.45 g/cm³) ve mineral maddesi yüksek yetiştirme ortamları (2.65 g/cm³) için standart yöntemde verilen sabit özgül ağırlık değerleridir (Martinez, 1992; Abad ve ark, 2003).

3.3.3. Hacim ağırlığı

Yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıklarının belirlenmesinde Avrupa Birliği standart yöntem kullanılmıştır. Avrupa Birliği standart yöntemine göre hacim ağırlığı, belirli

bir hacimde tutulan yetiştirme ortamı numunelerinin. 10 cm emme basıncına maruz bırakılmasının ardından kuru ağırlığının belirlenmesi sonucu denklem 3.3 ve deklemler 3.4 kullanılarak hesaplanır (EU Standarts. Potting Mixes. Une-En 13650; Martinez 1992; Abad ve ark, 2001; Abad ve ark 2003). Hacim ağırlığının belirlenmesi işlemlerinde, belirli hacmi sağlamak için 3 ve 4 cm yüksekliğinde 8 cm çapında paslanmaz çelik halkalar kullanılmıştır (Şekil 3.3).

$$u (\%) = ((b-c)/(b-a)).100 \quad (3.3)$$

a: çelik halkanın ağırlığı (g)

b: numunenin yaş ağırlığı (g)

c: numunenin kuru ağırlığı (g)

$$d_h (g/cm^3) = ((b-a)/v).((100-u)/100) \quad (3.4)$$

a: ring ağırlığı (g)

b: numunenin yaş ağırlığı (g)

v: çelik halkanın hacmi (cm³)



Şekil 3.3. Yetiştirme ortamlarının hacim ağırlığının belirlenmesi

3.3.4. Toplam porozite

Yeşil duvar sistemlerinde kullanılacak yetiştirme ortamlarını en önemli fiziksel özelliklerinden birisi de toplam porozitedir. Bunun nedeni yeşil duvar uygulamalarında kullanılacak yetiştirme ortamlarının binaya ilave yük bindirmeyecek kadar hafif olmasının istenmesidir. Ancak yüksek poroziteye sahip bazı yetiştirme ortamlarında sulama suyunun yer çekimi ile hızlıca diren olabileceği bilinmektedir. Bu yüzden istenen porozite değerinin ağırlıklı olarak yetiştirme ortamı tanecikleri arasındaki boşluklardan değil, yetiştirme ortamı tanecikleri içerisindeki micro boşluklardan oluşması istenir. Bu çalışmada yetiştirme ortamlarının toplam porozite özelliği hacim ağırlığı (Şekil 3.4) ve özgül ağırlıkları kullanılarak denklem 3.5 ile hesaplanmıştır. (Standart Of European. Potting Mixes. Une-En 13650; Martinez, 1992; Abad ve ark, 2001; Abad ve ark, 2003).

$$TP (\%) = (1 - (d_h/d_o)) \cdot 100 \quad (3.5)$$

TP: yetiştirme ortamının toplam porozitesi (%)

d_h : yetiştirme ortamı numunelerinin hacim ağırlığı (g/cm^3)

d_o : yetiştirme ortamı numunelerinin özgül ağırlık (g/cm^3)



Şekil 3.4. Yetiştirme ortamlarının toplam porozitesinin belirlenmesi

3.3.5. Su tutma kapasitesi

Su tutma kapasitesi tüm saksılı süs bitkisi yetiştirme uygulamalarında en önemli fiziksel özelliklerin başında gelir. Her ne kadar otomatik damla sulama sistemleri kullanılmaya başlansa da sıcak iklim koşullarında yetiştirme ortamının hızlı kuruması ve sulama ile verilen suyun yer çekimi ile drene olması sulama ihtiyacını artıracaktır. Bu durum yeşil duvar sistemlerinde işletme maliyetini artırdığı gibi yetiştirme ortamında bitki besin elementlerinin yıkanmasına ve tuzluluk sorunlarına yol açabilir. Yeşil duvar sistemlerinde kullanılmak üzere çalışma kapsamında hazırlanan yetiştirme ortamı numunelerinin su tutma kapasiteleri serbest su olmayacak şekilde sipreyleme yapılarak suya doygun hale getirilen numunelerin çelik halkalarda suya doygun kum kovalarında 10 cm basınca tabi tutulup kalan su içeriklerinin tespit edilmesi yöntemi kullanılarak denklem 3.6 ile hesaplanmıştır (Standart Of European. Potting Mixes. Une-En 13650; Martinez, 1992; Abad ve ark, 2001; Abad ve ark, 2003).

$$H = ((b-c) / v) \cdot 1000 \quad (3.6)$$

H: yetiştirme ortamının su tutma kapasitesi (ml su / l yetiştirme ortamı)

b: suyun drene edilmesinden sonraki numunenin yaş ağırlığı (g)

c: suyun drene edilmesinden sonraki numunenin kuru ağırlığı (g)

v: çelik halkanın hacmi (cm³)



Şekil 3.5. Yetiştirme ortamı numunelerinin kum kovalarında drene edilmesi

3.3.6. Hacmin büzüşmesi

Yetiştirme ortamları kuruduklarında hacimlerinde meydana gelen azalma büzüşme olarak hacmin büzüşmesi özelliği olarak belirtilir. Kuruduklarında hacminin önemli bir kısmını kaybeden yetiştirme ortamları bitki köklerini sıkıştırarak zarar görmesine ve bitki büyümesinin olumsuz etkilenmesine neden olur. Bu çalışmada yetiştirme ortamlarının hacimsel büzüşme özelliği suya doygun hale getirildikten sonra çelik halkalara doldurularak kum kovaşında drene edilen numunelerin 105 °C’ de kurutulmasından sonra çelik halkanın duvarlarından uzaklaşma ve yüksekliğindeki azalma ölçülerek hesaplanan numune hacmi ile denklem 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır (Standart Of European. Potting Mixes. Une-En 13650; Baran ve ark, 1995; Abad ve ark, 2001; Abad ve ark, 2003).

$$S = ((v-v_n) / v).100 \quad (3.7)$$

S: yetiştirme ortamının hacimsel büzüşmesi (%)

v: çelik halkanın hacmi (cm³)

v_n: 105 °C’ de kurutulmuş numunenin hacmi (cm³)



Şekil 3.6. Çelik halkalardan çıkartılan kuru numunelerin hacminin belirlenmesi

3.4. Yetiştirme Ortamlarının Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Yetiştirme ortamlarının pH ve EC değerlerinin belirlenmesi için. 1:5 oranında malzeme ve saf su karışımları 30 dakika çalkalanıp (şekil 3.7) 15 dakika çökmeye bırakıldıktan sonra süzölmüş ve sıcaklık dikkate alınarak pH ve EC metre kullanılarak (şekil 3.8) ölçümler yapılmıştır (Benito ve ark, 2006).



şekil 3.7. 1:5 oranında numune ve saf su karışımlarının hazırlanması



şekil 3.8. Yetiştirme ortamlarında pH ve elektriksel iletkenlik ölçümü

Çalışma kapsamında hazırlanan yetiştirme ortamlarının organik madde içerikleri sabit tartıma kadar kurutulan numunelerin 550 °C'de 4 saat kül fırınında yakılması (Şekil 3.9) sonrasında oluşan kaybın hesaplanması ile belirlenmiştir (Abad ve ark, 2001).



Şekil 3.9. Kül fırınında yakılacak numunelerin hazırlanması

Numunelerin toplam azot içeriği bileşiklerdeki azotun konsantre sülfürik asit ile amonyağa dönüştürülmesi ve amonyağın amonyum sülfat olarak ortamda tutulması prensibine dayanan Kjeldahl yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Bremmer ve ark. 1982). Bitkilerin makro ve mikro besin maddeleri mikrodalgada nitrik asit peroksit ile ıslak sindirimin ardından ICP-OES kullanılarak ölçülmüştür (Abad ve ark, 2003; Benito, 2006).

3.5. Yeşil Duvar Sisteminin Kurulumu

Yeşil duvar sistemlerinin ısı ve ses izolasyona etkileri ile ilgili çalışmalar genellikle laboratuvar ortamlarındaki küçük ölçekli modellerde ya da gerçek binaların duvarlarında kurulan yeşil duvar sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum

özellikle farklı etkilerin (farklı yetiştirme ortamları ve bitki türleri vb.) incelenmesinde özdeş sistemlerin oluşturulmasını güçleştirmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada yeşil duvar sistemlerinin kurulacağı özdeş model binalar inşa edilmiştir (Şekil 3.10). Model binalar 125 cm x 125 cm x 125 cm boyutlarında ve 20 mm kalınlığında betopan malzemesinden yapılmış ve model binaların dört özdeş yüzeyine yeşil duvar sistemlerinin montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Model binalar ve yeşil duvar sisteminin kurulumu

Model binaların zemin ve çatıları, 5 cm kalınlığında karbon takviyeli strafor ile kaplanarak ısı ve ses yalıtımı yapılmıştır. Bununla birlikte yeşil duvarların içinde yapılacak ölçümlerin (sıcaklık ve ses) bina içerisinden gerçekleştirilebilmesi amacıyla 125 cm x 60 cm ebatlarında bir kapı yapılmıştır. Kapının bulunduğu yüzeydeki yeşil duvar sistemi modülerdir ve ihtiyaç duyulduğunda model binanın içerisine ulaşılabilmesine olanak tanımaktadır. Yeşil duvar sistemi ile model bina dış yüzeyi arasında hava akımını sağlamak amacıyla 3 cm boşluk bırakılmıştır. Yeşil duvar sisteminin oluşturulmasında her bitkinin ayrı bir saksıda yetiştirildiği yaşayan duvar olarak adlandırılan yeşil duvar modeli kullanılmıştır.

Bununla birlikte kullanılan saksı hacimleri deneme bitki türünün ihtiyacına göre belirlenmiş olup kullanılan bitki türleri olan *mazı* (*Buxus sempervirens L.*) ve *şimşir*

(*Thuja plicata*) için iki farklı tür saksı boyutu seçilmiştir. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemi, binanın her bir cephesi için 5 mm kalınlığında çelik kafes üzerine belirli bir açı ile yerleştirilen 40 adet 2 litre kapasiteli plastik saksı ve her bir saksıya ulaşan damla sulama sisteminden oluşmaktadır. (Her bir yeşil duvar ünitesi için 8 yatay ve 5 dikey sıra). Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sisteminde ise, binanın her bir cephesi için 5 mm kalınlığında çelik kafes üzerine belirli bir açı ile yerleştirilen 40 adet 2 litre kapasiteli plastik saksı ve her bir saksıya ulaşan damla sulama sisteminden oluşmaktadır. (Her bir yeşil duvar ünitesi için 8 yatay ve 5 dikey sıra) (Şekil 3.11).



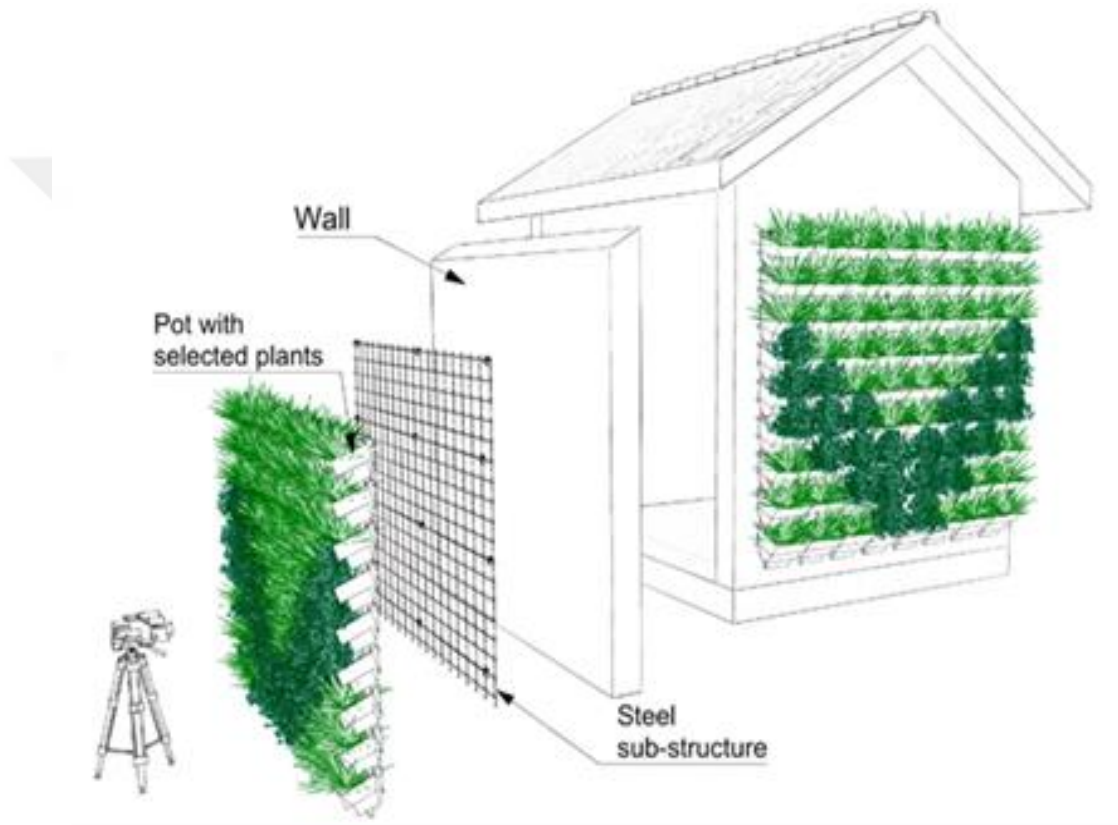
Şekil 3.11. Bitkilendirilmiş yeşil duvar sistemi

Hazırlanan yetiştirme ortamları saksılara dolduruldu ve yerel bir fidanlıktan köklenmiş fide boyutunda temin edilen *şimşir* (*Buxus sempervirens L.*) and *mazı* (*Thuja plicata*) bitkilerinin dikimi yapıldı. Bitkiler damla sulama sistemi ile çeşme suyu kullanılarak düzenli olarak sulandı.

3.6. Yeşil Duvar Bitki Alanının Hesaplanması

İmaj analizi bitkilerde tahribata yol açmaması ve hızlı olması nedeni ile bitki denemelerinin fizyolojik ve ekolojik etkilerinin incelenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yeşil duvar sistemleri gibi bitkiler üzerinde ölçüm

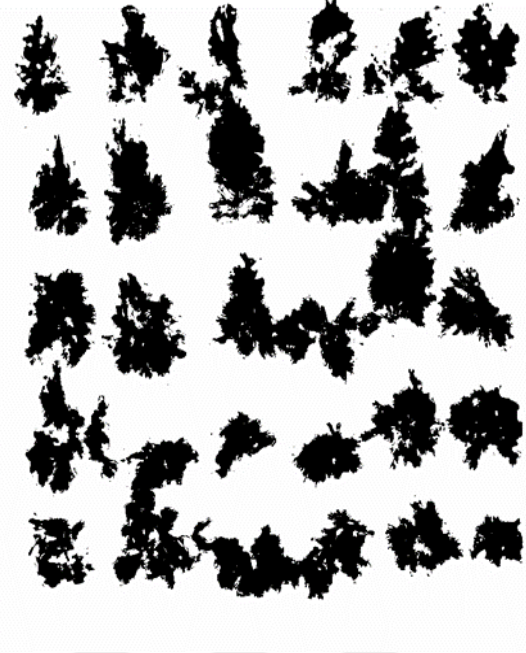
yapmanın zor olduğu ve bitkiler açısından riskler barındırdığı koşullar göz önüne alındığında özellikle bitki büyümesinin izlenmesinde imaj analizi kullanımının avantajları daha iyi anlaşılabilir. Bu çalışmada kullanılan farklı yetiştirme ortamlarının yeşil duvar bitkilerinin gelişimine olan etkilerini incelemek amacıyla imaj analizi yöntemi ile bitki alanı hesaplamaları yapılmıştır. İmaj analizi için bitkilerin yeşil duvar sistemine dikilmesinde (3.4.2023) ve yetiştirme dönemi sonunda (30.9.2023) dijital fotoğraflar alındı ve görüntüler imaj programı (NIH.v. 1.51 64-bit. Bethesda. MD. USA) kullanılarak analiz edildi (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yeşil duvar sistemi ve dijital görüntüleme



Mazı bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı



Mazı bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafının 8-bit. dönüşümü

Şekil 3.13. Mazı bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü



Mazı bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı

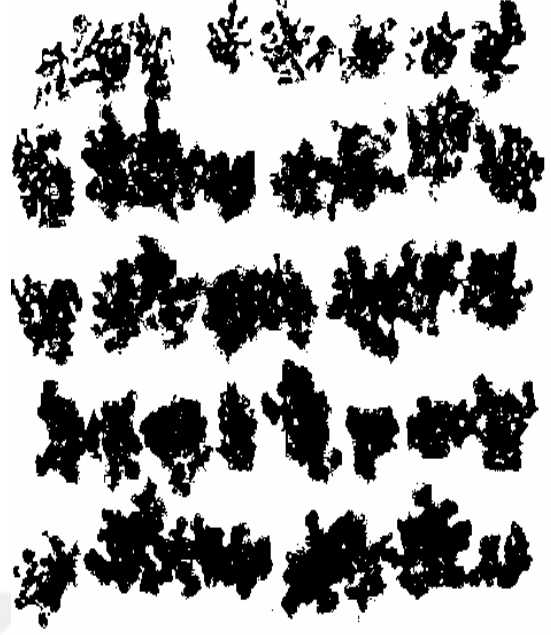


Mazı bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafının 8-bit. dönüşümü

Şekil 3.14. Mazı bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü



Şimşir bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı



Şimşir bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafının 8-bit. dönüşümü

Şekil 3.15. Şimşir bitkisinin nisan ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü



Şimşir bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı



Şimşir bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafının 8-bit. dönüşümü

Şekil 3.16. Şimşir bitkisinin eylül ayında alınmış dijital fotoğrafı ve dijital fotoğrafının 8-bit. Dönüşümü

Daha kesin sonuçlar alabilmek için imaj analizinden önce görüntülerdeki arka plan kalıntıları (background artifacts) temizlendi (Şekil 3.13., Şekil 3.14., Şekil 3.15., Şekil 3.16) Bilimsel çalışmalar için free olan İmageJ programı, bu alanda kullanılan en yaygın yazılımdır. Java tabanlı bir görüntü işleme programı olan imagej bitki alanını hesaplamak için eşik bazlı piksel sayısı ölçümü (threshold-based pixel count measurement) kullanır (Orsini ve ark, 2010; Warman ve ark, 2011; Juneau ve Tarasoff, 2012; Murphy ve ark, 2012; Schneider ve ark, 2012; Easlon ve ark, 2014).

3.7. Termal Ölçümlerin Yapılması

Yeşil duvar sistemlerinin ısı izolasyonuna etkilerinin belirlenmesi amacıyla, bitki büyümesinin takip edildiği nisan-eylül ayları arasında termal ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin alınabilmesi için yeşil duvar sisteminin kurulu olan ve üzerinde yeşil duvar sistemi bulunmayan model binaların içerisine duvarlardan eşit uzaklıkta olacak şekilde sıcaklık sensörleri (Center 309 digital K-type thermocouple thermometer / datalogger measuring range: -200 – 1375°C) yerleştirilmiştir. Sıcaklık sensörlerinin tamamı eş zamanlı olarak ölçüm almaktadır. Ölçüm anındaki dış ortam sıcaklığının belirlenmesi ise yeşil duvar sisteminden 20 cm uzaklıkta bulunan dijital termometre (TT-TECHNIC DT886 measuring range: -50 – 300 °C) ile gerçekleştirilmiştir. Tüm sıcaklık ölçümleri 06.00-21.00 arasında yapılmıştır.

Bunun yanında yeşil duvar sistemlerinin termal etkilerinin daha ayrıntılı olarak incelenebilmesi için model binaların termal kamera ile görüntülenmesi yapılmıştır (Optris PI 400 thermal camera/Germany) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Yeşil duvar sistemlerinin termal kamera ile görüntülenmesi

3.8. Ses Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi

Bitkiler kullanılarak ses izolasyonu sağlanması oldukça eski bir uygulamadır ve bu uygulamaların ilk ve en yaygın türleri otoban kenarlarına ve yüksek gürültü oluşturan endüstriyel tesislerin etrafına, ses bariyeri oluşturması için dikilen ağaçlardır. Günümüzde bu uygulamalara benzer şekilde bitkilerin sağladığı ses izolasyonunda yararlanılabilecek en verimli alan yeşil duvar sistemlerinin kullanılmasıdır. Yeşil duvar sistemleri gerek bina içi ses izolasyonuna gerekse cadde ve sokakların sessizleşmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bundan dolayı gerçekleştirilen çalışmada aşağıda ayrıntıları açıklandığı üzere ses ölçümleri gerçekleştirilerek ses izolasyonuna olan etkilerin açıklanmasına katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

Yapı elemanlarının (duvar, kaplama, izolasyon malzemesi, kapı, pencere vb.) ses yalıtım özelliklerinin belirlenmesinde UNE-EN ISO 10140-2 standartları kullanılır. Bu standarda göre kaynak ve alıcı odalardan oluşan iletim odaları oluşturulur (Azkorra ve ark, 2015; Jang ve ark, 2015). Kaynak odada bir ses sinyali üretilir ve her iki odadaki (üçüncü oktav bantlarındaki) ses seviyeleri ölçülür. Ses seviyeleri arasında oluşan farktan yapı elemanının frekansa bağlı ses azaltma indeksi (R) elde edilir. Bu çalışmada yeşil duvar sisteminin ses yalıtımına olan etkilerinin belirlenmesinde UNE-

EN ISO 10140-2 standardından yararlanılmış ve yeşil duvar sistemi kurulan ve çıplak model binalar ses odaları olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Yeşil duvar sistemlerinde gürültü ölçümü

Model binaların çevresindeki kaynaklardan farklı frekanslarda (125, 250, 500, 1000, 2000 Hz) üretilen ses üretilmiş ve model binaların içindeki ses basınç seviyeleri ölçülerek frekansa bağlı ses azaltma indeksi (R) hesaplanmıştır (Şekil 3.18). Yeşil duvar sistemlerinin kurulu olduğu model binalar ve çıplak model binanın iç yapıları özdeştir. Dolayısıyla binaların içinde yapılan ölçümler özdeş ses emilim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Bu durum Kullanılan dört özdeş kaynak model binanın her cephesine 100 cm mesafede ve zeminden 65 cm yüksekte konumlandırılmıştır. Model binaların içerisinde ki ses ölçümleri, binanın orta noktasından ve zeminden 30, 60 ve 90 cm olmak üzere üç farklı noktadan yapılmıştır. Farklı yetiştirme ortamları ve bitkilerle yapılan ölçümlerde hava sıcaklığı ve nem arasındaki farklılıklar ± 0.5 °C ve $\pm 1.0\%$ 'den azdır.

3.9. İstatistiksel Analizler

Çalışma kapsamında yapılan yetiştirme ortamının fiziksel ve kimyasal analizleri üç tekerrür halinde yapılmış ve sonuçların ortalaması sunulmuştur. Tüm sonuçlar bilgisayar yazılımı kullanılarak varyans LSD ve korelasyon testleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Günümüz mimari tasarımlarında kentsel alanların çevresel sürdürülebilirliğe ve yaşam kalitesini artırmaya katkı sağlamak için birçok yenilikçi yaklaşım ve teknoloji kullanılmaktadır. Binaların dış cephelerine dikey olarak yerleştirilen bitki örtüsüyle kaplanmış yapı elemanları olan yeşil duvar sistemleri bu yenilikçi teknolojiler arasında çarpıcı bir şekilde öne çıkmaktadır (Dede ve ark, 2021). Yeşil duvarlar, doğal yaşam alanlarının azaldığı modern şehirlerde önemli bir yeşil alan kaynağı olarak hizmet etmekte, şehirlerde yaşayan insanlara, binalara ve doğal ekosisteme önemli katkılar sunmaktadır. İlk olarak, bu yapılar karbondioksit Emilimini artırarak hava kalitesini iyileştirir ve atmosferdeki sera gazlarının seviyesini azaltır (Marchi ve ark, 2015). Ayrıca, yeşil duvarlar, kentsel ısı adalarını küçültme, havadaki partikülleri yakalama, biyoçeşitlilikte artış, bina içi sıcaklık değişimlerini dengeleme, ısı ve ses izolasyonu ve enerji tüketimini azaltma gibi önemli katkılar sunar (Cheng ve ark, 2010; Susca ve ark, 2011; Pan ve Chu, 2016; Mayrand ve Clergeau, 2018; Ysebaert ve ark, 2021; De Bock ve ark, 2023).

Van Renterghem ve ark. trafik gürültüsünün binalardaki etkilerinin yeşil duvar sistemleri ile azaltılmasını, 2D ve 3D tam dalga sayısal metodolojilerin birleştirilmesi yoluyla incelenmiştir. Yazarlar, çalışmalarının sonucunda, yeşil duvarların, akustik olarak sert cephe malzemelerine sahip dar şehir kanyonlarına uygulandığında en etkili ses izolasyonunu sağladığını ve binaların üst katlarında ve avlu içindeki cephelerde kullanılan yoğun bitki tabakasına sahip yeşil duvarların gürültü azaltımı sağlamak için en etkili sonuçları ürettiğini rapor etmişlerdir (Van Renterghem ve ark, 2013). Kontoleon ve Eumorfopoulou, geliştirdikleri bir simülasyon modeli ile yoğun yapraklı geniş bir bitki alanına sahip yeşil duvarın, güneş etkisini nötralize ederek binaların soğutma ihtiyacını etkili şekilde azaltabileceğini göstermişlerdir (Kontoleon ve Eumorfopoulou, 2010). Ayrıca Dede ve ark. daha önceki çalışmalarında, yeşil duvarlarda ki, bitkilerin sağladığı gölgelemenin yanı sıra, kullanılan bitki yetiştirme ortamlarının da ısı yalıtımında önemli bir rol oynadığı sonucuna varmıştır (Dede ve ark, 2021). Bununla birlikte, literatürdeki bir çok çalışmada yeşil duvar sistemlerinin

bu faydaları sağlama performansındaki kritik faktörün bitki alanı artışının optimize edilmesi olduğu rapor edilmektedir.

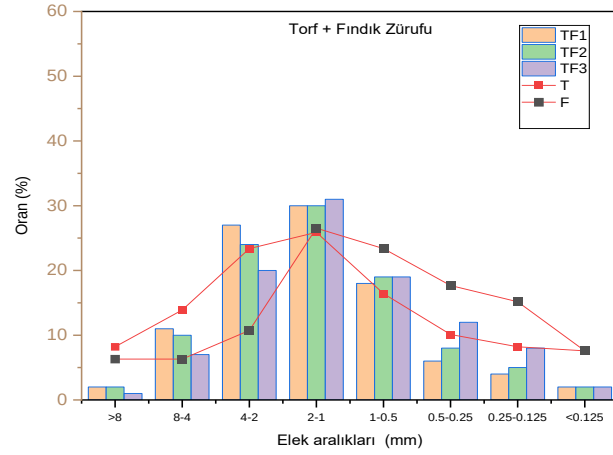
Bu sonuçlar, yeşil duvarların sağladığı faydaları optimize etmek ve sürdürülebilirliğini sağlamak için, bitki alanı artışı üzerindeki etkilerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak söz konusu yeşil duvarlar olduğunda bitki artışını gözlemlemek oldukça zordur. Yeşil duvarlardaki bitkiler, yapıları kaplayacak şekilde büyüdükçe, bitkilerin yaprakları veya dalları, bitki alanının tamamına ulaşmayı engelleyebilir. Yeşil duvar sistemleri genellikle yüksek yerlerde veya dar alanlarda kurulduğundan bitki artışını ölçmek için bu alanlara erişim sağlamak zor olabilir. Işık, nem, sıcaklık ve rüzgar gibi çevresel faktörlerde ilave zorluklar üretebilir. Ayrıca ölçümler sırasında yeşil duvar sistemlerindeki bitkilerin, bağlantı elemanlarının ve sulama sisteminin zarar görme olasılığı yüksektir. Oysaki görüntü analizi teknikleri yeşil duvarlardaki bitki artışının belirlenmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır (Chianucci ve ark, 2015). Bitki alanı artışının görüntü analizi gibi dolaylı görüntüleme teknikleri ile tahminine odaklanan çalışmalar, genellikle ormanlar, meyve bahçeleri gibi alanlarda gerçekleştirilmiştir (Peper ve McPherson, 2003). Yeşil duvarlar ise bu çalışmalar nadirdir ve genellikle yaprak alanı indeksini belirlemeye yöneliktir (Pérez ve ark, 2017; Convertino ve ark, 2022).

4.1. Yetiştirme Ortamlarının Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

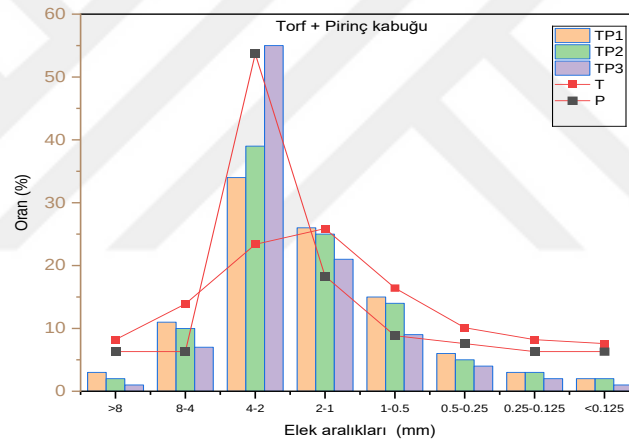
Yeşil duvar sistemlerinde kullanılan yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri bitki büyümesi ve dolayısı ile bitki alanı artışı açısından kritik öneme sahiptir. Bunun nedeni yetiştirme ortamının kimyasal özelliklerinin herhangi bitki büyüme periyodunda gübreleme ve kimyasal ilavesi ile değiştirilmesine karşılık fiziksel özelliklerin bitki dikiminden sonara değiştirilmesinin mümkün olmamasıdır (Dede ve Oztekin, 2018).

Yetiştirme ortamlarının partikül boyut dağılımları Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de sunulmuştur. Partikül boyut dağılımı başta su tutma kapasitesi olmak üzere yetiştirme ortamının bir çok fiziksel özelliğini doğrudan etkiler (Gruda ve Schnitzler, 2004). İdeal bitki büyümesinin sağlanması için yetiştirme ortamını oluşturan partiküllerin dengeli olarak dağılması ve 1 mm’den büyük partiküllerin oranının fazla olması istenir (Abad ve ark, 2005). Bununla birlikte yetiştirme ortamını oluşturan küçük partiküller (< 0.1 mm) porları doldurarak bitkilere için faydalı su

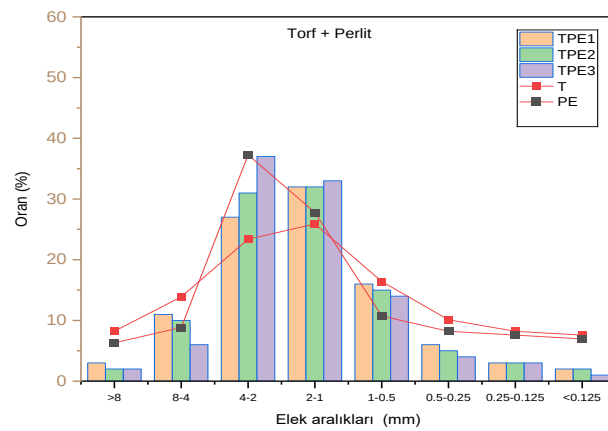
kapasitesini ve poroziteyi azaltırken 2 mm’den büyük partiküller ise poroziteyi artırıp su tutma kapasitesini azaltmaktadır (Spiers ve ark, 2000; Handreck ve ark, 1992).



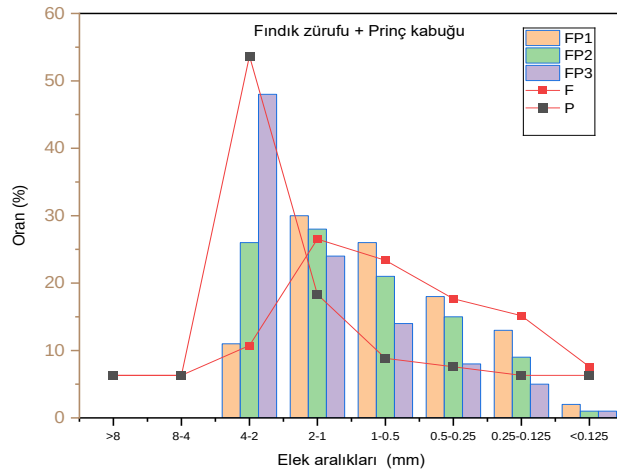
Şekil 4.1. Torf ve fındık zürufu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)



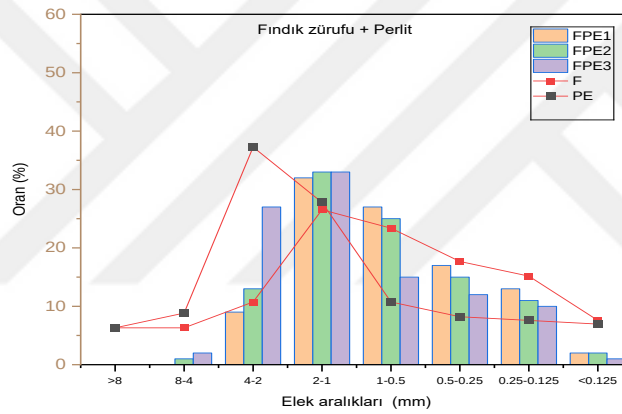
Şekil 4.2. Torf ve pirinç kabuğu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)



Şekil 4.3. Torf ve perlit karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)



Şekil 4.4. Fındık zürufu ve pirinç kabuğu karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)



Şekil 4.5. Fındık zürufu ve perlit karışımlarının partikül boyut dağılımları (%)

Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı bileşenlerinin 1 mm'den büyük taneciklerin oranı %66-98 arasında değişmektedir. Çalışmada ana yetiştirme ortamı olarak kullanılan torfun tanecik boyutu (%89) ise genellikle 1 mm'den büyüktür. Yine yetiştirme ortamı bileşeni olarak kullanılan fındık zürufunun 1 mm'den büyük taneciklerinin oranı ise %66'dır. 1 mm'den büyük taneciklerin en fazla olduğu yetiştirme ortamı bileşenleri ise pirinç kabuğu (%98) (Şekil 4.2; Şekil 4.4) ve perlittir (%96) (Şekil 4.3; Şekil 4.5). Bundan dolayı en yüksek oranda pirinç kabuğu ve perlit içeren yetiştirme ortamları olan TP3 (%93) ve TPE3 (%92) uygulamalarının 1 mm'den büyük tanecik oranı yüksektir. Ayrıca pirinç kabuğu içeren tüm uygulamalarda 2 mm'den büyük taneciklerin oranı fazladır. Pirinç kabuğu içeren diğer uygulamaların (TP2 ve TP3) 1 mm'den büyük tanecikleri oranları ise %90 ve %89 olarak bulunmuştur.

Torf ile hazırlanan diğer yetiştirme ortamları ise torf ve perlit karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamlarıdır. Bu karışımlardan hazırlanan yetiştirme ortamlarında 1 mm'den büyük taneciklerin oranı TPE1 uygulamasında %89, TPE2 uygulamasında %90 olarak saptanmıştır. Torf ve fındık zürufu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarının 1 mm'den büyük taneciklerin oranı (TF3, TF2, TF1) sırasıyla %78, %85 ve %89 olarak ölçülmüştür. Ayrıca torf ve fındık zürufu karışımlarının partikül boyut dağılımı ağırlıklı olarak 0.5 mm- 2 mm arasında bulunmuştur. Yetiştirme ortamı hazırlamak için kullanılan diğer ana bileşen ise fındık zürufudur. Fındık zürufu ve Pirinç kabuğu karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamlarında 2 mm'den büyük taneciklerin oranının yüksek olduğu görülmektedir. FP1 uygulamasında 1 mm'den büyük taneciklerin oranı %67 FP2 uygulamasında %75 ve FP3 uygulamasında %86 olarak bulunmuştur. Fındık zürufu ve perlit ile hazırlanan karışımlarda ise 1 mm'den büyük taneciklerin oranı en yüksek FPE3 uygulamasında saptanmıştır. FPE1 ve FPE2 karışımlarında ise 1 mm'den büyük taneciklerin oranı sırasıyla %68 ve %72 olarak bulunmuştur. Karışımlarda kullanılan fındık zürufu oranının artması, bu uygulamalarda ideal yetiştirme ortamlarında istenen partikül boyut dağılımına ulaşılmasını sağlamıştır.

Yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Yetiştirme ortamı bileşenleri arasında fındık zürufu (F) (0.28 g/cm^3) en yüksek hacim ağırlığına, pirinç kabuğunda (P) (0.11 g/cm^3) en düşük hacim ağırlığına sahiptir. Torf ve perlitin hacim ağırlıkları ise sırasıyla 0.21 g/cm^3 ve 0.15 g/cm^3 dir. Karışımlardaki pirinç kabuğu oranının artması hacim ağırlığını önemli ölçüde düşürmektedir. Pirinç kabuğu içeriği en yüksek oranda olan (%50) TP3, FP3 uygulamalarının hacim ağırlıkları 0.15 g/cm^3 ve 0.18 g/cm^3 dir. Torf ve Pirinç kabuğundan elde edilen diğer karışımların (TP1, TP2) hacim ağırlıkları sırası ile 0.18 g/cm^3 ve 0.20 g/cm^3 olarak saptanmıştır. Fındık zürufu ve Pirinç kabuğu karışımı ile elde edilen yetiştirme ortamlarının (FP1, FP2) hacim ağırlıkları ise sırası ile 0.24 g/cm^3 ve 0.26 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde perlit içeren yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları karışımlardaki perlit miktarının artması ile düşmektedir. Torf ve perlit kullanılarak elde edilen karışımların (TPE2, TPE1) hacim ağırlıkları sırasıyla 0.19 g/cm^3 ve 0.20 g/cm^3 olarak saptanmıştır. Fındık zürufu ve perlit karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamlarında (FPE1, FPE2) ise 0.26 g/cm^3 ve 0.27 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte süs bitkisi yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıklarının $<0.40 \text{ g/cm}^3$ olması istenmektedir (Abad ve ark,

2003). İncelenen tüm yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları ideal yetiştirme ortamları için istenilen sınır içerisinde (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Yetiştirme ortamlarının fiziksel özellikleri

Yetiştirme ortamları	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Porozite (%V/V)	Su tutma kapasitesi (mg/l)
T	0.21 efg*	86.04 fg	770.38 a
F	0.28 a	81.43 k	619.29 ef
P	0.11 k	93.32 b	114.88 j
PE	0.15 j	94.39 a	229.26 i
TF1	0.22 de	85.55 gh	763.50 ab
TF2	0.22 de	85.43 gh	736.37 b
TF3	0.23 d	84.81 hi	651.41 d
TP1	0.2 gh	87.00 e	743.88 ab
TP2	0.18 i	88.27 d	698.91 c
TP3	0.15 j	90.01 c	640.06 de
TPE1	0.2 fgh	86.53 ef	748.45 ab
TPE2	0.19 hi	88.09 d	704.99 c
TPE3	0.18 i	90.24 c	620.79 ef
FP1	0.26 b	82.41 j	616.33 ef
FP2	0.24 c	82.76 j	602.54 fg
FP3	0.18 i	86.00 fg	566.95 h
FPE1	0.27 b	82.4 j	619.53 ef
FPE2	0.26 bc	84.09 i	601.57 fg
FPE3	0.21 def	88.39 d	580.51 gh

*LSD, Farklı harfler istatistiksel farklılıkları gösterir (p <0.05)

Genellikle yetiştirme ortamlarının hacim ağırlıkları azaldıkça porozitesi artmaktadır. Ancak perlitin hacim ağırlığı pirinç kabuğundan düşük olmasına rağmen porozitesi (94.39 %V/V) yüksektir. Bu durum perlitin yüksek mikro boşluklu yapısından kaynaklanmaktadır (Dede ve ark, 2021). Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamı bileşenleri arasında fındık zürufu (81.43 %V/V) en düşük porozite (TP) değerlerine sahiptir. Bundan dolayı %87.5 fındık zürufu içeren FP1 (82.41 %V/V) ve FPE1 (82.4 %V/V) uygulamalarının porozitesi diğer uygulamalardan düşüktür. Yetiştirme ortamı uygulamalardaki perlit ve pirinç kabuğu oranının artması ise poroziteyi artırmaktadır. Yetiştirme ortamları arasında en yüksek porozite değerleri (90.24 %V/V) TPE3 (%50 torf + %50 perlit) ve (90.01 %V/V) ile TP3 (%50 torf + %50 pirinç kabuğu) uygulamalarında belirlenmiştir. Torf ve perlit karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamlarının TPE1 ve TPE2 (%87.5 torf + %12.5 perlit ve %75 torf + %25 perlit)

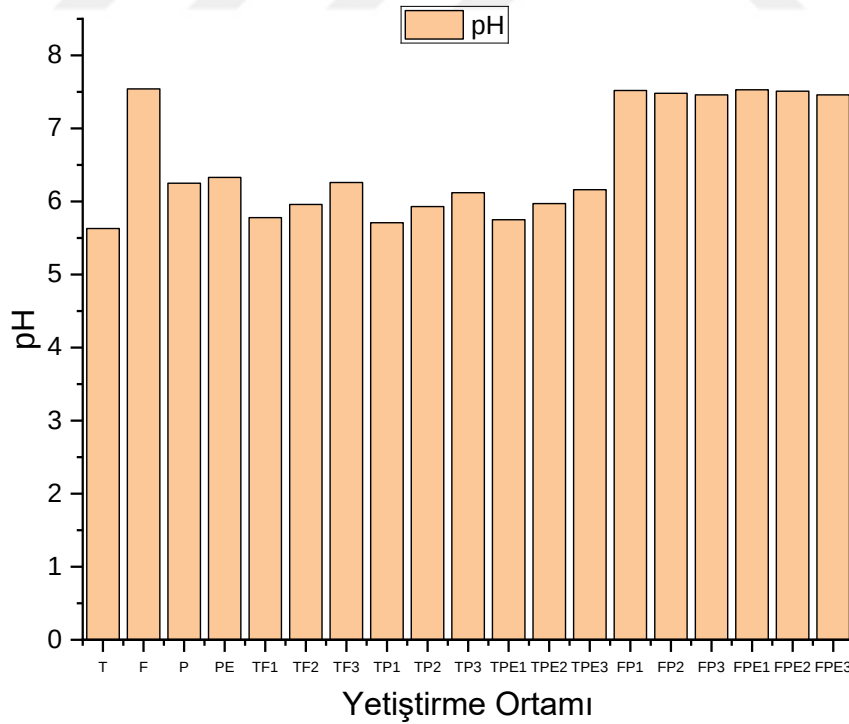
porozite değerleri sırasıyla 86.53 %V/V ve 88.09 %V/V olarak saptanmıştır. Torf ve Pirinç kabuğu karışımı ile oluşturulan diğer karışımlar TP1 ve TP2'nin (%87.5 torf+ %12.5 Pirinç kabuğu ve %75 torf + %25 Pirinç kabuğu) porozite değerleri de sırasıyla 87.00 %V/V ve 88.27 %V/V olarak bulunmuştur. Torf ve fındık zürufu karışımları kullanılarak elde edilen yetiştirme ortamlarının (TF1, TF2 ve TF3) poroziteleri sırasıyla 85.55 %V/V, 85.43 %V/V ve 84.81 %V/V olarak bulunmuştur. Fındık zürufu ve Pirinç kabuğu karışımından elde edilen diğer yetiştirme ortamlarının (FP2 ve FP3) poroziteleri sırasıyla 82.76 %V/V ve 86.00 %V/V olarak belirlenmiştir. Fındık zürufu ve perlit karışımından elde edilen yetiştirme ortamlarından olan FPE2 ve FPE3 (%75 fındık zürufu + %25 Pirinç kabuğu ve %50 fındık zürufu + %50 Pirinç kabuğu) karışımlarının poroziteleri sırasıyla 84.09 %V/V ve 88.39 %V/V olarak saptanmıştır. Bununla birlikte incelenen tüm yetiştirme ortamlarının porozite değerleri (Tablo 4.1) ideal yetiştirme ortamları için istenen (>80 %V/V) değerdedir (Abad ve ark, 2003; Dede ve Oztekin, 2018). Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan yetiştirme ortamlarının hafif olması, uygulandıkları binaya getirdiği toplam ağırlığı dışürmesi ve daha dengeli olması açısından önemlidir (Graceson ve ark, 2014). Bundan dolayı özellikle perlit ve pirinç kabuğu kullanılarak hazırlanan dışük hacim ağırlığı ve yüksek poroziteye sahip yetiştirme ortamlarının, ideal bitki büyümesini sağlamasının yanında, yeşil duvar sisteminin hafifletilmesine sağlayacağı katkı dikkat çekici bulunmuştur.

Yetiştirme ortamı bileşenlerinden torf (770.38 mg/l) ve fındık zürufunun (619.29 mg/l) su tutma kapasiteleri, pirinç kabuğu (114.88 mg/l) ve perlite (229.26 mg/l) göre oldukça yüksek bulunmuştur (Tablo 4.1). %50 Fındık zürufu ve %50 pirinç kabuğu içeren FP3 (566.95 mg/l) ve %50 fındık zürufu ve %50 perlit içeren FPE3 (580.51 mg/l) uygulamalarının su tutma kapasiteleri ideal yetiştirme ortamları için istenen değer aralığından (800-1000 mg/l) dışüktür (Abad ve ark, 2003). Diğer yetiştirme ortamı uygulamalarının su tutma kapasiteleri ise limit değer aralığındadır. Torf ve fındık zürufundan oluşan yetiştirme ortamı karışımlarının (TF1, TF2 ve TF3) su tuma kapasiteleri sırasıyla 763.50 mg/l, 736.37 mg/l ve 561.41 mg/l olarak saptanmıştır. Torf ve Pirinç kabuğu karışımlarından hazırlanan yetiştirme ortamlarının su tuma kapasiteleri ise %50 torf içeren TP3 yetiştirme ortamında 640.06 mg/l, %75 torf içeren yetiştirme ortamında 698.91 mg/l ve %87.5 torf içeren yetiştirme ortamında 743.88 mg/l olarak saptanmıştır. Yine torf içeren karışımlardan hazırlanan bir diğer yetiştirme

ortamları olan torf-perlit karışımlarının (TPE1, TPE2 ve TPE3) su tutma kapasiteleri sırasıyla 748.45 mg/l, 704.99 mg/l ve 620.79 mg/l, olarak bulunmuştur. Yetiştirme ortamı karışımlarında yüksek poroziteye sahip pirinç kabuğu ve perlit miktarının artması, su tutma kapasitelerini düşürmüştür. Bununla birlikte her ne kadar su tutma kapasitesi porozite ile doğrudan alakalı olsa da surface ve internal karakteristiklerindeki farklılıklarda su tutma kapasitesi üzerinde etkilidir (Fornes ve ark, 2003). Bundan dolayı çok fazla mikro por barındıran perlit porozitesi pirinç kabuğundan yüksek olmasına daha fazla su tutabilmektedir. Yeşil duvar sistemlerinde sulama genellikle otomatik sulama sistemleri ve damla sulama yöntemi kullanılarak yapılır. Buna rağmen özellikle sıcak iklim koşullarında kurulacak yeşil duvarlar için su tutma kapasitesi yüksek yetiştirme ortamları, sulama sisteminin fazla çalışmasını önlediğinden işletme maliyetlerini azaltmaktadır (Dede ve ark, 2011).

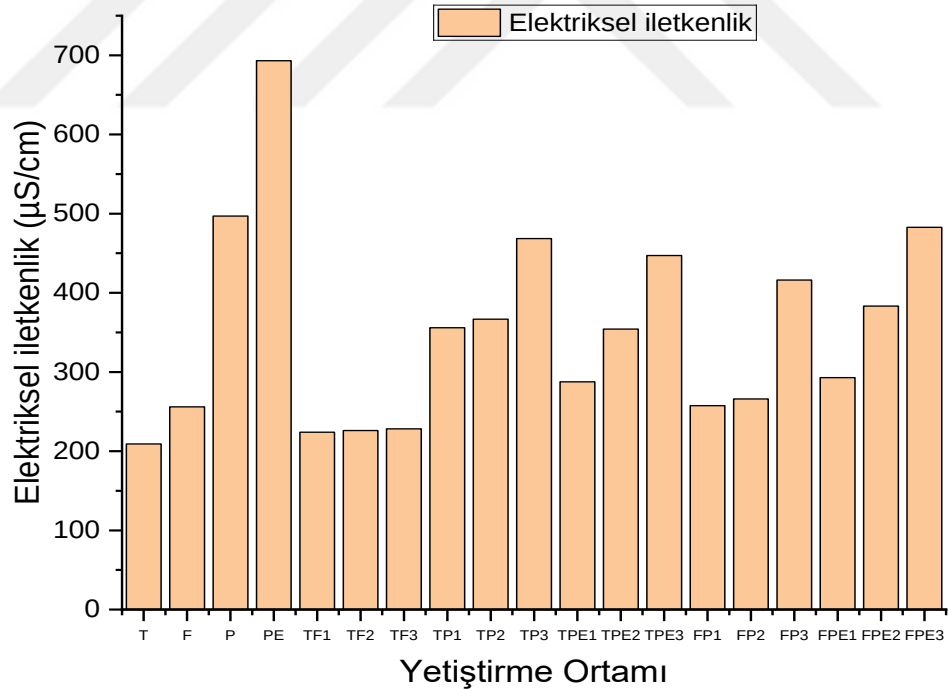
4.2. Yetiştirme Ortamlarının Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Yetiştirme ortamlarının bazı kimyasal özellikleri Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sunulmuştur. İdeal süs bitkisi yetiştirme ortamlarında pH 5.2-6.3, elektriksel iletkenlik (EC) 750-3490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve organik madde >85 olması istenir (Dede ve Oztekin, 2018).



Şekil 4.6. Yetiştirme ortamlarının pH değerleri

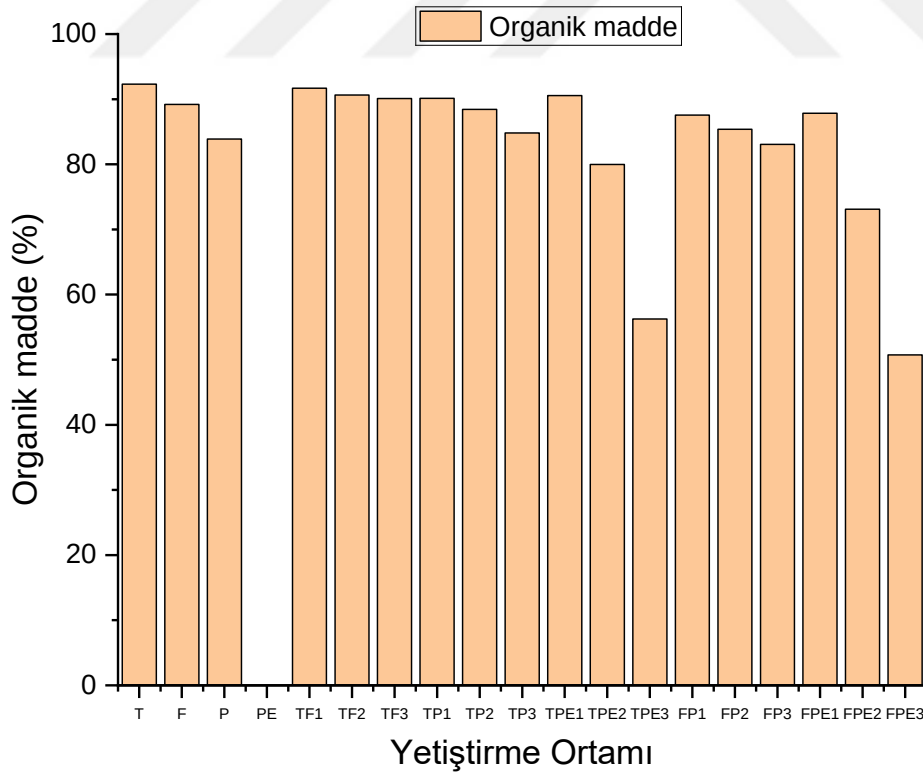
Yetiştirme ortamlarını oluşturan temel materyallerden torf, fındık zürufu, pirinç kabuğu ve perlitin pH değerleri sırasıyla 5.63, 7.54, 6.25 ve 6.33 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.6). Temel materyallerden oluşturulan yetiştirme ortamlarından olan torf ve fındık zürufu karışımları ile elde edilmiş karışımların pH değerleri (TF1, TF2 ve TF3) 5.78, 5.96 ve 6.26 olarak saptanmıştır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan diğer yetiştirme ortamlarından olan torf ve pirinç kabuğu karışımlarının pH değerleri TP1 karışımı için 5.71, TP2 karışımı için 5.93 ve TP3 karışımı için 5.12 olarak ölçülmüştür. Torf ve perlit ihtiva eden yetiştirme ortamları TPE1, TPE2 ve TPE3 karışımlarının pH değerleri sırasıyla 5.75, 5.97 ve 6.16 olarak saptanmıştır. Fındık zürufu ve pirinç kabuğu kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarının (FP1, FP2 ve FP3) pH değerleri 7.52, 7.48 ve 7.46 olarak bulunmuştur. Fındık zürufu ve perlit içeren yetiştirme ortamı karışımlarında ise FPE1, FPE2, FPE3'ün pH değerleri sırasıyla 7.53, 7.51 ve 7.46 olarak ölçülmüştür. Yetiştirme ortamı temel materyellerinin pH değerlerinin süs bitkileri için istenen değer aralığında olması, karışımların pH değerlerinde ideal değerlerde olmasını sağlamıştır.



Şekil 4.7. Yetiştirme ortamlarının elektriksel iletkenlik değerleri

Tüm yetiştirme ortamlarında ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri ideal yetiştirme ortamı için istenen değerlerden düşüktür. Yetiştirme ortamı temel bileşenlerinin elektriksel iletkenlik değerleri torf (209.03 µS/cm), fındık zürufu (256.09 µS/cm),

Pirinç kabuğu (496.96 $\mu\text{S/cm}$) ve perlit (693.24 $\mu\text{S/cm}$) şekil 4.7’de verilmiştir. Hazırlanan yetiştirme ortamlarından olan torf-fındık zürufu karışımlarının (TF1, TF2 ve TF3) elektriksel iletkenlikleri 223.9 $\mu\text{S/cm}$, 226.1 $\mu\text{S/cm}$ ve 228.24 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Torf ve Pirinç kabuğu içeren karışımların elektriksel iletkenlik değerleri (TP1, TP2 ve TP3) ise sırasıyla 355.84 $\mu\text{S/cm}$, 366.72 $\mu\text{S/cm}$ ve 468.63 $\mu\text{S/cm}$ olarak bulunmuştur. Torf ve perlit kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarında ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri TPE1:287.51 $\mu\text{S/cm}$, TPE2:354.14 $\mu\text{S/cm}$ ve TPE3:447.16 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. Fındık zürufu ve Pirinç kabuğu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarında (FP1, FP2 ve FP3) ise elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 257.48 $\mu\text{S/cm}$, 265.99 $\mu\text{S/cm}$ ve 416.14 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Fındık zürufu ve perlit karıştırılarak oluşturulan yetiştirme ortamlarında (FPE1, FPE2 ve FPE3) da elektriksel iletkenlik 292.99 $\mu\text{S/cm}$, 383.37 $\mu\text{S/cm}$ ve 482.78 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte yeşil duvarlarda uzun dönem sulama yapılması, kuruyan yaprak ve dalların saksı içerisinde ayrışması gibi EC değerini artırıcı durumlardan dolayı yetiştirme ortamlarında ölçülen düşük EC değerleri bir avantaj olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. Yetiştirme ortamlarının organik madde değerleri

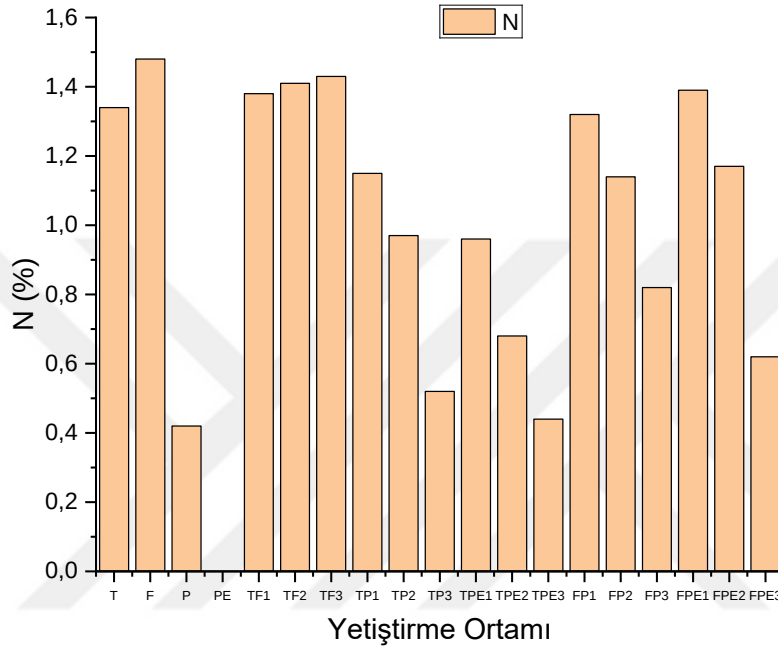
Torf (%92.31) ve fındık zürufunun (%89.2) organik maddesi süs bitkileri için istenen ideal değerde, pirinç kabuğunun (%83.87) organik maddesi ise ideal değer aralığının alt sınırına yakın bulunmuştur. Ancak inorganik yetiştirme ortamı olan perlitin kullanıldığı tüm yetiştirme ortamı uygulamalarında, karışımdaki perlit miktarının artması organik madde miktarını düşürmüştür. Yetiştirme ortamları arasında en düşük organik madde içeriği FPE3 (%50.74) uygulamasında belirlenmiştir. Torf ve fındık zürufu karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamları (TF1, TF2 ve TF3) organik madde içeriği bakımından diğer hazırlanan tüm yetiştirme ortamları içerisinde en yüksek değerlere sahiptir. (%91.69, %90.64 ve %90.09). Torf ve Pirinç kabuğu içeren yetiştirme ortamlarında (TP1, TP2 ve TP3) ise organik madde değerleri sırasıyla %90.13, %88.44 ve %84.81 olarak ölçülmüştür. Torf ve perlit kullanılan yetiştirme ortamlarında ise karışımda perlit oranı arttıkça organik madde oranının düştüğü gözlemlenmiştir. Karışımdaki perlit oranı %12.5 iken organik madde oranı %90.563 olarak ölçülürken perlit oranı 50%'ye çıktığında organik maddenin %56.25' ye düştüğü gözlemlenmektedir. Fındık zürufu ve Pirinç kabuğu karışımlarından oluşturulan yetiştirme ortamlarında ise (FP1, FP2 ve FP3) organik madde değerleri sırasıyla %87.56, %85.38 ve %83.07 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8).

4.3. Yetiştirme Ortamlarının Bitki Besin Elementi İçeriğinin İncelenmesi

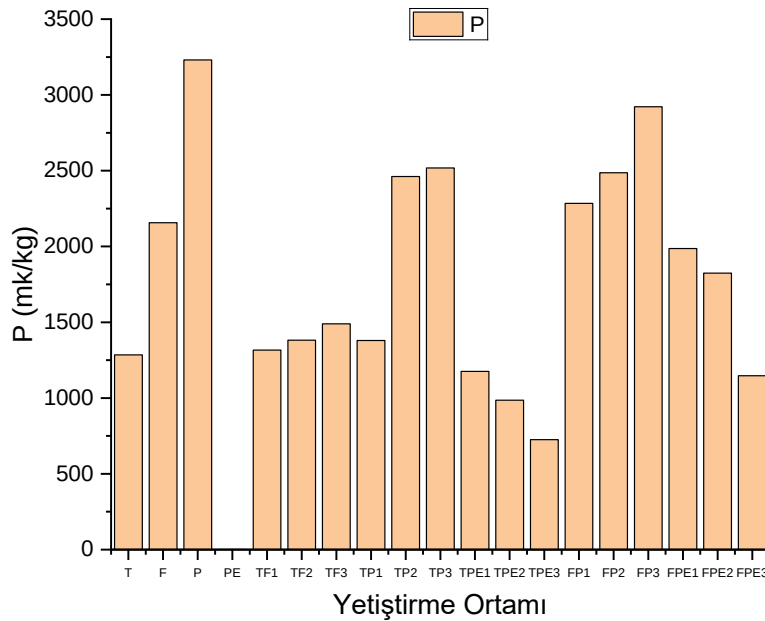
Yetiştirme ortamlarının yeşil duvar sistemindeki bitkilerin gelişimine olan etkilerini daha ayrıntılı olarak incelemek amacıyla farklı yetiştirme ortamlarının makro ve mikro bitki besin elementi içerikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve tablo 4.2'de sunulmuştur. Bitki gelişimi için en önemli besin elementleri olan azot ve potasyum da en yüksek değerler fındık zürufunda (N:%1.48; K:2442.67 mg/kg), fosfor da ise pirinç kabuğunda (P:3231.26 mg/kg) bulunmuştur. Bundan dolayı fındık zürufu ve prinç kabuğu karışımlarından elde edilen yetiştirme ortamlarında bu önemli besin elementleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bitki besin elementlerine azot özelinde bakıldığında hazırlanan yetiştirme ortamlarında en yüksek değer %50 torf ve %50 fındık zürufu karışımında ölçülmüştür. (N: %1.43) (Şekil 4.9).

Diğer torf ve fındık zürufu karışımlarının (TF1, TF2) azot değerlerinde bu değere yakın olduğu gözlemlenmiştir (N:%1.38, N:%1.41). Karışımların potasyum değerleri incelendiğinde ise en yüksek değere fındık zürufu ve prinç kabuğundan elde edilen yetiştirme ortamında (FP1) rastlanılmaktadır (K: 2426.26 mg/kg). Fındık zürufu ve

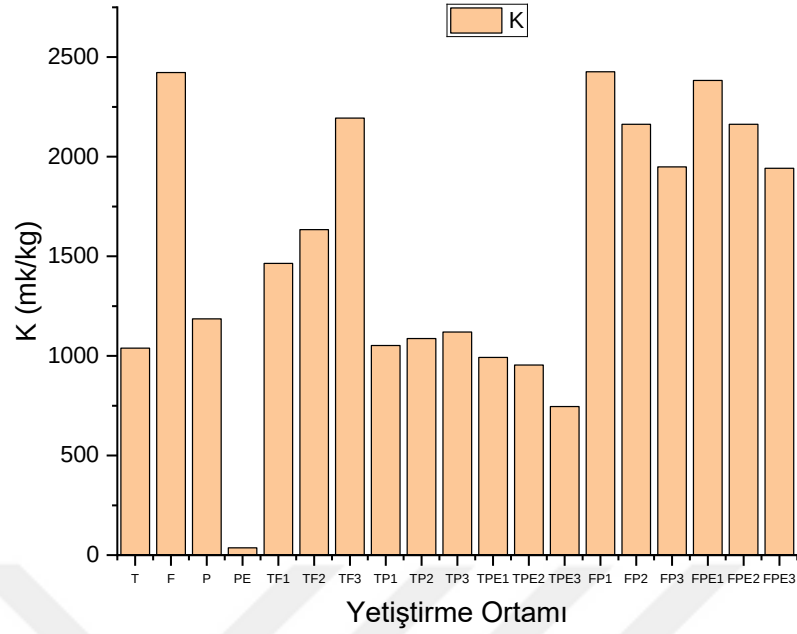
perlit karışımından elde edilen karışımlardan olan FPE1’de de yüksek değerde potasyum ölçülmüştür (K:2382.56 mg/kg). Bir diğer önemli bitki besin elementi olan fosfor değerleri incelendiğinde ise en yüksek değer (P:2921.58 mg/kg) %50 torf ve %50 prinç kabuğundan oluşan yetiştirme ortamında ölçüldüğü görülmüştür (Şekil 4.10). Torf ve prinç kabuğundan hazırlanan diğer iki yetiştirme ortamlarında da yüksek değerler (P:2284.46 mg/kg, P: 2486.62 mg/kg) ölçülmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Yetiştirme ortamlarının azot içeriği



Şekil 4.10. Yetiştirme ortamlarının fosfor içeriği



Şekil 4.11. Yetiştirme ortamlarının potasyum içeriği

Torf Ca (2587.28 mg/kg) ve Fe (192.39 mg/kg), pirinç kabuğu Mg (1183.74 mg/kg) ve fındık zürufu ise Cu (5.87 mg/kg) ve Zn (36.35 mg/kg) de en yüksek değerlere sahiptir. İnorganik yetiştirme ortamı bileşeni olan perlitin ise makro ve micro besin elementi içeriği oldukça düşük bulunmuştur (Tablo 4.2). Genel olarak torf-fındık ve torf-pirinç kabuğu karışımlarında, karışımdaki fındık zürufu ve pirinç kabuğu oranının artması ile yetiştirme ortamının bitki besin elementi içeriği artmıştır. Bu durumun tersi olarak torf-perlit ve fındık zürufu-perlit karışımlarında ise karışımlardaki perlit oranının artması yetiştirme ortamının bitki besin elementi içeriği azalmıştır. Kalsiyum (Ca) bakımından en zengin yetiştirme ortamı %87.5 torf ve %12.5 prinç kabuğu karışımı olduğu saptanmıştır (2491.89 mg/kg). Magnezyum (Mg) değerleri kıyaslandığında ise en yüksek değer 50% fındık zürufu ve %50 prinç kabuğu karışımından elde edilen yetiştirme ortamında elde edildiği görülmüştür (1318.47 mg/kg). %87.5 torf ile %12.5 fındık zürufu (TF1) ve %87.5 torf ile %12.5 perlit karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları (TPE1) demir içeriği açısından en yüksek değerlere sahiptirler (Fe: 190.48 mg/kg, Fe: 191.01 mg/kg). Torf ve fındık zürufu karışımlarından elde edilen TF3 yetiştirme ortamında en yüksek bakır değeri ölçülmüştür (5.81 mg/kg). Fındık zürufu ve prinç kabuğundan oluşan yetiştirme ortamı FP1’de yetiştirme ortamı karışımları içerisinde en yüksek çinko değeri ölçülmüştür.

Hızlı bitki büyümesi yeşil duvar sisteminin görüntüsünü bozacağı ve budama gibi ilave işlemler gerektireceği için konvansiyonel bitki yetiştiriciliğinde olduğu gibi maksimum bitki büyümesi hedefi ile yapılmaz (Abad ve ark, 2003; Dede ve ark, 2011). Ayrıca ihtiyaç duyulan bitki besin elementleri gübreleme programı ile kolayca sağlanabilir. Bundan dolayı yeşil duvar sistemlerinde kullanılan yetiştirme ortamlarının temel görevi bitki besin elementi sağlamak değil, bitki için gerekli suyu bünyesinde bulundurmak ve bitki köklerini tutarak bitkiyi desteklemektir.

Tablo 4.2. Yetiştirme ortamlarının makro ve mikro bitki besin elementi içerikleri

Yetiştirme ortamı	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
T	2587.28 a	1183.74 j	192.39 a	5.34 e	28.38 de
F	1432 n	1262.22 e	134.25 i	5.87 a	36.35 a
P	1674 j	1346.06 a	168.2 e	1.80 m	8.44 j
PE	108.3 s	42.53 p	1.62 m	0.11 n	0.19 k
TF1	2183.94 f	1206.36 hi	190.48 ab	5.73 c	32.02 c
TF2	1992.23 h	1212.07 gh	185.91 bc	5.75 c	33.55 bc
TF3	1787.7 i	1220.92 g	152.93 g	5.81 abc	37.06 a
TP1	2491.89 b	1197.87 i	161.73 f	5.16 f	24.09 g
TP2	2245.72 d	1246.16 f	164.04 ef	2.91 k	15.21 i
TP3	2037.95 g	1289.39 c	176.61 d	2.76 l	13.33 i
TPE1	2425.5 c	1150.38 k	191.01 ab	5.35 e	27.43 ef
TPE2	2218.84 e	983.78 m	182.48 cd	5.28 e	26.12 f
TPE3	1482.24 m	821.93 o	113.12 k	4.05 i	19.07 h
FP1	1484.67 m	1278.43 d	142.16 h	5.83 ab	35.13 ab
FP2	1504.65 l	1296.18 c	148.64 g	4.95 g	28.53 de
FP3	1544.77 k	1318.47 b	159.42 f	3.64 j	20.25 h
FPE1	1356.15 o	1203.31 hi	128.58 ij	5.78 bc	32.63 c
FPE2	1173.82 p	1092.05 l	122.72 j	5.53 d	29.69 d
FPE3	895.36r	872.18 n	96.55 l	4.24 h	23.61 g

*LSD, Farklı harfler istatistiksel farklılıkları gösterir (p <0.05)

4.4. Yeşil Duvar Bitki Alanı Artışının Dolaylı İzleme Tekniği İle İncelenmesi

Yapılan çalışmalarda yeşil duvarlarda kullanılan bitkilerin ısı ve ses izolasyonlarına olan etkilerini daha ayrıntılı olarak incelemesi amacı ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak aylık bitki alanı hesaplamaları yapılmıştır.

4.4.1. Mazı bitkisi (*Thuja plicata*) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları

Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan mazı bitkisi (*Thuja plicata*) için yapılan bitki alanı hesaplamaları sonuçları Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Mazı bitkisi (*Thuja plicata*) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları

Yetiştirme ortamı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
T	0.334	0.369	0.524	0.822	0.926	0.966
F	0.338	0.357	0.51	0.741	0.862	0.926
TF1	0.327	0.368	0.512	0.815	0.922	0.962
TF2	0.335	0.362	0.511	0.784	0.895	0.954
TF3	0.341	0.359	0.493	0.761	0.888	0.932
TP1	0.338	0.362	0.496	0.786	0.912	0.954
TP2	0.329	0.357	0.489	0.759	0.862	0.895
TP3	0.325	0.355	0.435	0.587	0.674	0.721
TPE1	0.338	0.364	0.495	0.805	0.91	0.953
TPE2	0.339	0.364	0.462	0.795	0.908	0.949
TPE3	0.336	0.362	0.448	0.772	0.879	0.928
FP1	0.345	0.365	0.448	0.572	0.706	0.742
FP2	0.342	0.358	0.426	0.545	0.661	0.687
FP3	0.343	0.356	0.385	0.519	0.582	0.612
FPE1	0.338	0.356	0.415	0.693	0.776	0.814
FPE2	0.333	0.36	0.406	0.672	0.746	0.793
FPE3	0.339	0.358	0.384	0.643	0.718	0.764

Mazı bitkisi için nisan ayında yapılan bitki alanı ölçümleri incelendiğinde, yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvar uygulamasında bitki alanı 0.334 m^2 olarak hesaplanmıştır. Yetiştirme ortamı olarak %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamasında ise bu değer 0.338 m^2 dir (Tablo 4.3). Yetiştirme ortamı olarak torf ve fındık zürufu karışımları kullanılan (TF1, TF2, TF3) yeşil duvarların bitki alanları sırasıyla 0.327 m^2 , 0.335 m^2 ve 0.341 m^2 olarak hesaplanmıştır. Torf ve pirinç kabuğu karışımlarından hazırlanan yetiştirme ortamlarının kullanılması sonucunda yeşil duvarlarda elde edilen en yüksek nisan ayı bitki alanı değeri 0.338 m^2 (TP1) olarak bulunmuştur. Torf ve perlit kullanılan yeşil duvarlarda ise en yüksek bitki alanı değeri 0.339 m^2 (TPE2) olarak hesaplanmıştır. Fındık zürufu kullanılan yeşil duvarlarda ise en yüksek bitki alanları 0.345 m^2 (FP1) ve 0.339 m^2 (FPE3) olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

Mayıs ayı bitki alanı ölçümlerinde %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvarlarda elde edilen bitki alanı sonuçları sırasıyla 0.369 m^2 ve 0.357 m^2 dir. Çalışma kapsamında hazırlanan yetiştirme ortamı karışımlarının kullanıldığı yeşil duvar sistemlerinde yapılan bitki alanı hesaplamalarında ise, her bir karışımın kendi içerisinde hesaplanan en yüksek sonuçları TF1: 0.368 m^2 , TP1: 0.362 m^2 , TPE1: 0.364 m^2 , FP1: 0.365 m^2 ve FPE2: 0.36 m^2 şeklindedir (Tablo 4.3).

Mazı bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında haziran ayında yapılan bitki alanı ölçümlerinde %100 torf ve %100 findık zürufu kullanılan uygulamalarda bitki alanları sırasıyla 0.524 m² ve 0.51 m² olarak bulunmuştur. Torf ve findık zürufu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları (TF1, TF2, TF3) kullanıldığında ise bitki alanı değerleri sırasıyla 0.512 m², 0.511 m² ve 0.493 m² olarak hesaplanmıştır. Torf ile prinç kabuğu ve perlit karışımlarının kullanıldığı uygulamalarda yapılan ölçümlerde kendi içerisinde en yüksek iki değer 0.496 m² (TP1) ve 0.495 m² (TPE1) olarak bulunmuştur. (Tablo 4.3).

Temmuz ayında bir önceki aya göre mazı bitki alanlarında önemli derecede artış gözlemlenmiştir. %100 torf kullanılan uygulamada 0.822 m² ve %100 findık zürufu kullanılan uygulamada ise 0.741 m² bitki alanı ölçülmüştür. Karışımların kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında her bir karışımın kendi içerisinde en yüksek bitki alanı değerleri TF1: 0.815 m² TP1: 0.786 m², TPE1: 0.805 m², FP1: 0.572 m² ve FPE1: 0.415 m² olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Mazı bitkisi ağustos ayı bitki alanları ölçümlerinde en yüksek bitki alanı %100 torf uygulamasında kaydedilmiştir (0.926 m²). Torf ve findık zürufu (TF1, TF2, TF3) kullanılan uygulamalarda bitki alanı değerleri sırasıyla 0.922 m², 0.895 m² ve 0.888 m² olarak ölçülmüştür. Diğer uygulamalarda hesaplanan en yüksek bitki alanı değerleri 0.912 m² (TP1), 0.91 m² (TPE1), 0.706 m² (FP1) ve 0.776 m² (FPE1) olarak kaydedilmiştir. (Tablo 4.3).

Eylül ayında alınan dijital görüntülerin görüntü işleme programı ile analiz edilmesi sonucunda ise yetiştirme ortamı olarak % torf ve % findık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamalarında mazı bitkisi alanı 0.966 m² ve 0.926 m² olarak kaydedilmiştir. Torf ve findık zürufu karışımlarından hazırlanan yetiştirme ortamlarının kullanıldığı (PH1, PH2, PH3) uygulamalarda bitki alanı değerleri sırasıyla 0.962 m², 0.954 m² ve 0.932 m² olarak ölçülmüştür. Diğer uygulamalarda ölçülen en yüksek bitki alanı değerleri 0.954 m² (TP1), 0.953 m² (TPE1), 0.742 m² (FP1) ve 0.814 m² (FPE1) dir (Tablo 4.3).

4.4.2. Şimşir bitkisi (*Buxus sempervirens* L.) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları

Yeşil duvar uygulamalarında kullanılan şimşir bitkisi (*Buxus sempervirens* L.) için yapılan bitki alanı hesaplamaları sonuçları Tablo 4.4’de sunulmuştur.

Tablo 4.4. Şimşir bitkisi (*Buxus sempervirens* L.) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin bitki alanları

Yetiştirme ortamı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
T	0.428	0.442	0.504	0.541	0.568	0.614
F	0.426	0.438	0.492	0.522	0.541	0.572
TF1	0.412	0.425	0.492	0.529	0.552	0.594
TF2	0.425	0.438	0.489	0.525	0.546	0.588
TF3	0.419	0.431	0.482	0.509	0.525	0.562
TP1	0.438	0.449	0.487	0.502	0.522	0.563
TP2	0.432	0.443	0.485	0.496	0.512	0.554
TP3	0.434	0.443	0.486	0.497	0.51	0.548
TPE1	0.418	0.432	0.492	0.512	0.533	0.586
TPE2	0.425	0.438	0.49	0.506	0.525	0.569
TPE3	0.421	0.433	0.485	0.498	0.512	0.552
FP1	0.418	0.429	0.474	0.492	0.51	0.553
FP2	0.422	0.433	0.476	0.49	0.505	0.544
FP3	0.421	0.429	0.465	0.478	0.489	0.521
FPE1	0.436	0.449	0.489	0.507	0.525	0.569
FPE2	0.433	0.445	0.485	0.502	0.52	0.552
FPE3	0.438	0.448	0.482	0.496	0.508	0.534

Şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında nisan ayı bitki alanı ölçümlerinde yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamalarında bitki alanı 0.428m² ve 0.426 m² olarak hesaplanmıştır. Nisan ayında yapılan bitki alanı ölçümlerinde en yüksek bitki alanları 0.438 m² (TP1) ve 0.438 m² (TPE3) bulunmuştur (Tablo 4.4).

Mayıs ayı şimşir bitki alanı ölçümlerinde ise yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamalarında yapılan bitki alanı ölçümlerinde 0.442 m² ve 0.438 m² sonuçları elde edilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve fındık zürufu karışımlarının kullanıldığı uygulamalarda (TF1, TF2, TF3) yeşil duvarbitki alanları sırasıyla 0.425 m², 0.438 m² ve 0.431 m² olarak hesaplanmıştır. Torf ve pirinç kabuğu karışımlarında ise bitki alanının en yüksek değeri 0.449 m² (TP1) dir. Torf ve perlit kullanılan yeşil duvarlarda ise en yüksek bitki alanı değeri 0.438 m² (TPE2) olarak hesaplanmıştır. Fındık zürufu kullanılan yeşil duvarların ise en yüksek bitki alanları 0.433 m² (FP2) ve 0.449 m² (FPE1) olarak ölçülmüştür (Tablo 4.4).

Şimşir bitkisi için yapılan haziran ayı bitki alanı ölçümlerinde %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan uygulamalarda bitki alanları sırasıyla 0.504 m² ve 0.492 m² olarak bulunmuştur. Torf ve fındık zürufu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları

(TF1, TF2, TF3) kullanılan yeşil duvarlarda yapılan ölçümlerde, bitki alanı değerleri sırasıyla 0.492 m², 0.489 m² ve 0.482 m² olarak tespit edilmiştir. Torf ile prinç kabuğu ve perlit karışımlarının kullanıldığı uygulamalarda en yüksek iki değer 0.487 m² (TP1) ve 0.492 m² (TPE1) olarak bulunmuştur. Fındık zürufu ile prinç kabuğu ve perlit karışımlarından oluşan yeşil duvarlarda ise en yüksek bitki alanı değerleri 0.476 m² (FP2) ve 0.489 m² (FPE1) dir (Tablo 4.4).

Temmuz ayında bir önceki aya göre şimşir bitki alanlarında önemli derecede artış gözlemlenmiştir. %100 torf kullanılan uygulamada 0.541 m² ve %100 fındık zürufu kullanılan uygulamada 0.522 m² bitki alanı ölçülmüştür. Yetiştirme ortamı karışımlarının kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında en yüksek bitki alanı değerleri 0.529 m² (TF1), 0.502 m² (TP1), 0.512 m² (TPE1), 0.492 m² (FP1) ve 0.507 m² (FPE1) olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.4).

Şimşir bitkisi ağustos ayı bitki alanları ölçümlerinde en yüksek bitki alanı %100 torf uygulamasında kaydedilmiştir (0.568 m²). Torf ve fındık zürufu (TF1, TF2, TF3) kullanılan uygulamalarda bitki alanı değerleri sırasıyla 0.5520 m², 0.546 m² ve 0.525 m² olarak ölçülmüştür. Diğer uygulamalarda ölçülen en yüksek bitki alanı değerleri 0.522 m² (TP1), 0.533 m² (TPE1), 0.51 m² (FP1) ve 0.525 m² (FPE1) dir (Tablo 4.4).

Yetiştirme döneminin son ayı olan eylül ayı ölçümlerinde ise yetiştirme ortamı olarak torf ve fındık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamalarında bitki alanı 0.614 m² ve 0.572 m² olarak kaydedilmiştir. Torf ve fındık zürufu (TF1, TF2, TF3) kullanılan uygulamalarda bitki alanı değerleri sırasıyla 0.594 m², 0.588 m² ve 0.562 m² olarak ölçülmüştür. Diğer uygulamalarda hesaplanan en yüksek bitki alanı değerleri 0.563 m² (TP1), 0.586 m² (TPE1), 0.553 m² (FP1) ve 0.569 m² (FPE1) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4).

4.4.3. Yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yeşil duvar bitki alanı üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Mazı (*Thuja plicata*) and şimşir (*Buxus sempervirens L.*) bitkileri kullanılarak elde edilen bitki alanı artış sonuçları Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiş ve bu sonuçların yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile korelasyonu Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Mazı (*Thuja plicata*) bitkisinde en yüksek bitki alanı artışı TF1 yetiştirme ortamında gerçekleşmiştir. TF1 yetiştirme ortamı kullanılan uygulamalarda başlangıç bitki alanı (BA1-başlangıç) 0.327 m² iken final bitki alanı (BA1-final) 0.962

m² olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.12). En düşük yeşil duvar artışı ise bایلanğıç bitki alanı 0.343 m² ve final bitki alanı 0.612 m² olan FP3 uygulamasındadır.

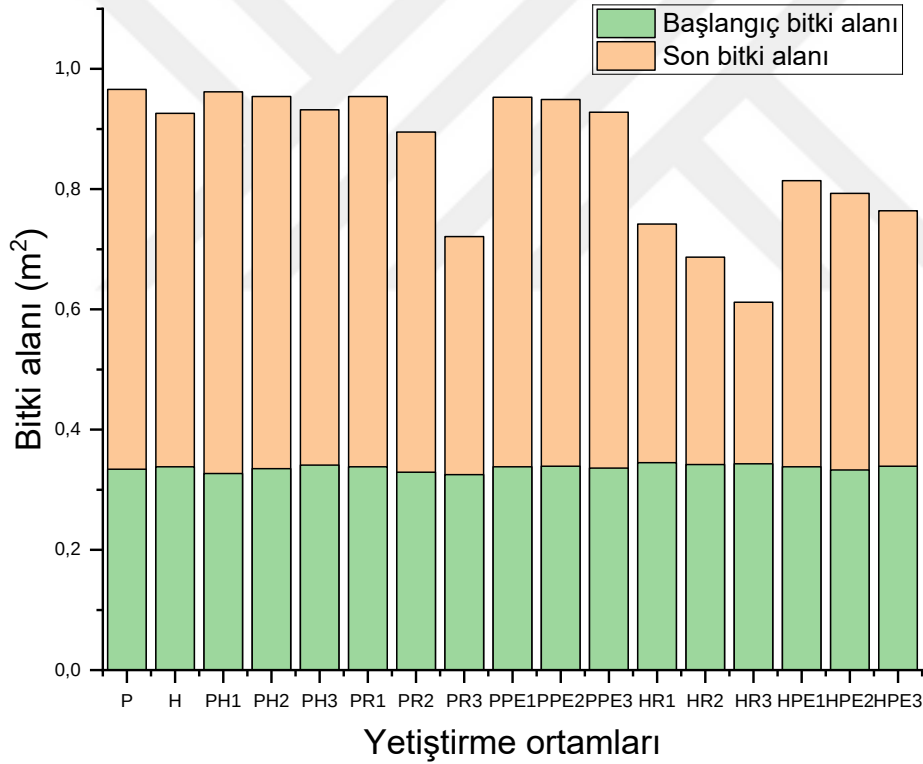
Su tutma kapasitesi (R²:0.89) ve organik madde (R²:0.63) BA ile en yüksek pozitif korelasyona sahip yetiştirme ortamı özellikleridir (P<0.001) (Şekil 4.14). TF1 yetiştirme ortamı uygulamalar arasında en yüksek su tutma kapasitesine (763,50 mg/l) (Tablo 4.1) ve organik madde (91.69%) (Şekil 4.8) içeriğine sahip uygulamadır. FP3 ise uygulamalar arasında en düşük su tutma kapasitesine (566.95 mg/l) (Tablo 4.1) sahiptir. Genel bir sonuç olarak uygulamaların su tutma kapasitesi ve organik madde içeriğı azaldıkça, BA düşmektedir.

Önceki bölümde açıklandığı gibi perlit içeren uygulamalarda ise organik madde içeriğı düşerken su tutma kapasitesi arttığından, organik madde içeriğinin düşük olması olumsuz etkiye neden olmamıştır. Bundan dolayı torf ve perlit karışımından oluşam TPE1, TPE2 ve TPE3 yetiştirme ortamlarında elde edilen BA sonuçları, torf ve fındık zürufu karışımlarından elde edilen sonuçlara yakındır (Şekil 4.12). Yetiştirme ortamının diğer fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığı ve toplam porozitenin iki bitki türünde de BA üzerinde belirli bir etkisi (p>0.05) bulunamamıştır (Şekil 4.14). Literatürdeki birçok çalışmada yetiştirme ortamlarının su tutma kapasitesi ve organik madde içeriğı ile bitki büyümesi arasında anlamlı bir ilişki rapor edilmektedir (Dede ve Oztekin, 2018). Özellikle yüksek su ihtiyacı olan bitkilerde bu durum daha da belirgindir. Farrell ve ark. (2013), kullanılan yetiştirme ortamlarının yüksek su tutma ve organik madde içeriğinin bitki büyümesini artırdığını vurgulamıştır (Farrell ve ark, 2013). Benzer deneylere dayanan araştırmalarda, Paradelo ve ark. (2019) ve Young ve ark, (2014) ucuz ve kolay temin edilebilecek yetiştirme ortamı bileşenlerinin su tutma kapasitesi üzerindeki olumlu etkilerinin bitki büyümesini artırdığını rapor etmişlerdir (Paradelo ve ark, 2019; Young ve ark, 2014).

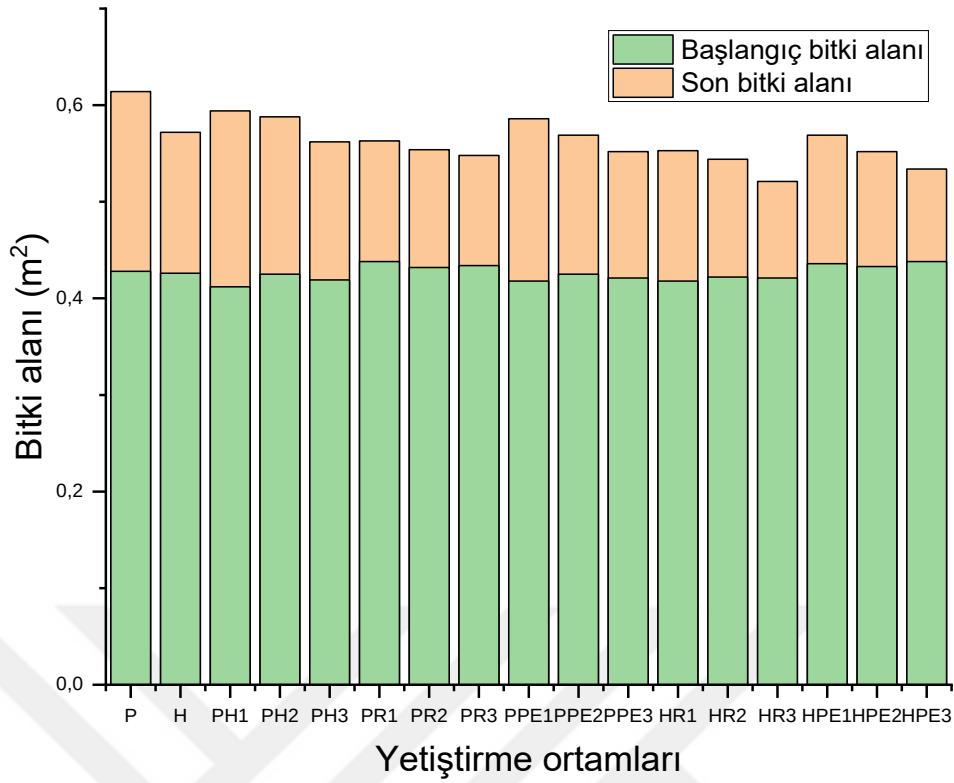
Bitki besin elementi içeriklerine göre mazı (*Thuja plicata*) bitkisinde elde edilen BA sonuçları incelendiğinde en belirgin (P<0.001) pozitif etki Ca (R²:0.55), Fe (R²:0.53) ve Mg (R²:0.48) de görülmüştür. Diğer makro ve mikro bitki besin elementi içerikleri olan N, K, Cu ve Zn ile belirlenen BA1 arasında önemli bir korelasyon bulunmamıştır. pH (R²:-0.72), ve P (R²:-0.67), ise BA1 üzerinde önemli derecede negatif korelasyona (P<0.001) sahiptir (Şekil 4.14). pH ve P değerlerinin BA1 üzerinde ki negatif etkisi fındık zürufu ve pirinç kabuğı karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarında görülmüştür. En yüksek pH (7.52) ve P (2284.46 mg/kg) değerlerine sahip FP1

uygulamasının BA sonucu 0.742 m² olarak bulunmuştur ve bu değer TF1 (0.962 m²), TPE1 (0.953 m²) ve FPE1 (0.814 m²) de tespit edilen BA değerlerinden düşüktür (Şekil 4.12).

Mazı (*Thuja plicata*) bitkisinin büyümesi pH 5-6.5 aralığında optimaldir. HR1 gibi yetiştirme ortamlarında yüksek pH seviyelerinin başlıca etkileri arasında bitki besin elementlerinin dengesinin bozulması, biyolojik aktivitede oluşan değişimler ve buna bağlı olarak bitkilerin gösterdiği fizyolojik tepkiler bulunmaktadır. Ayrıca, yüksek pH, fosfor (P), mangan (Mn), bor (B), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi elementlerin aşırı birikimine yol açarak besin elementleri dengesizliğine sebep olmaktadır. (Bunt, 1988; Abad ve ark, 2001). Mazı (*Thuja plicata*) bitkisinde yüksek P nin BA ile negatif korelasyonunun sebebinin yüksek pH olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı yetiştirme ortamlarındaki mazı (*Thuja plicata*) ın başlangıç ve final bitki alanı (BA1)

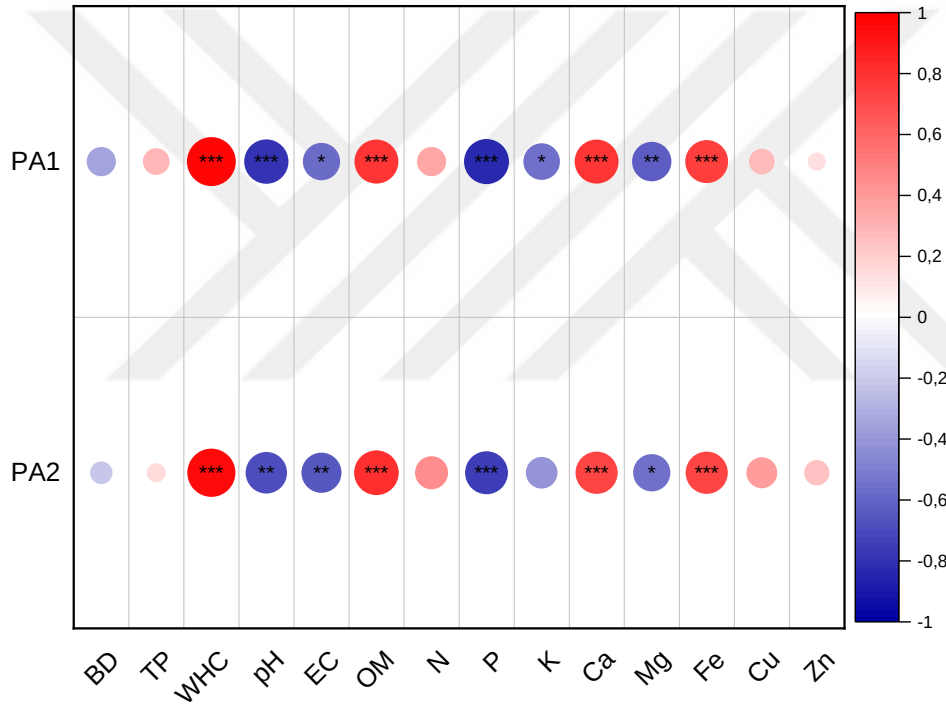


Şekil 4.13. Farklı yetiştirme ortamlarındaki şimşir (*Buxus sempervirens* L.) ın başlangıç ve final bitki alanı (BA2)

Şimşir (*Buxus sempervirens* L.) de maziya (*Thuja plicata*) benzer şekilde en yüksek bitki alanı (BA2) (0.594 m^2) TF1 yetiştirme ortamında ölçülmüştür (Şekil 4.13). En yüksek değerlerin elde edildiği TF1 uygulamasında başlangıç bitki alanı (BA2-başlangıç) 0.412 m^2 iken final bitki alanı (BA1-final) 0.594 m^2 olmuştur (Şekil 4.13). En düşük BA2 (0.521 m^2) değeri FP3 uygulamasındadır. Yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bitki alanı (BA2) arasında en yüksek pozitif korelasyonlar WHC ($R^2:0.86$; $p < 0.001$), OM ($R^2:0.76$; $P < 0.001$), Ca ($R^2:0.52$; $p < 0.001$), Fe ($R^2:0.63$; $P < 0.001$), Mg ($R^2:0.57$; $P < 0.05$) değerlerinde bulunmuştur (Şekil 4.14).

Bu sonuçlar su tutma kapasitesi gibi bitki büyümesinde majör etki gösteren bir fiziksel özellikle birlikte, yetiştirme ortamlarının bitki besin elementi içeriğinin de BA üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. BA2 ile negatif korelasyon gösteren yetiştirme ortamı özellikleri EC ($R^2:0.70$; $p < 0.001$), pH ($R^2:0.52$; $p < 0.05$), P ($R^2:0.43$; $p < 0.001$) olmuştur (Şekil 4.14).

Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin her iki bitkinin BA'sına pozitif ve negatif etkileri büyük oranda benzerlik göstermektedir (Şekil 4.14). Buna rağmen şimşirde (*Buxus sempervirens L.*) elde edilen tüm BA değerleri mazı (*Thuja plicata*) değerlerinden küçüktür. Bu durum şimşirin (*Buxus sempervirens L.*) büyüme karakteri ile ilgilidir. Şimşir (*Buxus sempervirens L.*) bitkisi mazı (*Thuja plicata*) gibi esnek ve hareler halinde büyümmez. Yavaş, sert ve lifleri sıkıştırılmış halde büyür. Şimşir (*Buxus sempervirens L.*) bitkisinin yavaş büyümesi yeşil duvarının son şekline ulaşma süresini artırmasına rağmen, bitkinin özellikle soğuk iklim koşullarına dayanıklı olması ve budama gibi ilave bakım işlemlerine ihtiyacının az olması yeşil duvar sistemlerinde kullanılması açısından olumludur.



:0.05 ** p<=0.01 *** p<=0.001

Şekil 4.14. Bitki alanı ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki Spearman korelasyonu (BA1: Mazı (*Thuja plicata*) bitki alanı, BA2: Şimşir (*Buxus sempervirens L.*) bitki alanı)

4.5. Yeşil Duvarların Isı İzolasyonuna Etkilerinin İncelenmesi

Binaların dış cephelerine yerleştirilen bitkilerle oluşturulan yeşil duvar sistemleri sürdürülebilir mimaride önemli bir tasarım yaklaşımıdır. Yeşil duvar sistemleri, hava kirliliğinin ve karbon ayak izinin azaltılması, ısı adalarının küçültülmesi ve biyo çeşitliliğin korunması açısından sağladığı faydalarla sürdürülebilir şehirlerin

gelişiminde önemli katkıları vardır. Ayrıca, binaların yalıtım özelliklerini artırarak enerji tasarrufuna yardımcı olmaları, ses izolasyonu sağlamaları ve gri su arıtımında kullanılabilmeleri hem binalar hem de şehirler için önemlidir.

Bununla birlikte yeşil duvarların faydaları arasında, özellikle sıcak iklim koşullarında binaların ısı yalıtımını artırarak daha dengeli bir iç mekan sıcaklığı oluşturmaları, soğutma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlamaları ön plana çıkmaktadır. Böylece soğutma için harcanan enerji azalmakta, binaların karbon ayakizi küçülmekte ve yeşil bina sertifikasyonlarına uygunluğu önemli ölçüde artmaktadır. Bu yüzdendir ki yeşil duvarların termal izolasyon etkilerini anlayabilmek ve daha üst seviyelere taşıyabilmek amacı ile birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yeşil duvarlarının ısı izolasyonuna katkılarında üç temel faktörün etkili olduğu rapor edilmektedir. Bu faktörler bitkilerin oluşturduğu gölgeleme etkisi, buharlaşma ve yetiştirme ortamının izolasyonudur. Yeşil duvarlardaki bitkiler, kapladıkları bina yüzeyi için bir gölgelik görevi görür ve güneş ışınlarının doğrudan binaya ulaşmasını engellerler (Kontoleon ve Eumorfopoulou, 2010). Bu durum binaların dış cephesi ve iç mekanlarının ısınmasını önemli ölçüde azaltır. Özellikle güneşlenme süresinin ve şiddetinin çok fazla olduğu bölgelerde, güneş ışınlarının doğrudan binaya dış cephesine ulaşmasını engellemek, iç mekân sıcaklığını kontrol altında tutmak için kritik öneme sahiptir. Ayrıca bitkilerin fotosentez süreci sırasında su buharı salmaları, binaların etrafındaki havayı soğutur ve çevresel sıcaklığın düşmesini sağlar.

Bu etki, saksıların modüller halinde bina yüzeyine yerleştirilmesi ile oluşturulan yeşil duvarlarda, sulama sistemi ile yetiştirme ortamına verilen suyun bir kısmının da buharlaşması nedeniyle çok daha güçlüdür. Bunun yanında bu tür yeşil duvarlarda kullanılan yetiştirme ortamı, binaların dış yüzeylerinde ek bir izolasyon tabakası gibi davranarak bina duvarlarının doğrudan çevresel etkilere maruz kalmasını engeller ve iç mekanlarda daha istikrarlı bir sıcaklık sağlar (Dede ve ark, 2021).

Önceki çalışmaların sonuçlarından anlaşılacağı gibi, yeşil duvarların termal etkilerinin optimize edilebilmesi için bitki alanının artışı kritik faktördür. Ancak yeşil duvarlarda bitki alanı artışını gözlemlemek konvansiyonel bitki yetiştiriciliğine göre oldukça zordur. Yüksek binalardaki yüzeylerine monte edilen yeşil duvarlarda bitkilere erişim oldukça zahmetli ve pahalı bir işlem olabilmektedir. Ayrıca bu işlem sırasında yeşil duvar bağlantıları, sulama sistemi ve bitkilerin zarar görme riski vardır. Bu yüzden yeşil duvarlardaki bitki artışının ölçümünde indirect monitoring techniques

çok faydalı olabilir (Chianucci ve ark, 2015). Ancak bu yöntemler genellikle meyve bahçeleri, seralar ve ormanlık alanlarda denenmiştir (Peper ve McPherson 2003). Yeşil duvarlardaki bitki artışı ve etkilerinin incelendiği çalışmalarda kullanımı ise yaprak alanı indeksini belirlemeye yöneliktir (Pérez ve ark, 2017; Convertino ve ark, 2022).

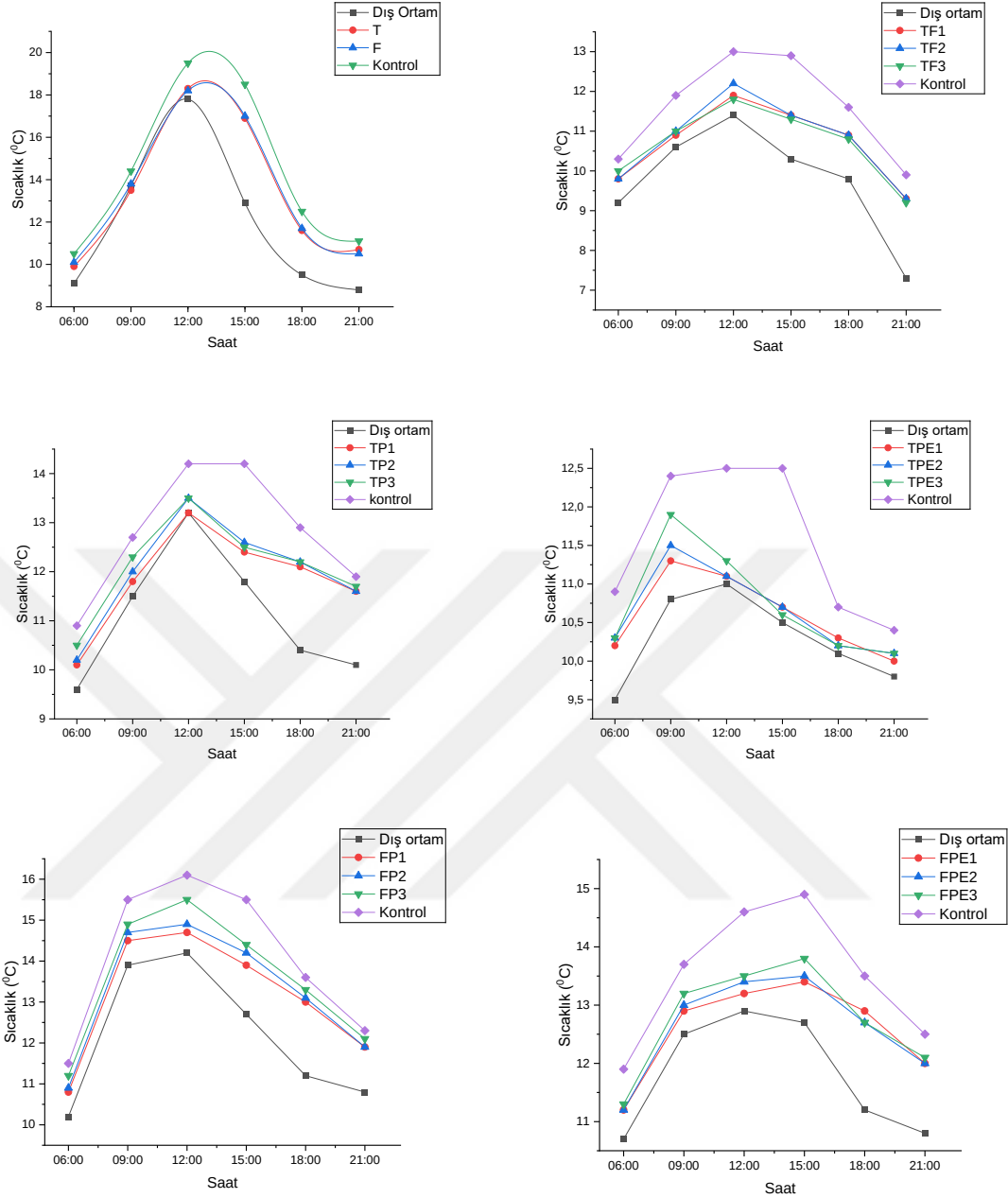
4.6. Yeşil Duvarların Isı İzolasyonuna Etkilerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişimi

Yapılan çalışmada yeşil duvarlarda kullanılan bitkilerin ısı izolasyonuna olan etkilerini incelemek için altı aylık dönemde (nisan-eylül) sıcaklıklar kaydedilmiş ve bitkilerin sağladığı ısı farkları ölçülmüştür.

4.6.1. Nisan ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında kurulan yeşil duvar sistemlerine bitki dikimi nisan ayında gerçekleştirilmiştir. Bitkilendirme işleminden sonra nisan ayı dijital görüntüleri alınmış ve başlangıç bitki alanı hesaplanmış ve sıcaklık ölçümlerine başlanmıştır.

Nisan ayında mazı ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemi kurulu olan ve kontrol uygulaması olarak kullanılan yeşil duvar sistemi kurulmayan model binalarda gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri ve ulaşılan en yüksek sıcaklık farkları Şekil 4.15, Şekil 4.16, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.15. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamalarının nisan ayı sıcaklık ölçümleri

Mazı bitkisinin kullanıldığı yeşil duvar uygulamasının nisan ayı ölçümleri incelendiğinde dış ortam sıcaklıklarının ortalama 11 °C olduğu tespit edilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan uygulamalarda saat 15:00’da model binaların sıcaklığı sırasıyla 16.9 °C ve 17.0 °C olarak ölçülürken kontrol uygulamasında aynı saatte sıcaklık 19.8 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.15).

Bununla birlikte torf ve fındık zürufu karışımlarından elde edilmiş yetiştirme ortamları kullanılan yeşil duvarlar (TF1, TF2, TF3) ile model bina arasındaki en yüksek sıcaklık

farkları saat 15:00 te ölçülmüş ve farklar sırasıyla 1.5 °C, 1.5 °C ve 1.6 °C olarak kaydedilmiştir (Tablo 4.5). Mazı bitkisi ile devam eden ölçümlerde yetiştirme ortamı olarak torf ve prinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvarlarda, model bina ile kontrol uygulaması arasındaki sıcaklık farklarının en yüksek olduğu saat olan 15:00'de model bina iç sıcaklıkları, TP1 uygulamasında sıcaklık 12.4 °C, TP2 uygulamasında 12.6 °C ve TP3 uygulamasında 12.5 °C olarak ölçülmüştür. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları (TPE1, TPE2, TPE3) kullanıldığında uygulamalarda aynı saatte (15:00) yapılan ölçümlerde yeşil duvar sistemi ve kontrol uygulamaları sıcaklık farkları sırasıyla 1.8 °C, 1.8.°C ve 1.9.°C olarak hesaplanmıştır.

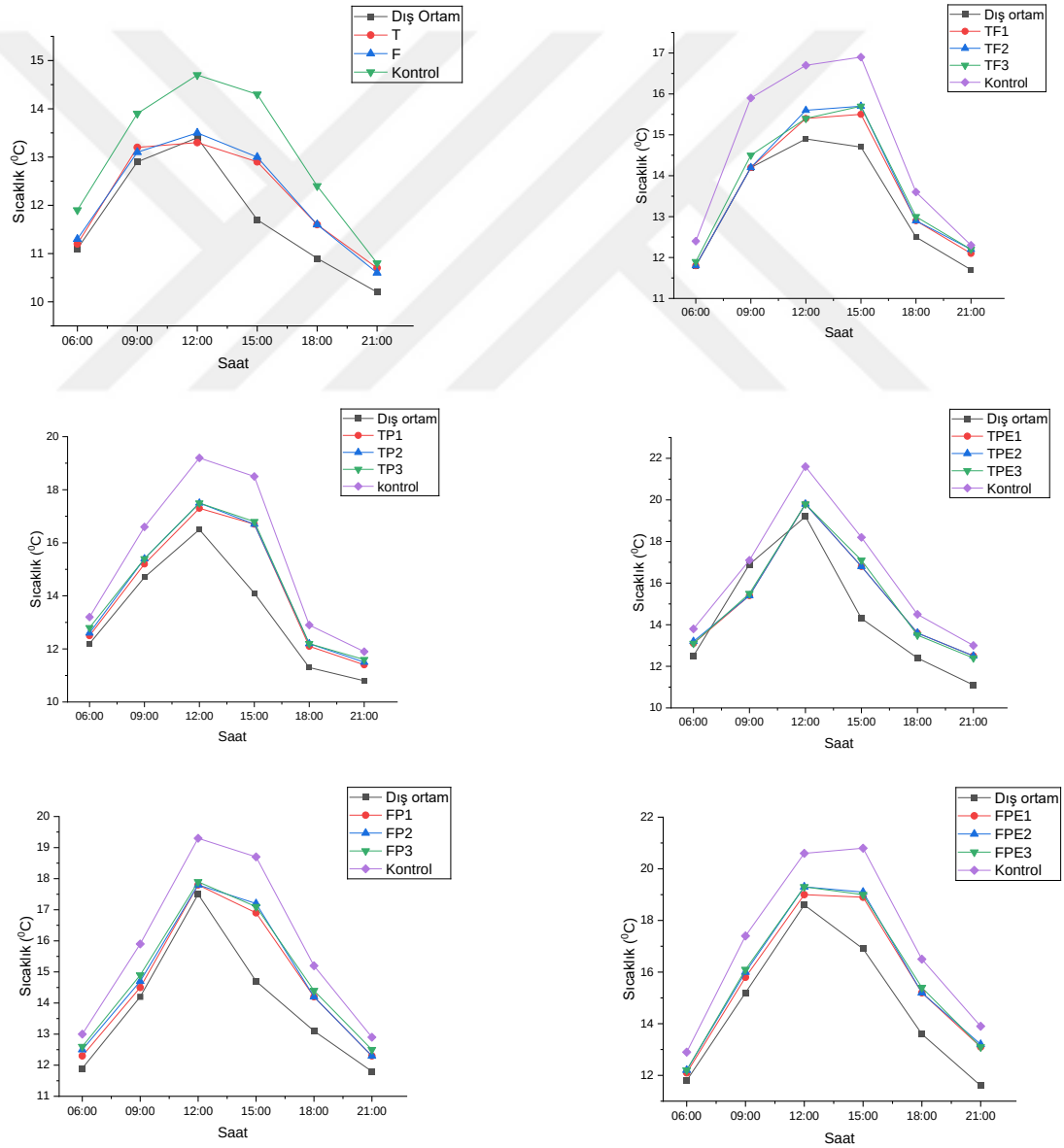
Fındık zürufu kullanılan yetiştirme ortamlarının bulunduğu yeşil duvarlarda yapılan ölçümler sonucu model bina ile kontrol uygulaması arasında oluşan sıcaklık farklarının en yüksek olduğu saat 15:00 olarak belirlenmiştir. FP1, FP2 ve FP3 karışımlarının kullanıldığı yeşil duvarların bulunduğu model bina ile kontrol için kullanılan model bina arasındaki sıcaklık farkları sırasıyla 1.6 °C, 1.3 °C ve 1.1 °C'dir. Fındık zürufu ve perlit karışımları kullanıldığında ise FPE1, FPE2, FPE3 uygulamalarında oluşan farkar sırasıyla 1.5 °C, 1.4 °C ve 1.1 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.15, Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Mazı bitkisi nisan ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	12.9	16.9	18.5	1.6
F	12.9	17	18.5	1.5
TF1	10.3	11.4	12.9	1.5
TF2	10.3	11.4	12.9	1.5
TF3	10.3	11.3	12.9	1.6
TP1	11.8	12.4	14.2	1.8
TP2	11.8	12.6	14.2	1.6
TP3	11.8	12.5	14.2	1.7
TPE1	10.5	10.7	12.5	1.8
TPE2	10.5	10.7	12.5	1.8
TPE3	10.5	10.6	12.5	1.9
FP1	12.7	13.9	15.6	1.6
FP2	12.7	14.2	15.6	1.3
FP3	12.7	14.4	15.6	1.1
FPE1	12.7	13.4	14.9	1.5
FPE2	12.7	13.5	14.9	1.4
FPE3	12.7	13.8	14.9	1.1

Nisan ayında şimşir bitkisinin kullanıldığı yeşil duvar sistemlerinde yapılan ölçümlerde %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yetiştirme ortamları için saat 15:00'da sıcaklıklar 12.9 °C ve 13 °C iken kontrol uygulaması model bina sıcaklığı

14.3 °C olarak ölçülmüş olup, oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 1.4 °C ve 1.3 °C olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.6). Yetiştirme ortamı olarak torf ve prinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvar uygulamalarında ise (TP1, TP2, TP3) en yüksek sıcaklık farkları saat 12:00'da oluşmuştur. Yapılan sıcaklık ölçümleri sonucunda yeşil duvar sistemleri ve kontrol uygulaması arasında oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 1.9 °C, 1.7 °C ve 1.7 °C olarak hesaplanmıştır. Torf ve pirinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvar sistemlerine benzer şekilde, torf ve perlit karışımları kullanılan yeşil duvarlarda da (TPE1, TPE2, TPE3) mayıs ayında belirlenen en yüksek sıcaklık farkları saat 12:00'da belirlenmiş olup, yeşil duvar sistemi ve kontrol uygulaması arasındaki sıcaklık farkları üç uygulamada da eşit (1.8 °C) bulunmuştur (Şekil 4.16, Tablo 4.6).



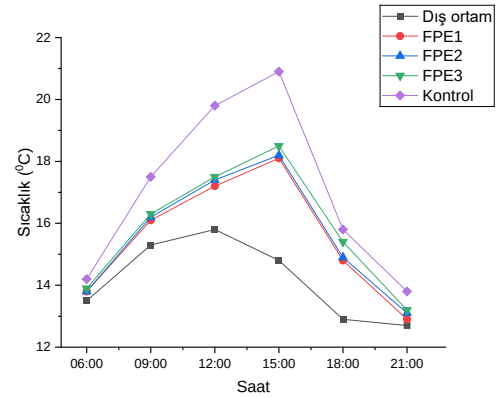
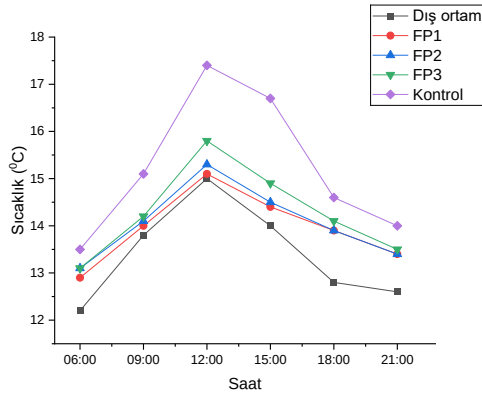
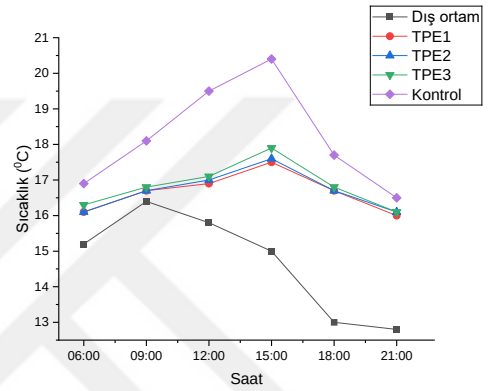
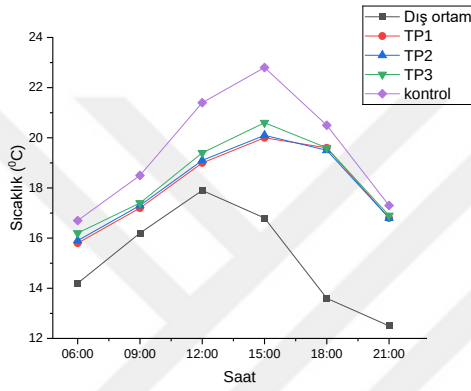
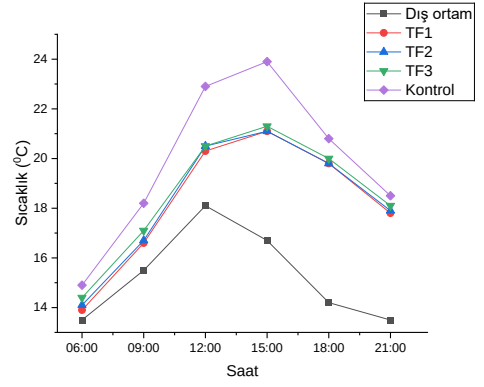
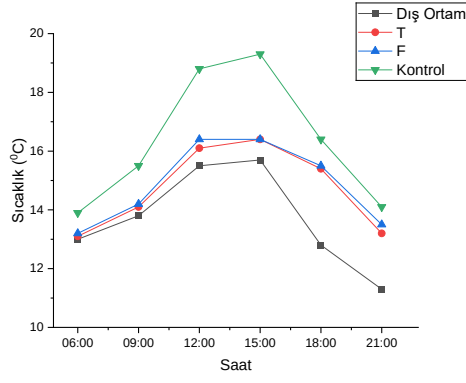
Şekil 4.16. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar ve kontrol uygulamalarının nisan ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.6. Şimşir bitkisi nisan ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	11.7	12.9	14.3	1.4
F	11.7	13	14.3	1.3
TF1	14.7	15.5	16.9	1.4
TF2	14.7	15.7	16.9	1.2
TF3	14.7	15.7	16.9	1.2
TP1	14.1	16.7	18.5	1.8
TP2	14.1	16.7	18.5	1.8
TP3	14.1	16.8	18.5	1.7
TPE1	19.2	19.8	21.6	1.8
TPE2	19.2	19.8	21.6	1.8
TPE3	19.2	19.8	21.6	1.8
FP1	14.7	16.9	18.7	1.8
FP2	14.7	17.2	18.7	1.5
FP3	14.7	17.1	18.7	1.6
FPE1	16.9	18.9	20.8	1.9
FPE2	16.9	19.1	20.8	1.7
FPE3	16.9	19	20.8	1.8

4.6.2. Mayıs ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Mazı ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemlerinin kurulu olduğu model binalar ve kontrol uygulamasında mayıs ayında gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri sonuçları ve elde edilen en yüksek sıcaklık farkları Şekil 4.17, Şekil 4.18, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de sunulmuştur.

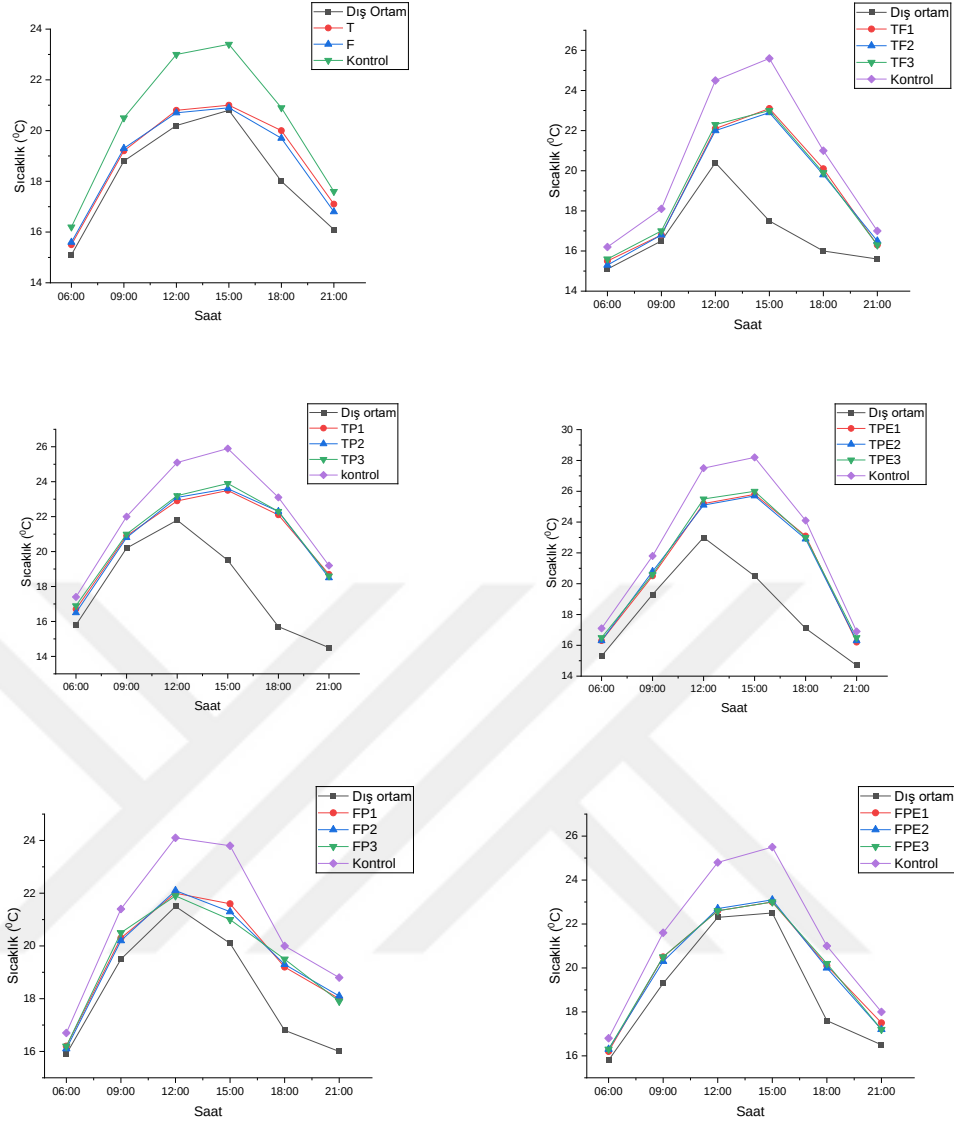


Şekil 4.17. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina mayıs ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.7. Mazı Mayıs ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	15.7	16.4	19.3	2.9
F	15.7	16.4	19.3	2.9
TF1	16.7	21.1	23.9	2.8
TF2	16.7	21.1	23.9	2.8
TF3	16.7	21.3	23.9	2.6
TP1	16.8	20	22.8	2.8
TP2	16.8	20.1	22.8	2.7
TP3	16.8	20.6	22.8	2.2
TPE1	15	17.5	20.4	2.9
TPE2	15	17.6	20.4	2.8
TPE3	15	17.9	20.4	2.5
FP1	14	14.4	16.7	2.3
FP2	14	14.5	16.7	2.2
FP3	14	14.9	16.7	1.8
FPE1	14.8	18.1	20.9	2.8
FPE2	14.8	18.2	20.9	2.7
FPE3	14.8	18.5	20.9	2.4

Mayıs ayında mazı bitkisi kullanılan yeşil duvarlarda yapılan ölçümlerde dış hava sıcaklıkları ortalaması 14.4 °C dir (Şekil 4.17). Yetiştirme ortamı olarak %100 torf , %100 fındık zürufu ve torf ve perlit karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları kullanılan yeşil duvarların kurulu olduğu model binalar ile kontrol uygulamasının sıcaklık farkları en yüksek değerine (2.9 °C) 15:00' de ulaşmıştır. Yetiştirme ortamı karışımları arasında kontrol uygulaması ile en yüksek sıcaklık farkları (TF1:2.8 °C, TF2:2.8 °C, TF3:2.6 °C) torf ve fındık zürufu karışımlarından oluşan uygulamalarda görülmüştür. Torf ve prinç kabuğu kullanılan yetiştirme ortamlarında, karışımlardaki pirinç kabuğu oranının artması ile kontrol uygulamasıyla oluşan sıcaklık farklarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu uygulamalarda belirlenen en yüksek farkları ise TP1: 2.8 °C, TP2: 2.7 °C ve TP3: 2.2 °C olarak hesaplanmıştır. Fındık zürufu ve perlit karışımlarının kullanıldığı yetiştirme ortamları ise en düşük sıcaklık farkları belirlenen uygulamalar olmuştur. Bu uygulamalarda saat 15:00'da ölçülen sıcaklıklar sırasıyla 18.1 °C, 18.2 °C ve 18.5 °C ve model bina sıcaklığı 20.9 °C dir (Şekil 4.17, Tablo 4.7).



Şekil 4.18. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina mayıs ayı sıcaklık ölçümleri

Mayıs ayında şimşir bitkisi ile bitkilendirilmiş yeşil duvarların kullanıldığı uygulamaların sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmesi sırasında ölçülen dış hava sıcaklıkları ortalaması 18 °C dir (Şekil 4.18). Mayıs ayı içerisinde yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvarların kullanıldığı model binalar ve kontrol uygulaması arasında ölçülen en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 2.4 °C ve 2.5 °C olarak belirlenmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve fındık zürufu karışımlarının (TF1, TF2, TF3) kullanıldığı yeşil duvarlarda kaydedilen en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 2.5 °C, 2.7 °C ve 2.6 °C dir ve bu sıcaklık farklarının tamamı saat 15:00'de yapılan ölçümlerde tespit edilmiştir. Torf ve prinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvarlarda ki en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 23.5 °C, 23.6 °C ve 23.9

°C olarak kaydedilirken aynı saatte (15:00) kontrol uygulamasının sıcaklık değeri 25.9 °C olarak kaydedilmiştir. Mayıs ayında TPE1, TPE2 ve TPE3 yetiştirme ortamlarının kullanıldığı uygulamalarda ise tespit edilen en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 2.4 °C, 2.5 °C ve 2.2 °C dir Fındık zürufunun ana karışım materyali olarak kullanıldığı uygulamalardan FP3 ve FPE3 de ise mayıs ayında belirlenen en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 2.8 °C ve 2.5 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18, Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Şimşir bitkisi mayıs ayı sıcaklık farkları

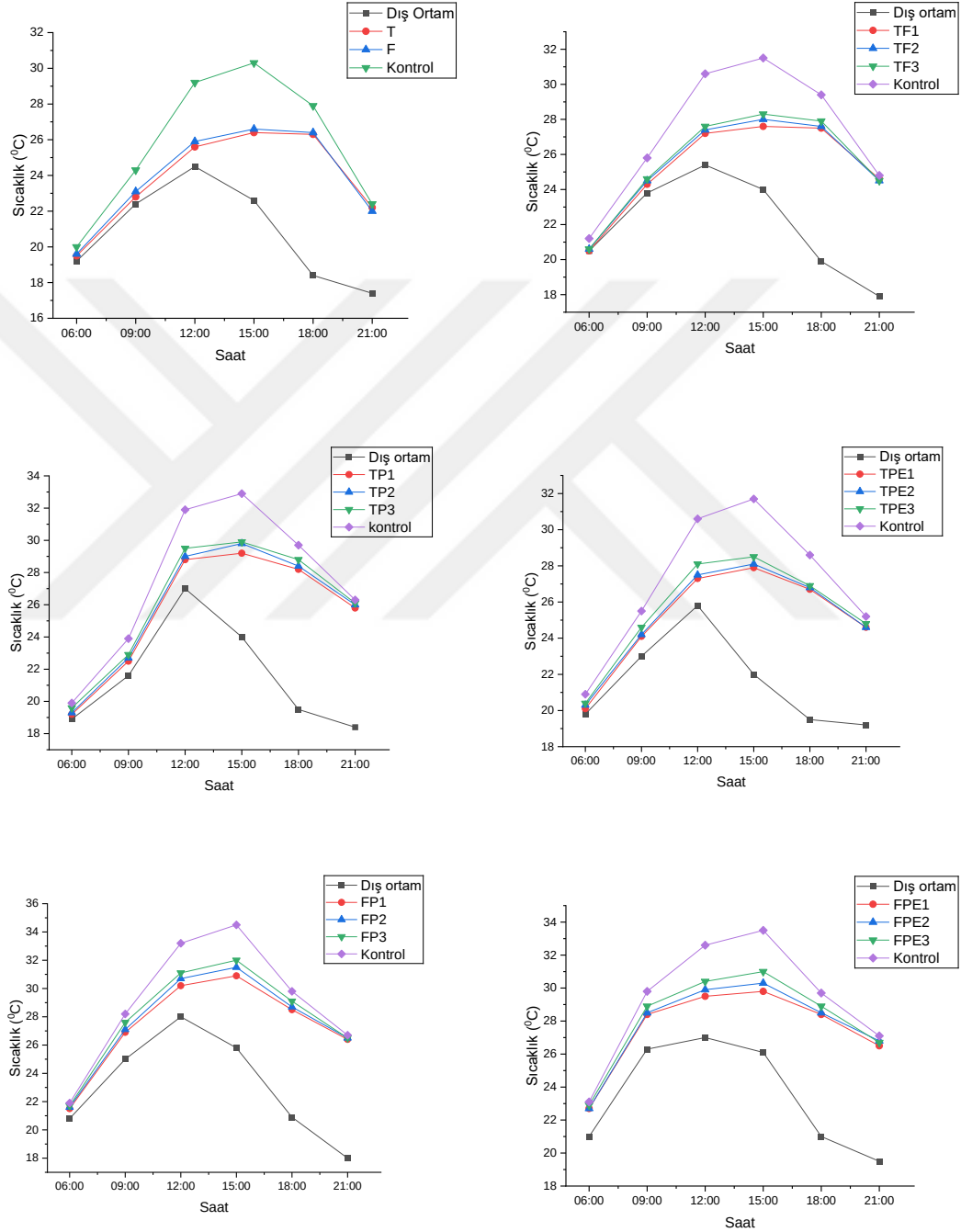
Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	20.8	21	23.4	2.4
F	20.8	20.9	23.4	2.5
TF1	17.5	23.1	25.6	2.5
TF2	17.5	22.9	25.6	2.7
TF3	17.5	23	25.6	2.6
TP1	19.5	23.5	25.9	2.4
TP2	19.5	23.6	25.9	2.3
TP3	19.5	23.9	25.9	2
TPE1	20.5	25.8	28.2	2.4
TPE2	20.5	25.7	28.2	2.5
TPE3	20.5	26	28.2	2.2
FP1	20.1	21.6	23.8	2.2
FP2	20.1	21.3	23.8	2.5
FP3	20.1	21	23.8	2.8
FPE1	22.5	23	25.5	2.5
FPE2	22.5	23.1	25.5	2.4
FPE3	22.5	23	25.5	2.5

4.6.3. Haziran ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Haziran ayında mazı ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemleri ile kontrol uygulamasında kaydedilen sıcaklıklar ve ulaşılan en yüksek sıcaklık farkları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'de sunulmuştur.

Haziran ayında yapılan sıcaklık ölçümlerinde ortalama dış hava sıcaklığı 23 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.19). Mazı ile bitkilendirilen ve yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvarlarda yapılan sıcaklık ölçümlerinde oluşan en yüksek farklar sırasıyla 3.9 °C ve 3.7 °C (15:00) olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.9). Torf ve fındık zürufunun karışım halinde kullanıldığı uygulama olan TF1 uygulaması karışımlar arasında en yüksek sıcaklık farkının 3.9 °C (saat:15:00) olduğu uygulamadır. Torf ve prinç kabuğu karışımlarının kullanıldığı yeşil duvarlarda yapılan ölçümlerde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı 3.7 °C olmuştur. Bu değer torf ve perlitin aynı oranlarda karıştırılması ile hazırlanan

TPE1 uygulamasında 3.8 °C olarak tespit edilmiştir. Fındık zürufu, prinç kabuğu ve perlit karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarının kullanıldığı yeşil duvarlar ile kontrol uygulaması arasında oluşan sıcaklık farklarının en yüksek değerleri FP1 ve FPE1 uygulamalarında ve sırasıyla 3.6 °C ve 3.7 °C olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.19, Tablo 4.9).

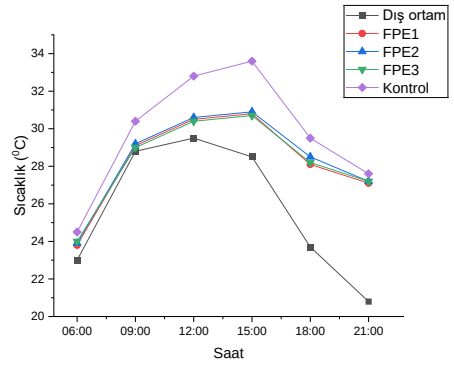
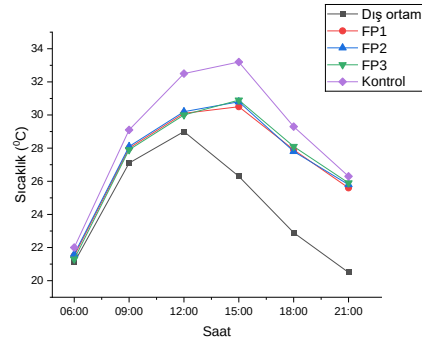
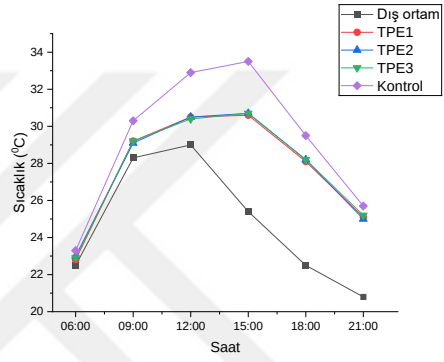
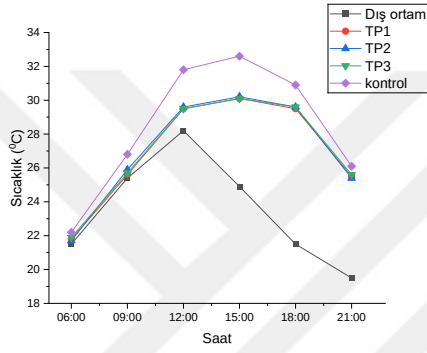
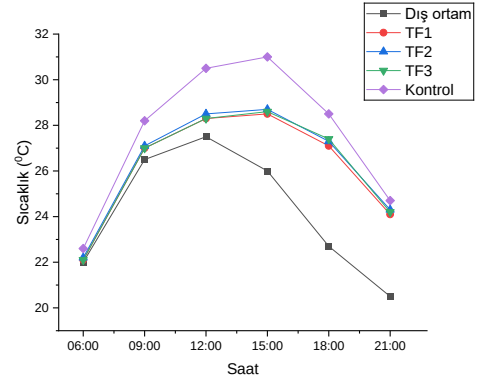
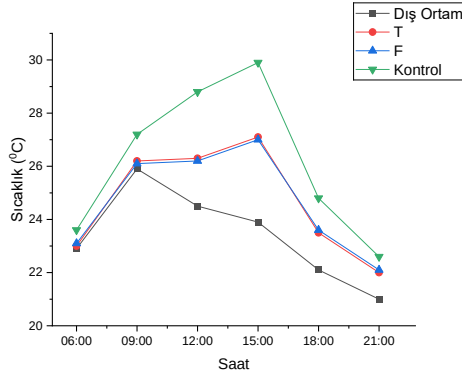


Şekil 4.19. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina haziran ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.9. Mazı bitkisi haziran ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	22.6	26.4	30.3	3.9
F	22.6	26.6	30.3	3.7
TF1	24	27.6	31.5	3.9
TF2	24	28	31.5	3.5
TF3	24	28.3	31.5	3.2
TP1	24	29.2	32.9	3.7
TP2	24	29.8	32.9	3.1
TP3	24	29.9	32.9	3
TPE1	22	27.9	31.7	3.8
TPE2	22	28.1	31.7	3.6
TPE3	22	28.5	31.7	3.2
FP1	25.8	30.9	34.5	3.6
FP2	25.8	31.5	34.5	3
FP3	25.8	32	34.5	2.5
FPE1	26.1	29.8	33.5	3.7
FPE2	26.1	30.3	33.5	3.2
FPE3	26.1	31	33.5	2.5

Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar uygulamalarının haziran ayı ölçümleri incelendiğinde, yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan uygulamalar en yüksek sıcaklıklar 27.1 °C ve 27.0 °C olarak kaydedilirken, kontrol uygulamasında kaydedilen en yüksek sıcaklık 29.9 °C dir (Şekil 4.20). Torf ve fındık zürufunun karışım halinde kullanıldığı TF1, TF2, TF3 uygulamaları ve kontrol uygulaması arasında oluşan en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 2.5 °C, 2.3 °C ve 2.4 °C olarak belirlenmiştir. Torf ve prinç kabuğu karışımlarının (TP1, TP2, TP3) kullanıldığı uygulamalarda ise bu değerler sırasıyla 2.5 °C, 2.4 °C, 2.5 °C'dir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları kullanıldığında şimşir bitkili yeşil duvarlarda yapılan haziran ayı ölçümlerinde belirlenen en yüksek sıcaklık farkı saat 15:00'de 2.9 °C (TPE1) olarak kaydedilmiştir. Fındık zürufu, prinç kabuğu ve fındık zürufu perlit karışımlarından oluşan en yüksek sıcaklık farkları ise 2.7 °C (FP1) ve 2.9 °C (FPE3) dir. (Şekil 4.20, Tablo 4.10).



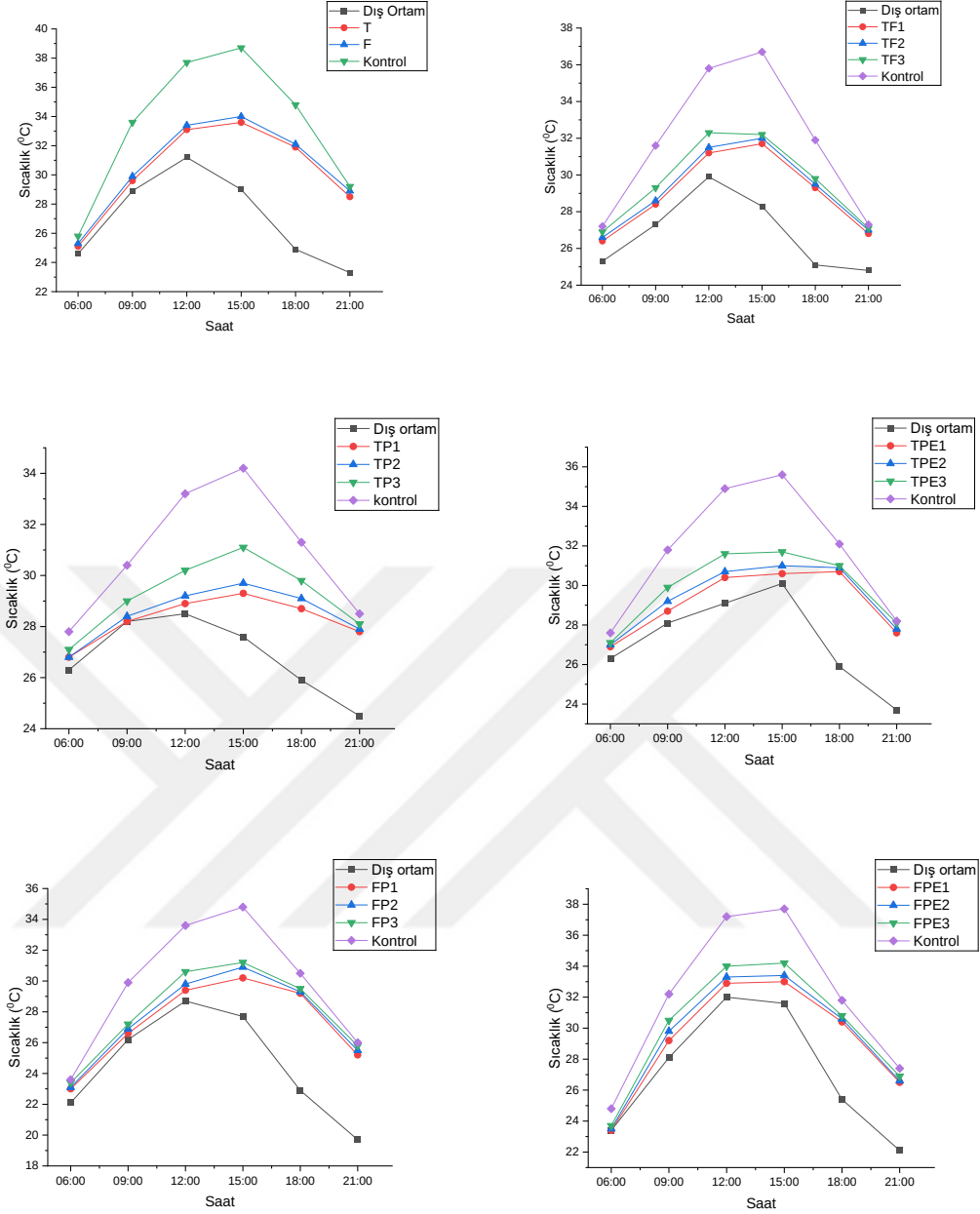
Şekil 4.20. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina haziran ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.10. Şimşir haziran ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	23.9	27.1	29.9	2.8
F	23.9	27	29.9	2.9
TF1	26	28.5	31	2.5
TF2	26	28.7	31	2.3
TF3	26	28.6	31	2.4
TP1	24.9	30.1	32.6	2.5
TP2	24.9	30.2	32.6	2.4
TP3	24.9	30.1	32.6	2.5
TPE1	25.4	30.6	33.5	2.9
TPE2	25.4	30.7	33.5	2.8
TPE3	25.4	30.7	33.5	2.8
FP1	26.3	30.5	33.2	2.7
FP2	26.3	30.8	33.2	2.4
FP3	26.3	30.9	33.2	2.3
FPE1	28.5	30.8	33.6	2.8
FPE2	28.5	30.9	33.6	2.7
FPE3	28.5	30.7	33.6	2.9

4.6.4. Temmuz ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Temmuz ayında mazı ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemleri kurulu olan ve kontrol uygulaması olarak kullanılan yeşil duvar sistemi kurulmayan model binada gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri ve elde edilen en yüksek sıcaklık farkları Şekil 4.21, Şekil 4.22, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.21. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina temmuz ayı sıcaklık ölçümleri

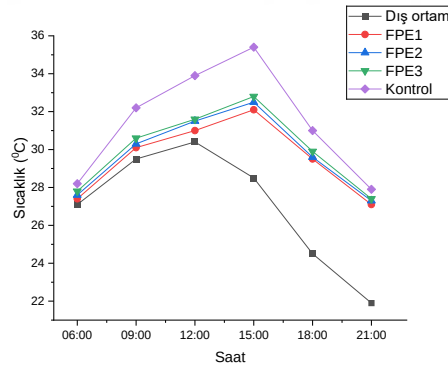
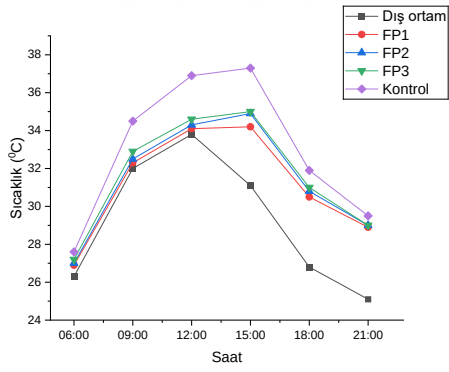
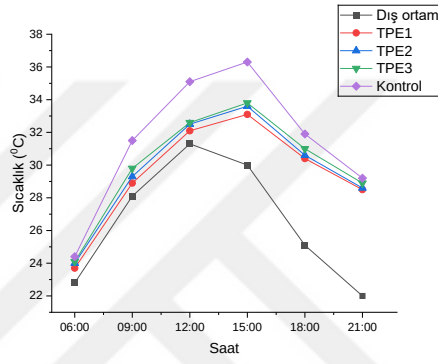
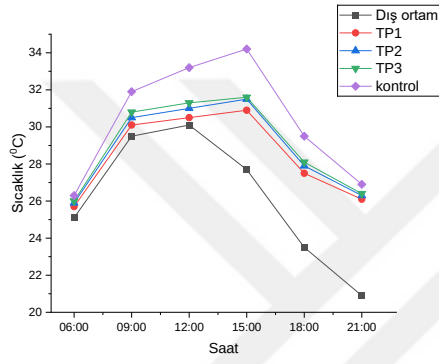
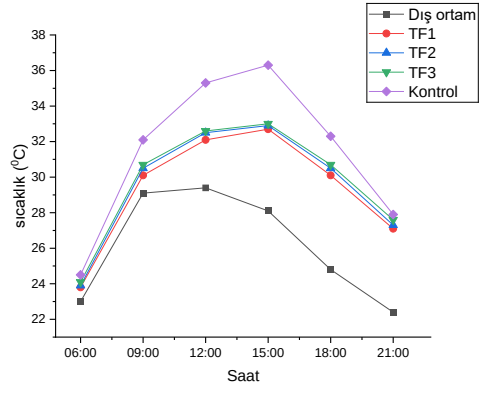
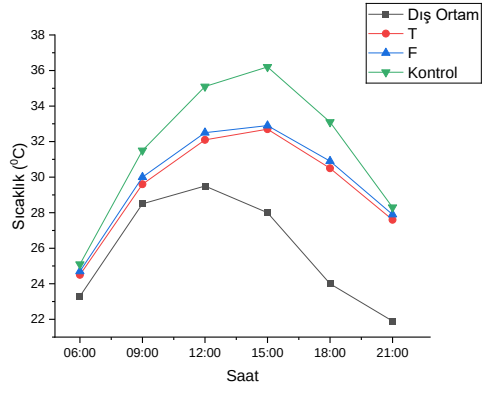
Temmuz ayı içerisinde özellikle saat 12:00 ve 15:00 ölçümlerinde model binande oluşan sıcaklıkların 38 °C'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.20). Bu durum, öncelikle temmuz ayı dış hava sıcaklığının yüksek olmasından ve model binaların tamamen kapalı olması ve herhangi bir hava akımı oluşturacak pencere, kapı, havalandırma vb. unsurun bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Mazı bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında yapılan sıcaklık ölçümlerinde yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan uygulamaların sıcaklıkları 33.6

°C ve 34.0 °C olarak ölçülürken aynı saatte yapılan kontrol uygulaması ölçümünde sıcaklığın 38.7 °C (15:00) olduğu kaydedilmiştir (Tablo 4.11). Yetiştirme ortamı olarak bu iki malzemenin karışımlarının (TF1, TF2, TF3) kullanıldığı uygulamalarda yapılan ölçümlerde ise kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkları saat 15:00'da kaydedilmiş olup sırasıyla 5.0 °C, 4.7 °C ve 4.5 °C olarak ölçülmüştür. Torf ve prinç kabuğu karışımlarının yetiştirme ortamı olarak kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı 4.9 °C (TP1) olarak belirlenmiş ve bu değerin elde edildiği saatte (15:00) kontrol uygulaması sıcaklığı 34.2 °C olarak kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları (TPE1, TPE2, TPE3) kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklar (15:00) sonucunda kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 5.0 °C, 4.6 °C ve 3.9 °C olarak gerçekleşmiştir. Yetiştirme ortamı olarak fındık zürufu ve prinç kabuğu karışımları (FP1, FP2, FP3) kullanılan uygulamalarda ise ölçülen sıcaklıklar (15:00) sonucunda kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 4.6 °C, 3.9 °C ve 3.6 °C olarak kaydedilmiştir. Bunun yanında yetiştirme ortamı olarak fındık zürufu ve perlit karışımları (FPE1, FPE2, FPE3) kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklar (15:00) sonucunda kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 4.7 °C, 4.3 °C ve 3.5 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.21, Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Mazı bitkisi temmuz ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	29	33.6	38.7	5.1
F	29	34	38.7	4.7
TF1	28.3	31.7	36.7	5
TF2	28.3	32	36.7	4.7
TF3	28.3	32.2	36.7	4.5
TP1	27.6	29.3	34.2	4.9
TP2	27.6	29.7	34.2	4.5
TP3	27.6	31.1	34.2	3.1
TPE1	30.1	30.6	35.6	5
TPE2	30.1	31	35.6	4.6
TPE3	30.1	31.7	35.6	3.9
FP1	27.7	30.2	34.8	4.6
FP2	27.7	30.9	34.8	3.9
FP3	27.7	31.2	34.8	3.6
FPE1	31.6	33	37.7	4.7
FPE2	31.6	33.4	37.7	4.3
FPE3	31.6	34.2	37.7	3.5

Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar uygulamalarının temmuz ayı ölçümleri incelendiğinde ise yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 findık zürufunun kullanıldığı uygulamalarda sıcaklıklar 32.7 °C ve 32.9 °C iken model bina sıcaklığı 36.2 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.22). Torf ve findık zürufu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamlarının (TF1, TF2, TF3) kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde (15:00) kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 3.6 °C, 3.4 °C ve 3.3 °C olarak kaydedilmiştir (Tablo 4.12). Torf ve prinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvar uygulamalarında ise kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı saat 15:00'da tespit edilmiş olup, 3.3 °C (TP1) olarak kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları kullanılan yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkları 3.2 °C (TPE1; 15:00), 2.7 °C (TPE2; 15:00) ve 2.6 °C (TPE2; 12:00) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.22). Çalışmada kullanılan bir diğer yetiştirme ortamı olan findık zürufu ve prinç kabuğu karışımları (FP1, FP2, FP3) ile yapılan uygulamalarda elde edilen (15:00) sıcaklık farkları sırasıyla 3.1 °C, 2.4 °C ve 2.3 °C olarak kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak findık zürufu ve perlit karışımları (FPE1, FPE2, FPE3) kullanılan uygulamaların ise (15:00) kontrol uygulaması ile sıcaklık farkları sırasıyla 3.3 °C, 2.9 °C ve 2.6 °C dır (Şekil 4.22, Tablo 4.12).



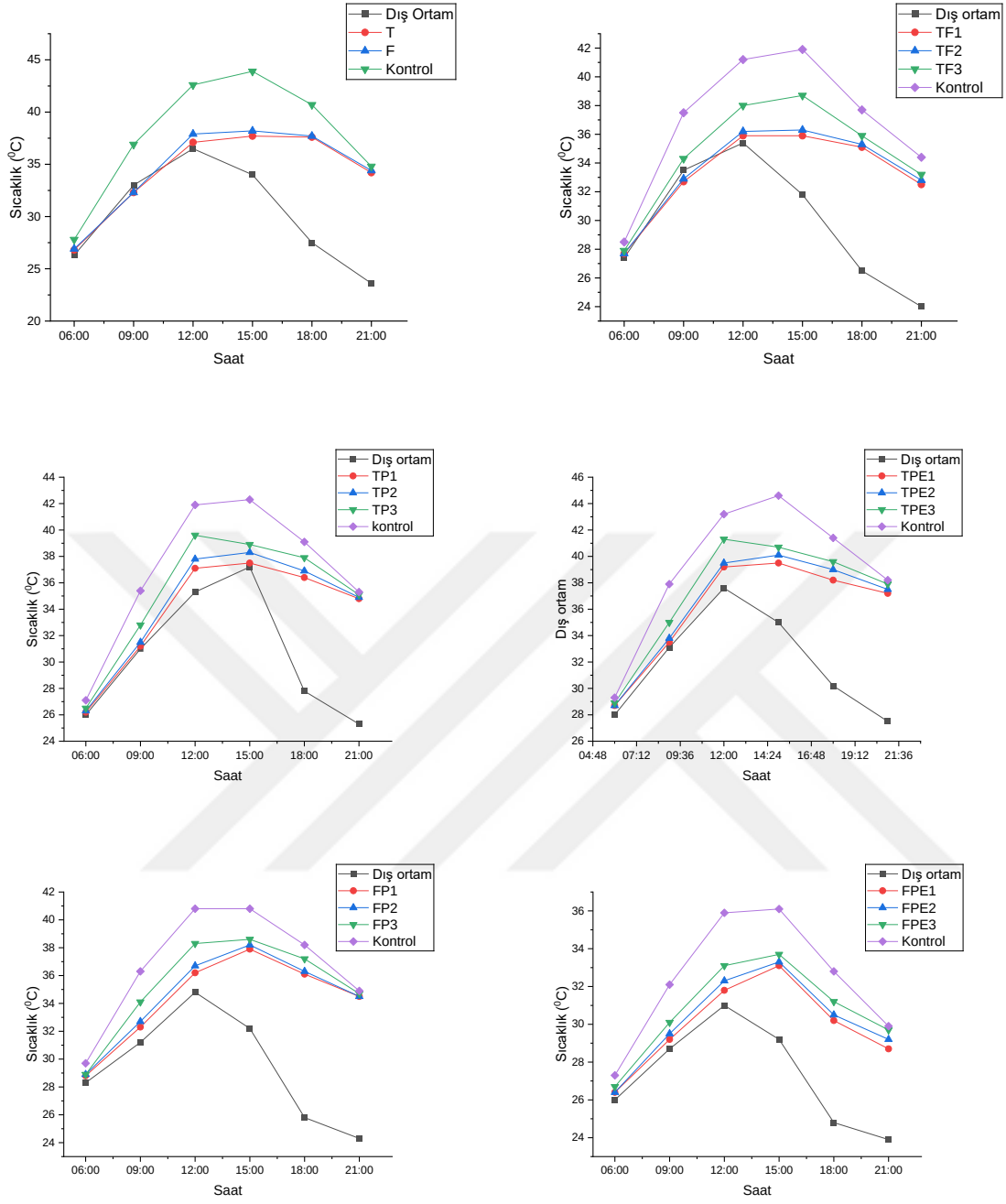
Şekil 4.22. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina temmuz ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.12. Şimşir bitkisi temmuz ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	28	32.7	36.2	3.5
F	28	32.9	36.2	3.3
TF1	28.1	32.7	36.3	3.6
TF2	28.1	32.9	36.3	3.4
TF3	28.1	33	36.3	3.3
TP1	27.7	30.9	34.2	3.3
TP2	27.7	31.5	34.2	2.7
TP3	27.7	31.6	34.2	2.6
TPE1	30	33.1	36.3	3.2
TPE2	30	33.6	36.3	2.7
TPE3	30	33.8	36.3	2.5
FP1	31.1	34.2	37.3	3.1
FP2	31.1	34.9	37.3	2.4
FP3	31.1	35	37.3	2.3
FPE1	28.5	32.1	35.4	3.3
FPE2	28.5	32.5	35.4	2.9
FPE3	28.5	32.8	35.4	2.6

4.6.5. Ağustos ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Ağustos ayı çalışmanın gerçekleştirildiği bölgede en yüksek hava sıcaklıklarının görüldüğü aydır. Dolayısıyla temmuz ayı ile birlikte bu ayda elde edilen sıcaklık farkları, yeşil duvar sisteminin sağladığı ısı izolasyonunun değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Ağustos ayında mazi ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemleri ve kontrol uygulamasında ölçülen sıcaklık değerleri ve elde edilen en yüksek sıcaklık farkları Şekil 4.22, Şekil 4.23, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14’de sunulmuştur.



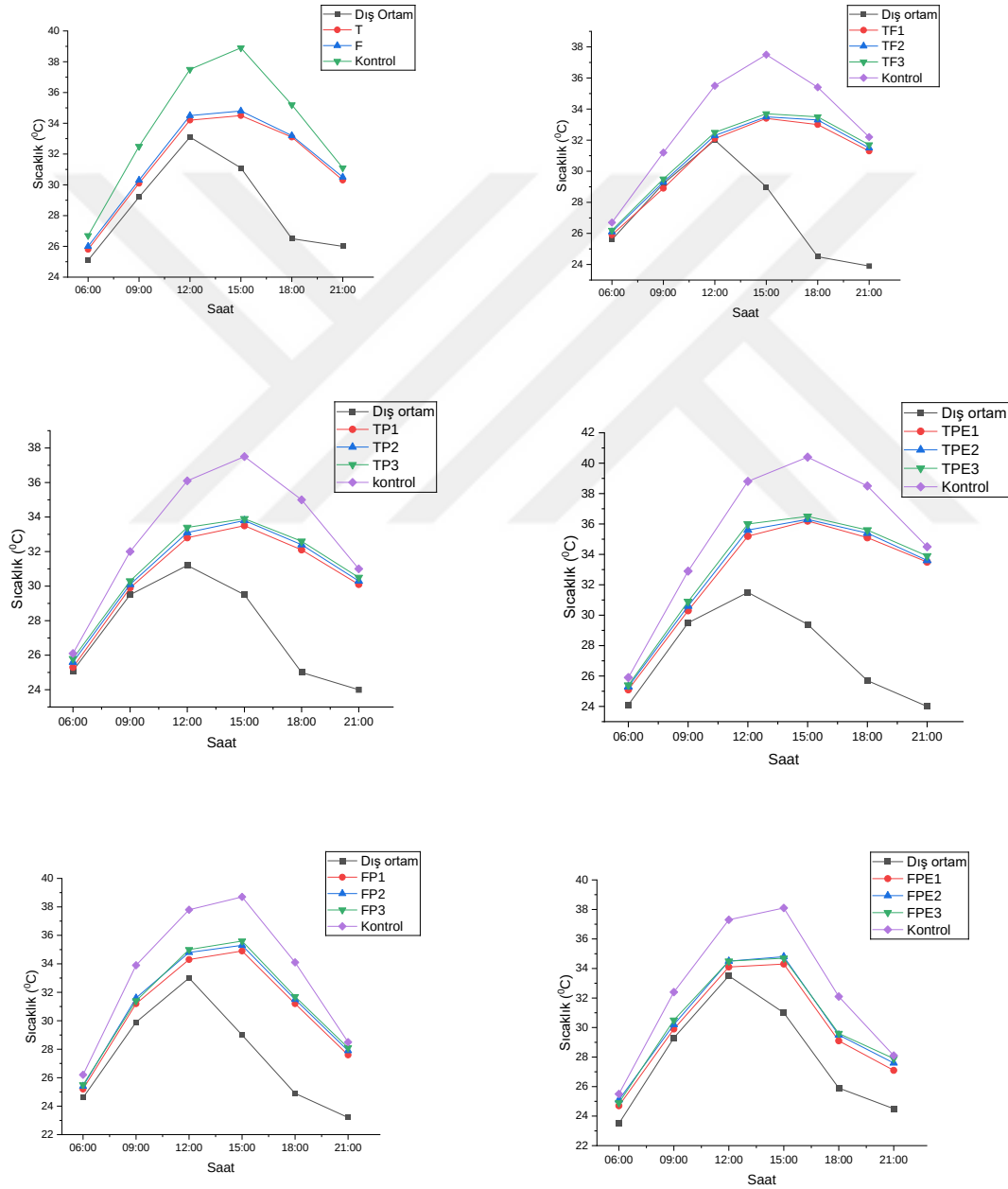
Şekil 4.23. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina ağustos ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.13. Mazı bitkisi ağustos ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	34	37.7	43.9	6.2
F	34	38.2	43.9	5.7
TF1	31.8	35.9	41.9	6
TF2	31.8	36.3	41.9	5.6
TF3	31.8	38.7	41.9	3.2
TP1	37.2	37.5	42.3	4.8
TP2	37.2	38.3	42.3	4
TP3	37.2	38.9	42.3	3.4
TPE1	35	39.5	44.6	5.1
TPE2	35	40.1	44.6	4.5
TPE3	35	40.7	44.6	3.9
FP1	32.2	37.9	40.8	2.9
FP2	32.2	38.2	40.8	2.6
FP3	32.2	38.6	40.8	2.2
FPE1	29.2	33.1	36.1	3
FPE2	29.2	33.3	36.1	2.8
FPE3	29.2	33.7	36.1	2.4

Ağustos ayında özellikle öğlen saatlerindeki ölçümlerde kontrol uygulamasında oluşan sıcaklıkların 43.9 °C' yi bulduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.23). Bu sıcaklık değeri çalışma boyunca kontrol uygulamasında belirlenen en yüksek sıcaklıktır. Mazı bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında yapılan sıcaklık ölçümlerinde yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 findık zürufu kullanılan uygulamaların sıcaklıkları 37.7 °C ve 38.2 °C olarak ölçülürken aynı saatte (15:00) yapılan kontrol uygulaması ölçümünde sıcaklığın 43.9 °C olduğu kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve findık zürufu karışımlarının kullanıldığı uygulamalarda yapılan ölçümlerde ise kontrol evi ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı saat 15:00'da 6.0 °C (TF1) olarak ölçülmüştür (Tablo 4.13). Torf ve prinç kabuğu karışımlarının yetiştirme ortamı olarak kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı 4.8 °C (TP1) olarak ölçülmüş ve bu değer ölçüldüğü saatte (15:00) kontrol uygulaması olan model binanın iç sıcaklığı 42.3 °C olarak kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları (TPE1, TPE2, TPE3) kullanılan uygulamalarda ise kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 5.1 °C, 4.5 °C ve 3.9 °C olarak belirlenmiştir. Yetiştirme

ortamı olarak fındık zürufu ve prinç kabuğu karışımları (FP1, FP2, FP3) kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklar (12:00) sonucunda kontrol uygulaması ile sırasıyla 4.6 °C, 4.1 °C ve 2.5 °C sıcaklık farkları olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer uygulama olan yetiştirme ortamı olarak fındık zürufu ve perlit karışımları (FPE1, FPE2, FPE3) kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklar (12:00) sonucunda kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 4.1 °C, 3.6 °C ve 2.8 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.23, Tablo 4.13).



Şekil 4.24. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina ağustos ayı sıcaklık ölçümleri

Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar uygulamalarının ağustos ayı ölçümlerinde yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanıldığında kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları (15:00) 4.4 °C ve 4.1 °C olmuştur (Şekil 4.24). Torf ve fındık zürufunun karışım halinde kullanıldığı TF1, TF2, TF3 uygulamalarında yapılan ölçümlerde (15:00) kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkları sırasıyla 4.1 °C, 4.0 °C ve 3.8 °C olarak kaydedilmiştir. Torf ve prinç kabuğu karışımları kullanılan yeşil duvar uygulamalarında yapılan sıcaklık ölçümlerinde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı saat 15:00'da 4.0 °C (TP1) olarak belirlenmiştir. Yetiştirme ortamı olarak torf ve perlit karışımları kullanılan yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkları 4.2 °C (TPE1; 15:00), 4.1 °C (TPE2; 15:00) ve 3.9 °C (TPE3 15:00) olarak bulunmuştur. Yetiştirme ortamı olarak fındık zürufu ve prinç kabuğu karışımları (FP1, FP2, FP3) kullanılan uygulamalarda ölçülen sıcaklıklar (15:00) sonucunda kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları sırasıyla 3.8 °C, 3.4 °C ve 3.1 °C olarak kaydedilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak fındık zürufu ve perlit karışımları (FPE1, FPE2, FPE3) kullanılan uygulamalarda ise ölçülen sıcaklık farkları sırasıyla 3.8 °C, 3.3 °C ve 3.4 °C dır (Şekil 4.24, Tablo 4.14).

Tablo 4.14. Şimşir bitkisi ağustos ayı ıscaklık farkları

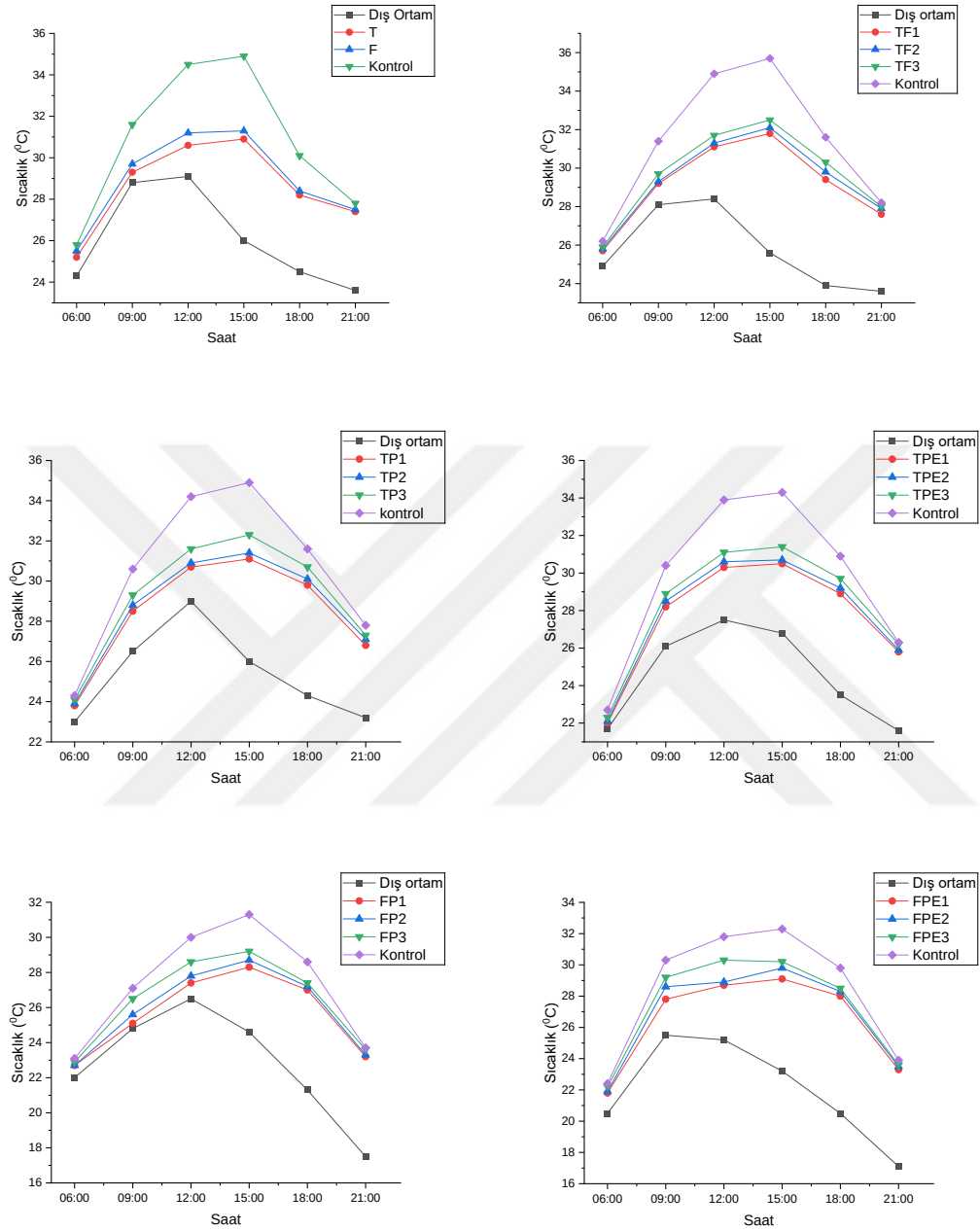
Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	31.1	34.5	38.9	4.4
F	31.1	34.8	38.9	4.1
TF1	29	33.4	37.5	4.1
TF2	29	33.5	37.5	4
TF3	29	33.7	37.5	3.8
TP1	29.5	33.5	37.5	4
TP2	29.5	33.8	37.5	3.7
TP3	29.5	33.9	37.5	3.6
TPE1	29.4	36.2	40.4	4.2
TPE2	29.4	36.3	40.4	4.1
TPE3	29.4	36.5	40.4	3.9
FP1	29	34.9	38.7	3.8
FP2	29	35.3	38.7	3.4
FP3	29	35.6	38.7	3.1
FPE1	31	34.3	38.1	3.8
FPE2	31	34.8	38.1	3.3
FPE3	31	34.7	38.1	3.4

4.6.5. Eylül ayı sıcaklık ölçümlerinin değerlendirilmesi

Eylül ayında mazı ve şimşir bitkileri ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemi kurulu olan ve kontrol uygulaması olarak kullanılan yeşil duvar sistemi kurulmayan model

binalarda gerçekleştirilen sıcaklık ölçümleri ve elde edilen en yüksek sıcaklık farkları

Şekil 4.24, Şekil 4.25, Tablo 4.15 ve Tablo 4.16’de sunulmuştur.

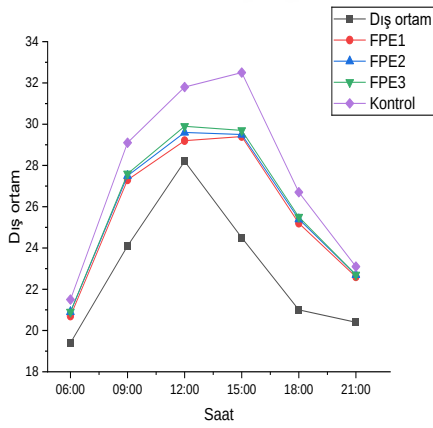
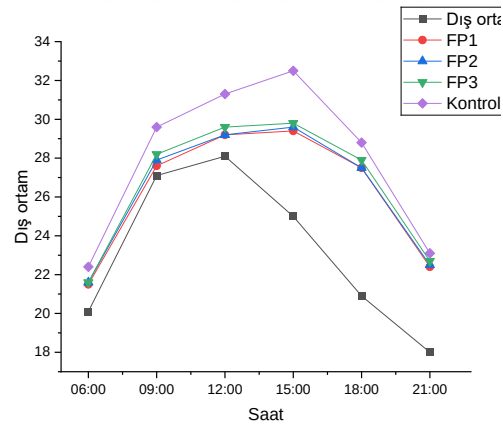
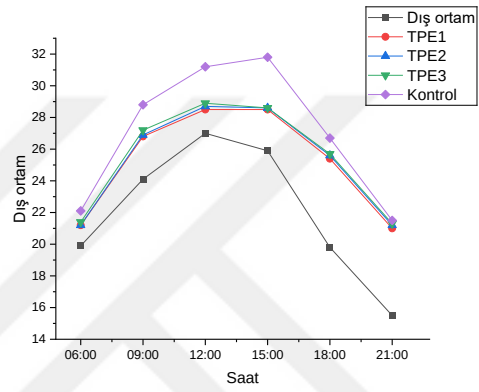
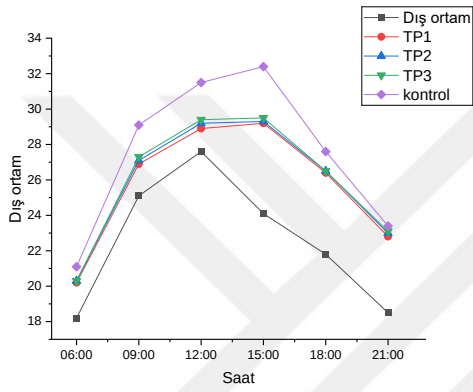
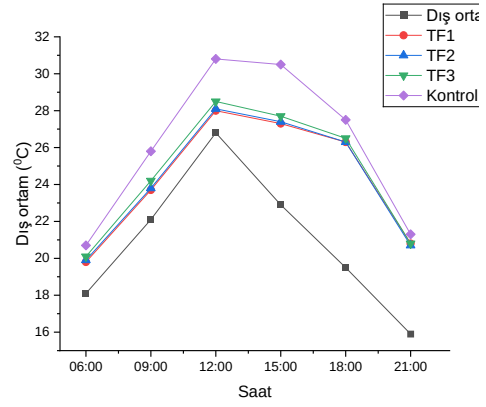
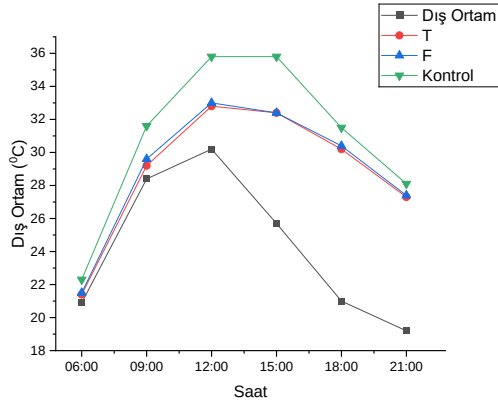


Şekil 4.25. Mazı bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina eylül ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.15. Mazı bitkisi eylül ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	26	30.9	34.9	4
F	26	31.3	34.9	3.6
TF1	25.6	31.8	35.7	3.9
TF2	25.6	32.1	35.7	3.6
TF3	25.6	32.5	35.7	3.2
TP1	26	31.1	34.9	3.8
TP2	26	31.4	34.9	3.5
TP3	26	32.3	34.9	2.6
TPE1	26.8	30.5	34.3	3.8
TPE2	26.8	30.7	34.3	3.6
TPE3	26.8	31.4	34.3	2.9
FP1	24.6	28.3	31.3	3
FP2	24.6	28.7	31.3	2.6
FP3	24.6	29.2	31.3	2.1
FPE1	23.2	29.1	32.3	3.2
FPE2	23.2	29.8	32.3	2.5
FPE3	23.2	30.2	32.3	2.1

Eylül ayında mazı bitkisinin yeşil duvar sistemlerinde kullanıldığı uygulamalarda yapılan ölçümlerde dış hava sıcaklığı ortalama 25.0 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.25). Yetiştirme ortamı olarak %100 torf ve %100 fındık zürufu kullanılan yeşil duvarların kurulu olduğu model binalar ile kontrol uygulaması olan yeşil duvarsız model bina arasında gerçekleşen sıcaklık farkları saat 15:00'de 4.0 °C ve 3.6 °C olarak hesaplanmıştır. Torf ve fındık zürufu karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları (TF1, TF2, TF3) kullanıldığında ise kontrol uygulaması ile oluşan sıcaklık farkları saat 15:00'da sırasıyla 3.9 °C, 3.6 °C ve 3.2 °C olarak hesaplanmıştır. Torf ve prinç kabuğu bulunan yetiştirme ortamları kullanıldığında ise en yüksek sıcaklık farkları ise (TP1; 12:00) 3.5 °C, (TP1; 15:00) 3.8 °C ve (TP2; 15:00) 3.5 °C olarak belirlenmiştir. Torf ve perlit karışımlarının kullanıldığı uygulamalar ile kontrol uygulaması arasında en yüksek sıcaklık farkı %12.5 perlit ihtiva eden karışımda 3.8°C olarak saat 15:00'da yapılan sıcaklık ölçümlerinde gerçekleşmiştir. Fındık zürufu ve prinç kabuğu karışımlarının bulunduğu yeşil duvarlarda oluşan en yüksek sıcaklık farkı 3.0 °C'dir (FP1; 15:00). Fındık zürufu ve perlit karışımlarının bulunduğu yeşil duvarlarda oluşan en yüksek sıcaklık farkı ise 3.2 °C'dir (FPE1; 15:00) (Şekil 4.25, Tablo 4.15).



Şekil 4.26. Şimşir bitkisi kullanılmış yeşil duvar uygulamaları ve model bina eylül ayı sıcaklık ölçümleri

Tablo 4.16. Şimşir bitkisi eylül ayı sıcaklık farkları

Y.O.	D. O. (°C)	Y.D. (°C)	K (°C)	S.F. (°C)
T	25.7	32.4	35.8	3.4
F	25.7	32.4	35.8	3.4
TF1	22.9	27.3	30.5	3.2
TF2	22.9	27.4	30.5	3.1
TF3	22.9	27.7	30.5	2.8
TP1	24.1	29.2	32.4	3.2
TP2	24.1	29.3	32.4	3.1
TP3	24.1	29.5	32.4	2.9
TPE1	25.9	28.5	31.8	3.3
TPE2	25.9	28.6	31.8	3.2
TPE3	25.9	28.6	31.8	3.2
FP1	25	29.4	32.5	3.1
FP2	25	29.6	32.5	2.9
FP3	25	29.8	32.5	2.7
FPE1	24.5	29.4	32.5	3.1
FPE2	24.5	29.5	32.5	3
FPE3	24.5	29.7	32.5	2.8

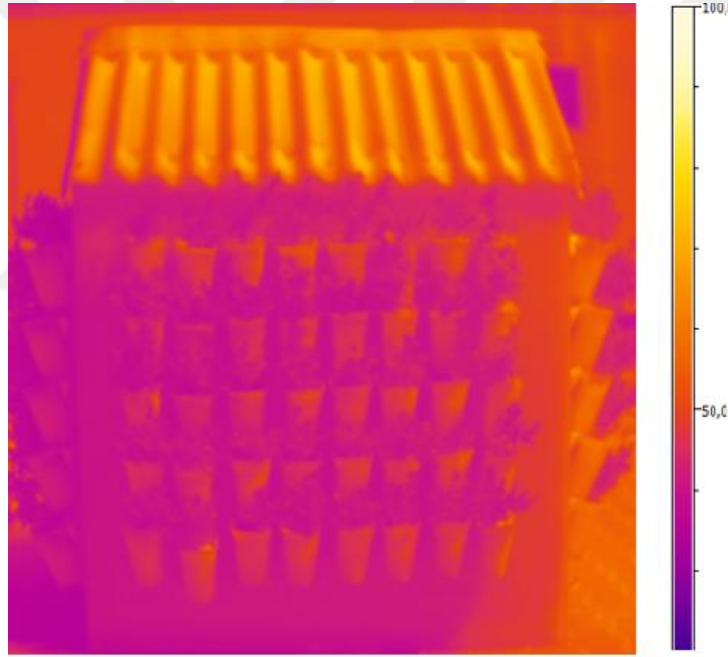
Eylül ayında şimşir bitkisinin kullanıldığı yeşil duvarlarda yapılan ölçümlerde %100 torf ve %100 fındık zürufunun yetiştirme ortamı olarak kullanıldığı yeşil duvarların bulunduğu model binalarda saat 15:00’da sıcaklıklar 32.4 °C iken kontrol uygulamasının sıcaklığı 35.8 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.26). Yetiştirme ortamı olarak torf ve fındık zürufu kullanılan yeşil duvar uygulamalarında kontrol uygulaması ile oluşan en yüksek sıcaklık farkı 3.2 °C’dir (TF1; 15:00). Torf ile prinç kabuğu ve perlit karışımlarının kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında ise oluşan en yüksek sıcaklık farkları 3.2 °C (TP1; 15:00) ve 3.3 °C (TPE1; 15:00) olarak kaydedilmiştir. Fındık zürufu ile prinç kabuğu ve perlit karışımlarının kullanıldığı yeşil duvar uygulamalarında ise oluşan en yüksek farklar 3.1 °C (FP1; 15:00) ve 3.1 °C (FPE1; 15:00) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.26, Tablo 4.16).

4.6.6. Yeşil duvarlarının ısı izolasyonuna etkilerinin termal görüntüleme ile incelenmesi

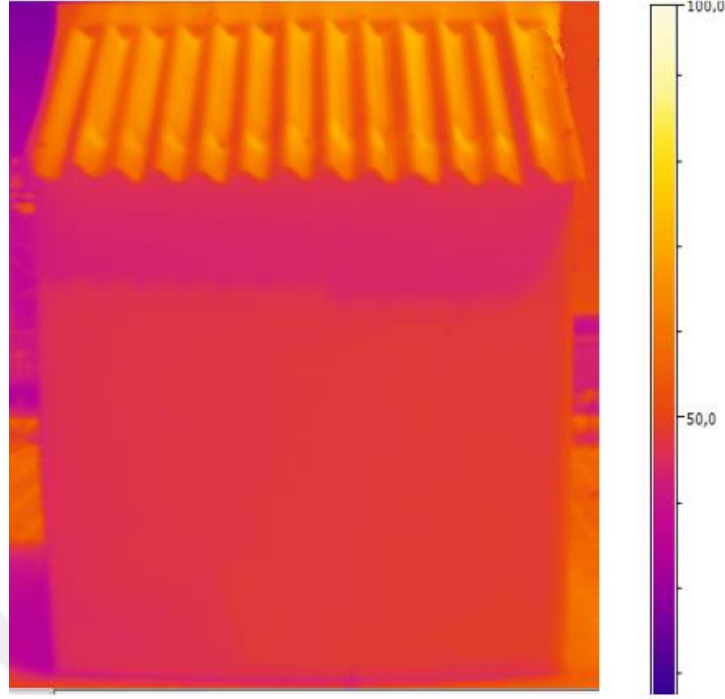
Yeşil duvar sistemlerinin sağladığı ısı izolasyonunun daha iyi anlaşılabilmesi için, yeşil duvar sistemi ve kontrol uygulaması olarak kullanılan model binalarda termal görüntüleme yapılmış ve sonuçları şekil 4.27 ve şekil 4.28’de sunulmuştur. Termal görüntülerde, yeşil duvar uygulaması kurulu olan model binanın doğrudan güneş ışınlarına maruz kalan alanları ile yeşil duvar bitki alanının sağladığı gölgele etkisindeki alanlar arasındaki sıcaklık farkları açıkça görülmektedir. Bununla birlikte yeşil duvar

sisteminde kullanılan saksıların dış yüzeyleri güneş ışınlarının etkisi ile ısınırken, saksıların içinde bulunan yetiştirme ortamlarının sıcaklığı, yüzey sıcaklığından düşük kalmıştır (Şekil 4.27).

Bu durum bina ısı izolasyonuna bitkilerin gölgelendirme etkisinin yanında, ilave bir ısı yalıtım katmanı gibi davranan yetiştirme ortamlarının da katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Hem bitkilerin gölgelendirmesi hemde yetiştirme ortamının sağladığı ısı izolasyonundan mahrum olan kontrol uygulamasında ise model binanın dış duvarları doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmış ve ısınmıştır (Şekil 4.28). Elde edilen termal görüntüler çalışma kapsamında yetiştirme ortamı kurulu olan model binalarda bitki alanı artışı ile kontrol uygulaması arasındaki bina içi sıcaklıkları arasında oluşan sıcaklık farklarını desteklemekte ve yeşil duvarların ısı izolasyonuna olan etkilerini açıkça ortaya koymaktadır (Kontoleon ve Eumorfopoulou, 2010; Drozd, 2019).



Şekil 4.27. Yeşil duvar sistemi kurulu olan model binanın termal görüntüsü



Şekil 4.28. Kontrol uygulamasının termal görüntüsü

Farklı yetiştirme ortamları ve bitki türleri ile yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar yeşil duvar sistemlerinin bina iç sıcaklıklarının dengelenmesi ve ısı izolasyonu sağlanması konusunda önemli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte literatürdeki konuyla ilgili çalışmaların sonuçlarına göre yeşil duvarların ısı izolasyonunda ki olumlu etkileri üç mekanizma ile açıklanmaktadır (Dede ve Oztekin, 2018). Bu mekanizmalar, bitkilerin sağladığı gölgeleme etkisi, bitkilerin terlemesi ve yetiştirme ortamındaki sulama suyunun bir miktarının buharlaşmasıyla yeşil duvarın etrafında oluşan nemli havanın ısıyı emmesi ve yetiştirme ortamının ilave bir yalıtım katmanı oluşturmasıdır. Bununla birlikte bu mekanizmalardan hangisinin yeşil duvarların ısı izolasyonuna olan etkisinin daha yüksek olduğu konusunda literatürde yapılmış ayrıntılı bir inceleme yoktur (Dede ve Oztekin, 2018; Wong ve ark, 2010). Gerçekleştirilen bu çalışmada, görüntü analizi kullanılarak hızlı ve basit bir şekilde yeşil duvar sistemlerinin bitki alanının yetiştirme döneminin istenen bir zamanında hesaplanabilmesi, yeşil duvar bitkilerinin gölgeleme etkisinin ısı izolasyonun da ki payını anlamaya yardımcı olmuştur. Çalışmanın başlangıcında düşük olan bitki alanı arttıkça ve bina duvarlarını kapladıkça ısı izolasyonunda önemli ölçüde artış görülmektedir. Bununla birlikte dış hava sıcaklığının yüksek olduğu güneşli günlerde yeşil duvar sisteminin sağladığı ısı izolasyonu artmaktadır. Dış hava sıcaklığının düşük olduğu nisan ve mayıs aylarında yapılan

ölçümlerde yeşil duvar sistemleri ve kontrol uygulamaları arasındaki sıcaklık farkları da düşüktür. Yeşil duvar sistemi ve kontrol uygulamasında yapılan ölçümlerde en yüksek sıcaklık farkı 6.2 °C ye ulaşmıştır. Bu değer çalışma dönemi boyunca en yüksek dış sıcaklık değerleri ölçülen ağustos ayında gerçekleşmiştir. Bu durum literatürdeki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumludur. Literatürdeki çalışmalarda yeşil duvar sistemleri ile kontrol uygulamaları arasındaki farkların 5-17 °C arasında değişebileceği rapor edilmektedir (Barrio, 1998; Stec ve ark, 2005; Perez ve ark, 2011; Hoerschler ve ark, 2016; Wong ve ark, 2010; Perini ve ark, 2011).

Bunun yanında çalışma boyunca tüm model binalarda ölçülen en yüksek sıcaklıklar saat 13.00-15.00' ölçümlerinde elde edilmiştir. Bu saatlerde model binaların iç sıcaklığı dış ortam sıcaklığının üstündedir. Bu durum model binaların tamamen kapalı olması ve herhangi bir hava akımı olmadığından sıcak havanın model bina içerisinde kalmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma sonuçlarından yeşil duvar sistemlerinin binalara termal etkileri ile ilgili çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise sabah, öğle ve akşam saatlerinde oluşan sıcaklık farklarının bina iç sıcaklığına olan etkilerini azaltmasıdır. Kontrol uygulamasında öğlen saatlerinde çok hızlı artan bina iç sıcaklıkları, akşam saatlerinde dış hava sıcaklığının düşmesi ile birlikte hızla azalmaktadır. Yeşil duvar sistemlerinin kurulu olduğu model binalarda ise bu düşüş oldukça sınırlıdır. Bu durum bina iç sıcaklık dengesinin sağlanması açısından yeşil duvarların sağladığı önemli bir katkıdır ve literatürdeki çalışmalarda rapor edilen sonuçlarla uyumludur (Cuce 2017; Ottel  ve ark, 2011, Medl ve ark, 2017).

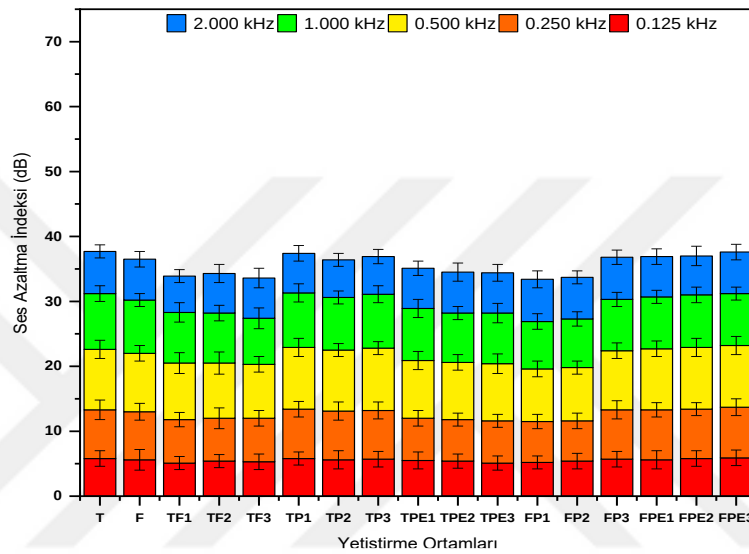
4.7. Yeşil Duvarların Ses İzolasyonuna Etkilerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişimi

Yapılan çalışmada yeşil duvarlarda kullanılan bitkilerin ses izolasyonuna olan etkilerini incelemek amacıyla altı aylık dönemde (nisan-eylül) farklı frekanslarda üretilen sesler kullanılarak yapılan ölümler sonucunda her bir uygulama için ses azaltım indeksleri hesaplanmış ve yeşil duvar sistemlerinin sağladığı azaltımı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan ölümlerde şimşir bitkisi ile  luşturulan yeşil duvar uygulamalarında nisan ve mayıs aylarında ses azaltım indeksinin diğ r aylara göre daha düşük olduğı saptanmıştır. Bu durum nisan ve mayıs aylarında bitki alanlarının diğ r aylara oranla daha düşük olmasından kaynaklanmıştır. Yapılan ölümlerde kaynak sesin 0.125 kHz ve 2.000 kHz frekanslarında üretildiğı ölümlerde ses azaltım

indeksinin düşük olduğu ve en yüksek ses azaltım indeksi değerlerinin kaynak sesin 0.500 kHz frekansında üretildiği ölçümlerde kaydedildiği görülmüştür.

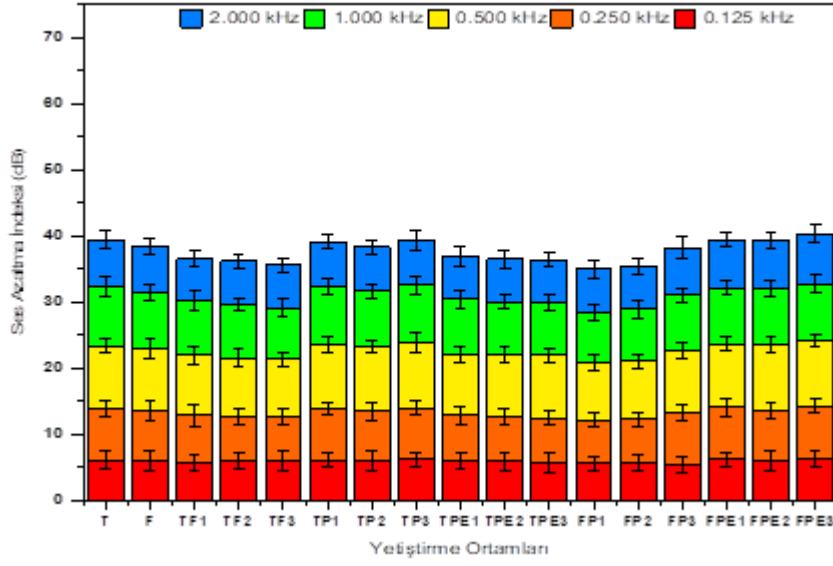
4.7.1. Mazı bitkisi (*Thuja plicata*) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkileri

Nisan ayında mazı bitkisi (*Thuja plicata*) ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemi kurulu olan ve kontrol uygulaması olarak kullanılan yeşil duvar sistemi kurulmayan model binalarda belirlenen ses azaltım indeksi sonuçları Şekil 4.29’da sunulmuştur.



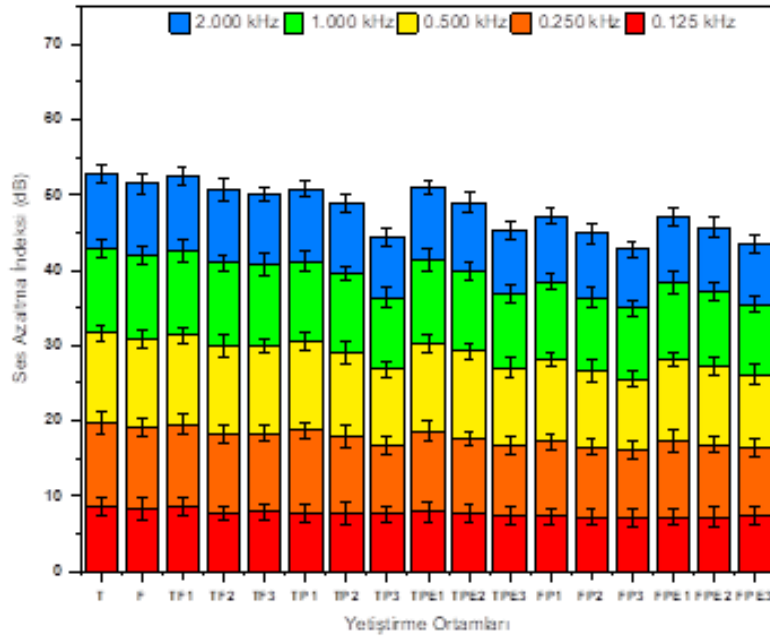
Şekil 4.29. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin nisan ayı ses azaltma indeksleri

Mazı bitkisi ile bitkilendirilen yeşil duvar uygulamalarında nisan ayı ses ölçümlerinde 0.125 kHz’lik kaynak sesinde en yüksek ses azaltım indeksi 5.9 dB olarak belirlenmiştir (FPE3). 0.250 kHz frekansı ile yapılan çalışmada ses azaltım indeksinin arttığı ve en yüksek değerin 7.8 dB (FPE3) olduğu kaydedilmiştir. Ses kaynağı 0.500 kHz olarak verildiğinde ise nisan ayı için en yüksek ses azaltım indekslerine ulaşıldığı gözlemlenmiş ve uygulamalar arasında elde edilen en yüksek ses azaltım indeksi 9.6 dB (TP3) olarak kaydedilmiştir. Ses kaynağı 1.000 kHz ve 2.000 kHz frekansına ayarlandığında ses azaltım indeksinde belirgin bir azalma saptanmıştır. Bu frekanslarda yapılan ölçümlerde en yüksek ses azaltım değerleri sırasıyla 8.6 dB (T) ve 6.5 dB (T, FP1, FP3) olarak ölçülmüştür (Şekil 4.29).



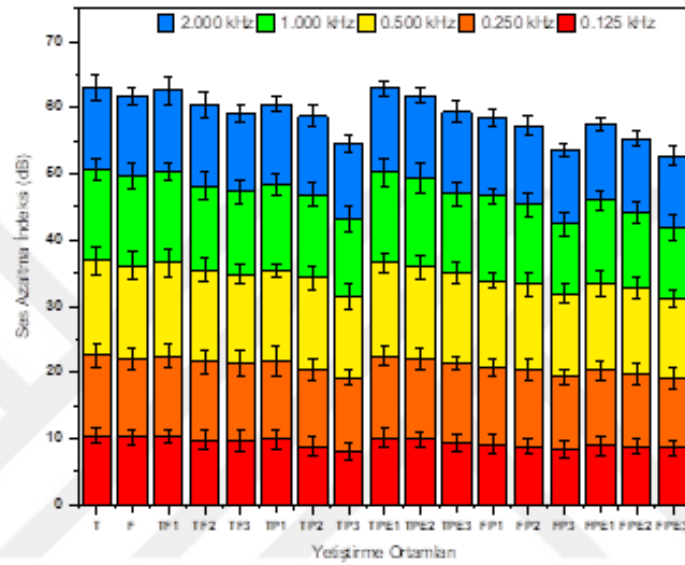
Şekil 4.30. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin mayıs ayı ses azaltma indeksleri

Mayıs ayı ölçümlerinde nisan ayına oranla ses azaltım indekslerinde bitki alanı değerlerine paralel olarak artışların sınırlı olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte yapılan ölçümlerde 0.125 kHz frekansında ulaşılan ses azaltım indekslerinin diğer frekanslara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde en yüksek ses azaltım indekslerine 0.500 kHz frekansında ulaşılmıştır. Bu değerler 9.9 dB (TP3, FPE3), 9.8 dB (FPE2) ve 9.7 dB (TP1, TP2) olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.30).



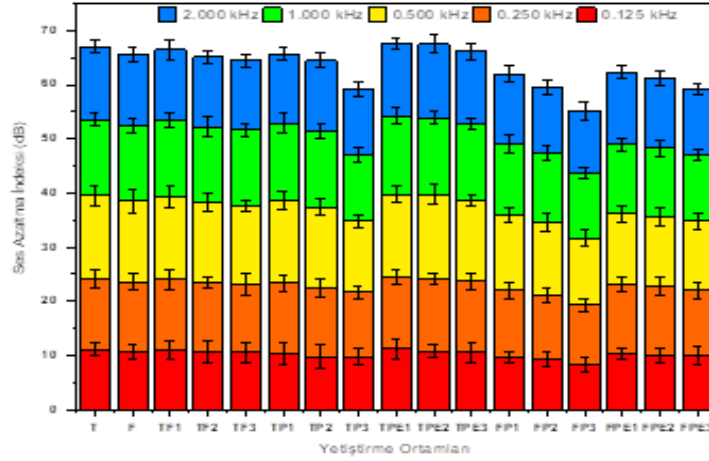
Şekil 4.31. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin haziran ayı ses azaltma indeksleri

Haziran ayı ses ölçümlerinde 0.125 kHz ve 0.250 kHz frekanslarında en yüksek ses azaltım indeksleri 8.7 dB ve 11 dB ile %100 torfun yetiştirme ortamı olarak kullanıldığı yeşil duvarda kaydedilmiştir. Kaynak frekansı 0.500 kHz iken haziran ayı en yüksek ses azaltım değerleri kaydedilmiştir ve bu değerler 11.9 dB (T), 11.8 dB (TF1, TP1) ve 11.7 dB (TF2, TPE1) olarak ölçülmüştür. 1.000 kHz ve 2.000 kHz frekanslarında yapılan ölçümlerde en yüksek ses azaltım indeks değerleri sırasıyla 11.3 dB (T) ve 9.9 dB (TF1) olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.31).



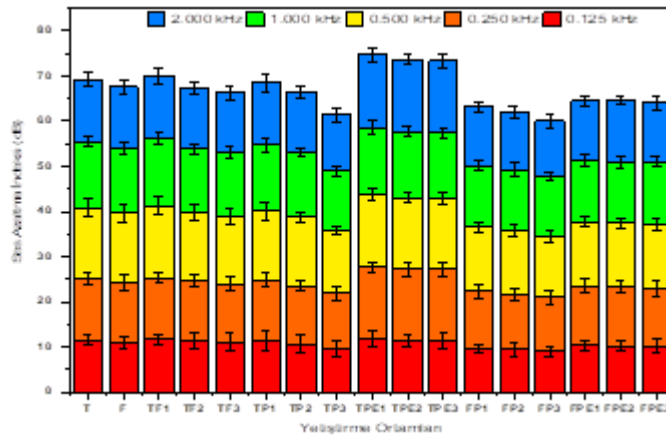
Şekil 4.32. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin temmuz ayı ses azaltma indeksleri

Temmuz ayı mazı bitkisi için yapılan ölçümlerde 0.125 kHz frekansında ölçülen ses azaltım indekslerinin en yüksek değerleri 10.5 dB (T) ve 10.4 dB (TF1) dir. Kaynak frekansı 0.250 kHz' e çıkarıldığında en yüksek ses azaltım indeksi değerleri 12.4 dB (TPE1) olarak ölçülmüştür. Temmuz ayı ölçümlerinde ulaşılan en yüksek ses azaltım değerleri 0.500 kHz frekansında kaydedilmiştir. Bu değerler incelendiğinde TF1 ve TPE1 uygulamalarının ses azaltım indekslerinde belirgin artış olduğu ve sırasıyla 14.2 dB (T), 14.1 dB ses azaltım değerlerine ulaşıldığı söylenebilir. Kaynak ses frekansı 1.000 kHz ve 2.000 kHz olarak kullanıldığında her iki frekansda da ses azaltım indeksinin 0.500 kHz frekansında elde edilen ses azaltım indeksi değerlerinin altında kaldığı görülmüştür. Bu iki frekans aralığında ölçülen en yüksek ses azaltım indeksi değerleri sırasıyla 13.8 dB (T, TF1) ve 12.6 dB (TPE1) dir (Şekil 4.32).



Şekil 4.33. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ağustos ayı ses azaltma indeksleri

Ağustos ayı mazı bitkisinin bitki alanının önemli ölçüde artış gösterdiği aylardandır. Bu durum ses azaltım indeksi değerlerinin de artmasını sağlamıştır. Yapılan ölçümlerde 0.125 kHz frekansında kaydedilen ses azaltım indekslerinden en yüksek değerde olanları 11,2 dB (TPE1) ve 11,1 dB (TF1) ve 11 dB (TF1) olarak belirlenmiştir. 0.250 kHz ve 2.000 kHz frekansında yapılan ölçümlerde ise ses azaltım indekslerinin en yüksek değeri 13,4 dB torf ve perlit karışımlarından oluşan yetiştirme ortamları (TPE1, TPE2) bulunan yeşil duvarlarda kaydedilmiştir. 0.500 kHz frekansında yapılan ölçümlerde ağustos ayında gözlemlenen en yüksek ses azaltım indeksi değerlerine ulaşılmıştır. Bu frekans aralığında ulaşılan ses azaltım indeksi değerlerinden bazıları 15.5 dB (TPE2), 15.4 dB (TPE1) ve 15.3 dB (T) olarak sıralanabilir. (Şekil 4.33).

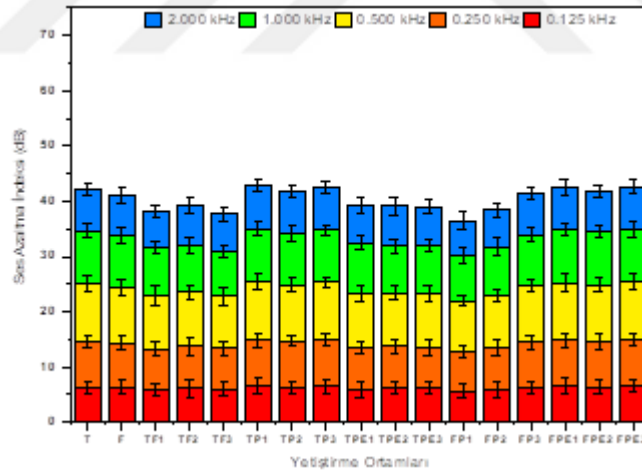


Şekil 4.34. Mazı bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin eylül ayı ses azaltma indeksleri

Mazı bitkisi için yapılan ölçümlerde en yüksek ses azaltım değerlerine eylül ayında ulaşılmıştır. Bitki alanı değerleri ile doğru orantılı bir şekilde yüksek bitki alanına ulaşılan eylül ayında ses azaltım indeksi değerlerinin de diğer aylara göre daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. 0.500 kHz frekansına ayarlanan kaynak sesi ile yapılan ölçümlerde eylül ayı en yüksek ses azaltım indeksi değerlerine ulaşılmıştır. %87.5 Torf + %12.5 fındık zürüfu (TF1) ve %87.5 torf - %12.5 perlit (TPE1) materyallerinden hazırlanan yetiştirme ortamlarının kullanıldığı yeşil duvar sistemlerinde 15.9 dB ses azaltım indeksi değerine ulaşılmıştır. Bu değer aynı zamanda tüm çalışma için elde edilen en yüksek ses azaltım indeksi değeri olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.34).

4.7.2. Şimşir bitkisi (*Buxus sempervirens L.*) kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkileri

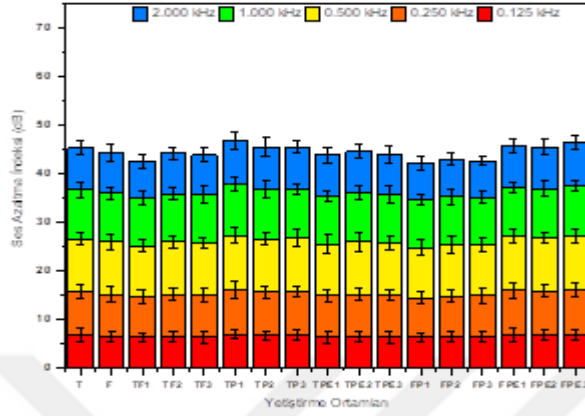
Nisan ayında şimşir bitkisi (*Buxus sempervirens L.*) ile bitkilendirilen yeşil duvar sistemi kurulu olan ve kontrol uygulaması olarak kullanılan yeşil duvar sistemi kurulmayan model binalarda belirlenen ses azaltım indeksi sonuçları Şekil 4.33’de sunulmuştur.



Şekil 4.35. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin nisan ayı ses azaltma indeksleri

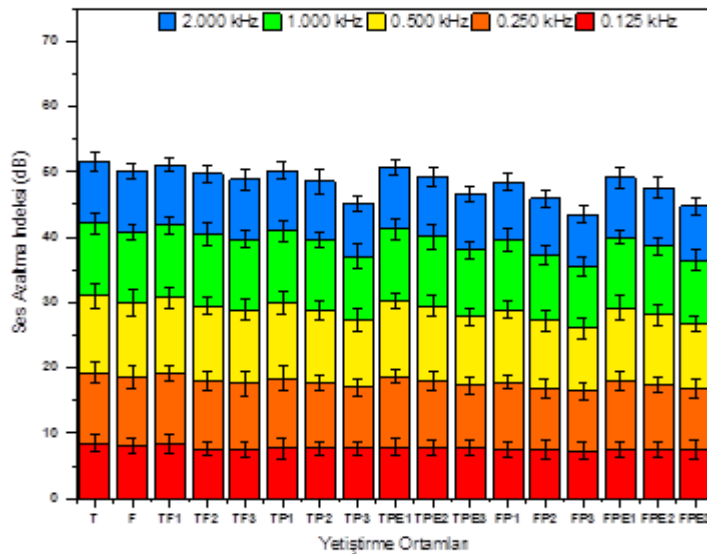
Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar uygulamalarında nisan ayı ölçümleri incelendiğinde 0.125 kHz frekansında en yüksek ses azaltım indeksi 6.6 dB olarak kaydedilmiştir (TP1, TP3, FPE1, FPE3). 0.250 kHz ile yapılan ölçümlerde ses azaltım indeksinin arttığı ve en yüksek değer 8.4 dB (FPE3) olduğu belirlenmiştir. Frekans 0.500 kHz’ e çıkarıldığında ise nisan ayı için en yüksek ses azaltım indekslerine

ulaşıldığı gözlemlenmiş ve en yüksek değer 10.5 dB (TP1) olarak kaydedilmiştir. Ses kaynağı 1.000 kHz ve 2.000 kHz olarak ayarlandığında ise ses azaltım indeksinde belirgin bir azalma saptanmıştır. Bu frekanslarda en yüksek ses azaltım değerleri sırasıyla 9.7 dB (T) ve 7.9 dB (TP1) olarak saptanmıştır (Şekil 4.35).



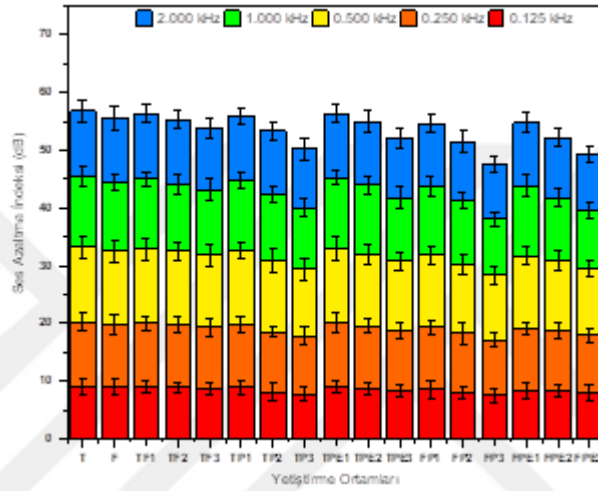
Şekil 4.36. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin mayıs ayı ses azaltma indeksleri

Mayıs ayı ölçümlerinde nisan ayına oranla ses azaltım indekslerinde belirgin bir artış olmadığı saptanmıştır. Bununla birlikte yapılan ölçümlerde 0.125 kHz frekansında ses azaltım indekslerinin diğer dalga boylarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde en yüksek ses azaltım indekslerine 0.500 kHz frekansında ulaşılmıştır. 0.500 kHz frekansında elde edilen değerler 11,1 dB (TP1, FPE3), 11 dB (TP2, TP3, FPE1, FPE2) olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.36).



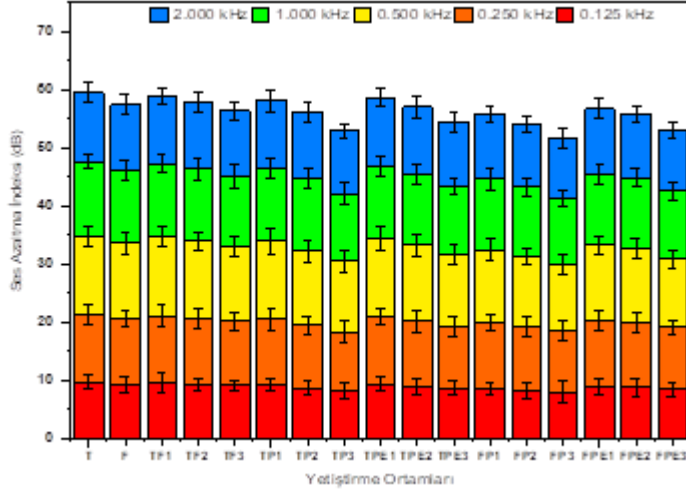
Şekil 4.37. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin haziran ayı ses azaltma indeksleri

Haziran ayı ölçümlerinde ise 0.125 kHz frekansında en yüksek ses azaltım indeksi 8.5 dB ile yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvar uygulamasında kaydedilmiştir. 0.250 kHz frekansı kullanılarak yapılan ölçümlerde ise en yüksek ses azaltım indeksi 10.8 dB (T, TF1, TPE1) olarak kaydedilmiştir. Kaynak ses frekansı 0.500 kHz iken haziran ayında en yüksek ses azaltım değerleri kaydedilmiştir ve bu değerler 11.7 dB (T, TF1,) 11.6 dB (TPE) olarak hesaplanmıştır. 1.000 kHz ve 2.000 kHz frekanslarında yapılan ölçümlerde ise en yüksek ses azaltım indeks değerleri sırasıyla 11.1 dB (T) ve 9.5 dB (T) olarak bulunmuştur (Şekil 4.37).



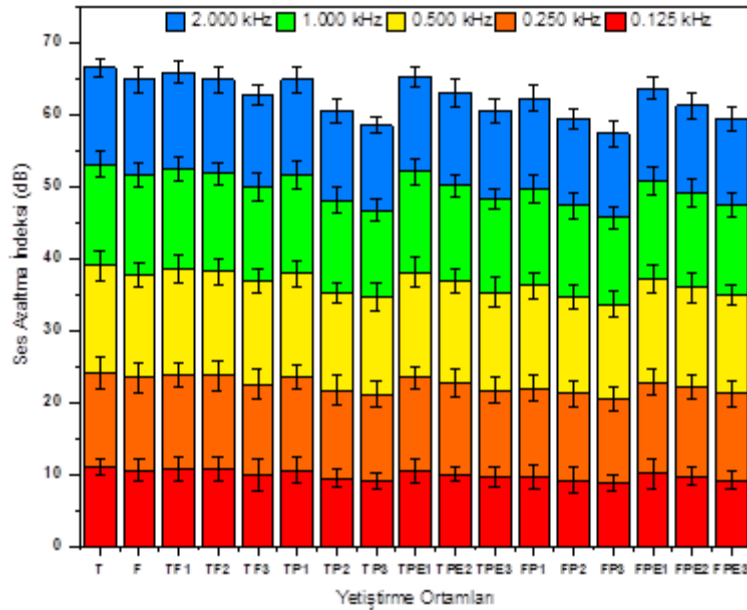
Şekil 4.38. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin temmuz ayı ses azaltma indeksleri

Temmuz ayı şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvarlarda 0.125 kHz frekansında ölçülen ses azaltım indekslerinin en yüksek değerleri 9.1 dB (T) ve 9 dB (TF1, TPE1) olarak kaydedilmiştir. Kaynak ses frekansı 0.250 kHz olarak ayarlandığında ise en yüksek ses azaltma indeksleri 11.2 dB (T) ve 11.1 dB (TF1) değerine çıkmıştır. Tüm uygulamalar arasında en yüksek ses azaltım değerleri 0.500 kHz dalga frekansında belirlenmiş olup, bu değerler 12.9 dB (T, TPE1), 12.8 dB (TF1, TP1) ve 12.7 dB (F, TF2) dir. 1.000 kHz ve 2.000 kHz olduğunda ise ses azaltım indeksi 0.500 kHz frekansında ölçülen değerlerin altındadır (Şekil 4.38).



Şekil 4.39. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ağustos ayı ses azaltma indeksleri

Ağustos ayında bitki alanı büyümesi ile paralel olarak ses azaltım indekslerinde de belirgin bir artış görülmüştür. Yapılan ölçümlerde 0.125 kHz frekansında kaydedilen ses azaltım indekslerinden en yüksek değerde olanları 9.7 dB (T) ve 9.6 dB (TF1) dir. 0.250 kHz ve 2.000 kHz frekanslarında yapılan ölçümlerde elde edilen ses azaltım indekslerinin en yüksek değerleri sırasıyla 11.6 dB ve 11.9 dB ile yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvarlarda ölçülmüştür. 0.500 kHz dalga boyunda yapılan ölçümlerde 13.5 dB (T, TF1) ile ağustos ayında gözlemlenen en yüksek ses azaltım indeksi değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.39).

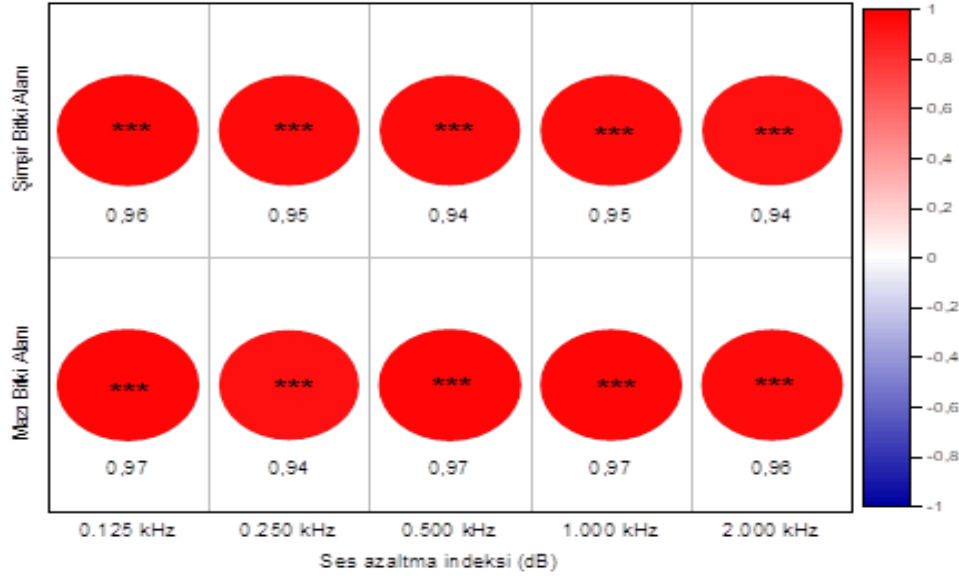


Şekil 4.40. Şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinin eylül ayı ses azaltma indeksleri

Eylül ayında şimşir bitkisi ölçümleri içerisinde tüm yetiştirme ortamları için en yüksek ses azaltım değerlerine ulaşılmıştır. Çalışma boyunca en yüksek bitki alanına ulaşılan eylül ayında ses azaltım indeksi değerleri de diğer aylardan yüksektir. Bunun yanında kullanılan frekanslar arasında en yüksek ses azaltım indeksi değerlerine 0.500 kHz frekansında ulaşılmıştır. Bu frekans aralığında yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvarda 14.9 dB, torf ve fındık zürüfu karışımından hazırlanan TF1 yetiştirme ortamında ise 14.7 dB ses azaltımı elde edilmiştir. Torf ve fındık zürüfu ile perlit karışımlarından hazırlanan yeşil duvarlarda elde edilen en yüksek değerler sırasıyla 14.6 dB (TPE1) ve 14.3 dB (FPE1) dir (Şekil 4.40).

4.7.3. Farklı bitki türleri kullanılan yeşil duvar sistemlerinin ses izolasyonuna etkilerinin değerlendirilmesi

Yeşil duvar sistemlerinin bitki alanı ile farklı frekanslarda elde edilen ses azaltım indeksleri arasındaki ilişkinin spearman korelasyonu ile incelenmesine ait sonuçlar şekil 4.41’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre her iki bitki türü içinde tüm frekans değerlerinde ses azaltımı bitki alanı ile doğrudan ilişkilidir. Bitki alanı ile ses azaltım indeksi arasındaki en yüksek korelasyon (0.97), mazı bitkisi ile kullanılan yeşil duvar sistemlerinde ve 0.125 kHz, 0.500 kHz ve 1.000 kHz frekanslarında belirlenmiştir. En düşük korelasyon (0.94) ise şimşir bitkisi kullanılan uygulamalarda 2.000 kHz frekansında, mazı bitkisi kullanılan uygulamalarda ise 0.250 kHz frekansında gerçekleşmiştir. Bitki alanının ses azaltımı üzerindeki yüksek etkisi, bitkilerin yaprak ve dalları ile ses dalgalarını kırması, yönünü değiştirmesi, enerjisini azaltması ve emmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece ses dalgaları bina duvarına ulaştıklarında yoğunluğu düşmüş olur (Azkorra et al. 2015, Maleki and Hosseini 2011, Van Tai Tang et al 2021).



Şekil 4.41. Mazi ve şimşir bitki alanı ve ses azaltma indeksinin farklı frekans değerlerindeki Spearman korelasyonu (***) $p \leq 0.001$

Bununla birlikte yeşil duvar sistemlerinin sağladığı ses izolasyonu her ne kadar bitki alanının fazlalığı ile önemli ölçüde arsada, sadece bitki katmanının etkili olduğu düşünülmemelidir. Bitki katmanı dışındaki yeşil duvar unsurlarının ve özellikle yetiştirme ortamlarının ses azaltımına olan etkileride göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada perlit içeren yetiştirme ortamlarının kullanıldığı uygulamalarda, bitki alanı kendisinden yüksek olan bazı uygulamalara göre daha yüksek ses azaltım indeksi sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu durum perlitin özellikle yüksek frekanslarda yeşil duvar içerisinde oluşan yankılanmayı azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca perlitin düşük hacim ağırlığı ve çok fazla mikro gözenek içeren yapısı onu oldukça etkili bir ses emilimi sağlayabilir. Bitki yaprakları veya yetiştirme ortamının gözenekli yapıya sahip olmasının ses azaltımı için faydalı oldu düşünülmektedir (Azkorra ve ark, 2015; Yang ve ark, 2013).

Çalışma kapsamında elde edilen en yüksek ses azaltım indeksi 16 dB ile mazi bitkisinde ve TPE1 (%87.5 torf+%12.5 perlit) yetiştirme ortamının kullanılması ile 500 kHz frekansında elde edilmiştir. Bunun yanında tüm uygulamalarda 0.125 kHz-0.500 kHz frekans aralığında, frekans arttıkça ses azaltım indeksi değeri de artmaktadır. 0.500 kHz’ den sonraki frekans artışlarında (1.000 kHz, 2.000kHz) ise ses azaltım indeksi düşmüştür. Bu durum literatürdeki çalışmaların bulgularıyla uyumludur (Azkorra ve ark. 2015). Wong ve diğerleri, farklı türdeki yeşil duvar sistemlerinin binalardaki akustik etkilerini inceledikleri çalışmada, orta frekans

değerlerinde yetiştirme ortamı ve saksı gibi yeşil duvar sistemi parçalarının yer aldığı alt tabakaların soğurucu etkisinden dolayı ses dalgalarının zayıfladığını, yüksek frekanslarda ise bitkilerin neden olduğu saçılmadan dolayı bu etkinin daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. (Wong at al. 2010).

Bununla birlikte bilimsel literatürde yeşil duvarların ses azaltımına etkileri ile ilgili kapsamlı araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bazı çalışmalarda yeşil duvarların 6-10 dB' lik bir ses azaltımı sağladığı belirlenmiştir. Bundan dolayı bu çalışmada yeşil duvar sistemlerinin ulaştığı 16 dB' lik ses azaltımı oldukça önemlidir. Sıklıkla kullanılan bazı yapı malzemelerinden ahşap çerçeveli termal çift camın (6-12-6) 30 dB, 100 mm kalınlığında kaplamasız tuğlanın 44 dB ve sıvı kaplamalı 215 mm kalınlığındaki hafif agrega blokların 51 dB ses azaltım indeksine sahip olduğu düşünüldüğünde yeşil duvarların ses izolasyonuna katkıları daha iyi anlaşılabilir (Azkorra ve ark. 2015).



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıcak iklimlerdeki binalar, güneşten gelen yoğun termal radyasyonun etkisi altındadır. Bu radyasyonun etkisiyle binaların dış yüzeyleri önce ısınır ve bu ısı, yapının inşa özelliklerine, kullanılan malzemelere ve yalıtım tekniklerine bağlı olarak değişen oranlarda iç mekanlara aktarılır. İç mekân sıcaklıklarındaki artış hem evlerde hem de iş yerlerinde yaşayan veya çalışan bireylerin konforunu azaltarak rahatsızlık yaratır. Bu nedenle, sıcak bölgelerde en fazla enerji tüketilen alanlardan biri, soğutma amacıyla kullanılan enerjidir.

Son yıllarda mimari tasarımlarda yeşil duvar sistemlerinin kullanımı artmış ve bu sistemlerin faydaları üzerine yapılan araştırmalar çoğalmıştır. Bu araştırmalar, yeşil duvarların binaların sıcaklıklarını düşürmede etkili olduğunu ve bu sayede önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Yeşil duvarlar, bitki örtüsüyle kaplanmış duvar sistemleri olarak, doğrudan güneş ışınlarını emer ve buharlaşma yoluyla çevresine serinlik yayar. Bu sistemler, binaların dış yüzeylerini ısıdan koruyarak iç mekan sıcaklıklarının kontrol altında tutulmasına yardımcı olur. Ayrıca, yeşil duvarlarda kullanılan bitki alanının arttıkça, sağladıkları termal izolasyon etkisinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, yeşil duvar uygulamalarının binalarda oluşturduğu pozitif termal yalıtım etkisini daha iyi anlamak ve bu faydaların maksimum düzeye çıkarılabilmesini sağlamak amacıyla küresel ölçekte çalışmalar devam etmektedir. Araştırmacılar, farklı bitki türlerinin ve duvar yapılarının termal yalıtım üzerindeki etkilerini incelemekte, çeşitli iklim koşullarında performanslarını değerlendirmektedir. Bu çalışmalar, yeşil duvar sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında yenilikçi yöntemler geliştirilmesine olanak tanımakta, böylece daha verimli ve etkili yalıtım çözümlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Bu araştırmalara katkıda bulunmak amacıyla yürütülen bu çalışmada elde edilen bulgular ve gelecekteki araştırmalara destek olabilecek öneriler bu bölümde sunulmuştur.

Yapılan çalışmada yeşil duvar uygulamalarında yetiştirme ortamı olarak kullanılmak üzere, torf, findık zürufu, pirinç kabuğu ve perlit çeşitli oranlarda karıştırılmıştır. Elde edilen karışımların bitki büyümesine olan etkileri ve yeşil duvarlarda kullanılabilirliğini incelemek için fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde findık zürufunun yüksek hacim ağırlığına, pirinç kabuğunun ise düşük hacim ağırlığına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla hazırlanan yetiştirme ortamı karışımlarında pirinç oranı arttıkça hacim ağırlığın önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. Bununla birlikte incelenen yetiştirme ortamlarının tamamının hacim ağırlığı ideal değerlerde bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan yetiştirme ortamlarının kimyasal özellikleri incelendiğinde, ölçülen tüm pH değerleri ideal değer aralığında bulunurken, elektriksel iletkenlik değerleri ideal değer aralığından düşük bulunmuştur. Elektriksel iletkenlik değerlerinin düşük olması, yeşil duvarların uzun süreli sulanması, saksıda kurumuş yaprak ve dalların ayrışması gibi elektrik iletkenliğini arttıran durumlar nedeniyle avantaj olarak değerlendirilmiştir. İnorganik yetiştirme ortamı bileşeni olan perlitin kullanıldığı tüm yetiştirme ortamı uygulamalarında, karışımdaki perlit miktarı arttıkça organik madde miktarı azalmıştır.

Çalışma kapsamında yeşil duvar uygulamalarında kullanılmak üzere iki tür bitki (mazı (*Thuja plicata*) ve şimşir (*Buxus sempervirens L.*)) seçilmiştir. Nisan-eylül döneminde bitki büyümesi ve buna bağlı olarak artan bitki alanının ısı ve ses izolasyonlarına olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla imageJ programı ile yapılan bitki alanı ölçümleri sonucunda, mazı bitkisinin nisan ve mayıs aylarında bitki alanı diğer aylara göre düşük bulunmuştur. Eylül ayında ise en yüksek bitki alanı değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Mazı bitkisinde en yüksek bitki alanına TF1 yetiştirme ortamında ulaşılmıştır. Bu yetiştirme ortamının kullanıldığı yeşil duvar sisteminde başlangıç (nisan) bitki alanı 0.327 m^2 ve yetiştirme dönemi sonu (eylül) bitki alanı 0.962 m^2 olarak hesaplanmıştır. Yeşil duvardaki en düşük bitki alanı artışı 0.343 m^2 başlangıç bitki alanı ve 0.612 m^2 son bitki alanı ile FP3 uygulamasında belirlenmiştir. Mazı bitkisinde elde edilen sonuçlara benzer şekilde şimşir bitkisi kullanılan yeşil duvar sistemlerinde de TF1 yetiştirme ortamında en yüksek bitki alanına ulaşılmıştır. En yüksek değerlerin elde edildiği TF1 uygulamasında başlangıç bitki alanı 0.412 m^2 , son bitki alanı ise 0.594 m^2 olarak gerçekleşmiştir. En düşük değer ise (0.521 m^2) FP3 uygulamasında elde edilmiştir.

Bununla birlikte, çalışmanın temel amaçlarından biri olan yeşil duvar uygulamalarının termal izolasyon üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik yapılan ölçümlerde, çalışmada test edilen tüm yeşil duvar çeşitlerinin ısı yalıtımına katkıda bulunduğu saptanmıştır.

Çalışmada yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonuna olan etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan sıcaklık ölçümlerinde, bitki alanı arttıkça yeşil duvar uygulamalarının ısı izolasyonu değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yeşil duvar uygulamaları bulunan model binalar ve kontrol uygulaması arasında oluşan sıcaklık farkları incelendiğinde oluşan en yüksek sıcaklık farkı mazı bitkisi ve yetiştirme ortamı olarak %100 torf kullanılan yeşil duvar uygulamasında, ağustos ayı ölçümlerinde saat 15:00 te hesaplanmıştır (6.2 °C). Aynı ay içerisinde TF1 uygulamasında en yüksek sıcaklık farkı 6.0 °C olarak hesaplanmıştır. PR1 uygulamasında 4.8 °C ve TPE1 uygulamasında 5.1 °C hesaplanan diğer yüksek sıcaklık farklarıdır. Şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında yapılan ölçümlerde en yüksek sıcaklık farkları ağustos ayında kaydedilmiştir. T uygulamasında 4.4 °C, TF1 uygulamasında 4.1 °C TPE1 uygulamasında 4.2 °C şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında hesaplanan en yüksek sıcaklık farkı değerleridir.

Çalışma kapsamında yeşil duvar uygulamalarının ses izolasyonuna olan etkilerini araştırma amacıyla yapılan ölçümler sonucunda tüm uygulamalarda ses izolasyonuna pozitif katkısı olduğu saptanmıştır.

Yeşil duvarların ses izolasyonuna olan etkileri araştırma amacıyla yapılan ölçümlerde bitki alanı artışıyla birlikte ses azaltım indeksinde de artış görülmüştür. Her iki bitki türü için de en düşük bitki alanları olarak nisan ayında hesaplanmıştır. Budurum ses azaltım indekslerinin nisan ayında düşük seviyelerde kalmasına yol açmıştır. Bitki alanlarının en yüksek değerlerine ulaştığı eylül ayında ise ses azaltım indeksleri çalışma kapsamında ulaşılmış en yüksek değerlerde hesaplanmıştır. Çalışmada farklı frekanslarda ölçümler yapılmıştır ve en yüksek ses azaltım indeksleri tüm uygulamalarda 0.500 kHz frekansta hesaplanmıştır. Mazı bitkisi ile oluşturulan yeşil duvarda nisan ayında yapılan ölçümlerde ses azaltım indeksi en yüksek TP3 uygulamasında ve 0.500 kHz frekansta hesaplanmıştır (9.6 dB). Mazı bitkisi ile oluşturulan yeşil duvarlarda ulaşılan en yüksek ses azaltım indeksi değeri eylül ayında 0.500 kHz frekansında TPE1 uygulamasında belirlenmiştir (16 dB). Şimşir bitkisi ile

oluşturulan yeşil duvar uygulamalarında mazı bitkisinde olduğu gibi nisan ve mayıs aylarında bitki alanının diğer aylara oranla düşük olması sebebiyle hesaplanan en düşük ses azaltım indeksleri kaydedilmiştir. Şimşir bitkisi ile oluşturulan yeşil duvarda nisan ayında yapılan ölçümlerde, ses azaltım indeksi en yüksek TP1 uygulamasında ve 0.500 kHz frekansta bulunmuştur (10.5 dB). Şimşir bitkisinin yeşil duvar sisteminde kapladığı bitki alanı, eylül ayında en yüksek değerine ulaşmış ve bu durum ses azaltım indeksinin artmasına yol açmıştır. Farklı ses frekansları ile yapılan ölçümlerde T uygulaması için 0.500 kHz frekansında 14.9 dB, 1.000 kHz frekansında 14.1 dB, 2.000 kHz frekansında 13.4 ve 0.250 kHz frekansında 13.2 dB uygulamalar içerisinde en yüksek ses azaltım indeksleri olarak hesaplanmıştır.

Çalışmadan elde edilen tüm deneysel bulgular bir bütün olarak göz önüne alındığında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Farklı materyallerin çeşitli oranlarda karışımından oluşan hazırlanan yetiştirme ortamları yeşil duvar sistemlerinde başarı ile kullanılabilir.
- Tarımsal kökenli organik atıkların yetiştirme ortamı bileşeni olarak kullanılması bu atıklar için önemli bir bertaraf alternatifi oluşturabilir
- Yeşil duvarlarda kullanılacak yetiştirme ortamlarının ideal yetiştirme ortamlarında aranan özelliklerden düşük hacim ağırlığına ve yüksek su tutma kapasitesine sahip olmaları için karışımlarda kullanılan materyellerin karışım oranları belirleyicidir.
- Yeşil duvar sistemlerinde bitki büyümesi görüntü analizi yöntemiyle bitki alanları hesaplanarak takip edilebilir.
- Yeşil duvarlardaki bitki alanı yeşil duvarların ısı ve ses izolasyonu üzerinde etkilidir.
- Yeşil duvarlar da ses izolasyonu sesin frekans aralığına göre önemli ölçüde değişmektedir.

Bu sonuçlar ışığında gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda, farklı yetiştirme ortamı bileşenleri ve bitki türleri kullanılarak yapılacak çalışmalar konu ile ilgili bilimsel literatürü ileriye taşıyacaktır. Bununla birlikte denenecek farklı yetiştirme ortamlarının gri su arıtımı ve küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının tutulumuna olan etkilerin incelenmesinin, farklı yetiştirme ortamlarının yeşil duvar sistemleri üzerindeki tüm etkilerini belirlemede önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abad, M., Fornes F., Carrion C., Noguera P., Maguieira A., Puchades R., (2005). Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. *HortScience*, 40, 2138–2144.
- Abad, M., Noguera, P., Bures, S., (2001). Natinoal inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77, pp. 197-200.
- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. (2003). Physicochemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82: 241-245.
- Afshari, A., (2017). A new model of urban cooling demand and heat island application to vertical greenery systems (VGS), *Energy and Buildings* 157 204–217.
- Alsaad, H., Hartmann, M., Voelker, C. (2021). The effect of a living wall system designated for greywater treatment on the hygrothermal performance of the facade. *Energy and Buildings*.
- Attal, E., de l'Epine, Y.B., Dauchez, N., Dubus, B., (2021). Experimental investigation of the effect of moisture on the acoustic properties of lightweight substrates used in green envelopes, *Applied Acoustics* 180 108108.
- 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.
- Baran A., Çayci G., İnal A., Farklı Tarımsal Atıkların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Sayı 1 2-3, Sayfa 169-172, 1995.
- Barrio, E.P.D., Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, *Energy and Buildings*, 27 (2), 179-193, 1998.
- Benito, M., Masaguer, A., Molner, A., De Antonior, R. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology*, 97: 2071-2076.
- Boano, F. Caruso, A. Costamagna, E. Fiore, S. Demichelis, F. Galvão, A. Pisoeiro, J., Rizzo, A., Masi F. (2020). Assessment of the treatment performance of an open-air green wall fed with graywater under winter conditions *ACS ES&T Water*.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982). "Nitrogen-Total". In *Methods of Soil Analysis*, 2. Chemical and Microbiological Properties, (Edited by: Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R.) Madison, WI: American Society of Agronomy, 595 – 624.

- Bunt, A.C., (1988). Media and mixes for container grown plants: a manual on the preparation and the use of growing media for growing pot plants, 2. edn. Unwin Hyman Ltd.London.
- Carins Murphy, Madeline & Jordan, Gregory & Brodribb, Tim. (2012). Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant, cell & environment*. 35. 1407-18.
- Cheng C.Y., Cheung K.K.S., Chu L.M., (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls, *Build. Environ*, 45 p. 1779-1787.
- Chianucci F., Puletti N., Giacomello E., Cutini A, Corona P., (2015). Estimation of leaf area index in isolated trees with digital photography and its application to urban forestry” *Urban Forestry & Urban Greening* 14 377–382
- Convertino, F.; Schettini, E.; Blanco, I.; Bibbiani, C.; Vox, G. (2022). Effect of Leaf Area Index on Green Facade Thermal Performance in Buildings. *Sustainability*, 14, 2966.
- Cortês A., Almeida J., Tadeu A., Ramezani B., Fino M. R., Brito J., Silva M.C. (2022). The effect of cork-based living walls on the energy performance of buildings and local microclimate, *Building and Environment*, 216.
- Costamagna, E., Caruso, A., Galvão, A., Rizzo, A., Masi, F., & Fiore, Silvia & Boano, Fulvio. (2023). Impact of Biochar and Graphene as Additives on the Treatment Performances of a Green Wall Fed with Greywater. *Water*. 15. 195. 10.3390/w15010195.
- Cuce, E., Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation, *Applied Energy* 194, 247–254, 2017.
- Davis, M.J.M., Tenpierik, M.J., Ramírez, F.R., Perez, M.E., (2017). More than just a Green Facade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants, *Building and Environment* 116 64-72.
- De Bock, B. Belmans, S. Vanlanduit, J. Blom, A.A. Alvarado-Alvarado, A. Audenaert, (2023), “A review on the leaf area index (LAI) in vertical greening systems” *Building and Environment*.
- Dede O.H., Mercan N., Ozer H., Dede G., Pekarchuk O., Mercan B., (2021). Thermal insulation characteristics of green wall systems using different growing media, *Energy and Buildings* :2021:240, p. 110872.
- 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.
- Dede, O. H., Dede, G., Ozdemir, S., & Abad, M. (2011). Physicochemical Characterization Of Hazelnut Husk Residues With Different Decomposition Degrees For Soilless Growing Media Preparation. *Journal of Plant Nutrition*, 34(13), 1973–1984.
- Dede, O.H., Oztekin, M.H., (2018). Relationship between optical microscopic structure and physical characterization of organic wastes originated peat substitutes. *Applied Ecology And Environmental Research* 16(2):1173-1184.

- Djedjig, R., Belarbi, R., Bozonnet, E., (2017). Experimental study of green walls impacts on buildings in summer and winter under an oceanic climate, *Energy and Buildings* 150 403–411.
- Drozd, W., Problems and benefits of using green roofs in Poland, 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development, 214, 2019.
- Easlon, H. M., K. S. Nemali, J. H. Richards, D. T. Hanson, T. E. Juenger, And McKay J. K.. (2014). The physiological basis for genetic variation in water use efficiency and carbon isotope composition in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research* 119 : 119 – 129.
- Farrell C., Ang X. Q., Rayner J. P., (2013). Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates *Ecological Engineering* Volume 52, Pages 112-118.
- Feng, H., & Hewage, K., 2014. Life cycle assessment of living walls: Air purification and energy performance. *Journal of Cleaner Production*, 69, 91–99.
- Fornes, F., Belda, R. M., Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. (2003): The microstructure of coconut coir dusts for use as alternatives to peat in soilless growing media. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1171-1179.
- 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.
- Graceson A, Hare M., Hall N., Monaghan J., (2014). Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs, *Biosyst. Eng.* 124, 1–7.
- Gruda N. and Schnitzler W. H., (2004) . Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants - I. Physical properties of wood fiber substrates . *Scientia Horticulturae* , 100 : 309 – 322.
- Guillaume G, Gauvreau B, L'Hermite P. (2015). Numerical study of the impact of vegetation coverings on sound levels and time decays in a canyon street model. *Sci Total Environ.*;502:22-30.
- Handreck, K.A., (1992). Rapid assesment of the rate of nitrogen immobilization in organic components of potting comes up the nitrogen drawdown index and plant growth. *Com. in Soil Sci. and Plant Analysis* 23.
- 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.
- <https://blog.growup.green/blogs/growupdates/the-historic-origins-of-vertical-gardens-gallery>
- Hunter, A.M., Williams, N.S.G., Rayner, J.P., Lu A., Hes, D., Livesley, S.J., 2014. Quantifying the thermal performance of green facades: A critical review *Ecological Engineering* 63 102–113.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report.

- Jang, H. S., Kim, H., Jeon, J. Y. (2015). Scale-model method for measuring noise reduction in residential buildings by vegetation. *Building and Environment*. 86. 10.1016/j.buildenv.2014.12.020.
- Juneau K.J. and Tarasoff C.S., (2012) Leaf Area and Water Content Changes after Permanent and Temporary Storage. *PLoS ONE* 7(8): e42604.
- 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.
- Kontoleon K.J. and Eumorfopoulou E.A., (2010). 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.
- Külekçi E., "Peyzaj Tasarım Çalışmalarında Kullanılan Yeşil Çatıların Sürdürülebilir Yapı Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi / Green Roof Used in Landscape Design Studies Evaluation of Sustainable Construction Systems," XIII. Congress of Ecology and Environment with International Participation UKECEK 2017 , Edirne, Turkey, pp.722, 2017
- Lacasta, A.M. Penaranda, A. Cantalapiedra, I.R. Auguet, C. Bures, S.. Urrestarazu M, (2016). Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 20, 172-179.
- Lan Pan, Shen Wei, L.M. Chu, (2018). Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems, *Energy and Buildings*, 1752018,102-112, [32] Pérez, G.; Coma, J.; Sol, S.; Cabeza, L.F. (2017). Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. *Appl. Energy*. 187, 424–437.
- Maleki, K. & Hosseini, S. M.. (2011). Investigation of the effects of leaves, branches and canopies of trees on noise pollution reduction. 5.
- Manso, M., Castro-Gomes, J. P., Marchacz, M., GÓrski, M., Dulak, L., Zuchowski, R. (2017). Acoustic evaluation of a new modular system for green roofs and green walls. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 10(1), 99-108.
- Marchi M, Pulselli R.M, Marchettini N, Pulselli F.M., (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*. 306, p. 46–56.
- Martinez, F.X., (1992). Proposal of methodology for the determination of the physical properties of the substrata, *Minutes of Gardening*, 11, pp. 5566.
- 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.
- Mayrand F. and Clergeau P., Green roofs and greenwalls for biodiversity conservation: a contribution to urban connectivity? *Sustainability* (2018) 10.
- 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.

- Neupane, Dhurba. (2022). Biofuels from Renewable Sources, a Potential Option for Biodiesel Production. *Bioengineering*. 10. 29. 10.3390/bioengineering10010029.
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F. & Ruiz-García, L., 2022. "A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 162(C).
- Orsini, F., M. P. D'urzo, G. Inan, S. Serra, D. H. Oh, M. V. Mickelbart, Consiglio F., (2010). A comparative study of salt tolerance parameters in 11 wild relatives of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany* 61:3787–3798.
- Osorio-González, C.S., Gómez-Falcon, N., Sandoval-Salas, F., Saini, R., Brar, S.K., Ramírez, A.A. (2020). Production of Biodiesel from Castor Oil: A Review, *Energies*, 13, 2467.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haasa, E.M., Raiteri, R., Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems *Energy and Buildings* 43, 3419–3429, 2011.
- Pan L. Chu L.M. (2016). Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study, *Build. Environ.* 96 pp. 293-300.
- Paradelo R., Basanta R., Barral M.T., (2019). Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite *Scientia Horticulturae* Volume 243, 3, Pages 344-349.
- Peper, P.J., McPherson, E.G., (2003). Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. *Urban For. Urban Green.* 2, 19–29.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., Cabeza, L.F., 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate *Energy Conversion and Management* 52 1861–1867.
- Perini, K., Magliocco, A., Giulini, S., 2017. Vertical greening systems evaporation measurements: Does plant species influence cooling performances? *International Journal of Ventilation*, 16 (2), 152–160.
- 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.
- 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.
- Schneider, C. A., W. S. Rasband, And K. W. Eliceiri. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9 : 671 – 675.
- Sheweka, S., Mohamed, N.M., Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change *Energy Procedia* 18, 507 – 520, 2012.
- Shushunova N, Korol E, Luzay E, Shafieva D, Bevilacqua P. 2022. Ensuring the Safety of Buildings by Reducing the Noise Impact through the Use of Green Wall Systems. *Energies*. 15(21):8097.

- Spiers, T.M., Fietje, G., (2000). Green waste compost as a component in soilless growing media. *Compost, Sci. Util.* 8, pp. 19–23.
- Standart Of European, Potting Mixes, UneEn 13650.
- Stec, W.J., van Paassen, A.H.C., Maziarz, A., Modelling the double skin façade with plants, *Energy and Buildings*, 37, 419-427, 2005.
- 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.
- Tang, V., Rene, E., Hu, L. Behera, S., Phong, N. Chau, T. (2021). Vertical green walls for noise and temperature reduction - An experimental investigation. *Science and Technology for the Built Environment*. 27.
- Tudiwer, D., Korjenic, A., (2017). The effect of living wall systems on the thermal resistance of the facade, *Energy and Buildings* 135 10–19.
- Warman , L. , Moles A. T., And Edwards W., (2011). Not so simple after all: Searching for ecological advantages of compound leaves. *Oikos* 120 : 813 – 821 .
- 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.
- Yang, H., J. Kang, and C. Cheal. 2013. Random-incidence absorption and scattering coefficients of vegetation. *Acta Acustica United with Acustica* 99 (3):379–88. doi:10.3813/AAA.918619
- Young, T., Cameron, D.D., Sorrill, J., Edwards, T., Phoenix, G.K., (2014). Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban For. Urban Green*. 13, 507–516.
- Ysebaert T., Koch K., Samson R., Denys S., (2021). Green Walls for Mitigating Urban Particulate Matter Pollution—A Review, vol. 59, *Urban For Urban Green*, 2021.
- Zhen, M., Zou, W. (2023). Thermal effects of vertical greening with creepers in different life stages on the outdoor environment under a cold climate. *Environ Sci Pollut Res* 30, 5774–5790.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hasan ÖZER

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015 yılında başlamış olduğu Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde halen araştırma görevlisi olarak görev almaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Dede, O.H.; Ozer, H. Investigating the Impact of Various Growing Media on the Expansion of Green Wall Plant Coverage with Image Analysis. Horticulturae 2024, 10, 654. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060654>

DİĞER ESERLER:

- Dede O.H., Mercan N., Ozer H., Dede G., Pekarchuk O., Mercan B., (2021). Thermal insulation characteristics of green wall systems using different growing media, Energy and Buildings :2021:240, p. 110872. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110872>
- Dede OH, Ozer H (2018) Enrichment of poultry manure with biomass ash to produce organomineral fertiliser. Environ Eng Res 23(4):449–455
- Dede, C.; Ozer, H.; Dede, O.H.; Celebi, A.; Ozdemir, S. Recycling Nutrient-Rich Municipal Wastes into Ready-to-Use Potting Soil: An Approach for the Sustainable Resource Circularity with Inorganic Porous Materials. Horticulturae 2023, 9, 203. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020203>