



T.C.
KIRSEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



**BAZI TARIMSAL ATIKLARIN SERALARDA
SOĞUTMA PEDİ OLARAK
UYGUNLUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

KÜBRA ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRSEHİR

2025



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



**BAZI TARIMSAL ATIKLARIN SERALARDA
SOĞUTMA PEDİ OLARAK
UYGUNLUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

KÜBRA ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. SEDAT BOYACI

KIRŞEHİR

2025

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değeriklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 17/01/2025

Öğrenci
Kübra ARSLAN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TABLolar DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Kırşehir ilinin ve araştırma alanının coğrafi konumu	13
3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri	14
3.1.3. Araştırmada kullanılan yüksek tünel seranın yapısal özellikleri.....	14
3.1.4. Yüksek sıcaklıkların azaltılmasında kullanılan yöntemler	15
3.1.5. Meteorolojik verilerin ölçümünde kullanılan aletlerin özellikleri	17
3.2. Metot.....	17
3.2.1. Deneme konularının oluşturulması	17
3.2.2. Soğutma pedlerinin performansının belirlenmesi	18
3.2.3. İç ve dış iklim verilerinin belirlenmesi	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Soğutma Pedlerinin Su Tutma Kapasiteleri.....	23
4.2. Doğal Havalandırma ve Doğal Havalandırma + Dıştan Gölgeleme Tülü Uygulamaları	24
4.3. Evaporatif Soğutma Uygulamaları	28
4.3.1. Selüloz ped ve selüloz ped + dıştan gölgeleme uygulaması	28
4.3.2. Fındık kabuğu ped ve fındık kabuğu ped + dıştan gölgeleme uygulaması. 39	
4.3.3. Muz dalı ped ve muz dalı ped + dıştan gölgeleme uygulaması	50
4.3.4. Yer fıstığı ped ve yer fıstığı ped ve dıştan gölgeleme uygulaması	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
6. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ	79

TEŞEKKÜR

Gerek lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca gerekse tez çalışmamda bana desteğini, ilgisini, vaktini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, kibarlığını ve insanlığını örnek aldığım çok değerli danışmanım Doç. Dr. Sedat BOYACI'ya büyük bir içtenlikle teşekkürlerimi sunuyorum. Tezimin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Adil AKYÜZ ve Prof. Dr. Sultan KIYMAZ'a teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Her zaman sevgi ve şefkatle yanımda olan, kıymetli aileme, varlığıyla bana güç veren babam Tuncay EV, annem Lale EV, abim Dursun EV ve ablam Tuğba Ev'e teşekkür ediyorum.

Son olarak beni sevgiyle destekleyen kıymetli eşim Mustafa ARSLAN'a ve en değerlim oğlum Elbruz Kaan ARSLAN'a teşekkür ediyorum.

Ocak, 2025

Kübra ARSLAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI TARIMSAL ATIKLARIN SERALARDA SOĞUTMA PEDİ OLARAK UYGUNLUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kübra ARSLAN

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Sedat BOYACI
Yıl: 2025, Sayfa: 79
Jüri: Doç. Dr. Sedat BOYACI
Prof. Dr. Adil AKYÜZ
Prof. Dr. Sultan KIYMAZ

Bu çalışmanın amacı, seraların soğutulmasında yaygın olarak kullanılan ticari selüloz pedlere alternatif olarak kullanılacak bazı tarımsal atıkların (findık kabuğu, muz dalları ve yer fıstığı kabuğu) soğutma pedi olarak uygunluklarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla çalışmada, arazi koşullarında yüksek tünel serada on farklı uygulama test edilmiştir: (i) doğal havalandırma (DH), (ii) doğal havalandırma+dıştan gölgeleme tülü (DH+DGT), (iii) selüloz ped (SP), (iv) selüloz ped + dıştan gölgeleme tülü (SP+DGT), (v) findık kabuğu ped (FKP), (vi) findık kabuğu ped + dıştan gölgeleme tülü (FKP+DGT), (vii) muz dalı ped (MDP), (viii) muz dalı ped + dıştan gölgeleme tülü (MDP+DGT), (ix) yer fıstığı kabuğu ped (YFKP), ve (x) yer fıstığı kabuğu ped + dıştan gölgeleme tülü (YFKP+DGT). Elde edilen sonuçlara göre SP, SP+DGT, FKP, FKP+DGT, MDP, MDP+DGT, YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarında ped önünde soğutma etkisi dış ortamdan sırasıyla 5.6 °C, 6.6 °C, 4.2 °C, 5.1 °C, 4.0 °C, 4.9 °C, 3.9 °C ve 4.6 °C düşük olarak ölçülmüştür. Ped önünde ölçülen oransal nem değerleri dış ortamdan sırasıyla %30.2, %32.6, %22.2, %21.5, %20.5, %19.6, %15.2 ve %18.1 yüksek olarak belirlenmiştir. Uygulamaların soğutma verimleri sırasıyla %51.3, %56.2, %39.2, %40.7, %38.3, %38.2, %30.7 ve %35.1 olarak hesaplanmıştır. Soğutma kapasiteleri sırasıyla 2.6 kW, 3.1 kW, 2.0 kW, 2.4 kW, 1.9 kW, 2.3 kW, 1.8 kW ve 2.1 kW tır. Sistemin performans katsayısı değerleri sırasıyla 10.5, 12.4, 7.9, 9.5, 7.6, 9.2, 7.3 ve 8.5 olarak hesaplanmıştır. Su tüketim değerleri ise sırasıyla 2.9 L/h, 3.4 L/h, 2.2 L/h, 2.8 L/h, 2.2 L/h, 2.9 L/h, 2.0 L/h ve 2.8 L/h olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ticari olarak kullanılan selüloz pedlerin diğer uygulamalara göre avantajları olduğu belirlenmiştir. Ancak, findık kabuğu, muz dalları ve yer fıstığı kabuğu pedlerin yerel olarak bulunabilirliği, ilk yatırım maliyeti, soğutma verimliliği ve kapasitesi göz önüne alındığında selüloz pedlere iyi bir alternatif olabilecektir. Ancak bu malzemelerin hava akış hızını engellemeyecek şekilde dizayn edilmesi, farklı su akış hızlarında ve ped kalınlıklarında test edilerek performanslarının artırılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Evaporatif soğutma, Doğrudan buharlaşmalı soğutucu, Yerel malzeme, Serinletme etkisi, Soğutma kapasitesi

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EVALUATION OF SOME AGRICULTURAL WASTES AS A COOLING PAD IN GREENHOUSES

Kübra ARSLAN

KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOSYSTEMS ENGINEERING

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sedat BOYACI
Year: 2025, Pages: 79
Juries: Assoc. Prof. Dr. Sedat BOYACI
Prof. Dr. Adil AKYÜZ
Prof. Dr. Sultan KIYMAZ

The aim of this study was to determine the suitability of some agricultural wastes (hazelnut shells, banana branches and peanut shells) as cooling pads that can be used as alternatives to commercial cellulose pads commonly used in cooling greenhouses. For this purpose, ten different treatments were tested in a high tunnel greenhouse under field conditions: (i) natural ventilation (NV), (ii) natural ventilation + external shading net (NV+ESN), (iii) cellulose pad (CP), (iv) cellulose pad + external shading net (CP+ESN), (v) hazelnut shell pad (HSP), (vi) hazelnut shell pad + external shading net (HSP+ESN), (vii) banana branch pad (BBP), (viii) banana branch pad + external shading net (BBP+ESN), (ix) peanut shell pad (PSP), and (x) peanut shell pad + external shading net (PSP+ESN). According to the obtained results, the cooling effect in front of the pad in CP, CP+ESN, HSP, HSP+ESN, BBP, BBP+ESN, PSP and PSP+ESN applications were measured as 5.6 °C, 6.6 °C, 4.2 °C, 5.1 °C, 4.0 °C, 4.9 °C, 3.9 °C and 4.6 °C lower than the outdoor environment, respectively. The relative humidity values measured in front of the pad were determined to be 30.2%, 32.6%, 22.2%, 21.5%, 20.5%, 19.6%, 15.2% and 18.1% higher than the outdoor environment, respectively. The cooling efficiencies of the applications were calculated as 51.3%, 56.2%, 39.2%, 40.7%, 38.3%, 38.2%, 30.7% and 35.1%, respectively. Cooling capacities are 2.6 kW, 3.1 kW, 2.0 kW, 2.4 kW, 1.9 kW, 2.3 kW, 1.8 kW and 2.1 kW, respectively. The system coefficient of performance values were calculated as 10.5, 12.4, 7.9, 9.5, 7.6, 9.2, 7.3 and 8.5, respectively. Water consumption values were determined as 2.9 L/h, 3.4 L/h, 2.2 L/h, 2.8 L/h, 2.2 L/h, 2.9 L/h, 2.0 L/h and 2.8 L/h, respectively. As a result of the study, it was determined that commercially used cellulose pads have advantages over other applications. However, considering the local availability, initial investment cost, cooling efficiency and capacity of hazelnut shell, banana branches and peanut shell pads, they can be a good alternative to cellulose pads. However, further studies are needed to design these materials in a way that they do not obstruct the air flow rate and to improve their performance by testing them at different water flow rates and pad thicknesses.

Keywords: Evaporative cooling, Direct evaporation cooler, Local material, Cooling effect, Cooling capacity

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Bitkisel ürünlerin yıllara göre dağılımı	4
Tablo 3.1. Kırşehir ili uzun yıllık iklim verileri	14
Tablo 3.2. Araştırma yapılan yüksek tünelin boyutları	15
Tablo 3.3. İç ve dış ortamda kullanılan ölçüm cihazlarına ait özellikler.....	17
Tablo 3.4. Çalışmada yapılan uygulamalar ve ölçümler	18
Tablo 3.5. Çalışmada, sensör adları, konumları ve yapılan ölçümler	21
Tablo 4.1. Soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su ile doymuş ağırlıkları	23
Tablo 4.2. DH uygulamasında ölçülen dış ve iç iklim parametreleri	25
Tablo 4.3. DH+DGT uygulamalarında ölçülen dış ve iç iklim parametreleri.....	26
Tablo 4.4. SP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	29
Tablo 4.5. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	32
Tablo 4.6. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	40
Tablo 4.7. FKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	43
Tablo 4.8. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	50
Tablo 4.9. MDP + DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri	53
Tablo 4.10. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri.....	59
Tablo 4.11. YFKP + DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan ped materyalleri	13
Şekil 3.2. Araştırma yapılan yüksek tünelin görünümü.....	15
Şekil 3.3. Doğal havalandırma açıklıklarından genel görünümü.....	15
Şekil 3.4. Soğutma sisteminin bileşenleri	16
Şekil 3.5. Klima yerleşimi ve çalışmasından bir görünüm	16
Şekil 3.6. Klimanın elektrik tüketim ölçümünden bir görünüm	17
Şekil 3.7. Sera içinde pedlerin yerleşiminden genel bir görünüm	17
Şekil 3.8. Sera içinde ve dışında veri kaydedicilerin yerleşim planı	21
Şekil 4.1. Soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su tutma kapasiteleri	23
Şekil 4.2. DH uygulamasında sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi.....	25
Şekil 4.3. DH+DGT uygulamasında sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi	26
Şekil 4.4. SP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri.....	29
Şekil 4.5. SP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	30
Şekil 4.6. SP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	30
Şekil 4.7. SP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri.....	31
Şekil 4.8. SP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi .	31
Şekil 4.9. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri	33
Şekil 4.10. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri	33
Şekil 4.11. SP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	34
Şekil 4.12. SP + DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	34
Şekil 4.13. SP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	35
Şekil 4.14. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri.....	40
Şekil 4.15. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	41
Şekil 4.16. FKP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	41
Şekil 4.17. FKP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	42
Şekil 4.18. FKP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	42
Şekil 4.19. FKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri ..	44
Şekil 4.20. FKP +DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	44
Şekil 4.21. FKP +DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	45
Şekil 4.22. FKP +DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	45
Şekil 4.23. FKP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	46
Şekil 4.24. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri.....	51
Şekil 4.25. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	51
Şekil 4.26. MDP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	52

Şekil 4.27. MDP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri.....	52
Şekil 4.28. MDP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	53
Şekil 4.29. MDP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri .	54
Şekil 4.30. MDP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	54
Şekil 4.31. MDP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	55
Şekil 4.32. MDP+DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	55
Şekil 4.33. MDP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	56
Şekil 4.34. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri	60
Şekil 4.35. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri ...	60
Şekil 4.36. YFKP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	61
Şekil 4.37. YFKP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	62
Şekil 4.38. YFKP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	62
Şekil 4.39. YFKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri	63
Şekil 4.40. YFKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri.....	64
Şekil 4.41. YFKP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri	64
Şekil 4.42. YFKP+DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri	65
Şekil 4.43. YFKP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler		Açıklama
°C	:	Santigrat Derece
W/m ²	:	Watt/Metrekare
m/sn	:	Metre/Saniye
l/dak	:	Litre/Dakika
kJ/kg	:	Kilojoule/Kilogram
W	:	Watt
mm	:	Milimetre

Kısaltmalar		Açıklama
PE	:	Polietilen
PAR	:	Fotosentetik Aktif Radyasyon
UV	:	Ultraviyole
IR	:	İnfrared
HdPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
CO₂	:	Karbondioksit

1. GİRİŞ

Modern seracılıkta en önemli konulardan biri, sera ekipmanlarının kullanımını en üst düzeye çıkarmak, ihracat sezonunu uzatmak, birim alandan yıllık verimi artırmak ve karlılığı artırmak için üretim sezonunun uzatılmasıdır (Sapounas ve ark., 2008). Seralarda yaz aylarında ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve buhar basıncı açığı seralarda üretilen ürünlerin kalite ve miktarının düşmesine neden olmaktadır. Bu dönemde bitki stresini azaltmak ve pazara kaliteli ürün sunabilmek için seraların serinletilmesi gerekmektedir (Hanan ve ark., 1978; Baille, 1999; Arbel ve ark., 1999; Willits, 1999). Sıcak dönemlerde seranın sıcaklığını ve nemini kabul edilebilir seviyelerde verimli bir şekilde korumaya yardımcı olabilecek bir dizi soğutma tekniği vardır, ancak bunlar genellikle soğutma yüklerini tahmin etmek ve iklim kontrol ekipmanını düzgün bir şekilde yönetmek için güvenilir modellere ihtiyaç duyar (Kittas ve ark., 2003). Doğal havalandırma, gölge tozu, gölgeleme tülleri ve evaporatif soğutma (ıslak ped-fan ve sisleme sistemleri) en yaygın tekniklerdir. Doğal havalandırma, sera ortamının en önemli faktörlerinden biri olarak kabul edilir, çünkü doğrudan iç havaya veya iç havadan hissedilir, gizli ısı ve CO₂ taşınmasını etkiler. Yüksek radyasyon yükleri altında, iç hava sıcaklığını düşürmek ve aşırı nemi gidermek için verimli iklimlendirme çok önemlidir (Boulard ve Baille, 1993). Ancak Akdeniz iklimine sahip bölgelerde yer alan seralarda, özellikle sıcak yaz aylarında kullanılan soğutma yönteminin (çoğunlukla havalandırma ve gölgeleme) istenilen koşulları sağlayamaması nedeniyle bu tür bir uygulama sınırlıdır (Sapounas ve ark., 2008).

Yüksek havalandırma oranları, yaz koşullarında seralarda su stresini azaltmak için en iyi çözüm değildir. Havalandırma seranın aşırı ısınmasını azaltır ancak bitki terlemesini artırdığı için su stresi riskini de artırır (Seginer, 1994). Yaz koşullarında seralarda ürün stresini azaltmak için yüksek havalandırma oranlarının öncelikli olarak en iyi çözüm yolu değildir. Seranın içindeki radyasyonu azaltmak için dışarıya veya içeriye monte edilen gölgeleme perdeleri kullanılabilir ancak etkili sıcaklık düşüşü, gerçekte gölgeleme oranıyla orantılı değildir (Kittas ve ark., 2001).

Sera içerisindeki yüksek sıcaklıkları azaltmak amacıyla, mekanik olmayan sistemlerin (doğal havalandırma, gölge tozu, gölgeleme tülü) yetersiz kaldığı bu dönemlerde seranın içindeki sıcaklıklar dış sıcaklıkların altında tutulacaksa, seranın bir tür buharlaştırıcı sisteme ihtiyacı vardır. Bu sistemler, mekanik olarak sağlanan suyun buharlaşması yoluyla duyulur ısıyı gizli ısıya dönüştürmeye dayanır. Seradan geçen

hava akışını ve buharlaştırılacak suyu, çevre koşullarına (güneş radyasyonu, dış havanın sıcaklığı ve bağıl nemi) uygun şekilde sağlamak için uygun bir kombinasyon, serada gerekli koşulların sürdürülmesi için temel bir gerekliliktir (Arbel ve ark., 1999). Bu buharlaştırıcı sistemler sera iklimini önemli ölçüde iyileştirir (Carpenter ve Willis, 1957). Bu yöntemle, sıcaklık düşürülür ve serada mutlak nem artırılır, bu da buhar basıncı açığını düşürmeye ve terleme talebini azaltmaya yardımcı olur (Katsoulas ve ark., 2001).

Seraların soğutulmasına yönelik evaporatif sistemler, yılın sıcak dönemlerinde serada istenilen yetiştirme koşullarının sağlanması amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde seralarda kullanılan başlıca evaporatif soğutma yöntemleri sisleme (misting), fan-pad yöntemi ve buharlaştırma (fogging) yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır (Arbel ve ark., 1999; von Zabeltitz, 2011). Sisleme, seralarda doğrudan buharlaştırıcı soğutma için kullanılabilen sistemlerden biridir. Yüksek basınçlı sisleme sistemleri son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar, havayla temas eden su yüzey alanını artırmanın bir yolu olarak, suyu 2–60 mm aralığında çaplara sahip damlacıklar halinde sislemeye dayanır (Arbel ve ark., 2000). Su, mahsulün üzerinde bulunan nozullardan dışarı zorlanarak sis üretilir. Damlacıkların düşme hızı düşüktür ve sera içindeki hava akımıyla kolayca taşınırlar. Yüksek basınçlı sislemenin, buharlaştırıcı ped sistemlerine göre daha düzgün sıcaklık ve nem seviyeleri sağladığı bulunmuştur, ancak genel olarak sis sistemleri buharlaştırıcı ped sistemlerine göre nispeten daha az verimlidir (Luchow ve von Zabeltitz, 1992).

Fan-ped sistemi, sıcak ve kuru iklim koşullarına uygun olan ve seralarda yaygın olarak kullanılan doğrudan nemlendirmeli serinletme sistemidir (Dayıoğlu ve Silleli, 2015). Fan yardımıyla dış ortamdan çekilen hava, suyla doymuş durumdaki ped içerisinden geçerken ortamdaki su, havanın duyulur ısısının bir kısmını buharlaşma gizli ısısı şeklinde kullanarak buharlaşır. Nemli hava içerisindeki su buharlaştırıldığında, buharlaşma gizli ısısı kadar ısı soğurur ve havanın kuru termometre sıcaklığı azalır. Buharlaşma sırasında, sera ortamındaki havadan (yaklaşık 2260 kJ/kg su) ısı enerjisi alınır (Hellickson ve Walker, 1983; Albright, 1989). Bu yöntemin başarısı, sera içerisine giren havanın taşıdığı ve buharlaştırdığı su miktarına bağlıdır. Bağıl nem oranı çok düşük olan bölgelerde, bu tip serinletme sistemleriyle dış ortam havasının sıcaklığı 5-10 °C kadar azaltılabilir (Öztürk ve Başçetinçelik, 2002). Serinletme amacıyla kullanılan ticari pedin yüksek maliyeti, bu tekniğin küçük ve orta ölçekli işletmelerde kullanılmasını olumsuz etkilemektedir. Bu durum, selüloz olanların maliyetinin çok

altında ped üretmek için kullanılabilir alternatif malzemeler üzerine araştırmaları teşvik etmiştir (Chinenye ve ark., 2014; Laknizi ve ark., 2019). Ped materyali olarak seralarda yaygın olarak kullanılan maliyeti yüksek ticari olarak kullanılan selülozik ped materyaline alternatif olabilecek veya geliştirebilecek birçok malzeme günümüzde araştırmacılar tarafından denemeye alınmiş ve başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Gunhan ve ark., 2007; Ahmed ve ark., 2011; Helmy ve ark., 2013; Jain ve Hindoliya, 2014). Alternatif malzeme olarak, yerel olarak bulunabilen, düşük satın alma maliyetleri ve nihai bertaraf esas alınarak seçilmiş, üretim süreçlerinden atık olarak gelenler ve çevresel etkileri azaltılmış olanlar tercih edilmektedir (Obando Vega ve ark., 2022). Ancak ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır ve Boyacı (2018) tarafından yapılan çalışmada, incelenen örtü altı işletmelerinde büyük bir oranda serinletme uygulamaları yapılmadığı belirlenmiştir. Bunun nedenleri arasında serinletme yöntemlerinin ısıtma yöntemleri kadar bilinmemesi ve bu yöntemleri bilen küçük aile işletmelerinin ise bunun işleme ek maliyet getirecek olması nedeniyle kullanmadığı belirlenmiştir. İklimlendirme teknolojisinin kullanımına, fosil yakıt çıkarımının yoğunlaşmasıyla bağlantılı olarak elektrik tüketiminde bir artış eşlik eetmektedir. Buda daha yüksek enerji verimliliğine sahip soğutma çözümlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir (Borodinecs ve ark., 2021). Çünkü soğutma sistemi, geleneksel doğal havalandırma ve mahsul terleme yöntemine göre daha fazla miktarda enerji ve su tüketir, dolayısıyla daha maliyetli olur. Ancak özellikle yaz aylarında kurak bölgelerde üretim yapılmasına olanak sağladığı için ekstra maliyet, erkencilik, kalite ve verimdeki artışla dengelenebilmektedir. Bu nedenle yetiştiriciler daha erken ekim yaparak ve maksimum üretim dönemlerini değiştirerek üretim dönemini uzatabilirler (Franco ve ark., 2014). Dünyanın önemli tarım ve seracılık merkezlerinden biri olan ülkemizde Mayıs-Eylül ayları arasındaki dönemde ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar sera içerisinde bitki yetiştiriciliğini sınırlı hale getirmektedir. Hatta bazı bölgelerde Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek iç ortam sıcaklıkları nedeniyle seralar boş bırakılmaktadır. Yüksek maliyetleri nedeniyle kullanımı sınırlı olan evaporatif serinletme sistemlerinin uygun ilk yatırım maliyetleri ile sera içerisine kurulması ve işletilmesi ekonomik bir üretim için oldukça önemlidir. Tarımsal atık miktarının oldukça fazla olduğu ülkemizde bu atıkların değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması bakımından da son derece önemlidir.

Türkiyede 2019-2023 yılları arasında üretilen fındık, muz ve yerfıstığı miktarları Tablo 1.1'de verilmiştir (TÜİK, 2024).

Tablo 1.1. Bitkisel ürünlerin yıllara göre dağılımı

Tarımsal ürün	Yıllar	Alan (dekar)	Üretim miktarı (ton)
Fındık	2019	7 344 087	776 046
	2020	7 345 377	665 000
	2021	7 389 201	684 000
	2022	7 440 473	765 000
	2023	7 467 486	650 000
Muz	2019	84 879	548 323
	2020	111 544	728 133
	2021	122 864	883 455
	2022	142 030	997 244
	2023	136 112	930 240
Yerfıstığı	2019	424 211	169 328
	2020	547 747	215 927
	2021	579 192	234 167
	2022	457 016	186 340
	2023	460 098	185 137

Tablo 1.1'e bakıldığında ülkemizde alan ve üretim miktarı bakımından önemli miktarda fındık, muz ve yerfıstığı üretimi yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu üretim sonucu ortaya çıkan fındık, muz dalları ve yerfıstığı kabukları büyük miktarda tarımsal atığıda beraberinde getirmektedir. Ancak bu atıkların yeniden kullanımı, olumsuz çevresel etkilerin azaltılması ve ülke ekonomisine kazandırılması bakımından önemlidir. Genel olarak denemeye alınan alternatif ped materyalleri yerel olarak kolayca temin edilebilen ve ucuz malzemelerden oluşmakla beraber bu malzemelerin ped materyali olarak kullanımı üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu laboratuvar testleri şeklinde yapılmaktadır.

Bu amaçla çalışmada, seraların serinletilmesinde yüksek maliyetli selüloz esaslı ticari pedlere alternatif olarak kullanılacak tarımsal atık malzemelerin (fındık kabuğu, muz dalları ve yerfıstığı) soğutma pedi olarak uygunluklarının belirlenmesi amacıyla materyallerin su tutma kapasiteleri, soğutma etkisi, soğutma verimliliği, sistemin soğutma kapasitesi, tüketilen su miktarı, duyulur ve gizli ısı transferi arazi koşullarında denemeye alınarak iç ortam mikro klimasına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, tarımsal atıklardan elde edilecek sonuçların alternatif yeni yaklaşımların elde edilmesinde, kullanılması beklenilmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sera içerisinde optimum iklim koşullarının sağlanması için en etkili çözüm yollarından biri evaporatif serinletme sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemin çalışma prensibinin temelinde hissedilir ısının gizli ısıya dönüştürülmesi vardır. Bu işlem için gerekli olan su, sera ortamına doğrudan sisleme veya ıslak pedler ile verilir. Evaporatif serinletme eş zamanlı olarak sıcaklık ve buhar basıncı açığını düşürür ve sera iç sıcaklığının dış hava sıcaklığından daha düşük olması sağlar (Cohen ve ark., 1983; Arbel ve ark., 1999; Willits, 1999). Bu amaçla kullanılan fan-ped sistemi, seralarda yaygın olarak kullanılan ve en etkili doğrudan nemlendirmeli serinletme sistemidir (Al-Helal, 2001).

Dünya genelinde soğutma ihtiyacı ve enerji fiyatları hızla artarken, yüksek verimli soğutma ekipmanlarının geliştirilmesine olan ihtiyaç da artmaktadır (Prozuments ve ark., 2022). Soğutma pedlerinin verimliliği, doğrudan buharlaşmalı soğutucunun performansı üzerinde çok yüksek bir etkiye sahiptir. Doğrudan evaporatif soğutucunun performansını analiz ederken soğutma verimliliği ve soğutma pedinin nemi dikkate alınması gereken iki önemli faktördür (Dhakulkar ve Dharme, 2017). Bu iki faktör çoğunlukla kullanılan soğutma pedinin tipine bağlıdır. Evaporatif soğutmada kullanılan pedlerin verimliliği, pedde kullanılan malzemenin türü, pedin yüzey alanı ve kalınlığı, deliklerin boyutu, havanın serbest akışına izin verecek kadar gözenekli olması, pedden geçen havanın akış hızı, geniş bir yüzey alanı oluşturarak iyi bir nemlendirme sağlanması, nemi üzerinde uzun süre tutabilmesi ve buharlaşmaya izin verebilmesi, doymaya yakın bir değer elde etmek için yeterli miktarda hava ve su ile temas süresi boyunca maksimum miktarda ıslak yüzey alanına sahip olması, kullanılan suyun hacmi, yerel olarak temin edilebilir ve ucuz olması, istenilen şekil ve boyutta kolay inşaat yapılmasına izin vermesi gibi birçok faktörden etkilenir (Liao ve ark., 1998; Dzivama ve ark., 1999; Malli ve ark., 2011; Boyacı ve Akyüz, 2019). Bir ped malzemesi serbest hava akışına izin verecek kadar gözenekli olmalı, suyu emebilmeli ve buharlaşmaya izin vermeli, doyunluğa ulaşmak için yeterli miktarda hava suyuyla temas süresi boyunca azami miktarda ıslanmış yüzey alanına sahip olmalı, malzeme yerel olarak mevcut ve ucuz olmalı ve istenen şekil ve ebatla kolay yapıya izin vermelidir (Dzivama ve ark., 1999). Evaporatif ped sistemlerinin verimliliği, yüzey alanı ve pedin kalınlığı, pedde kullanılan malzemenin tipi, deliklerin büyüklüğü, akış hızı ve pedin içinden geçen havanın bağıl nemi ve kullanılan suyun hacmi gibi birçok faktörden etkilenir.

Evaporatif pedler metal, ahşap, plastik ve cam gibi farklı malzemelerden yapılmıştır. Bu malzemelerden yapılan ticari pedlerin üretimi karmaşık ve maliyetlidir (Warke ve Deshmukh, 2017). Her ne kadar ticari pedler iyi doygunluk verimi verselerde, özel olarak yapılmaları nedeniyle pahalıdırlar ve düşük gelirli çiftçiler ve işletmeler için uygun değildirler. Yerel olarak ve kolayca temin edilebilen pedler %90'ın üzerindeki oransal nem ve 25 °C lik maksimum sıcaklık düşüşü ile iyi performans gösterebilir, performans dışı havaya bağlıdır. Doymunluk verimliliği ise ped içerisinde iyi gözeneklilik ve hava-su teması oluşturularak daha da artırılabilir (Vala ve ark., 2016).

Selüloz pedler, konut ve endüstriyel sektörler de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda nemlendirme için yaygın olarak kullanılır ve oluklu kağıtlardan üretilir. Kompakt ve hafiftirler, ancak maliyetlidir ve ekonomik değildirler. Bu pedlerin üretimi için uygun bir teknoloji gerektirdiğinden bu da pedleri pahalı ve ekonomik olarak kullanımını zor hale getirmektedir (Yash ve ark., 2017; Mehre ve ark., 2014). Yaygın olarak kullanılan selüloz pedin yüksek maliyeti, bu teknolojinin küçük ve orta ölçekli tarımsal-endüstriyel üretim sistemlerinde uygulanmasını olanaksız hale getirmektedir. Bu durum, selülozlu olanların maliyetinin çok altında bir maliyetle ped üretmek için kullanılabilir alternatif malzemeler üzerine araştırmalar yapılmasına yol açmıştır (Chinenye ve ark., 2014; Laknizi ve ark., 2019). Bu malzemelerden elde edilecek olumlu sonuçlar enerji tasarrufu, termal değerlerin yükseltilmesi ve ekipmanın çalışma ömrünün uzatılmasıyla sonuçlanabilir (Abohorlu Doğramacı ve ark., 2019). Bu nedenle, nemlendirmede hava sıcaklığı açısından daha yüksek performans sağlayan evaporatif soğutma için ped malzemesi olarak her zaman yerel olarak mevcut alternatif malzemelerin araştırılması istenir (Ahmed ve ark., 2011; Roshan ve Parashar 2015; Vala ve ark., 2019). Ayrıca, ped malzemesi olarak kullanılacak malzeme uzun ömürlü, biyolojik olarak parçalanabilir ve ekonomik olmalıdır (Lal Basediya ve ark., 2013; Chantana, 2019). Ticari olarak kullanılan serinletme pedlerinin maliyetinin yüksek olması nedeniyle özellikle kırsal kesimde bulunan tarımsal yapılar için uygun yerel olarak kullanılabilir malzemelerin performansını değerlendirme çalışmalarına ihtiyaç vardır (Elmsaad ve Omran, 2015).

Bu amaçla yapılan çalışmalarda; Ahmed ve ark. (2011) Sudan da ticari celdek pede karşılık yerel olarak bulunabilen anız artıkları ve talaş materyallerinin soğutma pedi olarak uygunluklarını belirledikleri çalışmalarında, sera içerisinde bitki materyali olarak hıyar yetiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre talaş ped ile serinletilen serada

en yüksek hıyar verimine ulaşılrken, anız saplarında yapılan ped ile serinletilen serada en düşük verimi elde etmişlerdir.

Helmy ve ark. (2013) Mısır'da soğutma pedi olarak 3 farklı bitki materyalini *Cyperus Alopecuroides* Rottb (Samar), *Cyperus Alternifolius* (Purdy) (Japon Şemsiyesi) ve *Cyperus Rotundus* L (Nut-grass or Se'd) (Topalak) araştırmışlardır. Materyallerin 15 cm ped kalınlığı ve 0.45 m/s lik hava akış hızlarda soğutma etkinliklerini Topalak, Japon Şemsiyesi ve Samar da sırasıyla %88.4, %83.1 and %79.6 olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, ped materyali olarak Topalak'ın yüksek soğutma etkinliği göstermesi nedeniyle alternatif ped materyali olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kulkarni ve ark. (2015) Hindistan'da yeni serinletme materyallerini araştırdığı çalışmalarında, hindistan cevizi lifi ve kenevir bitkisine kil karıştırarak selüloz celdek pedler ile karşılaştırma yaptıkları çalışmalarında, hindistan cevizi lif ve kil karışımının Celdek pedlere göre performans, ilk yatırım, bakım ve onarımında daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Jain ve Hindoliya (2014) Hindistan'da soğutma pedleri için yerel olarak bulunabilen 4 farklı ped materyalini laboratuvar koşullarında (aspen, kenevir lifleri, Hindistan cevizi lifleri, palash lifleri) araştırdıkları çalışmalarının sonucunda palash bitkisinin lifleri, aspen ve khus liflerine göre farklı hava hızlarında en yüksek doygunluğa ulaştığını bildirmişlerdir.

Alodan ve Al-Faraj (2005) Suudi Arabistan'da soğutma pedlerinin etkinliğini araştırdıkları çalışmalarında, ticari olarak kullanılan selüloz ped ile karşılaştırıldığında selüloz olmayan pedlerin %73 ile %89 arasında serinletme etkinliğine ulaştığını bildirmişlerdir.

Elmsaad ve Omran (2015) Sudan da bazı yerel malzemelerin soğutma pedi olarak uygunluklarını araştırdıkları çalışmalarında, malzemeleri 3 farklı kalınlık (50, 100 ve 150 mm) ve 5 farklı hava hızında (0.7, 1.0, 1.5, ve 1.75 m/s) araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, ortalama doygunluğu kabak lifi pedte %73.67, anız artıkları pedte %71.87, celdek pedte %70.33 ve çuval bezi pedte %69 olarak belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, pedlerin soğutma etkinlikleri arasında önemli fark olduğunu ve kabak lifi materyalinin diğer materyallere göre daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle ped materyali olarak kullanım potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir.

Dhamneya ve ark. (2017) beş farklı tarımsal atık malzemedan yapmış oldukları çalışmalarında, muz ağacı lifleri, şeker kamışı lifleri, hindistancevizi lifleri, khus lifleri ve selüloz ped kullanmışlardır. Çalışma sonucunda malzemelerin 1.3 m/s hava hızında,

hindistancevizi lifi %73.44, muz lifi %67.73, khus lifi %67, şeker kamışı lifi %65.65 ve selüloz pedlerin %40.29 doyma verimliliğine ulaştığını belirlemişlerdir.

Al-Sulaiman (2002) Evaporatif soğutmada ıslak ped olarak hurma lifleri (sap), jüt ve lif kabağı ve referans olarak, yaygın olarak kullanılan ticari ıslak ped malzemeleri seçilmiştir. Sonuçlar, ortalama soğutma verimliliğinin jüt için %62.1 ile en yüksek olduğunu, lif kabağı lifleri için %55.1, referans ticari ped için %49.9 ve hurma lifi için %38.9 olduğunu göstermiştir. İncelenen performans parametreleride dikate alındığında lif kabağının diğer liflere göre genel bir avantaja sahip olduğunu göstermiştir.

Kesevan (2018) doğrudan evaporatif bir soğutucuda çeşitli kalınlıklarda (40, 80,120, 160 mm) yerel olarak temin edilebilen iki farklı tarımsal bazlı (lif kabağı ve zizanoides) soğutma pedinin performansını değerlendirmek, amacıyla yapmış olduğu çalışmada, evaporatif soğutucunun performansı, çıkış sıcaklığı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada sonucunda, soğutma doymunluğu verimliliğinin, hava hızının azalması ve ped kalınlığının artmasıyla arttığını göstermiştir. Ayrıca, yerel olarak temin edilebilen iki farklı malzemenin karşılaştırılması sonucunda, 2.2 m/s hava hızında ve 160 mm ped kalınlığında zizanoides tarımsal bazlı pedin (%88) lif kabağı pedine (77%) kıyasla daha yüksek performansla sahip olduğu belirlenmiştir.

Gunhan ve ark. (2007) Türkiye’de soğutma pedleri için bazı yerel malzemelerin uygunluklarını araştırdıkları çalışmalarında, ticari olarak kullanılan Celdek pede alternatif olarak yerel olarak bulunabilen pomza taşı, volkanik tuf ve gölgeleme tülünü ped materyali olarak kullanmışlardır. Çalışmada, ped materyallerini dört farklı hava hızı (0.6, 1.0, 1.3 ve 1.6 m/sn), akış oranı (1.0, 1.25, 1.5 ve 1.75 L/dak) ile üç farklı ped kalınlığı (50, 100 ve 150 mm) test edilmiştir. Ticari selüloz pedlerin (celdek), 150 mm ped kalınlığı için yaklaşık %80 buharlaşma doymunluk verimliliğine sahip olarak diğer dört yerel alternatif ped malzemesine kıyasla en iyi ped malzemesi özelliklerini gösterdiğini belirlemişlerdir. Volkanik tuf ise hava akış hızının yaklaşık 0.6 m/s olduğu çalışma koşulları altında %63 ile %81 arasında değişen bir buharlaşma doymunluk verimliliğine sahip iyi bir alternatif ped malzemesi olduğunu ancak, parçacık boyutunu, ped kalınlığını ve sistemin statik basıncını optimize etmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Boyacı ve Akyüz (2019) Türkiye de yapmış oldukları çalışmalarında, soğutma pedi olarak celdek ped, celdek ped+ dıştan gölgeleme tülü, saman ped ve saman ped + dıştan gölgeleme tülü, rende talaşı ped, rende talaşı ped+ dıştan gölgeleme tülü olmak üzere 6 farklı uygulama denemeye alınmıştır. Çalışmada, celdek ped’te en yüksek

serinletme etkinliği %56.72, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda %67.45' olarak bulunmuştur. Saman ped uygulamasında en yüksek serinletme etkinliği %29.96, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda etkinlik %32.77'olmuştur. Rende talaşı ped uygulamasında en yüksek serinletme etkinliği %41.08, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda ise oran %44.44'olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, ticari pedin iç ortam sıcaklıkları dışürmede daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yerel malzemelerde başarı oranının dışmesindeki neden olarak dış ortamdan alınan havanın pedlerinin içerisinden geçerek yeterli miktarda kuru havayı iletememesinden kaynaklandığı ve bunun sonucunda ise rende talaşı ped ve saman pedlerin soğutma etkinliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Abohorlu Doğramacı ve ark. (2019) yapmış olduğu çalışmada, soğutma yüklerinden kaynaklanan enerji tüketimini azaltmak amacıyla evaporatif soğutma işlemi için yeni bir malzeme olarak kullanılabilir okaliptüs lifli pedlerin performansını incelemişlerdir. Bu amaçla, okaliptüs liflerinin buharlaşmalı soğutma performansını araştırmak için bir rüzgar tüneli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, hava sıcaklığındaki maksimum azalmanın 11.3  C ile 6.6  C arasında olduğu, maksimum soğutma verimliliğinin ise 0.1 ile 0.6 m/s hava hızlarında %71 ile %49 aralığında olduğu bulunmuştur. Soğutma kapasiteleri 108 W ve 409 W olarak hesaplanmıştır. Bununda hava hızı ile soğutma performansı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Shrivastava ve ark. (2014) tarafından laboratuvar koşullarında yapmış oldukları çalışmalarında, hindistan cevizi lifi ve ticari aspen ahşap (ahşap yünü) malzemeleri karşılaştırmışlardır. Hindistan cevizi lifi pedlerin soğutma potansiyeli, Hindistan'daki Jalgaon'un (Maharashtra) ortalama iklim koşulları kullanılarak analiz edilmiştir. Çünkü Jalgaon'da yaz mevsiminde sıcaklık yaklaşık 40  C ila 45 C civarında olduğunu bildirmiştir. Çalışma, Hindistan cevizi lifi pedlerin yaklaşık %60 civarında benzer doygunluk (soğutma) etkinliğine sahip olduğunu göstermiştir. Bağıl nem oranı aspen ahşap pedte %80-85, hindistan cevizi lifi pedte %50-60 olarak belirlenmiştir. Hindistan cevizi lifi pedin su tüketim oranı aspen ahşap pedten daha az olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, Hindistan cevizi lifi pedi terk eden hava sıcaklığının 27  C ila 32  C arasında değiştiği belirlenmiştir. Hindistan cevizi lifi pedinin performansının iyi, maliyetinin dışük ve ülke genelinde bulunabilirliği göz önüne alındığında ticari gelişmenin mümkün olduğunu ve hindistan cevizi lifi pedi'nin kullanım süresinin aspen ahşap pedine kıyasla daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Salins ve ark. (2021) tarafından üç farklı (selüloz, talaş ve hindistan cevizi lifi) ped malzemesini karşılaştırdıkları çalışmalarında, selüloz, talaş ve hindistan cevizi lifi ped malzemesi için elde edilen maksimum performans katsayısı (COP) sırasıyla 3.17, 2.08 ve 1.41 olarak hesap edilmiştir. En yüksek kütle akış hızı için selüloz, talaş ve hindistan cevizi lifi pedinin verimliliği sırasıyla %86.15, %78.33 ve %68.40 olarak belirlenmiştir. Odun talaşı ve hindistan cevizi lifi ped malzemeleri arasındaki performans parametreleri göz önüne alındığında, odun talaşı daha iyi sonuçlar vermiştir ve bu da selüloz ped malzemesinin sonuçlarına çok yakın bulunmuştur. Bu nedenle, pedlerin etkinliği sırasıyla Selüloz>Tahta talaşı> Hindistan cevizi lifi pedi şeklinde bulunmuştur. Çalışma sonucunda, Tahta talaşının uygun fiyat, ucuza temin edilebilirlik, ped hacminin kolay doldurulması ve daha uzun ömürlü olması bakımından performansının ticari olarak temin edilebilen Celdek selüloz pedin yerine geçebilecek bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan alternatif malzemelerin yerel olarak bulunabilen ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler olmaları, onları daha da uygun maliyetli kıldığını bildirmişlerdir. Bu nedenle, evaporatif soğutucularda odun talaşının kullanılması, soğutma uygulamalarında normal iklimlendirme sistemleriyle karşılaştırıldığında enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olacak ve bu da sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine katkıda bulunacağını bildirmişlerdir.

Jakubowski ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, seraların soğutulmasında yaygın olarak kullanılan ticari selüloz pedlere alternatif olarak kullanılabilen lif kabağı ve sera gölgeleme tülünün performansları, dıştan gölgelemenin evaporatif soğutma performansına katkısı ve doğrudan buharlaşmalı soğutucunun enerji tüketimleri belirlenmiştir. Bu amaçla, sekiz farklı uygulama değerlendirilmiştir: doğal havalandırma (NV), doğal havalandırma + dıştan gölgeleme tülü (NV + ESN), selüloz ped (CP), selüloz ped + dış gölgeleme tülü (CP + ESN), lif kabağı ped (LP), lif kabağı ped + dıştan gölgeleme tülü (LP + ESN), gölgeleme tülü ped (SNP) ve gölgeleme tülü ped + dış gölgeleme tülü (SNP + ESN). CP, CP + ESN, LP, LP + ESN, SNP ve SNP + ESN'nin soğutma verimleri sırasıyla %37.6, %45.0, %38.9, %41.2, %24.4, %29.1 olarak bulunmuştur. Ayrıca soğutma kapasiteleri sırasıyla 2.6 kW, 3.0 kW, 2.8 kW, 3.0 kW, 1.7 kW, 2.0 kW, sistemin su tüketim değerleri 2.9, 3.1, 2.8, 3.2, 2.4, 2.4 L/h, sistemin performans katsayıları (COP) ise 10.2, 12.1, 11.3, 11.9, 6.6, 7.8 olarak hesaplanmıştır. Sistemin birim alan başına elektrik tüketimi ise 0.15 kWh/m² olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ticari olarak kullanılan selüloz pedlerin lif kabağı

ve gölgeleme ağı malzemelerine göre avantajları olduğu belirlenmiş ancak, lif kabağı pedleri yerel bulunabilirliği, başlangıç maliyeti, soğutma verimliliği ve kapasitesi göz önüne alındığında selüloz pedlere iyi bir alternatif olabileceği bildirilmiştir.

Mishra ve ark. (2023), yerel olarak temin edilebilen “lif kabağı” (*luffa cylindrica*) malzemesinden yapılmış bir soğutma pedinin performansının deneysel değerlendirmişlerdir. Önerilen pedin soğutma performansını tanımlayan çıkış havası sıcaklığı, soğutma derecesi, doygunluk etkinliği, soğutma potansiyeli ve performans katsayısı gibi farklı performans parametreleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada, 1.5 m/s hava hızında 7 cm'lik bir ped için bulunan maksimum doygunluk etkinliği ve performans katsayısı sırasıyla %65.9 ve 8.53 olarak belirlenmiştir. 1.5 m/s hava hızında 7 cm'lik bir ped için maksimum su buharlaşma hızı 1.4 g/s ve su tutma kapasitesi yaklaşık 78 g olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, önerilen pedin doğrudan buharlaştırıcı soğutucular için bir ped malzemesi olarak kullanılmak üzere makul derecede iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ekonomik olarak bakıldığında 30.48 cm²'lik bir pedin üretim maliyeti 1,625\$ ile 2,925\$ arasında bulunmuştur.

Oliveira ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, ekonomik ve ekolojik olarak uygulanabilir iki bitkisel malzemenin (hindistan cevizi lifi ve lif kabağı) evaporatif soğutma verimliliğini, ticari bir pedin (kraft kağıdı) evaporatif soğutma verimliliğiyle karşılaştırmışlardır. Su ve havanın pedlerden (0.10 m ve 0.15 m kalınlığında) akışı için üç uygulama test edilmiştir. Her bir pedi karakterize etmek için basınç düşüşleri, hava hızları, su hacmi, su emilimi, ağırlık ve yoğunluk belirlenmiştir. En iyi sonuçlar, 0.15 m kalınlığında, 36 °C sıcaklıkta ve %24 bağıl nemde (hava girişi), 89.3 g/s su akışı ve 0.6 m/s (hava hızı) pedlere karşılık gelmiştir. Bu koşullar altında, soğutma verimliliği %77.3 (lif kabağı pedi), %79.9 (hindistan cevizi liflerinden ped) ve %84.5 (ticari ped) olmuştur. Elde edilen sonuçlar, bitkisel liflerin endüstriyel ölçekte kullanım için ümit verici beklentilere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Elsergany ve ark. (2022) lif kabağının ped soğutma malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında lif kabağı ile ticari selüloz pedleri karşılaştırmışlardır. Çalışmada, maliyetli analizleri, lif kabağının ped soğutma malzemesi olarak düşünülmesinin ekonomik olarak uygulanabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, lif kabağı için hesaplanan soğutma verimliliğinin 57.9 ≤SE≥94.1 aralığında, selüloz pedin soğutma verimliliğinin ise 60.6 ≤SE≥92 aralığında olduğu belirlenmiştir. Selüloz pedin saatlik maliyeti 0.157762 \$/h iken, lif kabağı pedinin saatlik kullanım maliyeti 0.149822 \$/h olarak hesaplanmıştır. Ekonomik açıdan

bakıldığında, lif kabağı pedinin mantar üretim ünitesinde evaporatif soğutma sistemi için iyi bir ped malzemesi olduğunu bildirmişlerdir.

Abdel-Rahamn (2006) tarafından yapılan çalışmada, aynı özelliklere sahip iki serada, biri uzun buğday samanı (WS) ve diğeri kavak lifi (AF) pedler ile soğutulan serada pedlerden geçen hava hızları 1-3.5 m/s arasında değişmiştir. Çalışmada, gerçek koşullar altında iki evaporatif soğutma pedi için soğutma verimlilikleri belirlenmiştir. Evaporatif soğutma pedlerinden kaynaklanan hava sıcaklığı azalması 5-10 °C arasında değişmiştir. Elde edilen sonuçlar, iki soğutma pedinin kullanılmasıyla oluşan sıcaklık farklarının 2-4 °C olduğunu göstermiştir. Her iki malzeme (WS ve AF) için soğutma verimleri ise %45-%75 arasında değişmiştir. WS pedi kullanılan sera boyunca hissedilir ısı oranı AF pedi kullanılan seraya göre daha yüksek olarak belirlenmiş ve pedden seranın ortasına ve ortasından emiş fanına doğru artmıştır. Bu durumda evaporatif soğutma pedi olarak WS'nin seraya gelen havadaki hissedilebilir ısıyı uzaklaştırmada çok daha etkili olduğu anlamına gelmektedir. Evaporatif pedden seranın ortasına kadar olan seranın hissedilir ısı oranları hem AF hem de WS serası için sırasıyla 25-200 W/m² ve 50-250 W/m² arasında değişmiştir. AF serası için seranın ortasından sonuna kadar 50-400 W/m² iken WS serası için 100 - 450 W/m² olarak bulunmuştur.

Vala ve ark. (2016) farklı ped malzemelerinin (celdek ped, kavak lifi ped, hindistan cevizi lifi ped ve odun talaşı ped) performansını değerlendirmek için yapmış oldukları çalışmada, celdek ped ve kavak lifi ped ile ortalama sıcaklık düşüşü 8 °C ve 9.75 °C olmuştur. Hindistan cevizi lifi ve odun talaşı pedler ise sırasıyla 3.5 °C ve 3.25 °C'lik sıcaklık düşüşü göstermiştir. CELdek ve kavak talaşı ile sıcaklıktaki düşüş yüzdesi, odun talaşı ve hindistan cevizi lifi ile karşılaştırıldığında sırasıyla %40 ve %43 daha yüksek bulunmuştur. Celdek ped ve kavak lifi ped ile %90.70 ve %92.20'lik maksimum uygunluk verimliliği gözlemlenirken odun talaşı ve hindistan cevizi lifi pedleri için sırasıyla %65.83 ve %67.42 olarak belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma, Kırşehir ili merkezi sınırları içerisinde yer alan Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bağbaşı Yerleşkesi içerisinde yer alan Ziraat Fakültesine ait Polietilen (PE) plastik örtülü yüksek tünel serada yürütülmüştür. Yüksek tünel serada iç ortamda ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların azaltılması amacıyla doğrudan evaporatif soğutucu içerisinde ticari olarak kullanılan selüloz ped ile fındık kabuğu, muz dalları ve yerfıstığı kabuklarının atıkları ped materyali olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan selüloz ve alternatif (fındık kabuğu, muz dalları ve yerfıstığı kabukları) ped materyalleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan ped materyalleri

3.1.1. Kırşehir ilinin ve araştırma alanının coğrafi konumu

Kırşehir ilinin dünya üzerindeki konumu bakımından incelendiğinde 38°50'-39°50' kuzey enlemleri ile 33°30'-34°50'doğu boylamları arasındadır. Kırşehir ili doğu ve güneydoğuda Nevşehir, güneyde Niğde ve Aksaray, Batı ve güneybatıda Ankara, kuzeybatıda Kırıkkale, kuzey ve kuzeydoğuda Yozgat illeri ile çevrilmiştir. Merkez, Kaman, Çiçekdağı, Mucur, Boztepe, Akpınar ve Akçakent olmak üzere 7 ilçesi bulunmaktadır. Bu ilçelerde İç Anadolu'nun karasal iklimi hüküm sürmektedir. Araştırma alanı, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi arazisi üzerinde 39°08'02"K enlemi ve 34°07'08"D boylam noktaları arasında yer almaktadır. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği 1082 m'dir.

3.1.2. Araştırma alanının iklim özellikleri

Denemenin yürütüldüğü alana ait uzun yıllık iklim verileri, Kırşehir Meteoroloji İl Müdürlüğü kayıtlarından alınmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Kırşehir ili uzun yıllık iklim verileri

Parametre	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
En düşük sıcaklık (°C)	-28.0	-25.3	-21.8	-8.2	-1.4	2.6	5.1	5.0	-1.2	-6.6	-21.5	-24.3
Ortalama sıcaklık (°C)	-0.2	1.4	5.3	10.8	15.5	19.7	23.1	23.1	18.6	12.8	6.6	2.2
En yüksek sıcaklık (°C)	19.0	20.6	28.0	30.9	34.5	36.2	40.2	40.5	39.0	33.6	26.2	19.9
Ortalama en yüksek sıcaklık (°C)	4.6	6.7	11.3	17.2	22.1	26.3	29.9	30.1	26.1	20.1	13.1	7.0
Ortalama en düşük sıcaklık (°C)	-4.2	-3.1	-0.2	4.4	8.6	12.4	15.7	15.7	11.1	6.1	1.2	-1.8
Maksimum sıcaklığın 30 °C ve üzerinde olduğu gün sayısı ortalaması	-	-	-	0.03	1.06	5.61	15.20	16.03	5.50	0.32	-	-
Maksimum sıcaklığın 25 °C ve üzerinde olduğu gün sayısı ortalaması	-	-	0.13	2.02	8.78	19.29	28.94	28.93	18.95	5.41	0.03	-
Minimum nispi nem ortalaması (%)	39.9	33.3	21.8	19.2	20.4	19.4	16.5	16.8	16.7	19.8	28.3	38.6
Ortalama nispi nem (%)	78.2	74.3	67.6	62.4	60.2	54.2	47.6	47.6	52.0	61.8	71.9	78.7
Maksimum nispi nem ortalaması (%)	96.9	96.5	96.3	95.7	94.4	91.5	85.6	85.8	92.2	95.8	96.9	97.1
Ortalama rüzgar hızı (m÷sn)	1.8	2.1	2.3	2.3	2.1	2.5	3.3	3.1	2.5	1.9	1.7	1.7
Ortalama güneşlenme süresi (saat)	3.2	4.3	5.3	6.8	8.8	10.8	12.0	11.5	9.5	7.1	5.2	3.2
Ortalama küresel güneş radyasyonu (cal÷cm ²)	176.1	254.3	347.7	419.5	503.2	553.5	565.4	508.9	425.1	302.2	206.2	155.5

Tablo 3.1' e göre çalışma alanında Haziran ayından itibaren maksimum sıcaklığın 30 °C ve üzerinde olduğu gün sayısı ortalaması tekerrürlerinin arttığı görülmektedir. Buna göre Temmuz ve Ağustos aylarında ortaya çıkan bu yüksek dış sıcaklıkların sera içerisindeki sıcaklık artışı ile birlikte bitki gelişimini olumsuz etkileyeceği açıktır. Bu aylarda bitkisel üretim yapmak için evaporatif serinletme yöntemlerinin uygulanması çalışma alanı için oldukça önemlidir.

3.1.3. Araştırmada kullanılan yüksek tünel seranın yapısal özellikleri

3.1.3.1. Örtü malzemesi ve Gölgeleme tülü

Araştırma yapılan yüksek tünel serada 36 aylık UV+IR katkılı PE plastik örtü malzemesi kullanılmıştır. Gölgeleme tülü olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HdPE) den üretilmiş UV katkılı yeşil renkli gölgeleme tülü kullanılmıştır.

3.1.3.2. Yüksek tünel seranın boyutları

Araştırma yapılan yüksek tünelin boyutları Tablo 3.2’de görümleri Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Araştırma yapılan yüksek tünelin boyutları

En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Örtü alanı (m ²)	Taban alanı (m ²)	Örtü alanı/ Taban alanı (m ²)
3.0	5.0	2	40	15	2.67



Şekil 3.2. Araştırma yapılan yüksek tünelin görünümü

3.1.4. Yüksek sıcaklıkların azaltılmasında kullanılan yöntemler

3.1.4.1. Doğal havalandırma sistemi

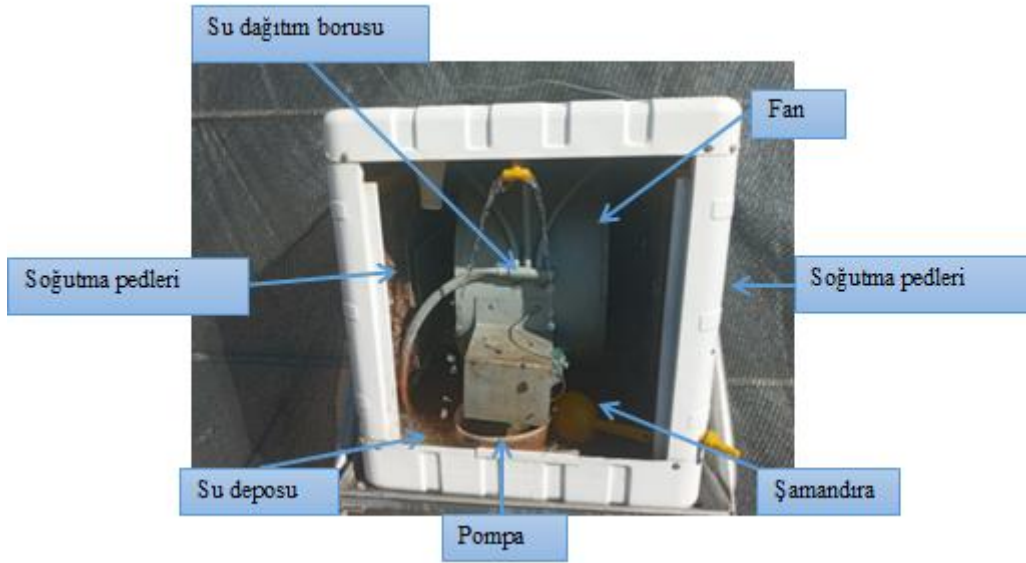
Doğal havalandırma ile serinletilen yüksek tünel serada havalandırma ön alın duvarındaki kapı (1.80m x 0.8m) ve arka alın duvarından bulunan pencere (0.5 m x 0.5 m) ile yapılmıştır. Buna göre yüksek tünelin havalandırma açıklık alanının taban alanına oranı %11.3’tür. Yüksek tünelde doğal havalandırma açıklıklarının görünümü Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. Doğal havalandırma açıklıklarından genel görünümü

3.1.4.2. Fan-ped sistemi

Evaporatif soğutucu 3 yanı kuru havanın malzeme ile temasını sağlayacak şekilde açık ve bir yüzünde hava çıkışı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistemin altında bir su deposu mevcut olup su bir pompa yardımıyla pedlere verilmektedir. Pedlerden süzülen su tekrar depoya gelerek sistem devir daim yapmaktadır. Sistemde, eksilen su miktarı sistemin çalıştırıldığı 09:00-18:00 saatleri arasında kayıt altına alınarak tüketilen toplam su miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Soğutma sisteminin bileşenleri

Evaporatif soğutucu yüksek tünel tabanından tabanında 80 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Fan debisi $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ ve su akış hızı 216 L/h tir. Klimanın ortalama saatlik enerji tüketimi 0.250 W olup sistemin çalıştığı 09:00-18:00 saatleri arasındaki ortalama tüketimi 2.25 kWh 'tir. Klima yerleşimi ve çalışmasından bir görünüm Şekil 3.4'te, klimanın elektrik tüketim ölçümünden bir görünüm Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Klima yerleşimi ve çalışmasından bir görünüm



Şekil 3.6. Klimanın elektrik tüketim ölçümünden bir görünüm

Ped materyallerinde meydana gelecek dökülmeleri önlemek ve küçük parçacıkların düşmesini engellemek amacıyla malzemeler 45 x 45 x 3 cm boyutlarında file içerisinde klima içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Sera içinde pedlerin yerleşiminden genel bir görünüm

3.1.5. Meteorolojik verilerin ölçümünde kullanılan aletlerin özellikleri

Çalışmada iç ve dış ortamda kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri Tablo 3.3' te verilmiştir.

Tablo 3.3. İç ve dış ortamda kullanılan ölçüm cihazlarına ait özellikler

Sensor türü	Sensör Modeli	Sensörün doğruluğu	Ölçüm aralığı
Sıcaklık, °C	Onset HOBO U12	± 0.35 °C	-20 °C to +70 °C
Bağıl nem, %	Onset HOBO U12	± 2.5%	%5 - %95
Rüzgar hızı, m/s	Benetech Anemometer GM816	± 5%,	0-30 m/s
Solar radyasyon, W/m ²	Apogee pyranometer sensor	5%	0-1750 W/m ²
Elektrik tüketimi, W	TT Technic PMG-1	± 2-5%	1-3680 W

3.2. Metot

3.2.1. Deneme konularının oluşturulması

Çalışmada, PE örtülü yüksek tünel serada yapılan uygulamalar ve ölçüm tarihleri Tablo 3.4' te verilmiştir. Aynı zamanda her uygulamada iklimsel ölçümler (iç ve dış sıcaklık, iç ve dış oransal nem, iç ve dış solar radyasyon) 30 dakikalık aralıklar ile kayıt

altına alınmıştır. Her uygulama için Temmuz-Ağustos ayları arasında farklı günlerde 09:00-18:00 saatleri arasındaki 2 günlük ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.

Tablo 3.4. Çalışmada yapılan uygulamalar ve ölçümler

Uygulamalar	Kısaltmalar	Ölçüm tarihleri
Doğal havalandırma	DH	04.07.2023-05.07.2023
Doğal havalandırma + dıştan gölgeleme tülü	DH+DGT	06.07.2023-07.07.2023
Selüloz ped	SP	12.07.2023-13.07.2023
Selüloz ped + dıştan gölgeleme tülü	SP+DGT	14.07.2023-15.07.2023
Fındık kabuğu ped	FKP	17.07.2023-19.07.2023
Fındık kabuğu ped + dıştan gölgeleme tülü	FKP+DGT	20.07.2023-21.07.2023
Muz dalları ped	MDP	24.07.2023-25.07.2023
Muz dalları ped + dıştan gölgeleme tülü	MD+DGT	26.07.2023-27.07.2023
Yerfıstığı kabuğu ped	YFKP	31.07.2023-01.08.2023
Yerfıstığı kabuğu ped + dıştan gölgeleme tülü	YFKP+DGT	02.08.2023-03.08.2023

3.2.2. Soğutma pedlerinin performansının belirlenmesi

Çalışmada kullanılacak ped malzemelerinin soğutma materyali olarak değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen yöntem ve eşitlikler kullanılmıştır.

Islak, doymuş durumdaki bir numune ile tamamen kurutulmuş durumdaki bir numune arasındaki ağırlık farkı, önerilen malzemenin su tutma kapasitesini verecektir (Mishra ve ark., 2023). Ped malzemelerinin su tutma kapasitesinin belirlenmesinde, 24 saat suda bekletilen malzemeler sudan çıkarıldıktan sonra kuru ağırlıkları tartılarak Eşitlik 1 yardımıyla belirlenmiştir (Tekinel ve ark., 1999).

$$\%P = \frac{(W_s - W_k)}{W_k} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte; %P= Su emme, W_s= Malzemenin su ile doymuş ağırlığı (gr), W_k= Malzemenin kuru ağırlığı (gr)

Soğutma performansını tanımlayan önemli bir parametre, iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farktır. Buna göre, sistemin soğutma etkisi Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Dayıoğlu ve Silleli, 2015; Almanea ve ark., 2022).

$$\Delta T = T_i - T_d \quad (2)$$

Eşitlikte; ΔT= Soğutma etkisi (°C), T_i= İç hava sıcaklığı (°C), T_d= Dış hava sıcaklığı (°C).

Sistemin serinletme etkinliği Eşitlik 3 yardımıyla belirlenmiştir (Maurya ve ark., 2014).

$$\eta = \frac{[td - ti]}{[td - twb]} \times 100 \quad (3)$$

Eşitlikte; η = Serinletme etkinliği (%), td = Dış hava sıcaklığı (°C), ti = İç hava sıcaklığı (°C), twb = Dış havanın kuru termometre sıcaklığı (°C), dır.

Evaporatif serinletme pedinin soğutma kapasitesi Eşitlik 4 yardımıyla belirlenmiştir (Maurya ve ark., 2014).

$$Q_c = Ma \times C_{pa} \times [td - ti] \times 3.6 \quad (4)$$

Eşitlikte; Q_c = Soğutma kapasitesi (kJ/h), td = Dış havanın kuru termometre sıcaklığı (°C), ti = Pedden çıkan havanın kuru termometre sıcaklığı (°C), Ma =Havanın kütleli akış hızı (kg/s), C_{pa} = Havanın özgül ısısı (J/kg°C)

Havanın özgül nemi ve havanın kütleli akış hızının bir fonksiyonu olan su tüketim oranı Eşitlik 5 yardımıyla belirlenmiştir (Maurya ve ark., 2014).

$$Q_\omega = Ma [\omega_o - \omega_i] \times 3600 \quad (5)$$

Eşitlikte; Q_ω = Su tüketim oranı (kg/sa), Ma = Havanın kütleli akış hızı (kg/s), ω_i = Dış ortam havasının pede girmeden önceki özgül nemi (kg/kg), ω_o = Dış ortam havasının pedden çıktıktan sonraki özgül nemi (kg/kg)

Soğutma kapasitesinin tüketilen toplam elektrik gücüne oranı performans katsayısı olarak tanımlanır ve Eşitlik 6 ile hesaplanmıştır (Abohorlu Doğramacı ve ark., 2019).

$$COP = \frac{Q_c}{W_{fan} + W_{pompa}} \quad (6)$$

Eşitlikte; Q_c = Soğutma etkisi (kWh), W_{fan} ve W_{pompa} = Fan ve pompanın elektrik gücü tüketimi (kWh)

Serada iç ortamı ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak, duyulur ısı transferi gerçekleşir. Duyulur ısı transferi (DIT), ısı taşıyıcı akışkan olan havanın yoğunluğu ve özgül ısısı ile ilişkilidir. Sera taban alanı başına duyulur ısı transferi Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmıştır (Öztürk, 2004):

$$DIT = \left[\left(\frac{HO}{A_g} \right) \cdot \rho \cdot c_{pa} \cdot (T_o - T_i) \right] \quad (7)$$

Burada; DIT= duyulur ısı transferi (W/m²), HO= havalandırma verdisi (m³/s), A_g= sera taban alanı (m²), ρ= havanın yoğunluğu (kg/m³), c_{pa}= sabit basınçta özgül ısı (J/kg°C), T_i: sera havasının sıcaklığı (°C) ve T_o: dış ortamdaki hava sıcaklığıdır (°C).

Sera ortamından uzaklaştırılması gereken gizli ısı miktarı (gizli ısı transferi); sıcaklık, havalandırma verdisi, bağıl nem oranı ve bitki örtüsü üzerindeki hava hareketine bağlı olarak değişir. Gizli ısı şeklinde ısı transferi, buharlaşma gizli ısı ve havanın yoğunluğuna bağlıdır. Gizli ısı transferi (GIT), sera iç ortamı ve dış ortam arasındaki özgül nem farkına bağlı olarak Eşitlik 8 ile hesaplanmıştır (Öztürk, 2004).

$$GIT = \left[\left(\frac{HO}{A_g} \right) \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot (W_o - W_i) \right] \quad (8)$$

Burada; GIT: gizli ısı transferi (W/m²), h_{fg}: buharlaşma gizli ısı (J/kg), W_i: sera havasının özgül nemi (kg/kg) ve W_o: dış havanın özgül nemidir (kg/kg).

Duyulur ısı transferinin gizli ısı transferine oranı, Bowen oran (β) olarak adlandırılır ve Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanır (Öztürk, 2004):

$$\beta = \left(\frac{\text{Duyulur ısı transferi}}{\text{Gizli ısı transferi}} \right) = \frac{DIT}{GIT} \quad (9)$$

Sera iç ortamında buhar basıncı açığı (VPD) değerleri Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SVP = 610.78 \times 2.71828 (T^{T+273} \times 17.2694) \quad (10)$$

$$VPD = SVP \times (1 - RH/100) \quad (11)$$

Burada; SVP: belirli sıcaklıktaki doymuş buhar basıncı (kPa), T: hava sıcaklığı (°C), VPD: havanın buhar basıncı açığı (kPa) ve RH: oransal nem (%).

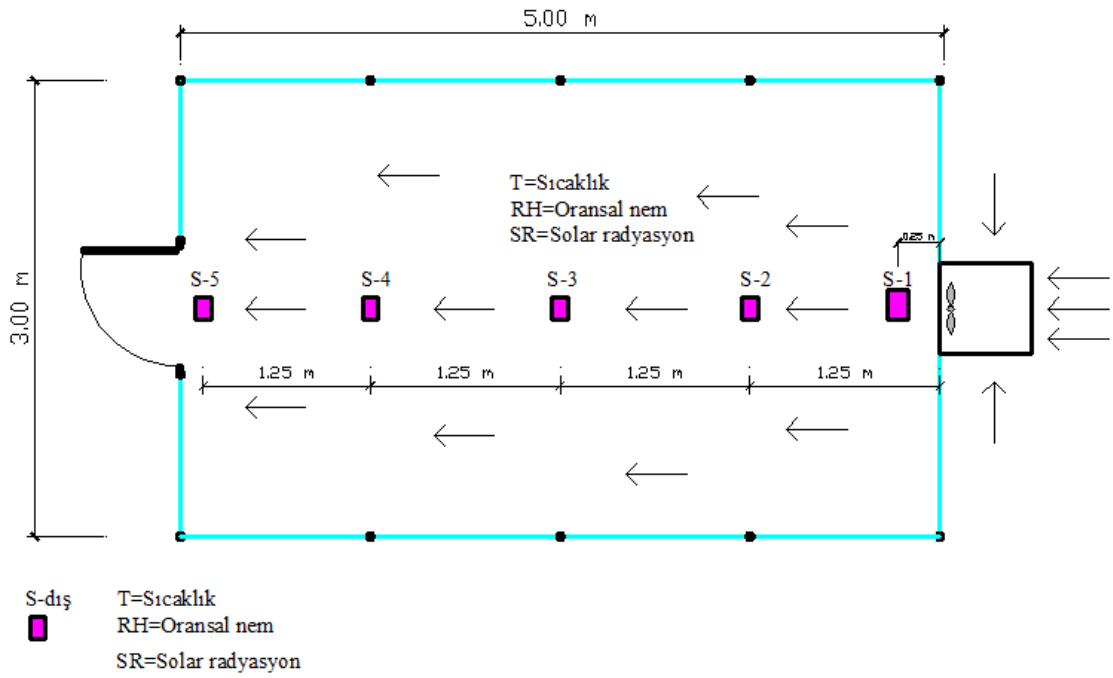
3.2.3. İç ve dış iklim verilerinin belirlenmesi

Sistem performansı ve seranın iç ortamı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla gün içerisinde sıcaklığın yükseldiği 09:00-18:00 saatleri arasında sera içerisinde ve dışında her 30 dakikalık aralıklar ile ölçümler yapılmıştır.

Çalışmada, sensör adları, konumları ve yapılan ölçümler Tablo 3.5'te, iç ve dış ortama yerleştirilen veri kaydedicilerin yerleşimi Şekil 3.8'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada, sensör adları, konumları ve yapılan ölçümler

Sensör adı	Sensör konumu	Ölçümler
T		Sıcaklık
RH		Oransal nem
S-dış	Dış sensör	Sıcaklık ve Oransal nem
S-1	Pedten 0.25 m uzaklıkta	Sıcaklık ve Oransal nem
S-2	Pedten 1.25 m uzaklıkta	Sıcaklık ve Oransal nem
S-3	Pedten 2.50 m uzaklıkta	Sıcaklık ve Oransal nem
S-4	Pedten 3.75 m uzaklıkta	Sıcaklık ve Oransal nem
S-5	Pedten 5.00 m uzaklıkta	Sıcaklık ve Oransal nem



Şekil 3.8. Sera içinde ve dışında veri kaydedicilerin yerleşim planı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Soğutma Pedlerinin Su Tutma Kapasiteleri

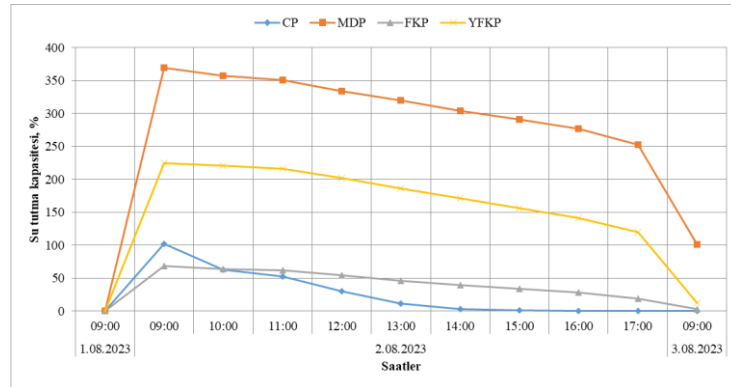
Çalışmada soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su ile doymuş ağırlıkları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su ile doymuş ağırlıkları

Tarih	Saat	SP (g)	FKP (g)	MDP (g)	YFKP (g)
1.08.2023	09:00	37.4	37.4	37.4	37.4
	09:00	75.4	63.1	175.4	121.3
	10:00	61.0	61.1	171.2	120.0
	11:00	57.1	60.5	168.6	118.0
	12:00	48.5	57.6	162.2	112.8
2.08.2023	13:00	41.7	54.6	156.9	106.8
	14:00	38.4	52.2	151.2	101.3
	15:00	37.7	50.0	146.2	95.7
	16:00	37.5	47.8	141.0	90.2
	17:00	37.5	44.5	132.0	82.1
3.08.2023	09:00	37.4	38.4	75.1	42.0

Çalışmada kuru ağırlık, yaş ağırlık ve tutulan su miktarını sırasıyla SP pedi için 37.4 g, 75.4 g ve 38.0 g, MDP pedi için 37.4 g, 175.4 g ve 138 g, FKP pedi için 37.4 g, 63.7 g ve 25.7 g, YFKP pedi için 37.4 g, 121.3 g ve 83.9 g olmuştur. Çalışmada soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su ile doymuş ağırlığına bakıldığında, 24 saat sonunda ilk tartımda MDP’nin 175.4 g ile en yüksek ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bunu 121.3 g ile YFKP, 75.4 g ile SP ve 63.1 g ile FKP pedleri izlemiştir. Birinci gün sonunda saat 09:00 da ilk tartımı yapılan SP nin saat 16:00’da ilk ağırlığa yaklaştığı görülmüştür.

Çalışmada soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su tutma kapasiteleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Soğutma pedi olarak kullanılan malzemelerin su tutma kapasiteleri

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere 24 saat sonraki ilk tartımda MDP’nin su tutma kapasitesi %369.0 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Ayrıca malzemelerin 24 saat sonunda sudan çıkartıldıktan sonraki saatlik mevcut su tutma kapasiteleri buharlaşmaya bağlı olarak değişim göstermiş ve 48. saatin sonunda MDP’in nemini %100.8 ile bünyesinde tutarken CP, FKP ve YFKP malzemeleri yaklaşık olarak ilk ağırlığına dönmüştür. Helmy ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, Samar, Japon şemsiyesi ve Topalak olmak üzere üç ped malzemesinin su tutma kapasitesini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, 24 saat sonunda, Japon şemsiyesinin Samar ve Topalak ile karşılaştırıldığında 800 g ile en fazla su tuttuğu belirlenmiştir. Ayrıca Japon şemsiyesi malzemesi diğer iki malzemeye karşılaştırıldığında 19 saat sonunda yaklaşık 510 g lık daha yüksek su salınım oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun, Japon şemsiyesinin diğer ped malzemelerine göre daha sık sislenmesi gerektiği anlamına gelir; bu da su ve enerji tüketimi ve dolayısıyla işletme maliyetleri açısından olumsuz bir nokta olarak kabul edildiğini bildirmişlerdir. Al-Sulaiman (2002) kuru ağırlık yaş ağırlık ve tutulan su miktarını sırasıyla jüt için 96.5 g, 266.5 g ve 170 g, hurma lifleri için 67.5 g, 120.3 g, 52.8 g, lif kabağı için 65.7 g, 154.6 g ve 88.9 g, ticari ped için 46.3 g, 137.4 g, 91.1 g olarak belirlemişlerdir. Mishra ve ark. (2023) kabak lifi için su tutma kapasitesini 22.3 g, 100.4 g ve 78.1 g, porozitesini ise 0.75 olarak belirlemiş ve malzemenin yeterli suyu tutabildiğini ve dolayısıyla iyi bir soğutucu ped olarak işlev görebileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada da benzer olarak malzemelerin özelliklerine bağlı olarak su tutma kapasitelerinin değiştiği ve en yüksek su tutma kapasitesi MDP pedi için 138 g, fındık kabuğu ped için 25.7 g olarak belirlenmiştir.

4.2. Doğal Havalandırma ve Doğal Havalandırma + Dıştan Gölgeleme Tülü Uygulamaları

Çalışmada, doğal havalandırma (DH) uygulamalarında ölçülen iç ve dış iklim parametreleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Çalışmada, yüksek iç ortam sıcaklık değerlerini azaltmak amacıyla ilk olarak doğal havalandırma uygulaması yapılmıştır. Dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin ortalama 29.9 °C ve %32.8 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 42.1 °C ve %20.3 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(dış-iç)} = 12.3$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(dış-iç)} = \%12.4$ olarak belirlenmiştir. DH uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %60.8 azalmış ve $\Delta SR_{(dış-iç)}$

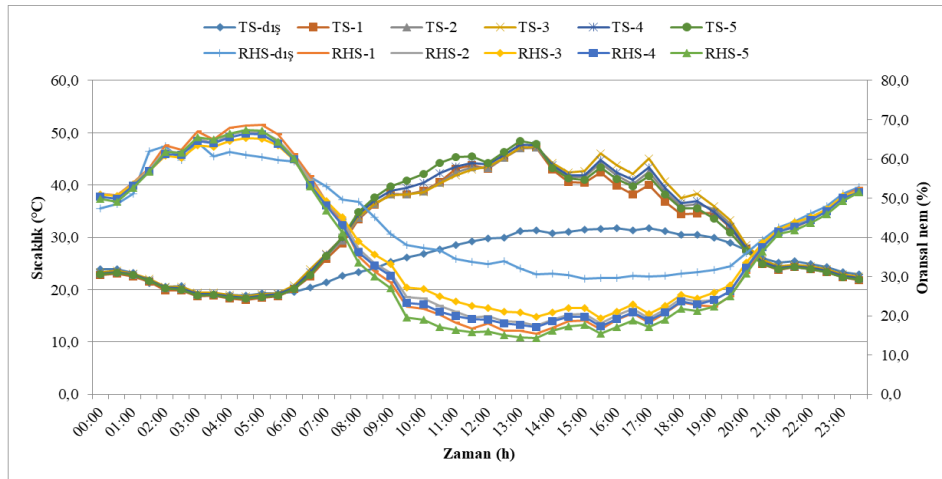
ortalama 435.4 W/m² olmuştur. Dış ortam VPD değeri 2.9 kPa iken $\Delta VPD_{(dış-iç)}$ değeri ortalama 3.9 kPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2. DH uygulamasında ölçülen dış ve iç iklim parametreleri

Ölçümler	Sensör konumu					Ortalama	
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4		S-5
Sıcaklık, °C	29.9	41.1	41.8	42.5	42.6	42.6	42.1
$\Delta T_{(iç-dış)}$, °C	–	11.3	12.0	12.7	12.7	12.8	12.3
Oransal nem, %	32.8	19.3	21.2	23.1	20.4	17.6	20.3
$\Delta RH_{(iç-dış)}$, %	–	-13.4	-11.6	-9.7	-12.4	-15.1	-12.4
VPD, kPa	2.9	6.5	6.6	6.7	6.9	7.2	6.8
$\Delta VPD_{(iç-dış)}$, kPa	–	3.6	3.7	3.8	4.1	4.3	3.9
SR, W/m ²	716.4			281.1			281.1
$\Delta SR_{(iç-dış)}$, W/m ²	–			-435.4			

–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışmada doğal havalandırma uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen dış ve iç ortam sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. DH uygulamasında sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi

Şekil 4.2’ye göre dış ortamda artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak iç ortamda sıcaklık değerlerinin arttığı ve artan sıcaklık değerlerinin iç ortamda bağıl nem değerlerinin de azalttığı görülmektedir. Buna göre gün içerisinde dış ortamda ölçülen en yüksek sıcaklık 31.7 °C ve oransal nemin %40.9’a ulaştığı görülmektedir. İç ortamda ise ölçülen en yüksek sıcaklık 48.4 °C ve oransal nem %33.3 olarak ölçülmüştür.

Yüksek güneş radyasyonu yoğunluğuna sahip bölgelerde, yüksek havalandırma oranları sera sıcaklığını düşürmek için yeterli değildir. Yüksek güneş yoğunluğu bitkilerde ısı stresi yarattığından, seralarda gölgeleme ağı sistemleri kullanılır (Holcman ve Sentelhas, 2012). Çalışmada, Doğal havalandırma + Dıştan gölgeleme tülü (DH+DGT) uygulamalarında sensör konumlarına göre ölçülen dış ve iç iklim parametreleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

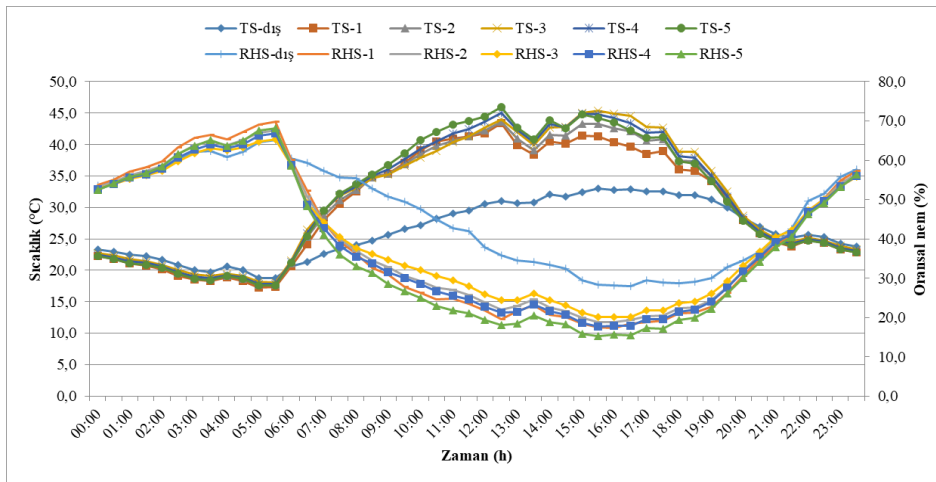
Tablo 4.3. DH+DGT uygulamalarında ölçülen dış ve iç iklim parametreleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	30.6	39.7	40.6	41.5	41.8	42.1	41.1
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	–	9.1	10.0	10.9	11.2	11.5	10.6
Oransal nem, %	36.1	21.9	23.7	25.5	22.6	19.7	22.7
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	–	-14.3	-12.4	-10.6	-13.5	-16.4	-13.4
VPD, kPa	2.9	5.8	5.9	6.1	6.4	6.7	6.2
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	–	2.9	3.0	3.2	3.5	3.9	3.3
SR, W/m^2	765.9			281.1			281.1
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	–			-484.9			

–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışmada, DH+DGT uygulamasında dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin ortalama 30.6 °C ve %36.1 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 41.1 °C ve %22.7 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(\text{dış-iç})} = 10.6$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(\text{dış-iç})} = \%13.4$ olarak belirlenmiştir. DH uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %63.3 azalmış ve $\Delta SR_{(\text{dış-iç})}$ ortalama 484.9 W/m^2 olmuştur. Dış ortam VPD değeri 2.9 kPa iken $\Delta VPD_{(\text{dış-iç})}$ değeri ortalama 3.3 kPa olarak belirlenmiştir.

Çalışmada Doğal havalandırma + Dıştan gölgeleme tülü uygulamasında iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir.

**Şekil 4.3.** DH+DGT uygulamasında sıcaklık ve oransal nem değerlerinin değişimi

Şekil 4.3'e göre dış ortamda artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak iç ortamda sıcaklık değerlerinin arttığı ve artan sıcaklık değerlerinin iç ortamda bağıl nem değerlerinin de azalttığı görülmektedir. Buna göre gün içerisinde dış ortamda ölçülen en

yüksek sıcaklık 33.0 °C ve oransal nemin %50.8'e ulaştığı görülmektedir. İç ortamda ise ölçülen en yüksek sıcaklık 46 °C ve oransal nem %34.6 olarak ölçülmüştür.

Serada yetiştiriciliği yapılan bitkiler 17–27 °C sıcaklık değerlerine adapte olmuşlardır. Bunun yanında iç ortam oransal nem değerinin %80 civarında olması istenir (von Zabeltitz, 1994). Yapılan çalışmada ise DH uygulamasının (42.1 °C sıcaklık ve %20.3 oransal nem) bitki yetiştiriciliği bakımından sıcaklık açısından yüksek, bağıl nem açısından ise oldukça düşük değerlerde ölçülmüştür. Bu günlerde iç ortam sıcaklıklarını azaltmak ve oransal nem değerini arttırmak amacıyla mekanik olmayan yöntemlerden dıştan gölgeleme tülü ile seraya ulaşan radyasyon değerlerini azaltıp iç ortamı bitki yetiştiriciliğine uygun hale getirmek iyi bir alternatif olabilmektedir. Ancak, DH+DGT uygulamasında (41.1 °C sıcaklık ve %22.7 oransal nem) iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin bitki yetiştiriciliğine uygun hale getiremediği görülmektedir (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3).

Grange ve Hand (1987) bahçe bitkilerinin fizyolojisi ve gelişimi üzerinde 1.0 kPa ve 1.2 kPa buhar basıncı açığı arasındaki nem oranlarının çok az etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Düşük nem düzeyinin bitki su stresine yol açacağını ve büyümeyi azaltacağını, daha yüksek seviyelerin hastalığı teşvik edip büyüme ve gelişme bozukluklarına neden olabileceğini bildirmişlerdir. Barker ve Sonneveld, (1988) ve Barker (1990) ise 0.5 ile 0.8 kPa arasındaki VPD değerlerinin çoğu sera ürünleri için optimal olduğunu ve meyve küçülmesi ve mantar hastalıklarından kaynaklanan verim düşüşünü önleyeceğini bildirmektedir. Yapılan çalışmada ise DH uygulamasında ortalama VPD değeri 6.8 kPa, DH+DGT uygulamasında ise 6.2 kPa olarak hesaplanmıştır. Araştırmacıların önerileri doğrultusunda her iki uygulamada da ölçülen yüksek sıcaklık ve düşük bağıl nem değerleri nedeniyle VPD değerlerinin çok yüksek olmuştur. Bu durumda iç ortamda bitki yetiştiriciliği yapılması durumunda düşük nem düzeyinin bitki su stresine yol açacağı ve bitkilerin gelişimini olumsuz etkileyeceği açıktır (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3).

Abbouda ve Almuhanha (2012) tarafından seralarda evaporatif soğutma sistemi verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan çalışmada, serada 200 µm kalınlığında tek katlı polietilen (PE, UV) ve çatısını kaplamak için %60 oranında gölgelendirici siyah ağ kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, sera dışında ve içinde ölçülen saatlik ortalama solar radyasyon değerini sırasıyla 555.7 W/m² ve 298.7 W/m² olduğunu, dolayısıyla örtü malzemesinin etkin geçirgenliğinin ortalama %53.8 olduğunu belirlemişlerdir. Sera iç ortamında ölçülen en düşük değerler, güneşin doğuş açısı ve gökyüzünün açık veya

kapalı olma durumuna bağılı olarak gün doğumundan hemen sonra ve gün batımından önce ölçülmüştür. Sera içinde ölçülen solar radyasyon, sera örtü malzemesinin yansıtma, absorbe ve geçirgenlik faktörlerinden dolayı dış ortamda ölçülen değerlerden düşük ölçüldüğü bildirilmiştir. Benzer olarak çalışmada, örtü malzemesi ve gölgeleme tülü nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu geçirgenliği azalarak ortalama DH uygulamasında %39.2, DH+DGT uygulamasında ise %36.7 olarak belirlenmiştir. Pasif soğutma yöntemleri (doğal havalandırma, beyaz yıkama, gölgeleme ağları) sera ısı birikimini azaltmanın basit ve düşük maliyetli yolları olarak kabul edilir, çünkü çok az ilk yatırım gerektirirler (Sethi ve Sharma, 2007; García ve ark., 2011). Ancak, doğal havalandırmanın verimliliği düşük dış hava hızı değerleri altında sınırlıdır. Gölgeleme tülü ise kullanılan tekniğe ve gelen güneş radyasyonunun yüzdelik azalmasına bağılı olarak üretimi ve meyve kalite özelliklerini etkileyebilir (Aroca-Delgado ve ark., 2018; McCartney ve ark., 2018). Yapılan çalışmada, örtü malzemesi ve gölgeleme tülü aracılığıyla ulaşan güneş radyasyonu değeri her ne kadar azalsa da yaz mevsimi olması dolayısıyla iç ortamda biriken ısı enerjisinin dış ortama atılması için yapılan uygulamalardaki başarı düzeyi araştırmacıların da belirtmiş olduğu gibi kısıtlı olmuştur. Çalışmada, yapılan her iki uygulamadan da görüleceği üzere iç ortam sıcaklık, oransal nem ve buhar basıncı açığı değerlerinin bitki yetiştiriciliği için gerekli olan optimum değerlerden uzak olduğu görülmektedir. Bu günlerde yüksek sıcaklık ve düşük oransal nem değerlerinde bitkilerin çiçek bağlaması, verim ve gelişim parametrelerinde sorunlar yaşanacağı açıktır. Bu günlerde iç ortam sıcaklık değerini düşüren ve iç ortam oransal nem değerlerini artıran evaporatif serinletme sistemlerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

4.3. Evaporatif Soğutma Uygulamaları

4.3.1. Selüloz ped ve selüloz ped + dıştan gölgeleme uygulaması

Selüloz ped (SP) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.4.'te verilmiştir.

SP uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal nemi 28 °C ve %36.2, iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 27.7°C ve %53.4 olarak ölçülmüştür. Yüksek tünel sera içerisinde ölçülen ortalama sıcaklık dış sıcaklıktan 0.3 °C düşük, oransal nem ise %17.3 daha yüksek ölçülmüştür.

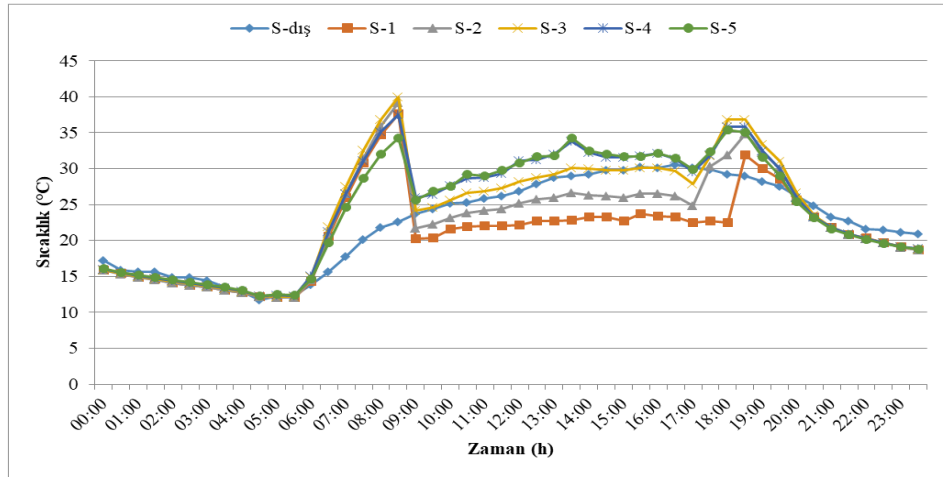
Tablo 4.4. SP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	28.0	22.4	25.7	28.8	30.7	30.8	27.7
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	-	-5.6	-2.3	0.8	2.7	2.8	-0.3
Oransal nem, %	36.2	66.4	58.5	51.7	47.3	43.4	53.4
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	-	30.2	22.3	15.5	11.1	7.2	17.3
VPD, kPa	2.5	0.9	1.4	2.0	2.4	2.6	1.9
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	-	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.1	-0.6
SR, W/m^2	815.6			553.3			553.3
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	-			-262.3			

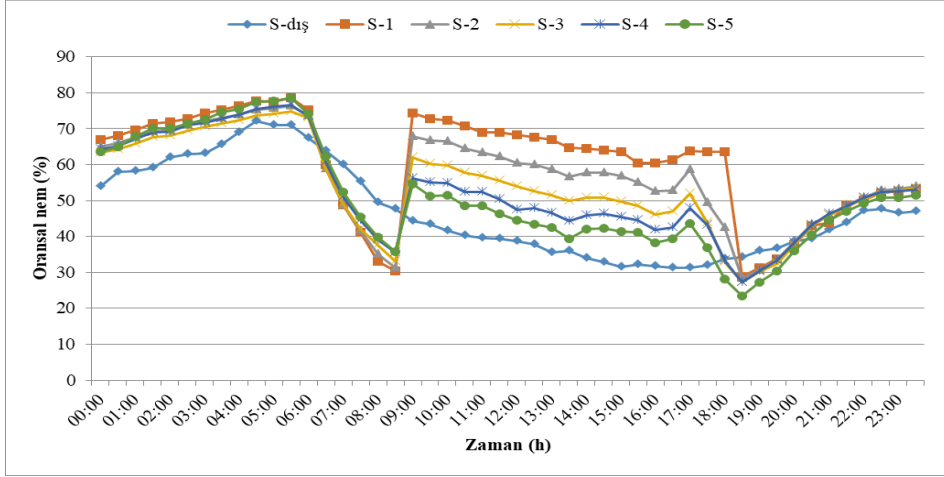
-: negatif değerler iç ortamın dış ortamdan düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdan daha yüksek olduğunu göstermektedir.

SP uygulamasında örtü malzemesindeki yansıma nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %32.2 azalmış ve ortalama 553.3 W/m^2 olmuştur. İç ortam VPD değeri dış ortamdan 0.6 kPa daha düşük hesaplanmıştır. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{\text{dış}}$) $5.6 ^\circ\text{C}$ düşük iken $S_{\text{dış}}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdan 2.8°C daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen oransal nem değeri dış ortam oransal nem değerinden ($S_{\text{dış}}$) %30.2 daha yüksek iken $S_{\text{dış}}$ ve S-5 sensörleri arasındaki oransal nem farkı dış ortamdan %7.2 daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ te verilmiştir.



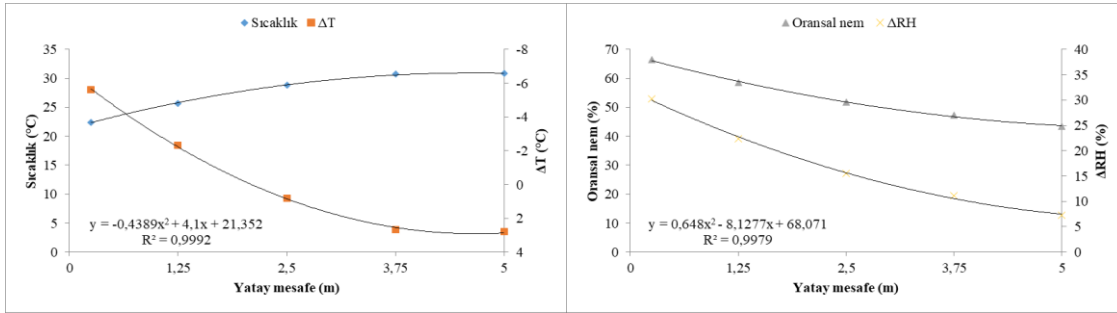
Şekil 4.4. SP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.5. SP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

SP uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

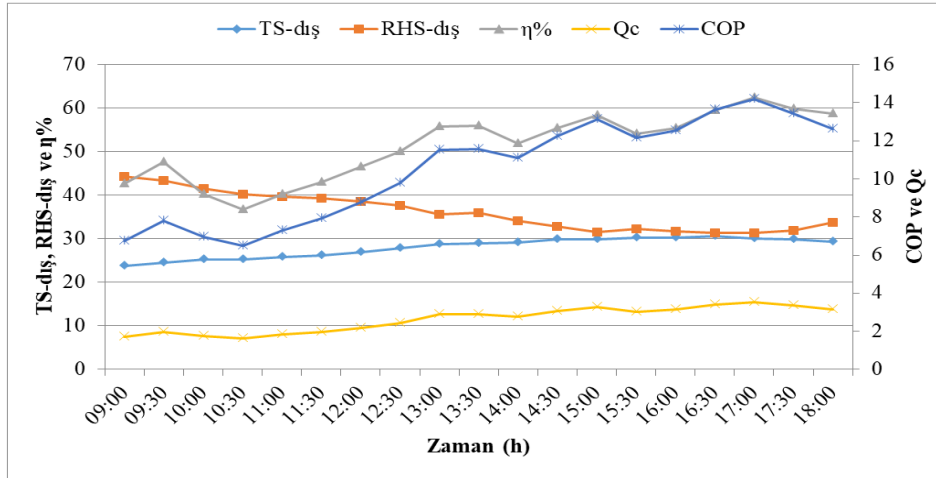
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. SP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2 = 0.9992$ ve oransal nem için $R^2 = 0.9979$ olarak belirlenmiştir.

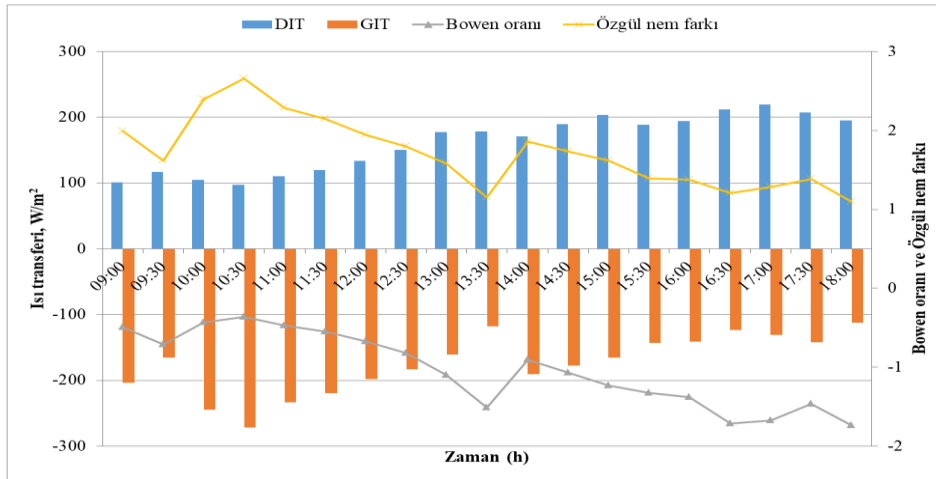
SP uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. SP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada SP uygulamasında soğutma verimi %36.6–%62.4 arasında ortalama %51.3 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.6–3.5$ kW arasında 2.6 kW, COP değeri 6.5–14.2 arasında ortalama 10.5 ve su tüketimi $Q_w = 26.4$ L/gün (2.9 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, SP sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. SP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

SP uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 97.9–219.3 W/m^2 arasında ortalama 161.6 W/m^2 , GIT ise -271.8 W/m^2 ve -112.3 W/m^2 arasında ortalama -174.9 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -0.4 ile -1.8 arasında ortalama -1.0 , özgül nem farkı ise $1.1–2.7$ g/g arasında ortalama 1.7 g/g olarak hesaplanmıştır.

Selüloz ped + Dıştan gölgeleme tülü uygulamasında (SP+DGT) ölçülen sıcaklık, oransal nem, buhar basıncı açığı ve radyasyon değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

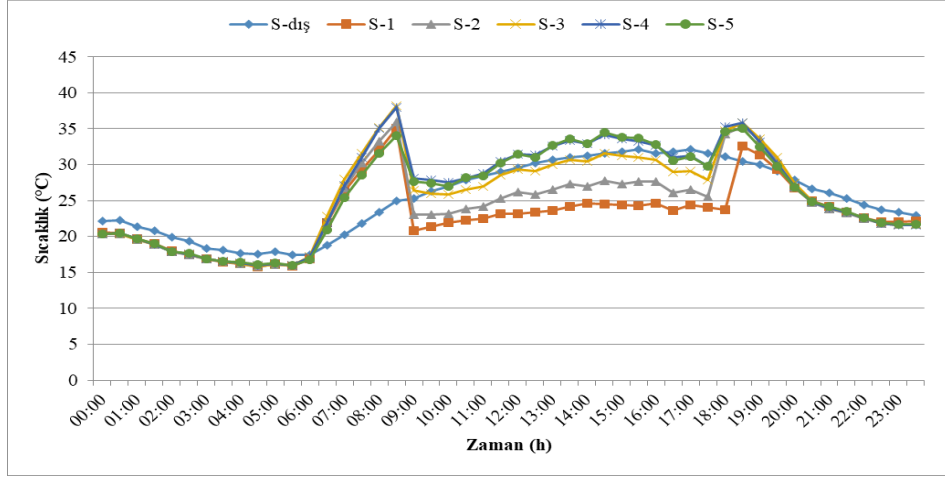
Tablo 4.5. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	30.0	23.4	26.2	29.2	31.2	31.1	28.2
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	-	-6.6	-3.8	-0.8	1.2	1.1	-1.8
Oransal nem, %	33.7	66.3	57.3	52.2	49.5	43.9	53.9
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	-	32.6	23.6	18.5	15.9	10.2	20.2
VPD, kPa	2.9	1.0	1.5	2.0	2.3	2.6	1.9
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	-	-1.9	-1.4	-0.9	-0.5	-0.3	-1.0
SR, W/m ²	800.3			303.7			303.7
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	-			-496.5			

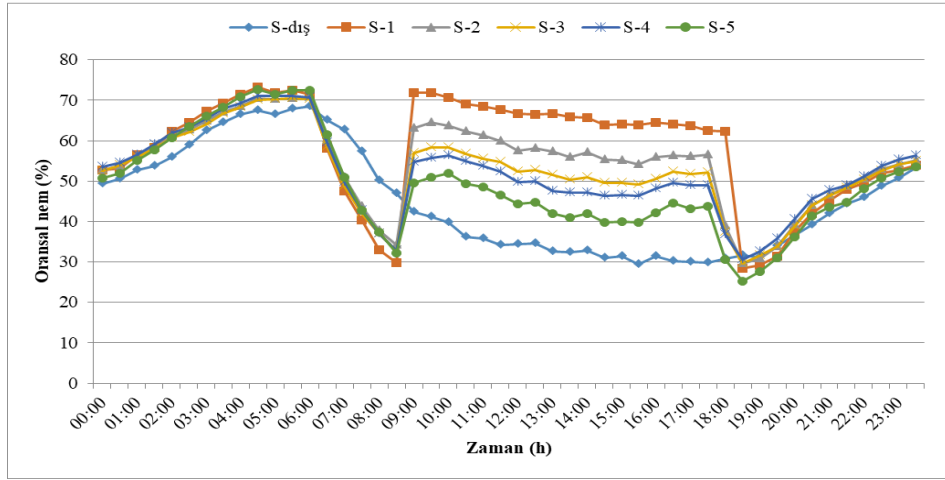
–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

SP+DGT uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal nemi 30.0 °C ve %33.7, iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 28.2 °C ve %53.9 olarak ölçülmüştür. Yüksek tünel sera içerisinde ölçülen ortalama sıcaklık dış sıcaklıktan 1.8 °C düşük, oransal nem ise %20.2 daha yüksek ölçülmüştür. SP+DGT uygulamasında örtü malzemesindeki yansımaya nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %62 azalmış ve ortalama 303.7 W/m² olmuştur. İç ortam VPD değeri dış ortamdaki 1.0 kPa'dan daha düşük hesaplanmıştır. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan (S_{dış}) 6.6 °C düşük iken S_{dış} ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdaki 1.1°C'den daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen oransal nem değeri dış ortam oransal nem değerinden (S_{dış}) %32.6 daha yüksek iken S_{dış} ve S-5 sensörleri arasındaki oransal nem farkı dış ortamdaki %10.2'den daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



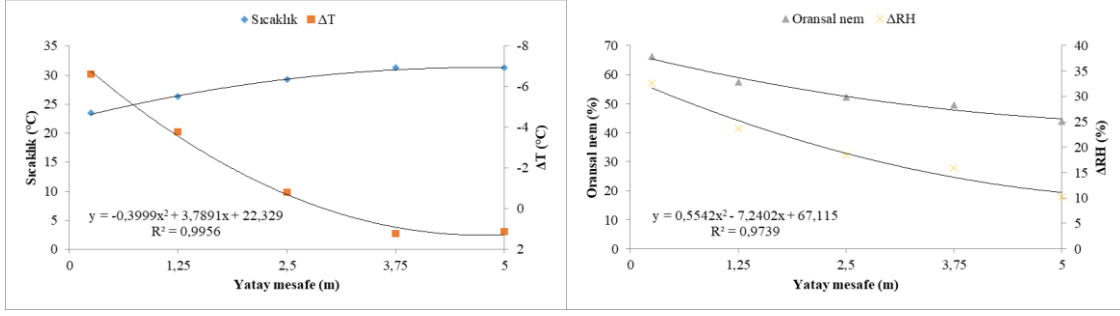
Şekil 4.9. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.10. SP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

SP+DGT uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

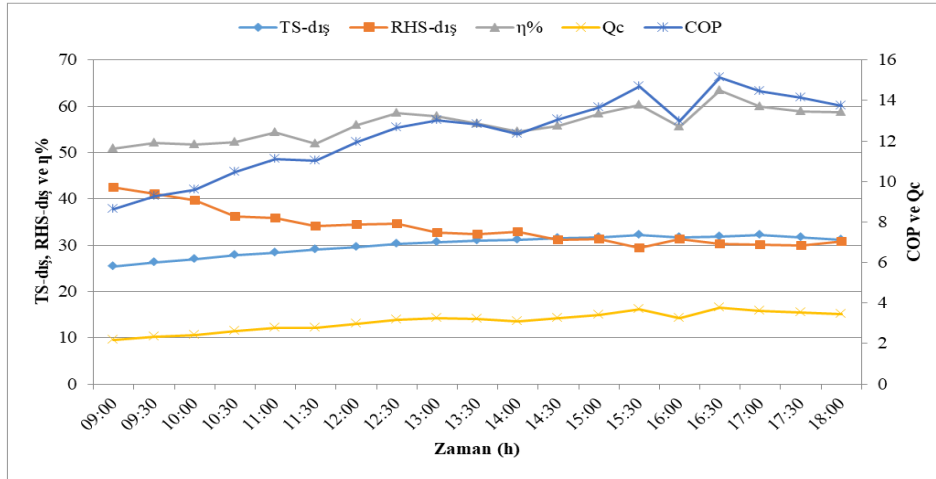
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. SP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0,9956$ ve oransal nem için $R^2=0,9739$ olarak belirlenmiştir.

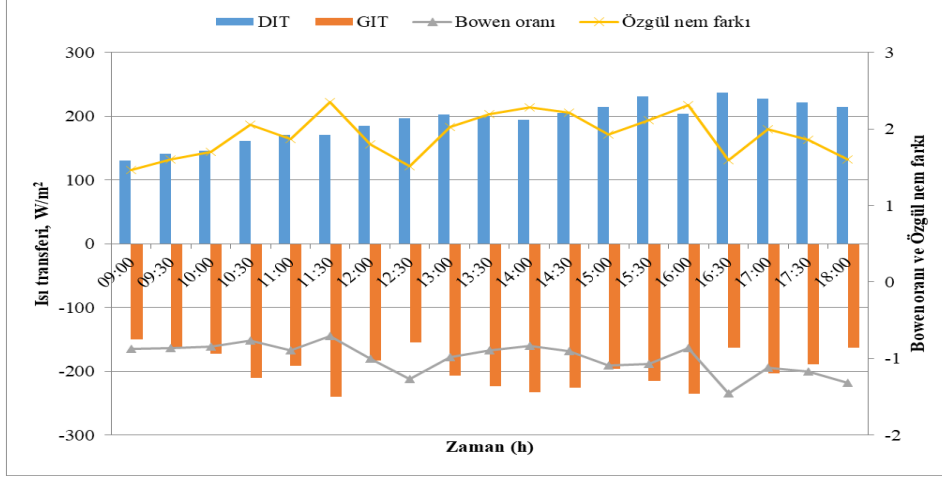
SP+DGT uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. SP + DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada SP+DGT uygulamasında soğutma verimi %50.8-%63.4 arasında ortalama %56.2 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 2.2-3.8$ kW arasında 3.1 kW, COP değeri 8.7-15.1 arasında ortalama 12.4 ve su tüketimi $Q_w = 30.5$ L/gün (3.4 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, SP+DGT sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.13. SP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

SP+DGT uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 130.3–237.4 W/m² arasında ortalama 192.5 W/m², GIT ise –240.4 W/m² ve –149.7 W/m² arasında ortalama –196.0 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı –1.5 ile –0.7 arasında ortalama –1.0, özgül nem farkı ise 1.5–2.4 g/g arasında ortalama 1.9 g/g olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, ped önünde hesaplanan soğutma etkisi (ΔT) SP uygulamasında 5.6 °C ve SP+DGT uygulamasında 6.6 °C olarak bulunmuştur. Araştırmacıların soğutma etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarda, Jakubowski ve ark. (2024) soğutma etkisi SP uygulamasında 5.5 °C ve SP+DGT uygulamasında 6.6 °C olarak bulunmuştur (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5). Gunhan ve ark. (2007) 5 cm ped kalınlığı ve dört farklı hava hızı (0.6, 1.0, 1.3 ve 1.6 m/s) için soğutma etkilerinin sırasıyla 4.97 °C, 4.69 °C, 3.91 °C ve 3.99 °C olarak bulunduğunu bildirmiştir. Shivpuje ve ark. (2018) soğutma pedine giren havanın ortalama kuru termometre sıcaklığının 32 °C ile 36 °C arasında değiştiğini ve soğutma sisteminden hava çıkış sıcaklığının 27-29 °C arasında olduğunu belirlemiştir. Vala ve ark. (2016) 10 cm kalınlığında SP ile ortalama soğutma etkisinin 8 °C olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki önceki bulgularla uyumludur. Ayrıca çalışmada, SP (27.7 °C) ve SP+DGT (28.2 °C) uygulamaları ile iç ortam sıcaklık değerlerinin bitki yetiştiriciliğine uygun değerlere getirilebileceği belirlenmiştir. Bunun nedeni, doğrudan buharlaştırıcı soğutma işlemi ile iç ortama ulaşan nem miktarıdır. İç ortamdaki bağıl nemin artırılması, iç ortamdaki sıcaklıkları düşürerek soğutma etkisini artırmıştır. Aynı zamanda, SP+DGT uygulamasında dıştan gölgeleme tülü kullanılarak iç ortama ulaşan güneş radyasyonu azaltılmış ve soğutma etkisi SP uygulamasına göre daha yüksek olmuştur.

Çalışmada, iç ortam bağıl nem değerleri dış ortama (ΔRH) göre ortalama SP uygulamasında %30.2, SP+DGT uygulamasında ise %32.6 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, SP uygulamasında dış ortam VPD değeri 2.5 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.9 kPa, SP+DGT uygulamasında dış ortam VPD değeri 2.9 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.9 kPa olarak belirlenmiştir. Gunhan ve ark. (2007) bağıl nem üzerine yaptıkları bir çalışmada, 5 cm ped kalınlığı ve dört farklı hava hızı (0.6, 1.0, 1.3 ve 1.6 m/s) için bağıl nem farklarının sırasıyla %37.21, %33.58, %28.83 ve %27.38 olduğunu bildirmişlerdir. Shivpuje ve ark. (2018) soğutma pedine giren havanın ortalama bağıl neminin %42.1 ile %48.2 arasında değiştiğini ve ped çıkışındaki bağıl nemin %65.4–%78.7 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Buna göre çalışma sonuçları literatürdeki önceki bulgularla uyumlu bulunmuştur. Dış ortam sıcaklığının arttığı koşullarda, dış ortamda bağıl nem değerleri düşmüştür (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12). Bu durumda, pedin içine giren kuru hava daha fazla nem almış ve iç ortamdaki bağıl nem değerlerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca, bağıl nemin artması iç ortamda VPD değerlerinin azaltmıştır. SP ve SP+DGT uygulamalarında bağıl nemin artması ve VPD değerlerinin azalması, sera iç ortamını bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirmiştir. Ancak, SP+DGT uygulamasında kullanılan dıştan gölgeleme tülü nedeniyle iç ortam koşulları SP uygulamasına göre daha uygun olmuştur.

Çalışmada, yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafında iç ortam ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri SP uygulamasında 8.4 °C artmış, oransal nem ise %23 azalmıştır. SP+DGT uygulamasında ise 7.7 °C artmış, oransal nem ise %22.4 azalmıştır. Boyacı ve Akyüz (2019) yerel serinletme malzemelerini değerlendirdikleri çalışmalarında yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafına doğru sera boyunca sıcaklığın 7.70 °C arttığı, oransal nem ise %16 azaldığı belirlenmiştir. Dayıoğlu ve Silleli (2015) ped tarafından fan tarafına sera boyunca hava sıcaklığının yaklaşık 6 °C arttığı ve oransal nemin %11 azaldığı belirlenmiştir. Araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalara benzer olarak ped tarafından uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada da benzer olarak ped tarafından uzaklaştıkça oluşan sıcaklık ve oransal nem değişimlerinin azaltılıp iç ortamda homojen bir dağılımın sağlanabilmesi için seralarda sirkülasyon fanlarının kullanılması iç ortam havasını karıştırarak sistem etkinliğini arttıracaktır.

Çalışmada SP uygulamasının soğutma verimi (η) ortalama %51.3, SP+DGT uygulamasının soğutma verimi ortalama %56.2 olarak belirlenmiştir. Buna göre SP+DGT uygulamasının soğutma veriminin SP uygulamasına göre daha yüksek olduğu

görülmüştür. Elde edilen sonuçlar dış gölgeleme ağının buharlaşmalı soğutma verimini olumlu yönde artırdığını göstermiştir. Dış ortamdaki bağıl nem değerlerinin azalmasının soğutma verimini artırdığını göstermektedir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Bunun nedeni sera içindeki sıcaklıkların azalmasının iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farkı artırmasıdır. Sıcaklık farkı arttıkça iç sıcaklıklar dış yaş termometre sıcaklığına yaklaşmış ve soğutma verimi artmıştır. Gunhan ve ark. (2007) soğutma verimi üzerine yaptıkları çalışmada buharlaşma doyumluk verimini 5 cm'lik ped kalınlığı için %46.1 olarak hesaplamışlardır. Vala ve ark. (2016) 10 cm kalınlığında Celdek pediyle doyumluk verimliliğinin %90.70–%57.14 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Franco ve ark. (2014) selüloz pedi için doyumluk verimliliğinin %70–%64 arasında olduğunu bildirmiştir. Sonuçlar, soğutma verimliliğinin, ped kalınlığının benzer olduğu Gunhan ve ark. (2007) sonuçlarından daha yüksek, ancak ped kalınlığının daha ince olduğu Franco ve ark. (2014) ve Vala ve ark. (2016) sonuçlarından daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Mishra ve ark. (2023), pedin kalınlığındaki bir artışın da soğutma verimliliğini artırdığını bildirmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada, ortaya çıkan farklılıklar dış iklime (gelen radyasyon, dış mekan bağıl nemi, vb.) ve ped kalınlığına bağlı olarak değişmiştir.

SP uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 9464.3 kJ/h (2.63 kW) ve COP değeri 10.52 olarak hesaplanmıştır. SP+DGT uygulaması için soğutma kapasitesi 11121.2 kJ/h (3.09 kW) ve COP değeri 12.36 olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda SP+DGT uygulamasında soğutma kapasitesi ve COP değerlerinin SP uygulamasına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Sera iç ortamındaki sıcaklık değerlerinin artması yüksek buharlaşma ısısının bulunmasına yol açar. Bu da buharlaşmaya neden olur ve iç ortamı soğutur. Soğutma seranın iç sıcaklığının ortam sıcaklığının altına düşmesine neden olduğunda büyük bir sıcaklık farkı elde edilir ve bunun sonucunda yüksek soğutma kapasitesi elde edilir (Mishra ve ark., 2023). Çalışmada SP+DGT uygulamasında ($\Delta T = 6.6$ °C), SP uygulamasına ($\Delta T = 5.6$ °C) göre iç ortam sıcaklığı değerlerinde meydana gelen azalma, soğutma kapasitesini (Q_c) ve COP'u arttırmıştır. Ayrıca, daha düşük dış bağıl neminin daha yüksek buharlaşmaya yol açarak daha yüksek soğutma kapasitesi ve daha yüksek COP değerlerinin elde edilmesine yardımcı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Shivpuje ve ark. (2018), sistemin soğutma kapasitesinin 0.7–1.1 kW arasında değiştiğini ve sistemdeki en yüksek COP değerinin 19.5 olarak hesaplamışlardır. Vala ve ark. (2016) 10 cm kalınlığındaki Celdek pedinde soğutma kapasitesini 2717 kJ/h olarak belirlemişlerdir. Chaouang ve ark.

(2023) dört farklı hava hızında (0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s), SP için soğutma kapasitesinin 0.3-0.6 kW ve COP değerinin yaklaşık 2.2–4.5 arasında olduğunu ve soğutma kapasitesinin yalnızca sıcaklık düşüşüyle değil aynı zamanda akış hızıyla da doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Maurya ve ark. (2014) artan hava hızlarının soğutma kapasitesini artırdığını bildirmiştir. Abohorlu Doğramacı ve ark. (2019) hava hızının belirli bir değere kadar arttıkça COP ve soğutma kapasitesi değerlerini arttırdığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bu çalışmada bulunan soğutma kapasiteleri Shivpuje ve ark. (2018)'e göre daha düşük ve Chaomuang ve ark. (2023)'e göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacıların bildirdiği üzere yapılan çalışmada da, soğutma sisteminin 2.2 m/s lik yüksek hava hızında çalışması soğutma kapasitesi ve COP değerlerini arttırmıştır.

SP uygulamasında su tüketim kapasitesi (Q_w) 26.4 L/gün (2.93 L/h), SP+DGT uygulamasında ise 30.5 L/gün (3.4 L/h) olarak hesaplanmıştır. Sisteme saat 09:00 ile 18:00 arasında eklenen su miktarı ile hesaplanan günlük su tüketimi arasında SP uygulamasında %4, SP+DGT uygulamasında ise %5 oranında fark çıkmıştır. Bu farkın sistemdeki kayıp ve kaçaklardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre SP+DGT uygulamasında su tüketimi SP uygulamasına göre daha fazla olmuştur. Dış ortamdaki düşük bağıl nem, evaporatif soğutucunun daha fazla su buharlaştırmasına ve daha fazla su tüketmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda buharlaşan su miktarının fazla olması soğutma kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır. SP+DGT uygulamasında tüketilen su, SP uygulamasına kıyasla soğutma kapasitesini de artırmıştır. Vala ve ark. (2016) 10 cm kalınlığındaki Celdek ped ile ortalama su buharlaşmasının 4.31 L/h olduğunu belirlemişlerdir. Nikolaou ve ark. (2018) Akdeniz koşullarında salatalık yetiştirilen bir serada fan-ped buharlaştırıcı soğutma için gereken günlük suyu ölçmüş; sera taban alanının m^2 'si başına 3 L'ye kadar su tükettiğini belirlemişlerdir. Franco ve ark. (2014) selüloz ped için birim su tüketiminin 1.8–2.62 L/h arasında değiştiğini bildirmiştir. Yapılan çalışmada, SP uygulaması için sera taban alanı başına 1.8 L/ m^2 , SP+DGT uygulaması için sera taban alanı başına 2.0 L/ m^2 suyun tüketildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki önceki bulgularla örtüşmektedir. Ayrıca Akdeniz iklimine sahip bölgelerde su kıtlığı nedeniyle seraların soğutulması kadar birim alan başına su tüketimi de önemlidir. Çünkü soğutma için tüketilen su miktarının belirlenmesi, su kısıtının olduğu bölgelerde evaporatif soğutma uygulamalarının uygulanabilirliğini de etkileyecektir.

SP uygulamasında ortalama SHT 161.6 W/m^2 , LHT -174.9 W/m^2 ve SP+DGT uygulamasında ortalama SHT 192.5 W/m^2 ve LHT -196.0 W/m^2 olmuştur. SP uygulamasında ortalama Bowen oranı -1.3 ve özgül nem farkı 1.7 g/g , SP+DGT uygulamasında Bowen oranı -1.0 ve özgül nem farkı 1.92 g/g olarak bulunmuştur (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). SP ve SP+DGT uygulamalarında SHT, seranın dış ve iç ortamları arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) artışına bağlı olarak artarken, LHT sera iç ortamı ile dış hava arasındaki özgül nem farkının artmasına bağlı olarak artmıştır. Ayrıca, özgül nem farkının artışına bağlı olarak Bowen oranı artmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). Jakubowski ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada SP uygulamasında DIT'nin ortalama 159.5 W/m^2 GIT'nin ortalama -209.1 W/m^2 , Bowen oranının ortalama -0.8 ve özgül nem farkı ortalama 2.1 g/g olduğu bulunmuştur. SP + DGT uygulamasında DIT'nin ortalama 192.4 W/m^2 , GIT'nin ortalama olarak -191.0 W/m^2 , Bowen oranının -1.1 ve özgül nemdeki fark ortalama 1.87 g/g olarak belirlenmiştir. Ayrıca, araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda serada duyulur ısı transferinin sıcaklık farkıyla, gizli ısı transferinin ise özgül nem farkıyla doğrusal olarak arttığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda, soğutma sisteminin serada çalışmasıyla GIT'nin DIT'den yüksek olduğu belirlenmiştir (Öztürk, 2004; Öztürk, 2006; Boyacı, 2019). Benzer şekilde, SP ve SP+DGT uygulamalarında da DIT'nin sıcaklık farkıyla, GIT'nin ise özgül nem farkıyla doğrusal olarak arttığı ve sistemin çalıştığı saatlerde DIT'nin GIT'den yüksek olduğu belirlenmiştir. Öztürk (2004) sera denemesinde Bowen oranı (β) değerleri dikkate alındığında DIT'nin GIT'den yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca β (-) değeri, sera içindeki hava sıcaklığının dış hava sıcaklığından düşük, özgül nemin ise dış ortam hava sıcaklığından yüksek olduğunun bir göstergesi olduğunu bildirmiştir. Çalışmaya benzer şekilde, SP ve SP+DGT uygulamalarında, serada soğutma sistemi çalışırken GIT'nin DIT'den daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca bu artışın SP+DGT uygulamasında daha fazla olduğu ve sera iç ortamının bitki yetiştirmek için daha uygun hale geldiği belirlenmiştir.

4.3.2. Fındık kabuğu ped ve fındık kabuğu ped + dıştan gölgeleme uygulaması

Fındık kabuğu ped (FKP) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

FKP uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin $25.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\%36.3$ olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi $27.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\%48.4$ olarak belirlenmiştir.

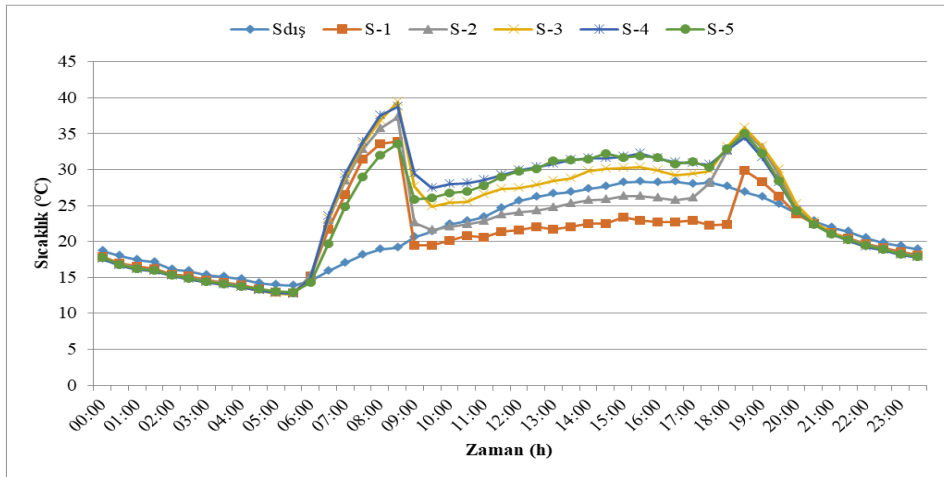
Tablo 4.6. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	25.9	21.8	25.1	28.5	30.4	29.9	27.1
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	–	–4.2	–0.9	2.6	4.4	4.0	1.2
Oransal nem, %	36.3	58.4	50.4	47.8	45.0	40.2	48.4
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	–	22.2	14.1	11.5	8.7	4.0	12.1
VPD, kPa	2.2	1.1	1.7	2.1	2.4	2.6	2.0
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	–	–1.1	–0.5	–0.1	0.2	0.4	–0.2
SR, W/m^2	830.0			567.7			567.7
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	–			–262.3			

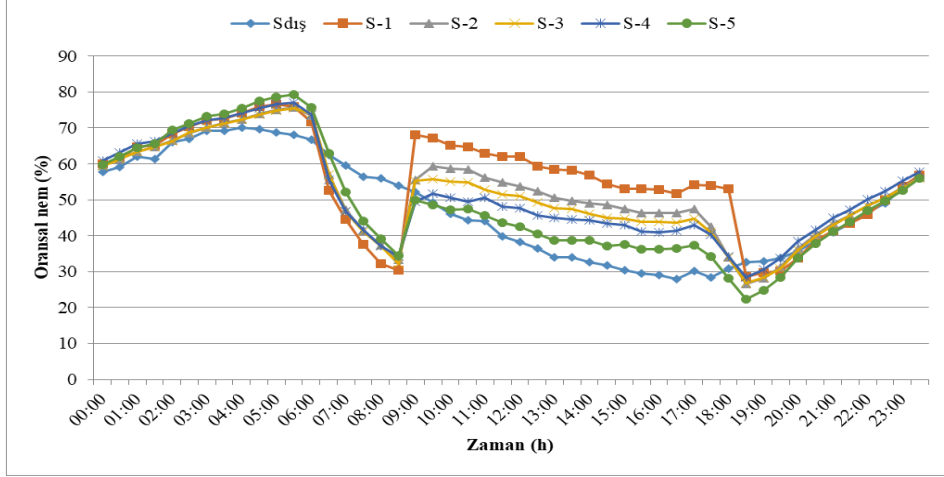
–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(\text{dış-iç})} = 1.2 \text{ } ^\circ\text{C}$, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(\text{dış-iç})} = \%12.1$ olarak belirlenmiştir. FKP uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %68.4 azalmış ve $\Delta SR_{(\text{dış-iç})}$ ortalama 262.3 W/m^2 olmuştur. Dış ortam VPD değeri 2.2 kPa iken iç ortam $\Delta VPD_{(\text{dış-iç})}$ değeri ortalama -0.2 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{\text{dış}}$) $\Delta T = 4.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ düşük iken $S_{\text{dış}}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdaki $4.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{\text{dış}}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %22.2 iken $S_{\text{dış}}$ ile S-5 farkı %4.0 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ te verilmiştir.



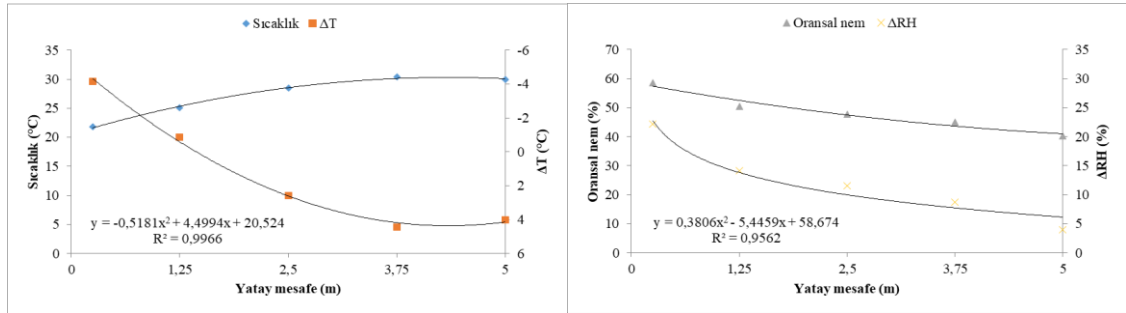
Şekil 4.14. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.15. FKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

FKP uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

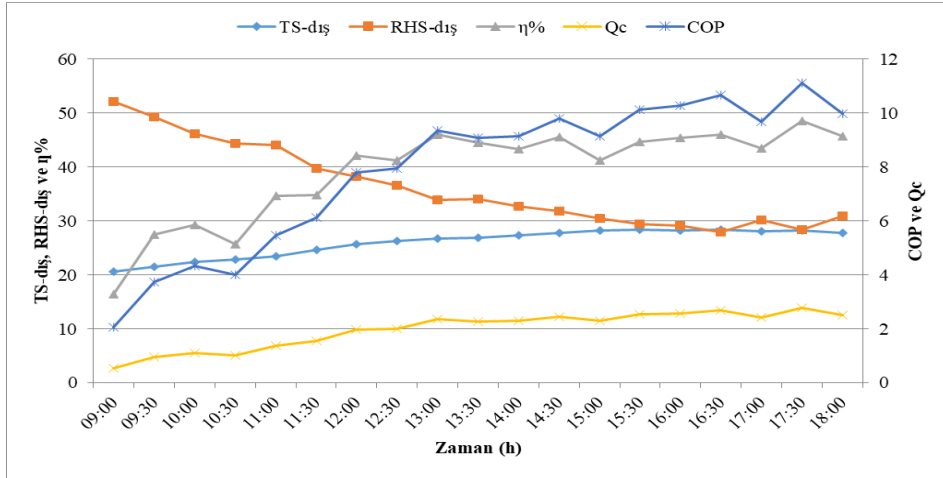
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. FKP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını da azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9966$ ve oransal nem için $R^2=0.9562$ olarak belirlenmiştir.

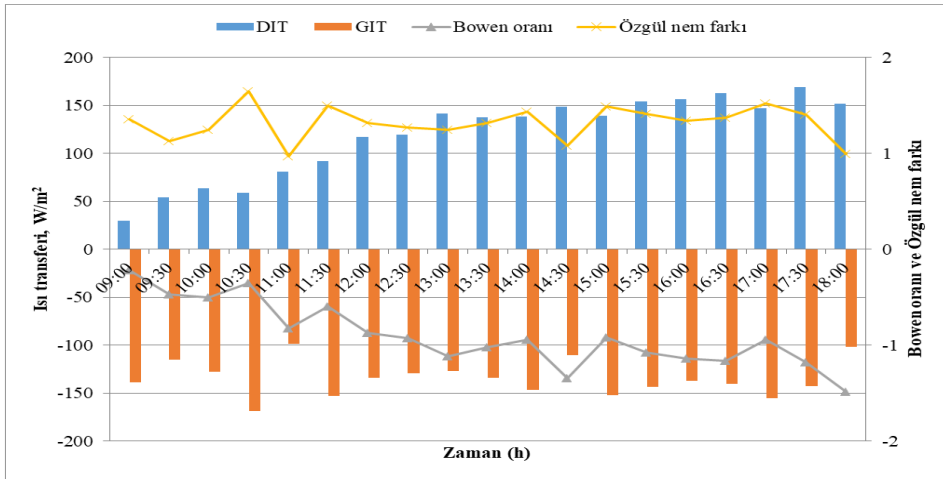
FKP uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. FKP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada FKP uygulamasında soğutma verimi % 16.4–%48.5 arasında ortalama %39.2 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 0.5\text{--}2.8$ kW arasında ortalama 2.0 kW, COP değeri 2.1–11.1 arasında ortalama 7.9 ve su tüketimi $Q_w = 20.2$ L/gün (2.2 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, FKP sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.18. FKP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

FKP uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 29.9 ile 169.1 W/m^2 arasında ortalama 119.2 W/m^2 , GIT ise -168.5 ile -98.8 W/m^2 arasında ortalama -134.6 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -1.5 ile -0.2 arasında ortalama -0.9, özgül nem farkı ise 1.0-1.7 g/g arasında ortalama 1.3 g/g olarak hesaplanmıştır.

Fındık kabuğu ped + Dıştan gölgeleme tülü (FKP+DGT) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir.

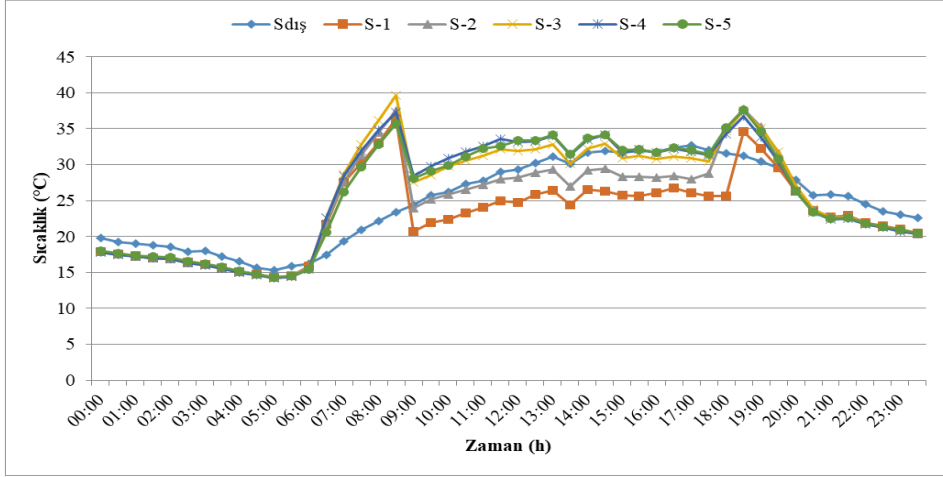
Tablo 4.7. FKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	29.9	24.9	28.1	31.2	32.2	32.1	29.7
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	–	–5.1	–1.9	1.2	2.2	2.2	–0.3
Oransal nem, %	30.3	51.9	45.6	43.2	40.4	36.9	43.6
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	–	21.5	15.3	12.9	10.0	6.6	13.3
VPD, kPa	3.0	1.5	2.1	2.6	2.9	3.1	2.4
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	–	–1.5	–0.9	–0.4	–0.1	0.1	–0.6
SR, W/m^2	765.1			288.4			288.4
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	–			–476.7			

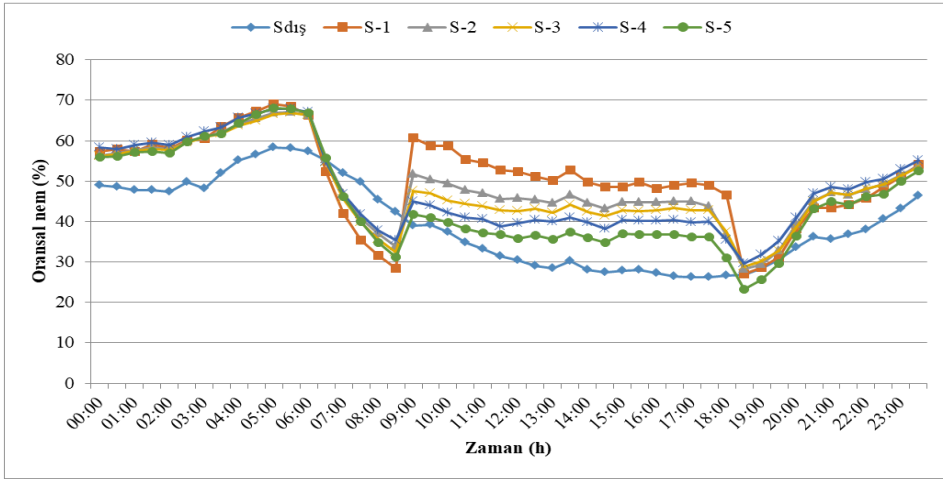
–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

FKP+DGT uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin 29.9 °C ve %30.3 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 29.7°C ve %43.6 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(\text{dış-iç})} = -0.3$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(\text{dış-iç})} = \%13.3$ olarak belirlenmiştir. FKP +DGT uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %62.3 azalmış ve $\Delta SR_{(\text{dış-iç})}$ ortalama 476.7 W/m^2 olmuştur. Dış ortam VPD değeri 3.0 kPa iken iç ortam $\Delta VPD_{(\text{dış-iç})}$ değeri ortalama -0.6 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{\text{dış}}$) $\Delta T = 5.1$ °C düşük iken $S_{\text{dış}}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdaki 2.2 °C olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{\text{dış}}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %21.5 iken $S_{\text{dış}}$ ile S-5 farkı %6.6 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.



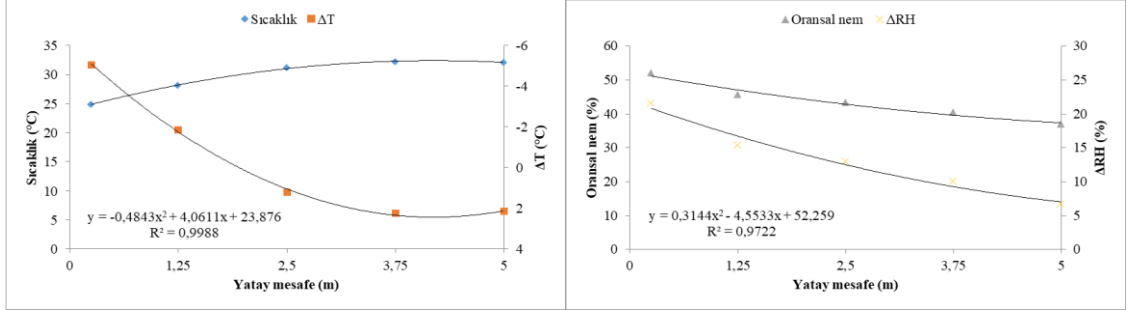
Şekil 4.19. FKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.20. FKP +DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

FKP+DGT uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).

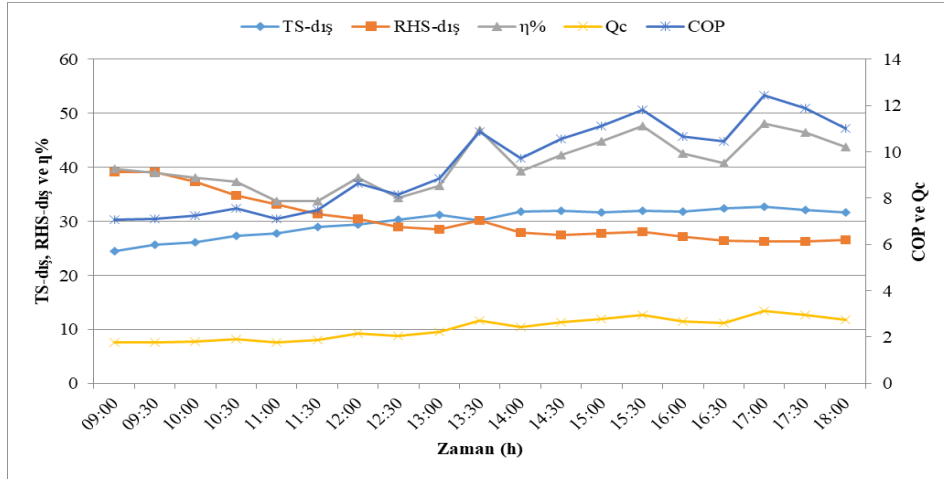
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. FKP +DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9988$ ve oransal nem için $R^2=0.9722$ olarak belirlenmiştir.

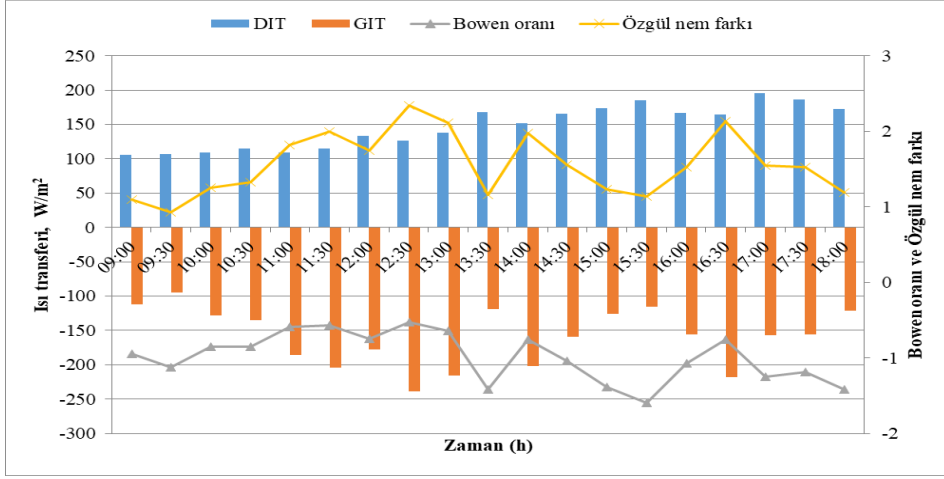
FKP +DGT uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. FKP +DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada FKP+DGT uygulamasında soğutma verimi %33.7-%48.2 arasında ortalama %40.7 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.8-3.1$ kW arasında ortalama 2.4 kW, COP değeri 7.1-12.5 arasında ortalama 9.5 ve su tüketimi $Q_w = 24.8$ L/gün (2.8 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, FKP+DGT sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.23. FKP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

FKP+DGT uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 105.2 ile 195.9 W/m² arasında ortalama 146.8 W/m², GIT ise -239.2 ile -95.1 W/m² arasında ortalama -159.1 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -1.6 ile -0.5 arasında ortalama -1.0, özgül nem farkı ise 0.9–2.3 g/g arasında ortalama 1.6 g/g olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, ped önünde hesaplanan soğutma etkisi (ΔT) FKP uygulamasında -4.2 °C ve FKP+DGT uygulamasında -5.1 °C olarak bulunmuştur. Literatür çalışmalarında fındık kabuklarının ped malzemesi olarak kullanılmasıyla ilgili çalışma bulunmadığından araştırmacıların yerel olarak bulunabilen atık veya organik malzemelerin soğutma etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarda, Boyacı ve Akyüz (2019) soğutma etkisi saman ped uygulamasında 2.33 °C ve saman ped+dıştan gölgeleme tülü uygulamasında 2.71 °C olarak bulunmuştur. Rende talaşı ped uygulamasında 3.34 °C ve rende talaşı ped+dıştan gölgeleme tülü uygulamasında ise 3.37 °C olarak belirlenmiştir. Çalışmada FKP'te soğutma etkisinin saman ve talaş ped uygulamalarından daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, FKP+DGT uygulamasında dıştan gölgeleme tülü kullanılarak iç ortama ulaşan güneş radyasyonu azaltılmış ve soğutma etkisi FKP uygulamasına göre daha yüksek olmuştur.

Çalışmada, iç ortam bağıl nem değerleri dış ortama (ΔRH) göre ortalama FKP uygulamasında %22.2, FKP+DGT uygulamasında ise %21.5 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, FKP uygulamasında dış ortam VPD değeri 2.2 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.1 kPa FKP + DGT uygulamasında dış ortam VPD değeri 3.0 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.5 kPa olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının arttığı koşullarda, dış ortamda bağıl nem değerleri düşmüştür (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12). FKP ve FKP+DGT uygulamalarında bağıl nemin artması ve VPD değerlerinin azalması, sera iç ortamını

bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirmiştir. Ancak, FKP + DGT uygulamasında kullanılan dıştan gölgeleme tülü nedeniyle iç ortam koşulları FKP uygulamasına göre daha uygun olmuştur.

Çalışmada, yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafında iç ortam ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri FKP uygulamasında 8.1 °C artmış, oransal nem ise %18.2 azalmıştır. FKP+DGT uygulamasında ise 7.2 °C artmış, oransal nem ise %15 azalmıştır. Boyacı ve Akyüz (2019) yerel serinletme malzemelerini değerlendirdikleri çalışmalarında saman ped kullanılması durumunda yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafına doğru sera boyunca sıcaklığın 8.84 °C arttığı, oransal nem ise %14.1 azaldığı, saman ped+dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda sıcaklığın 7.94 °C arttığı, oransal nem ise %14.5 azaldığı belirlenmiştir. Rende talaşı ped kullanılması durumunda yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafına doğru sera boyunca sıcaklığın 9.2 °C arttığı, oransal nem ise %15.5 azaldığı, rende talaşı ped+dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda sıcaklığın 9.9 °C arttığı, oransal nem ise %22.1 azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada da benzer olarak ped tarafından uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Çalışmada FKP uygulamasının soğutma verimi (η) ortalama %39.2, FKP+DGT uygulamasının soğutma verimi ortalama %40.7 olarak belirlenmiştir. Buna göre FKP + DGT uygulamasının soğutma veriminin FKP uygulamasına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar dış gölgeleme ağının buharlaşmalı soğutma verimini olumlu yönde artırdığını göstermiştir. Dış ortamdaki bağıl nem değerlerinin azalmasının soğutma verimini artırdığını göstermektedir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Elmsaad ve Omran (2015) yerel malzemelerin soğutma pedi olarak uygunluklarını araştırdıkları çalışmalarında, malzemeleri 3 farklı kalınlık (50, 100 ve 150 mm) ve 5 farklı hava hızında (0.7, 1.0, 1.5, ve 1.75 m/s) araştırmışlardır. Çalışmada sonucunda, ortalama doyunluğu kabak lifi pedte %73.67, anız artıkları pedte %71.87, celdek pedte %70.33 ve çuval bezi pedte %69 olarak belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kabak lifi materyalinin diğer materyallere göre daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle ped materyali olarak kullanım potansiyeli bulunduğunu belirtmişlerdir. Boyacı ve Akyüz (2019) yapmış oldukları çalışmalarında, celdek ped'te en yüksek serinletme etkinliği %56.722, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda %67.45' olarak bulunmuştur. Saman ped uygulamasında en yüksek serinletme etkinliği %29.96, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda etkinlik %32.77' olmuştur. Rende talaşı ped uygulamasında en yüksek serinletme etkinliği %41.08, dıştan gölgeleme tülü kullanılması durumunda ise

oran %44.44'olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, ticari pedin iç ortam sıcaklıkları düşürmede daha iyi sonuçlar verdiği yerel malzemelerde başarı oranının düşmesindeki neden olarak dış ortamdan alınan havanın pedlerinin içerisinden geçerek yeterli miktarda kuru havayı iletememesinden kaynaklandığı ve bunun sonucunda ise pedlerin soğutma etkinliğinin azaldığı belirlenmiştir. çalışmada elde edilen serinletme etkinliği SP ve SP+DGT uygulamalarına göre ve Boyacı ve Akyüz (2019) tarafından yapılan celdek ped uygulamalarına göre daha düşük ancak saman ve talaş ped uygulamalarına göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca Elmsaad ve Omran (2015) tarafından verilen celdek ped, kabak lifi ve anız artıklarından da düşük bulunmuştur. Ortaya çıkan bu farklılıkların nedeni, dış iklime (gelen radyasyon, dış mekan bağıl nemi, vb.) ve ped kalınlığına bağlı olarak değişmiştir. Çalışmada kullanılan 3 cm lik ped kalınlığı suyun malzeme ile temasını azaltarak yeterli buharlaşmayı sağlayamamış ve neticesinde serinletme etkinliği azalmıştır.

FKP uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 7091.4 kJ/h (2.0 kW) ve COP değeri 7.9 olarak hesaplanmıştır. FKP + DGT uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 8512.4 kJ/h (2.36 kW) ve COP değeri 9.5 olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda FKP+DGT uygulamasında soğutma kapasitesi ve COP değerlerinin FKP uygulamasına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Araştırmacıların yerel malzemelerin soğutma kapasitelerini araştırdıkları çalışmalarında, Mishra ve ark. (2023), pedler için artan hava hızı ve ped kalınlığının soğutma kapasitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Boyacı ve Akyüz (2019) 3 cm kalınlığında saman ped uygulamasında sistem soğutma kapasitesi 3968.30 kJ sa-1 (1.10 kW), saman ped ve gölgeleme tülü uygulamasında sistem soğutma kapasitesi 4587.09 kJ sa-1 (1.27 kW) olarak hesaplamışlardır. Mishra ve ark. (2023), 3 cm'lik lif kabağı yastığı için 0.5 ile 1.5 m/s arasındaki hava hızları için soğutma kapasitesinin 455 ile 1203 W arasında olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, 5 cm'lik yastık için 478 ile 1323 W arasında; 7 cm kalınlığındaki yastık için 508 ile 1340 W arasında aralıklar bulunmuştur. Araştırmacılar ayrıca, lif kabağı yastığı için 3 cm'lik ped için bulunan COP değerlerinin sırasıyla 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s hava hızlarında 4.13, 6.55 ve 8.18 olduğunu bildirmiştir. Ayrıca 5 cm'lik ped için COP değerleri 4.26, 6.97 ve 8.48, 7 cm'lik ped için ise 4.34, 7.01 ve 8.53 olmuştur. Çalışmada FKP+DGT uygulamasında ($\Delta T = 5.1$ °C), FKP uygulamasına ($\Delta T = 4.2$ °C) göre iç ortam sıcaklığı değerlerinde meydana gelen azalma, soğutma kapasitesini (Q_c) ve COP'u arttırmıştır. Ayrıca, daha düşük dış bağıl neminin daha yüksek buharlaşmaya yol açarak daha yüksek soğutma kapasitesi ve daha yüksek COP değerlerinin elde edilmesine yardımcı

olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Önceki bulgularla karşılaştırıldığında, FKP ve FKP+DGT uygulamalarının soğutma kapasitesi ve COP değerleri benzer kalınlıkta olan saman, talaş ve lif ped ten daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak bu değerler çalışmada yer alan SP ve SP+DGT uygulamalarına göre daha düşük kalmıştır.

FKP uygulamasında su tüketim kapasitesi (Q_{ω}) 20.2 L/gün (2.2 L/h), FKP+DGT uygulamasında ise 24.8 L/gün (2.8 L/h) olarak hesaplanmıştır. Sisteme saat 09:00 ile 18:00 arasında eklenen su miktarı ile hesaplanan günlük su tüketimi arasında FKP uygulamasında %4, FKP+DGT uygulamasında ise %5 oranında fark çıkmıştır. Bu farkın sistemdeki kayıp ve kaçaklardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre FKP+DGT uygulamasında su tüketimi FKP uygulamasına göre daha fazla olmuştur. Dış ortamdaki düşük bağıl nem, evaporatif soğutucunun daha fazla su buharlaştırmasına ve daha fazla su tüketmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda buharlaşan su miktarının fazla olması soğutma kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır. FKP+DGT uygulamasında tüketilen su, FKP uygulamasına kıyasla soğutma kapasitesini de artırmıştır. Boyacı ve Akyüz (2019) saman ped su tüketim kapasitesi $Q_{\omega}=24.3$ L/gün (2.70 L/h) ve birim alan için 1.6 L/m², saman ped ve gölgeleme tülü uygulamasında su tüketim kapasitesi ise $Q_{\omega}=25.4$ L/gün (2.8 L/h) ve birim alan için 1.6 L/m² olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, FKP uygulaması için sera taban alanı başına 1.3 L/m², FKP+DGT uygulaması için sera taban alanı başına 1.7 L/m² suyun tüketildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki önceki bulgularla örtüşmektedir.

FKP uygulamasında ortalama SHT 119.2 W/m², LHT -134.6 W/m² ve FKP+DGT uygulamasında ortalama SHT 146.8 W/m² ve LHT -159.1 W/m² olmuştur. FKP uygulamasında ortalama Bowen oranı -0.9 ve özgül nem farkı 1.3 g/g, FKP+DGT uygulamasında Bowen oranı -1.0 ve özgül nem farkı 1.6 g/g olarak bulunmuştur (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). FKP ve FKP+DGT uygulamalarında SHT, seranın dış ve iç ortamları arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) artışına bağlı olarak artarken, LHT sera iç ortamı ile dış hava arasındaki özgül nem farkının artmasına bağlı olarak artmıştır. Ayrıca, özgül nem farkının artışına bağlı olarak Bowen oranı artmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). Abdel-Rahamn (2006) tarafından yerel olarak kolay bulunabilen uzun buğday samanı (WS) ve kavak lifi (AF) pedler ile yaptıkları çalışmalarında, evaporatif soğutma pedi olarak WS'nin seraya gelen havadaki hissedilebilir ısıyı uzaklaştırmada çok daha etkili olduğu bildirilmiştir. Çalışmada benzer şekilde, FKP ve FKP+DGT uygulamalarında,

serada soğutma sistemi çalışırken GIT'nin DIT'den daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca bu artışın FKP+DGT uygulamasında daha fazla olduğu ve sera iç ortamının bitki yetiştirmek için daha uygun hale geldiği belirlenmiştir.

4.3.3. Muz dalı ped ve muz dalı ped + dıştan gölgeleme uygulaması

Muz dalı ped (MDP) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.8.'de verilmiştir.

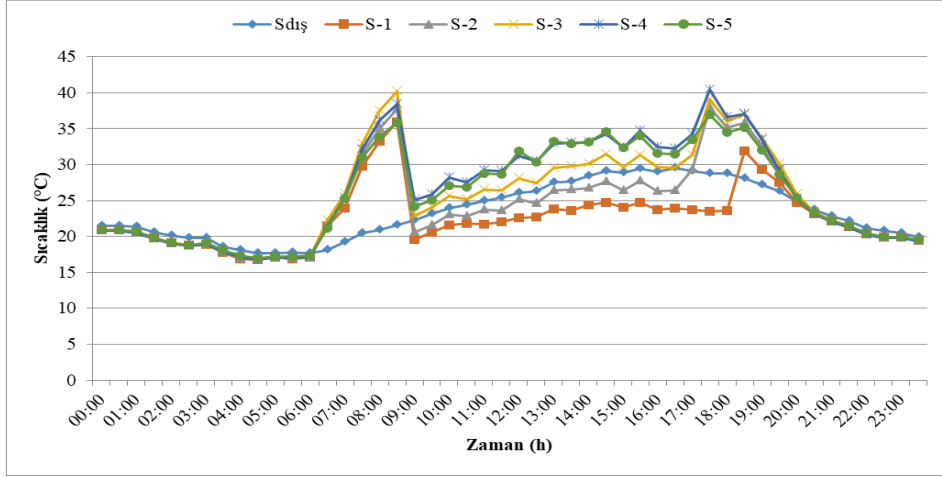
Tablo 4.8. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	27.0	23.0	26.4	29.1	31.7	31.1	28.3
$\Delta T(\text{iç-dış})$, °C	-	-4.0	-0.6	2.2	4.8	4.1	1.3
Oransal nem, %	37.2	57.7	50.4	46.7	44.6	40.6	48.0
$\Delta RH(\text{iç-dış})$, %	-	20.5	13.2	9.5	7.4	3.4	10.8
VPD, kPa	2.3	1.2	1.8	2.3	2.7	2.8	2.2
$\Delta VPD(\text{iç-dış})$, kPa	-	-1.1	-0.5	0.0	0.4	0.5	-0.1
SR, W/m ²	776.4			514.8			514.8
$\Delta SR(\text{iç-dış})$, W/m ²	-			-261.6			

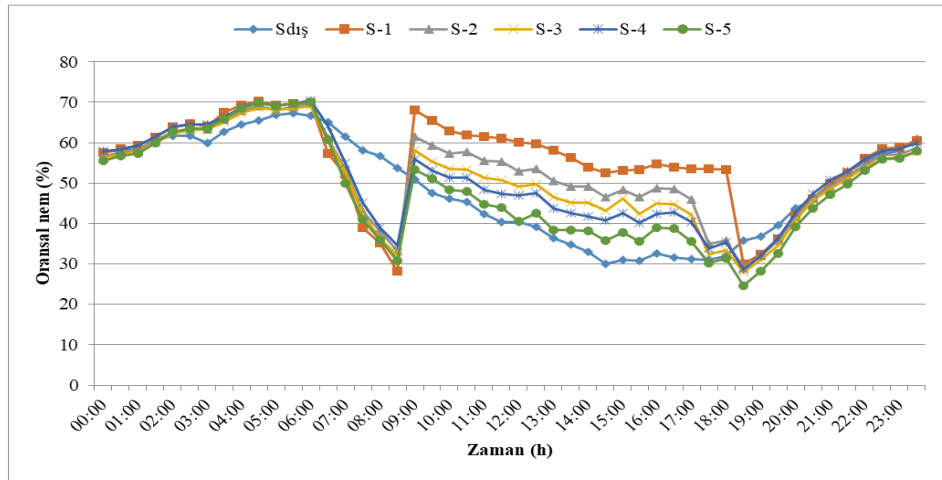
-: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

MDP uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin 27.0 °C ve %37.2 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 28.3 °C ve %48.0 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(\text{dış-iç})} = 1.3$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(\text{dış-iç})} = \%10.8$ olarak belirlenmiştir. MDP uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %66.3 azalmış ve $\Delta SR_{(\text{dış-iç})}$ ortalama 261.6 W/m² olmuştur. Dış ortam VPD değeri 2.3 kPa iken iç ortam $\Delta VPD_{(\text{dış-iç})}$ değeri ortalama -0.1 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{\text{dış}}$) $\Delta T = 4.0$ °C düşük iken $S_{\text{dış}}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdaki 4.1 °C olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{\text{dış}}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %20.5 iken $S_{\text{dış}}$ ile S-5 farkı %3.4 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te verilmiştir.



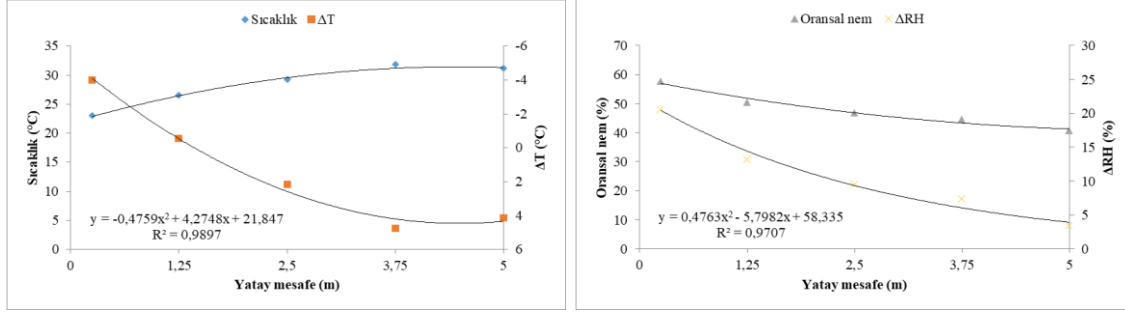
Şekil 4.24. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.25. MDP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

MDP uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

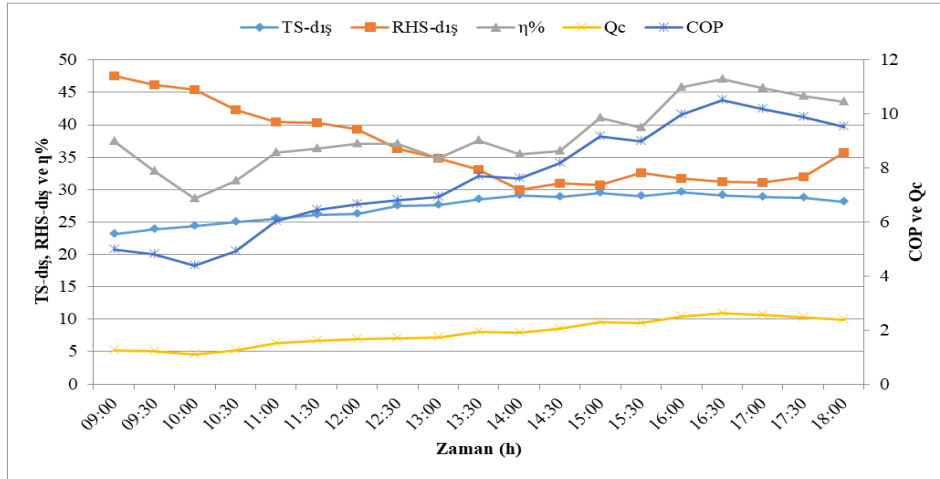
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26. MDP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9897$ ve oransal nem için $R^2=0.9707$ olarak belirlenmiştir.

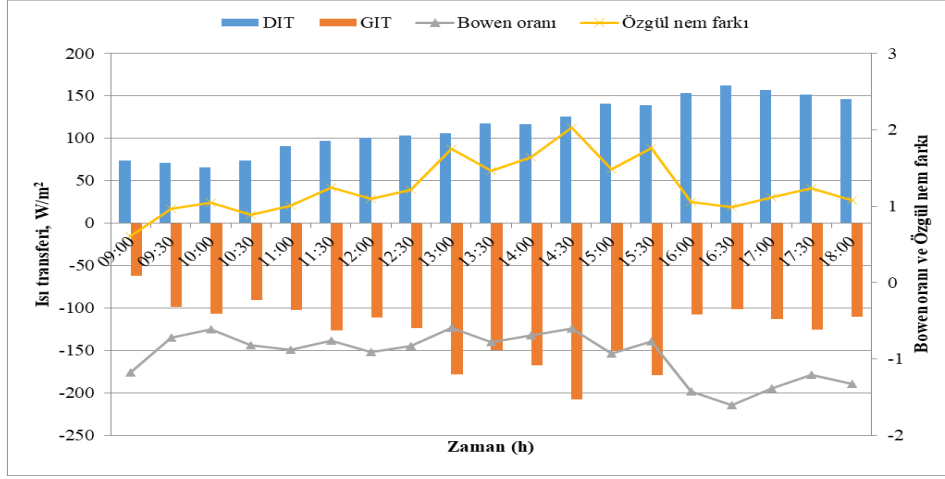
MDP uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. MDP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada MDP uygulamasında soğutma verimi %28.6–%47.0 arasında ortalama %38.3 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.1\text{--}2.6$ kW arasında 1.9 kW, COP değeri 4.4–10.5 arasında ortalama 7.6 ve su tüketimi $Q_w = 20.0$ L/gün (2.2 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, MDP sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. MDP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

MDP uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 65.4 ile 162.2 W/m² arasında ortalama 115.4 W/m², GIT ise -207.6 ile -62.2 W/m² arasında ortalama -127.1 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -1.6 ile -0.6 arasında ortalama -1.0, özgül nem farkı ise 0.6–2.0 g/g arasında ortalama 1.3 g/g olarak hesaplanmıştır.

Muz dalı ped + Dıştan gölgeleme tülü (MDP+DGT) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4.9. MDP + DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

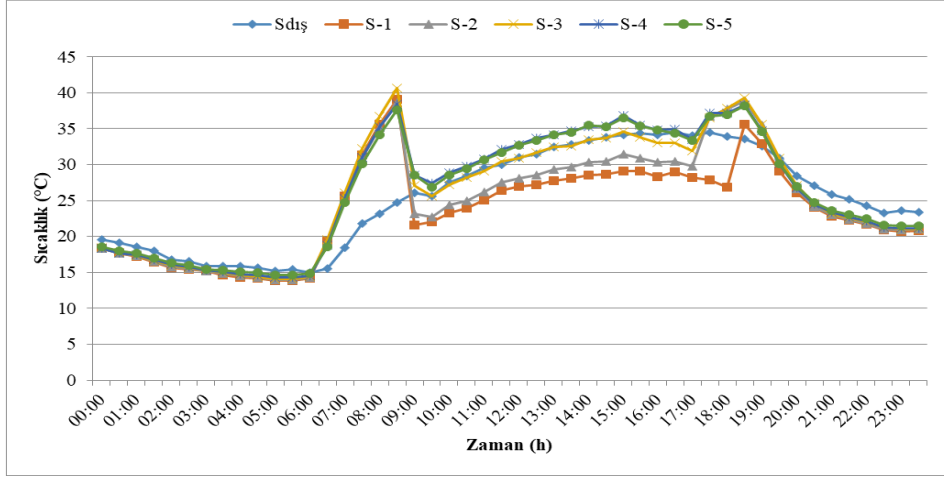
Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	31.7	26.7	29.1	31.7	33.3	33.1	30.8
$\Delta T(\text{iç-dış}), ^\circ\text{C}$	-	-4.9	-2.6	0.1	1.7	1.5	-0.9
Oransal nem, %	30.0	49.6	45.9	43.4	41.8	38.5	43.8
$\Delta RH(\text{iç-dış}), \%$	-	19.6	15.9	13.4	11.8	8.4	13.8
VPD, kPa	3.4	1.8	2.3	2.7	3.1	3.2	2.6
$\Delta VPD(\text{iç-dış}), \text{kPa}$	-	-1.6	-1.1	-0.7	-0.3	-0.2	-0.8
SR, W/m ²	794.1			292.6			292.6
$\Delta SR(\text{iç-dış}), \text{W/m}^2$	-			-501.5			

-: negatif değerler iç ortamın dış ortandan düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortandan daha yüksek olduğunu göstermektedir.

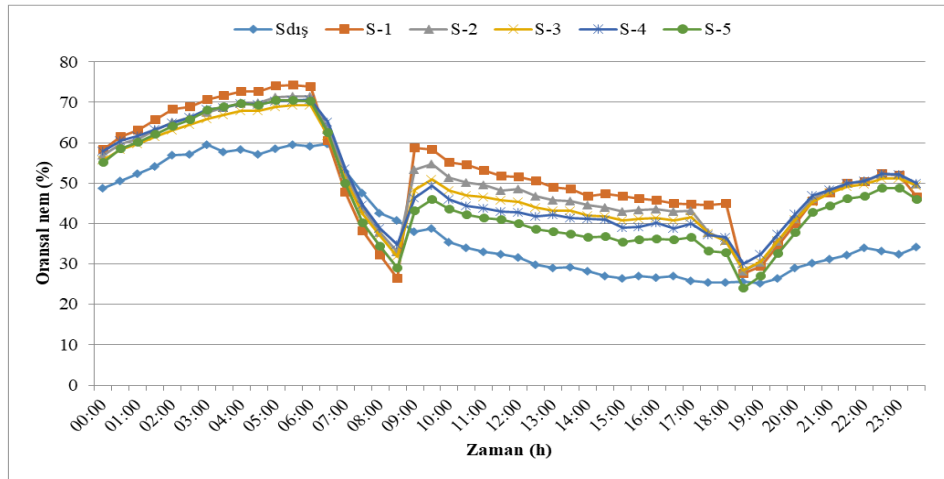
MDP + DGT uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin 31.7 °C ve %30.0 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 30.8 °C ve %43.8 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(\text{dış-iç})} = 0.9$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(\text{dış-iç})} = \%13.8$ olarak belirlenmiştir. MDP+DGT uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %63.2 azalmış ve $\Delta SR_{(\text{dış-iç})}$ ortalama 501.5 W/m² olmuştur. Dış ortam VPD değeri 3.4 kPa

iken iç ortam $\Delta VPD_{(dış-iç)}$ değeri ortalama -0.8 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{dış}$) $\Delta T= 4.9$ °C düşük iken $S_{dış}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdan 1.5 °C olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{dış}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %19.6 iken $S_{dış}$ ile S-5 farkı %8.4 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'te verilmiştir.



Şekil 4.29. MDP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri

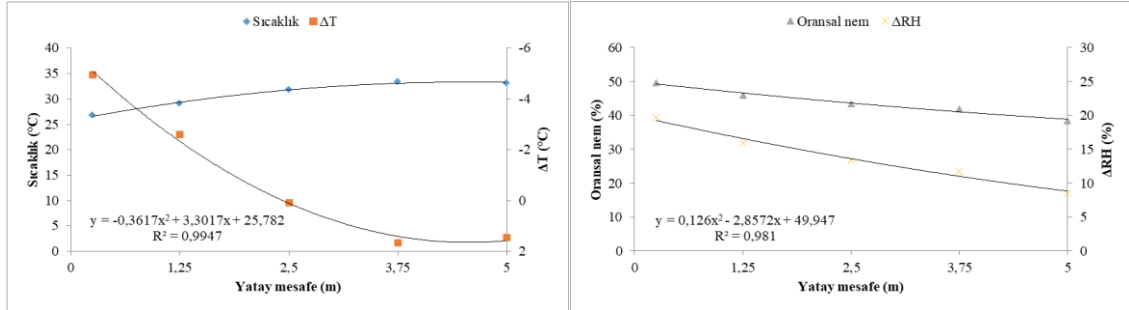


Şekil 4.30. MDP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

MDP+DGT uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken

sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).

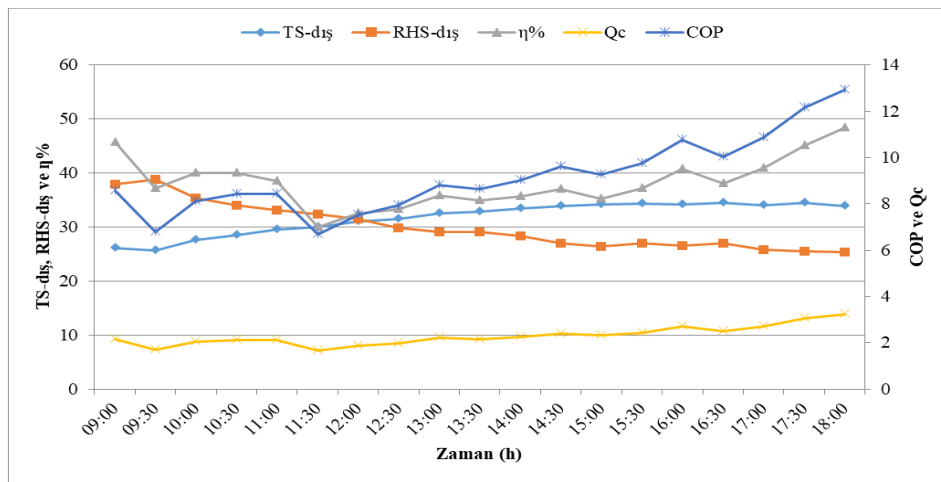
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. MDP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkınıda azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9947$ ve oransal nem için $R^2=0.9810$ olarak belirlenmiştir.

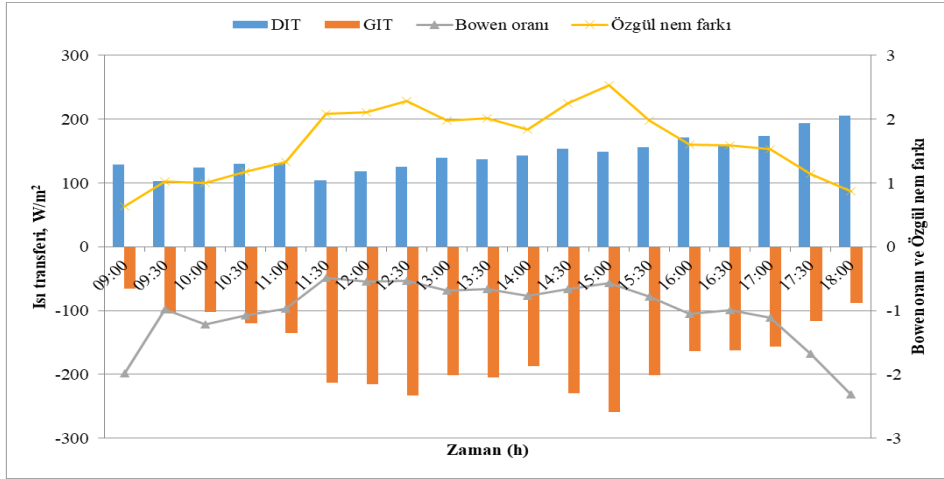
MDP+DGT uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. MDP+DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada MDP+DGT uygulamasında soğutma verimi %29.9–%48.4 arasında ortalama %38.2 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.7\text{--}3.2$ kW arasında 2.3 kW, COP değeri 6.7–12.9 arasında ortalama 9.2 ve su tüketimi $Q_w = 25.7$ L/gün (2.9 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, MDP+DGT sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33. MDP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

MDP+DGT uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 102.5 ile 205.2 W/m² arasında ortalama 144.3 W/m², GIT ise -258.6 ile -65.2 W/m² arasında ortalama -166.3 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -2.3 ile -0.5 arasında ortalama -1.0, özgül nem farkı ise 0.6–2.5 g/g arasında ortalama 1.6 g/g olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, ped önünde hesaplanan soğutma etkisi (ΔT) MDP uygulamasında -4.0 °C ve FKP+DGT uygulamasında -4.9 °C olarak bulunmuştur. Aynı zamanda, FKP+DGT uygulamasında dıştan gölgeleme tülü kullanılarak iç ortama ulaşan güneş radyasyonu azaltılmış ve soğutma etkisi FKP uygulamasına göre daha yüksek olmuştur. Dhamneya ve ark. (2017) 5 cm kalınlığındaki muz lifi pedin soğutma etkisinin sırasıyla 1.3 m/s, 1.8 m/s, 2.7 m/s, 3.8 m/s, 4.2 m/s ve 4.6 m/s hava giriş hızları için 9.72, 9.72, 9.41, 9.41, 9.41 ve 8.1 °C olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ticari ped için en yüksek soğutma etkisi 1.3 m/s hava hızında, 6.62 °C ve muz lifleri için 9.62 °C olarak bulunmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar SP ve SP+DGT uygulaması ve araştırmacının ticari ped ve muz lifleri ped uygulamalarından düşük çıkmıştır. Bunun nedeni çalışmada kullanılan ped kalınlığının araştırmacının kullandığı ped kalınlığından daha ince olması ve araştırmacının laboratuvar denemisi olduğu için ortam koşullarının

sabit olmamıştır. Oysaki arazi koşullarında sıcaklık, oransal nem, rüzgar hızı ve radyasyon değerlerinin farklılık göstermesi ve sera etkisi nedeniyle iç ortamda sıcaklıkların yükselmesi çalışmada farklılıkların oluşmasına neden olmuştur.

Çalışmada, iç ortam bağıl nem değerleri dış ortama (ΔRH) göre ortalama MDP uygulamasında %20.5, MDP+DGT uygulamasında ise %19.6 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, MDP uygulamasında dış ortam VPD değeri 2.3 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.2 kPa MDP+DGT uygulamasında dış ortam VPD değeri 3.4 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.8 kPa olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının arttığı koşullarda, dış ortamda bağıl nem değerleri düşmüştür (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12). Bitki büyümesi için optimum değerlerin üzerindeki VPD değerleri stoma iletkenliğini ve fotosentezi olumsuz etkiler (Hoffman, 1979). MDP ve MDP+DGT uygulamalarında bağıl nemin artması ve VPD değerlerinin azalması, sera iç ortamını bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirmiştir. Ancak, MDP+DGT uygulamasında kullanılan dıştan gölgeleme tülü nedeniyle iç ortam koşulları MDP uygulamasına göre daha uygun olmuştur.

Çalışmada, yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafında iç ortam ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri MDP uygulamasında 8.1 °C artmış, oransal nem ise %17.1 azalmıştır. MDP+DGT uygulamasında ise 6.4 °C artmış, oransal nem ise %11.1 azalmıştır. Çalışmada da diğer uygulamalarda olduğu gibi ped tarafından uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Çalışmada MDP uygulamasının soğutma verimi (η) ortalama %38.3, MDP+DGT uygulamasının soğutma verimi ortalama %38.2 olarak belirlenmiştir. Buna göre MDP+DGT uygulamasının soğutma veriminin MDP uygulamasına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar dış gölgeleme ağının buharlaşmalı soğutma verimini olumlu yönde artırdığını göstermiştir. Dış ortamdaki bağıl nem değerlerinin azalmasının soğutma verimini artırdığını göstermektedir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Dhamneya ve ark. (2017) beş farklı tarımsal atık malzemeden yapmış oldukları çalışmalarında, Muz ağacı lifleri, şeker kamışı lifleri, hindistancevizi lifleri, khus lifleri ve selüloz ped kullanmışlardır. Muz liflerinin, khus, şeker kamışı ve petek soğutma pedlerinden daha yüksek doyumluk verimliliği gösterdiği ve doyumluk verimliliğinin sırasıyla 1.3 m/s, 1.8 m/s, 2.7 m/s, 3.8 m/s, 4.2 m/s ve 4.6 m/s hava giriş hızları için %67.73, %67.73, %65.57, %65.57, %65.57 ve %56.44 olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda malzemelerin 1.3 m/s hava hızında, hindistancevizi lifi %73.44, muz lifi %67.73, khus lifi %67, şeker kamışı lifi %65.65 ve petek panel pedlerin %40.29 ile en

yüksek doyma verimliliğine ulaştığını belirlemişlerdir. Mishra ve ark. (2023), ped kalınlığındaki artışın soğutma verimliliğini artırdığını bildirmiştir. Çalışmada kullanılan 3 cm lik ped kalınlığının suyun malzeme ile temasını azaltarak iç ortamda yeterli buharlaşmayı sağlayamamış ve neticesinde serinletme etkinliği araştırmacının yapmış olduğu çalışmadan düşük çıkmıştır.

MDP uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 6807.8 kJ/h (1.9 kW) ve COP değeri 7.6 olarak hesaplanmıştır. MDP+DGT uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 8261.8 kJ/h (2.3 kW) ve COP değeri 9.2 olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda MDP+DGT uygulamasında soğutma kapasitesi ve COP değerlerinin MDP uygulamasına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çalışmada MDP+DGT uygulamasında ($\Delta T= 4.9$ °C), MDP uygulamasına ($\Delta T= 4.0$ °C) göre iç ortam sıcaklığı değerlerinde meydana gelen azalma, soğutma kapasitesini (Q_c) ve COP'u arttırmıştır. Ayrıca, daha düşük dış bağıl neminin daha yüksek buharlaşmaya yol açarak daha yüksek soğutma kapasitesi ve daha yüksek COP değerlerinin elde edilmesine yardımcı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). MDP ve MDP+DGT uygulamalarının soğutma kapasitesi ve COP değerleri karşılaştırıldığında SP ve SP+DGT uygulamalarına göre daha düşük kalmıştır.

MDP uygulamasında su tüketim kapasitesi (Q_w) 20.0 L/gün (2.2 L/h), MDP+DGT uygulamasında ise 25.7 L/gün (2.9 L/h) olarak hesaplanmıştır. Sisteme saat 09:00 ile 18:00 arasında eklenen su miktarı ile hesaplanan günlük su tüketimi arasında MDP uygulamasında %4, MDP+DGT uygulamasında ise %5 oranında fark çıkmıştır. Bu farkın sistemdeki kayıp ve kaçaklardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre MDP+DGT uygulamasında su tüketimi MDP uygulamasına göre daha fazla olmuştur. Dış ortamdaki düşük bağıl nem, evaporatif soğutucunun daha fazla su buharlaştırmasına ve daha fazla su tüketmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda buharlaşan su miktarının fazla olması soğutma kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır. MDP+DGT uygulamasında tüketilen su, MDP uygulamasına kıyasla soğutma kapasitesini de artırmıştır. Yapılan çalışmada, MDP uygulaması için sera taban alanı başına 1.3 L/m², MDP+DGT uygulaması için sera taban alanı başına 1.7 L/m² suyun tüketildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar SP ve SP+DGT uygulamalarından (1.8 ve 2.0 L/m²) düşük çıksada iç ortam oransal nem ve VPD değerlerinin yüksek çıkması nedeniyle iç ortam koşulları SP ve SP+DGT uygulamalarından daha düşük çıkmıştır.

MDP uygulamasında ortalama DIT 115.4 W/m², GIT -127.1 W/m² ve MDP+DGT uygulamasında ortalama DIT 144.4 W/m² ve GIT -166.3 W/m² olmuştur.

MDP uygulamasında ortalama Bowen oranı -1.0 ve özgül nem farkı 1.25 g/g, MDP+DGT uygulamasında Bowen oranı -1.0 ve özgül nem farkı 1.63 g/g olarak bulunmuştur (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). MDP ve MDP+DGT uygulamalarında DIT, seranın dış ve iç ortamları arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) artışına bağlı olarak artarken, GIT sera iç ortamı ile dış hava arasındaki özgül nem farkının artmasına bağlı olarak artmıştır. Ayrıca, özgül nem farkının artışına bağlı olarak Bowen oranı artmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). Jakubowski ve ark. (2024) yerel olarak bulunabilen lif kabağı pedler (LP) ile yapmış oldukları çalışmalarında, LP uygulamasında DIT ortalama 179.5 W/m², GIT'nin ortalama -201.5 W/m², Bowen oranı ortalama -0.9 ve özgül nem farkı ortalama 2.0 g/g arasında gerçekleşmiştir. LP + DGT uygulamasında, DIT ortalama 193.9 W/m², GIT'nin ortalama -173.9 W/m², Bowen oranının ortalama -1.2 ve özgül nem farkının ortalama 1.7 g/g olduğu bulunmuştur. Ayrıca, LP ve LP + ESN uygulamalarında DIT, seranın dış ve iç mekan sıcaklık farkının (ΔT) artması nedeniyle artarken GIT, sera ortamı ile dış hava arasındaki özgül nem farkının artması nedeniyle artmıştır. Çalışmada da MDP ve MDP+DGT uygulamalarında, serada soğutma sistemi çalışırken GIT'nin DIT'den daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca bu artışın MDP+DGT uygulamasında daha fazla olduğu ve sera iç ortamının bitki yetiştirmek için daha uygun hale geldiği belirlenmiştir.

4.3.4. Yer fıstığı ped ve yer fıstığı ped ve dıştan gölgeleme uygulaması

Yer fıstığı ped (YFKP) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.10.'da verilmiştir.

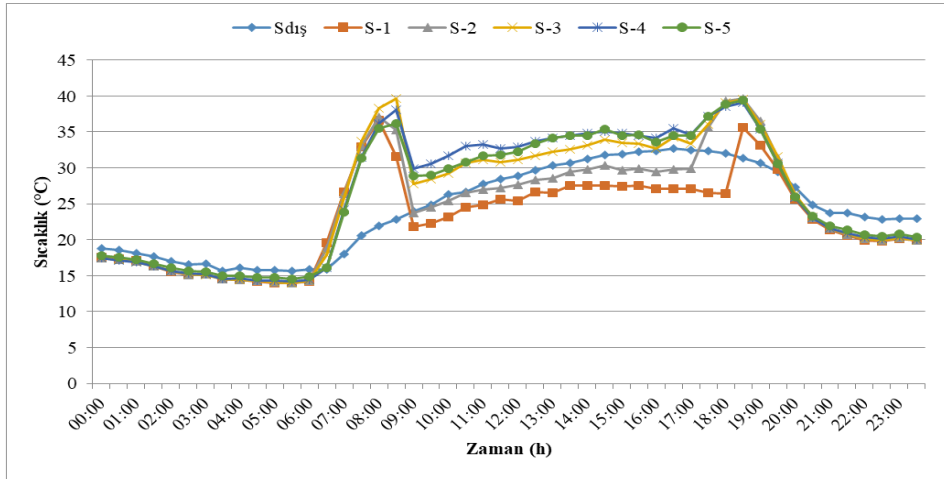
Tablo 4.10. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	29.8	25.9	29.1	32.4	34.0	33.4	30.9
ΔT (iç-dış), °C	–	–3.9	–0.8	2.6	4.2	3.5	1.1
Oransal nem, %	29.5	44.7	38.5	35.9	33.9	32.0	37.0
ΔRH (iç-dış), %	–	15.2	9.0	6.4	4.4	2.5	7.5
VPD, kPa	3.1	1.9	2.6	3.2	3.6	3.6	3.0
ΔVPD (iç-dış), kPa	–	–1.2	–0.5	0.1	0.5	0.5	–0.1
SR, W/m ²	803.2			519.3			519.3
ΔSR (iç-dış), W/m ²	–			–283.9			

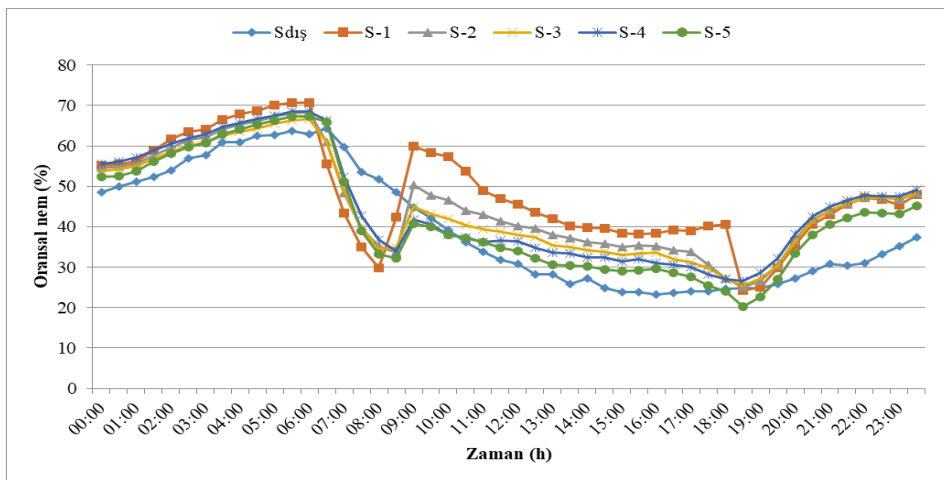
–: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki yüksek olduğunu göstermektedir.

YFKP uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin 29.8 °C ve %29.5 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 30.9°C ve %37.0 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(dış-iç)} = 1.1$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(dış-iç)} = \%7.5$ olarak belirlenmiştir. YFKP uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %64.7 azalmış ve $\Delta SR_{(dış-iç)}$ ortalama 283.9 W/m² olmuştur. Dış ortam VPD değeri 3.1 kPa iken iç ortam $\Delta VPD_{(dış-iç)}$ değeri ortalama -0.1 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{dış}$) $\Delta T = 3.9$ °C düşük iken $S_{dış}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdan 3.5 °C olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{dış}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %15.2 iken $S_{dış}$ ile S-5 farkı %2.5 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir.



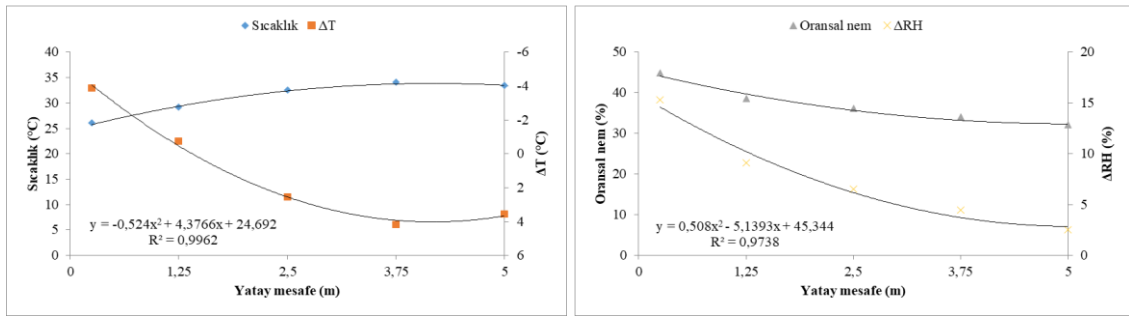
Şekil 4.34. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.35. YFKP uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

YFKP uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değerleri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.34 ve Şekil 4.35).

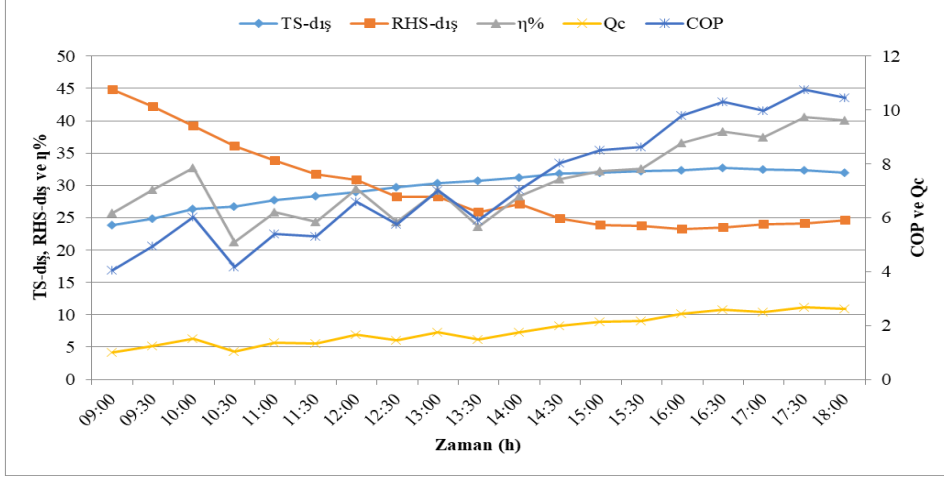
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. YFKP uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını da azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9962$ ve oransal nem için $R^2=0.9738$ olarak belirlenmiştir.

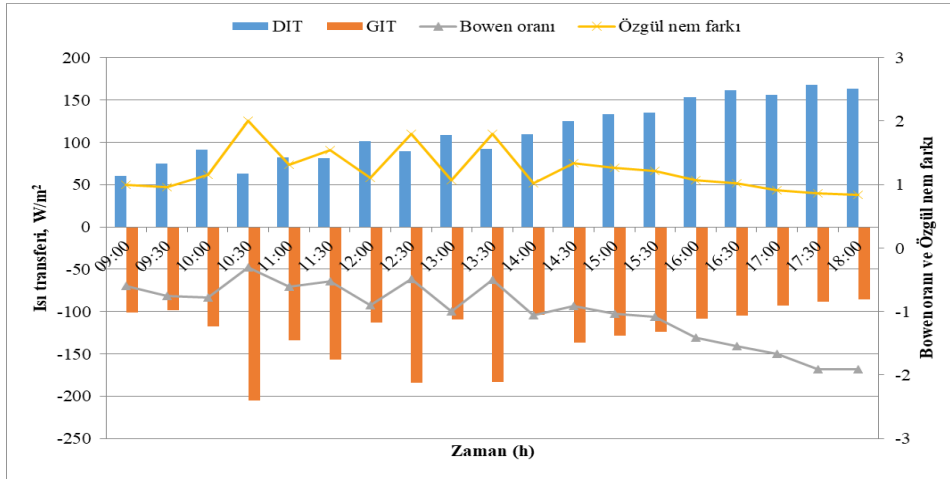
YFKP uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37. YFKP uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada YFKP uygulamasında soğutma verimi %21.2–%40.6 arasında ortalama %30.7 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.0\text{--}2.7$ kW arasında 1.8 kW, COP değeri 4.1–10.7 arasında ortalama 7.3 ve su tüketimi $Q_w = 18.1$ L/gün (2.0 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, YFKP sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.38. YFKP uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

YFKP uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 60.6 ile 168.06 W/m^2 arasında ortalama 113.2 W/m^2 , GIT ise -205.4 ile -85.6 W/m^2 arasında ortalama -125.2 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -1.9 ile -0.3 arasında ortalama -1.0 , özgül nem farkı ise $0.8\text{--}2.0$ g/g arasında ortalama 1.2 g/g olarak hesaplanmıştır.

Yer fıstığı ped + Dıştan gölgeleme tülü (YFKP+DGT) uygulamasında ölçülen sıcaklık, oransal nem ve radyasyon değerleri Tablo 4.11.’de verilmiştir.

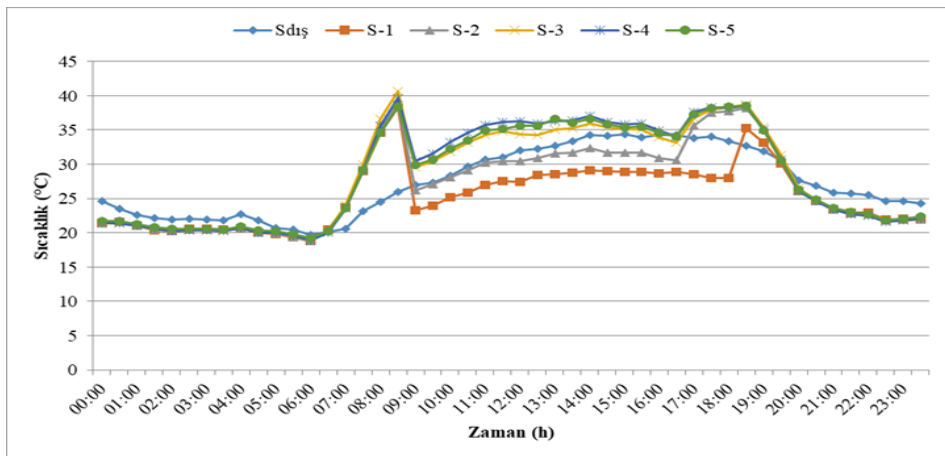
Tablo 4.11. YFKP + DGT uygulamasında sensör konumlarına göre iç ortam parametrelerinin değişimleri

Ölçümler	Sensör konumu						Ortalama
	S-dış	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	
Sıcaklık, °C	32.2	27.6	31.3	34.5	35.5	35.1	32.8
ΔT (iç-dış), °C	-	-4.6	-0.8	2.3	3.4	2.9	0.6
Oransal nem, %	30.3	48.5	40.4	36.3	35.7	32.4	38.7
ΔRH (iç-dış), %	-	18.1	10.0	5.9	5.3	2.1	8.3
VPD, kPa	3.4	1.9	2.8	3.5	3.8	3.9	3.2
ΔVPD (iç-dış), kPa	-	-1.5	-0.6	0.1	0.4	0.5	-0.2
SR, W/m ²	780.2			279.0			279.0
ΔSR (iç-dış), W/m ²	-			-501.2			

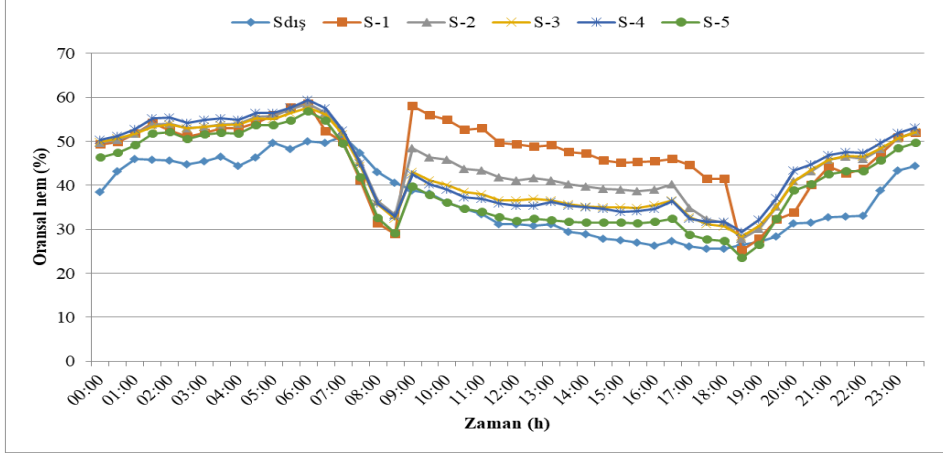
-: negatif değerler iç ortamın dış ortamdaki düşük olduğunu, +: pozitif değerler iç ortamın dış ortamdaki daha yüksek olduğunu göstermektedir.

YFKP + DGT uygulamasının yapıldığı günlerde ortalama dış ortam sıcaklığı ve oransal neminin 32.2 °C ve %30.3 olduğu günde iç ortam sıcaklığı ve oransal nemi 32.8°C ve %38.7 olarak belirlenmiştir. Buna göre dış ve iç ortam sıcaklık farkı $\Delta T_{(dış-iç)} = 0.6$ °C, oransal nem farkı ise $\Delta RH_{(dış-iç)} = \%8.3$ olarak belirlenmiştir. YFKP+DGT uygulamasında örtü malzemesi nedeniyle iç ortama ulaşan güneş radyasyonu %36 azalmış ve $\Delta SR_{(dış-iç)}$ ortalama 279.0 W/m² olmuştur. Dış ortam VPD değeri 3.4 kPa iken iç ortam $\Delta VPD_{(dış-iç)}$ değeri ortalama -0.2 kPa olarak belirlenmiştir. Ped önünde (S-1) ölçülen sıcaklık dış sıcaklıktan ($S_{dış}$) $\Delta T = 4.6$ °C düşük iken $S_{dış}$ ve S-5 sensörleri arasındaki sıcaklık farkı dış ortamdaki 2.9 °C olarak belirlenmiştir. Oransal nem değerleri ise $S_{dış}$ ile S-1 sensörleri arasındaki fark %18.1 iken $S_{dış}$ ile S-5 farkı %2.1 yüksek ölçülmüştür.

Çalışmada, sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'ta verilmiştir.



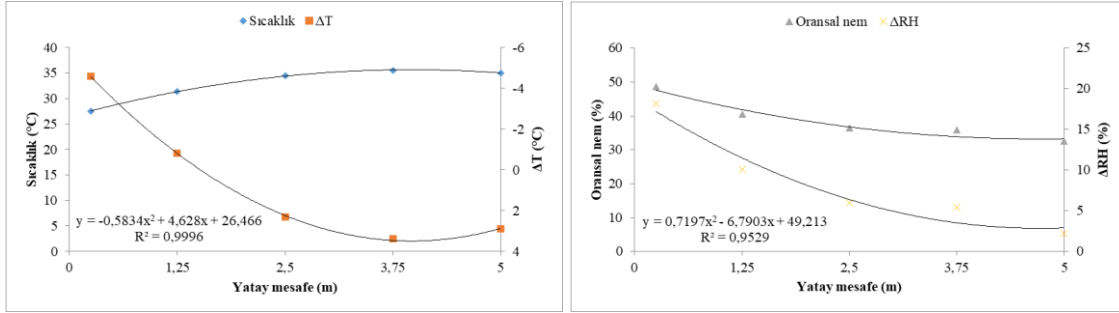
Şekil 4.39. YFKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen sıcaklık değerleri



Şekil 4.40. YFKP+DGT uygulamasında sensör konumlarına göre ölçülen oransal nem değerleri

YFKP+DGT uygulamasında sabah saatlerinde güneşin doğuşu ile birlikte artan iç ortam sıcaklıkları oransal nem değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Bu durumda iç sıcaklık değerlerinin yükselmeye başladığı 09:00-18:00 saatleri arasında ped önünde yer alan S-1 sensöründe en düşük sıcaklık ve en yüksek oransal nem değeri ölçülürken sensör konumlarına göre pedten uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.39 ve Şekil 4.40).

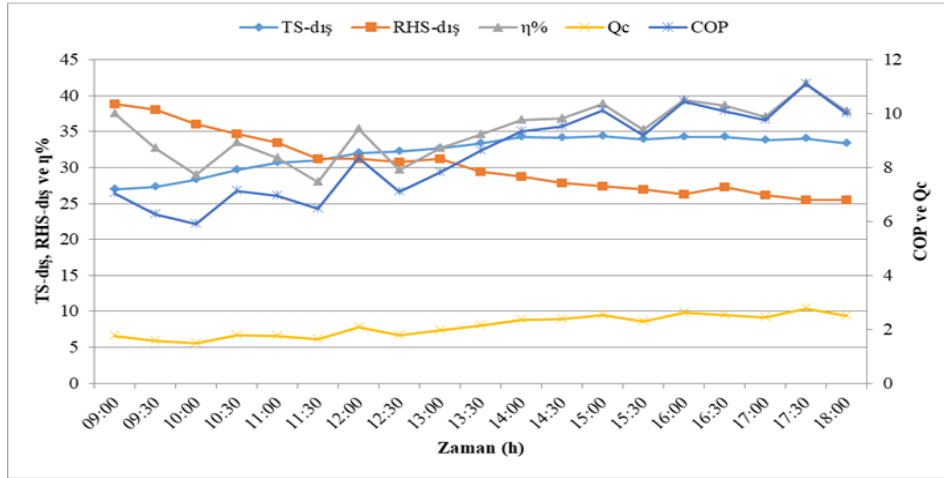
Çalışmada, seranın yatay profili boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri Şekil 4.41’da verilmiştir.



Şekil 4.41. YFKP+DGT uygulamasında yatay profil boyunca ortaya çıkan sıcaklık ve oransal nem değişimleri

Seranın yatay profili boyunca sıcaklık ve nem değişimlerine bakıldığında artan mesafe ile birlikte sıcaklık değerlerinin arttığı, oransal nem değerlerinin azaldığı görülmektedir. Çalışmada en yüksek iç ve dış sıcaklık ve bağıl nem farkı ped önünde ölçülürken mesafe ile birlikte artan sıcaklık ve azalan oransal nem değerleri iç ve dış ortam sıcaklık ve oransal nem farkını da azaltmıştır. Yatay mesafe yönündeki sıcaklık ve oransal nem değişimleri için regresyon eşitlikleri sıcaklık için $R^2=0.9996$ ve oransal nem için $R^2=0.9529$ olarak belirlenmiştir.

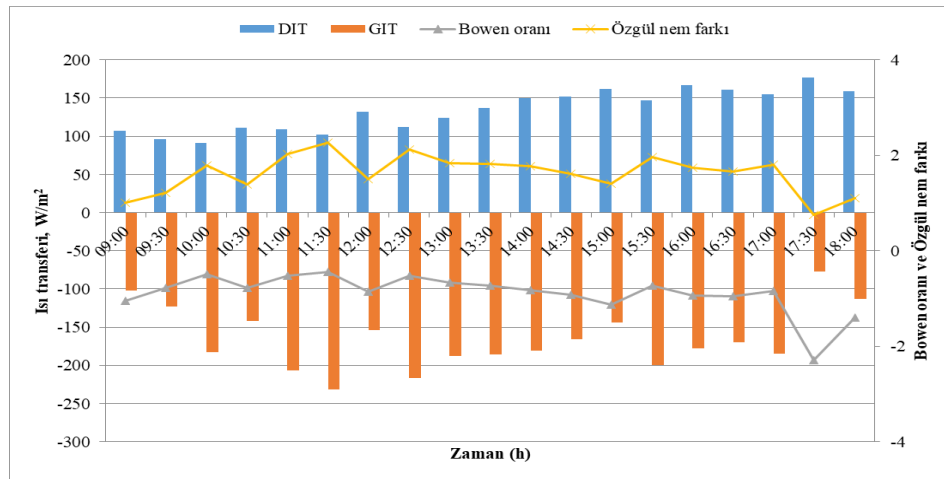
YFKP+DGT uygulaması için bazı performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42. YFKP+DGT uygulamasında performans parametrelerinin zamana bağlı değişimleri

Çalışmada YFKP+DGT uygulamasında soğutma verimi %27.9–%41.6 arasında ortalama %35.1 olarak belirlenmiştir. Sistemin soğutma kapasitesi $Q_c = 1.5\text{--}2.8$ kW arasında 2.1 kW, COP değeri 5.9–11.1 arasında ortalama 8.5 ve su tüketimi $Q_w = 25.1$ L/gün (2.8 L/h) olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, YFKP+DGT sistemi için serada taban alanı başına duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.43’te verilmiştir.



Şekil 4.43. YFKP+DGT uygulamasında duyulur ve gizli ısı transferinin zamana bağlı olarak değişimi

YFKP+DGT uygulamasında görüldüğü üzere DIT, 91.04 ile 176.6 W/m^2 arasında ortalama 134.3 W/m^2 , GIT ise -231.5 ile -76.8 W/m^2 arasında ortalama -

165.5 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bowen oranı -2.3 ve -0.4 arasında ortalama -0.9, özgül nem farkı ise 0.8-2.3 g/g arasında ortalama 1.6 g/g olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, ped önünde hesaplanan soğutma etkisi (ΔT) YFP uygulamasında -3.9 °C ve YFKP+DGT uygulamasında -4.6 °C olarak bulunmuştur. Aynı zamanda, YFKP+DGT uygulamasında dıştan gölgeleme tülü kullanılarak iç ortama ulaşan güneş radyasyonu azaltılmış ve soğutma etkisi YFKP uygulamasına göre daha yüksek olmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar SP ve SP+DGT uygulamasından düşük çıkmıştır. Abohorlu Doğramacı ve ark. (2019) yerel olarak bulunabilen ve evaporatif soğutma işlemi için yeni bir malzeme olarak kullanılabilir okaliptüs lifli pedlerin performansını incelemiştir. Çalışma sonucunda, hava sıcaklığındaki maksimum azalmanın 11.3 °C-6.6 °C arasında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada yerel olarak kullanılan YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarındaki soğutma etkisi araştırmacıların yapmış oldukları çalışma ile SP ve SP+DGT uygulamalarından daha düşük bulunmuştur.

Çalışmada, iç ortam bağıl nem değerleri dış ortama (ΔRH) göre ortalama YFKP uygulamasında %15.2, YFKP+DGT uygulamasında ise %18.1 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, YFP uygulamasında dış ortam VPD değeri 3.1 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.9 kPa, YFKP + DGT uygulamasında dış ortam VPD değeri 3.4 kPa iken iç ortam VPD değeri 1.9 kPa olarak belirlenmiştir. Dış ortam sıcaklığının arttığı koşullarda, dış ortamda bağıl nem değerleri düşmüştür (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12). Yüksek VPD, yüksek stoma direnci ve bitki su stresi oluşturarak bitki büyümesi üzerinde olumsuz bir etki meydana getirir (Leonardi ve ark., 2000). YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarında bağıl nemin artması ve VPD değerlerinin azalması, sera iç ortamını bitki yetiştiriciliği için uygun hale getirmiştir. Ancak, YFKP + DGT uygulamasında kullanılan dıştan gölgeleme tülü nedeniyle iç ortam koşulları YFKP uygulamasına göre daha uygun olmuştur.

Çalışmada, yatay eksen boyunca ped tarafından kapı tarafında iç ortam ortalama sıcaklık ve oransal nem değerleri YFP uygulamasında 7.5 °C artmış, oransal nem ise %12.7 azalmıştır. YFKP+DGT uygulamasında ise 7.5 °C artmış, oransal nem ise %16.1 azalmıştır. Çalışmada da diğer uygulamalarda olduğu gibi ped tarafından uzaklaştıkça sıcaklık değerlerinin arttığı ve oransal nem değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Çalışmada YFKP uygulamasının soğutma verimi (η) ortalama %30.7, YFKP+DGT uygulamasının soğutma verimi ortalama %35.1 olarak belirlenmiştir. Buna

göre YFKP + DGT uygulamasının soğutma veriminin YFP uygulamasına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar dış gölgeleme tülünün buharlaşmalı soğutma verimini olumlu yönde artırdığını göstermiştir. Dış ortamdaki bağıl nem değerlerinin azalmasının soğutma verimini artırdığını göstermektedir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). Abohorlu Doğramacı ve ark. (2019) yerel olarak bulunabilen okalıptüs lifli pedlerin maksimum soğutma verimliliğinin ise 0.1 ile 0.6 m/s hava hızlarında %71 ile %49 aralığında olduğu bulunmuştur. Çalışmada yerel olarak kullanılan YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarındaki soğutma verimi araştırmacıların yapmış oldukları çalışma ile SP ve SP+DGT uygulamalarından daha düşük bulunmuştur.

YFKP uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 6219.6 kJ/h (1.73 kW) ve COP değeri 7.30 olarak hesaplanmıştır. YFKP + DGT uygulaması için soğutma kapasitesi (Q_c) 7643.0 kJ/h (2.1 kW) ve COP değeri 8.5 olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda YFP+DGT uygulamasında soğutma kapasitesi ve COP değerlerinin MDP uygulamasına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çalışmada MDP+DGT uygulamasında ($\Delta T = 4.6$ °C), MDP uygulamasına ($\Delta T = 3.9$ °C) göre iç ortam sıcaklığı değerlerinde meydana gelen azalma, soğutma kapasitesini (Q_c) ve COP'u arttırmıştır. Ayrıca, daha düşük dış bağıl neminin daha yüksek buharlaşmaya yol açarak daha yüksek soğutma kapasitesi ve daha yüksek COP değerlerinin elde edilmesine yardımcı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.12). YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarının soğutma kapasitesi ve COP değerleri karşılaştırıldığında SP ve SP+DGT uygulamalarına göre daha düşük kalmıştır.

YFKP uygulamasında su tüketim kapasitesi (Q_w) 18.1 L/gün (2.0 L/h), YFKP+DGT uygulamasında ise 25.1 L/gün (2.8 L/h) olarak hesaplanmıştır. Sisteme saat 09:00 ile 18:00 arasında eklenen su miktarı ile hesaplanan günlük su tüketimi arasında YFP uygulamasında %4, YFKP+DGT uygulamasında ise %5 oranında fark çıkmıştır. Bu farkın sistemdeki kayıp ve kaçaklardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre YFKP+DGT uygulamasında su tüketimi YFKP uygulamasına göre daha fazla olmuştur. Dış ortamdaki düşük bağıl nem, evaporatif soğutucunun daha fazla su buharlaştırmasına ve daha fazla su tüketmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda buharlaşan su miktarının fazla olması soğutma kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır. YFKP+DGT uygulamasında tüketilen su, YFKP uygulamasına kıyasla soğutma kapasitesini de arttırmıştır. Yapılan çalışmada, YFKP uygulaması için sera taban alanı başına 1.2 L/m², YFKP+DGT uygulaması için sera taban alanı başına 1.7 L/m² suyun tüketildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar SP ve SP+DGT uygulamalarından (1.8 ve 2.0 L/m²) düşük çıksada iç ortam oransal nem değerinin düşük ve VPD

değerlerinin yüksek çıkması nedeniyle iç ortam koşulları SP ve SP+DGT uygulamalarından daha düşük çıkmıştır.

YFKP uygulamasında ortalama SHT 113.2 W/m^2 , LHT -125.2 W/m^2 ve YFKP+DGT uygulamasında ortalama SHT 134.3 W/m^2 ve LHT -165.5 W/m^2 olmuştur. YFKP uygulamasında ortalama Bowen oranı -1.0 ve özgül nem farkı 1.2 g/g , YFKP+DGT uygulamasında Bowen oranı -0.9 ve özgül nem farkı 1.6 g/g olarak bulunmuştur (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarında SHT, seranın dış ve iç ortamları arasındaki sıcaklık farkının (ΔT) artışına bağlı olarak artarken, LHT sera iç ortamı ile dış hava arasındaki özgül nem farkının artmasına bağlı olarak artmıştır. Ayrıca, özgül nem farkının artışına bağlı olarak Bowen oranı artmıştır (Şekil 4.8 ve Şekil 4.13). Çalışmada YFKP ve YFKP+DGT uygulamalarında, serada soğutma sistemi çalışırken LHT'nin SHT'den daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca bu artışın YFKP+DGT uygulamasında daha fazla olduğu ve sera iç ortamının bitki yetiştirmek için daha uygun hale geldiği belirlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bazı tarımsal atıkların seralarda soğutma pedi olarak uygunluklarının değerlendirildiği çalışmada, sıcaklıkların yükseldiği yaz günlerinde DH uygulamasında ortalama iç sıcaklık ve oransal nem değeri sırasıyla 42.1 °C ve %20.3, DH + DGT uygulamasında ise 41.1 °C ve %22.7 olarak ölçülmüştür. Buna göre doğal havalandırma ve gölgelendirme tülü uygulamalarının iç ortamı bitki yetiştiriciliğine uygun hale getiremediği belirlenmiştir. Bu aylarda yetiştiricilik yapılması ve üretim sezonunun uzatılabilmesi için evaporatif soğutma uygulamalarına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir.

Ticari olarak kullanılan celdek pedler serinletme etkinliği açısından en iyi ped malzemesi olmuştur. Ancak alternatif soğutma pedi olarak kullanılan FKP, FKP+DGT, MDP MDP+DGT ve YFKP, YFKP+DGT uygulamaları ile iç ortam iklim koşullarının bitki yetiştiriciliğine uygun hale getirilmesinde, soğutma etkisi, soğutma kapasitesi gibi etkileri nedeniyle üretim sezonunun Temmuz ve Ağustos aylarına kadar uzatılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, uygulamalar dış sıcaklık değerinin yüksek ve bağıl nem değerinin düşük olduğu koşullarda daha iyi soğutma etkisi göstermiştir. Bu nedenle soğutma uygulamalarının bölgenin iklim koşulları dikkate alınarak yaz aylarında düşük oransal nem değerine sahip yörelerde kullanılması evaporatif uygulamalarından daha yüksek soğutma verimi alınmasını sağlayacaktır.

Çalışmada, test edilen ped malzemeleri arasında yerel olarak temin edilebilen fındık kabuğu ped in ticari selüloz pedlere iyi bir alternatif olabileceği ve gölgeleme tülü ile birlikte kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Ancak fındık kabuğu ped in yanında muz dalları ped ve yer fıstığı pedlerinde gölgeleme tülü ile birlikte kullanılması durumunda iç ortam iklim koşullarının uygun değerlere getirilmesi yanında tarımsal atık olarak çevresel etkilerinin azaltılması bakımından da önemli olacaktır.

Celdek pedlerin fabrikasyon ürünü olması, pedlerde bulunan boşlukların ve malzeme kalınlığının eşit olması, üzerinde bulunan ve eşit dağılan boşluklar hava hareketine karşı daha az direnç göstermesi celdek pedlerin çalışmadaki en önemli özelliği olmuştur. Tarımsal atık olarak kullanılan fındık kabukları, muz dalları ve yer fıstığı kabukları malzemelerinin üst üste yığılması nedeniyle ped içerisinden geçen hava hareketine karşı direnç göstermesi pedlerin performans değerlerini düşürmüştür. Ayrıca çalışmada kullanılan ped kalınlığının 3 cm seçilmesi hava su temas süresini azaltarak kuru havanın doygunluğa ulaşmasını engellemiştir. Bu nedenle bu malzemelerin hava

akış hızını engellemeyecek şekilde dizayn edilmesi, farklı su akış hızlarında ve ped kalınlıklarında denemeye alınarak performansının belirlenmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Uygulamalarda birim alan için kullanılan su miktarı dikkate alınarak su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde evaporatif soğutma uygulamalarının kullanımını sınırlandıracağından soğutma uygulamalarının performansı yanında tükettikleri su miktarlarının da dikkate alınması çok önemlidir.

Enerji maliyetlerinin yüksek olduğu günümüzde, evaporatif soğutucular için ihtiyaç duyulan elektriğin doğrudan güneş enerjisinden sağlanması elektrik maliyetini düşürerek işletmelerin enerji maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Dünyanın önemli seracılık merkezlerinden olan ülkemizde büyük ticari işletmelerden ziyade küçük ve orta ölçekli sera işletmeleri yoğunluktadır. Bu işletmelerde tarımsal atıkların değerlendirilmesi amacıyla iç ortam sıcaklık değerinin azaltılması ve oransal nem değerinin artırılması alternatif ve daha ucuz soğutma pedlerinin kullanılması ile mümkün olabileceği belirlenmiştir. Soğutma uygulamaları ile birlikte seralarda artan sıcaklıklar karşısında yaşanan verim kayıpları azalacak ve çiftçi gelir seviyesi artmakla birlikte ülkemizin dünyada seracılıkta rekabet gücümüzde artacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abbouda, S. K., & Almuhanha, E. A. (2012). Improvement of Evaporative Cooling System Efficiency in Greenhouses. *International Journal of Latest Trends in Agriculture and Food Sciences*, 2(2), 83-89.
- Abdel-Rahamn, G. M. (2006). Air temperature distribution along two greenhouses with different evaporative cooling materials. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 23(2), 463- 475.
- Abohorlu Doğramacı, P., Riffat, S., Gan, G., & Aydın, D. (2019). Experimental study of the potential of eucalyptus fibres for evaporative cooling. *Renewable Energy*, 131, 250-260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.005>
- Ahmed, E. M., Abaas, O., Ahmed, M., & Ismail, M. R. (2011). Performance evaluation of three different types of local evaporative cooling pads in greenhouses in Sudan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(1), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.09.005>
- Albright, L. D. (1989). Environment Control for Animal and Plants. Published by ASAE, 453s.
- Al-Helal, I. M. (2001). A survey study of cooling pads clogging problem for greenhouses and poultry buildings in central region of Saudi Arabia. Research Bulletin. Research Bulletin No. 105. Agricultural research center, College of Agriculture, King Saud University. Riyadh, Saudi Arabia
- Almaneea, A., Alshammari, T. A., Aldhafeeri, F. Y., Aldhfeeri, M. H., Allaboun, A. A., & Almutairi, T. S. (2022). Experimental investigation of air cooler using local palm tree waste. *Heliyon*, 8, e10265.
- Alodan, M. A., & Al-Faraj, A. A. (2005). Design and evaluation of galvanized metal sheets as evaporative cooling pads. *Journal of King Saud University, Agricultural Science*, 18(1), 9-18.
- Al-Sulaiman, F. (2002). Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*, 43, 2267–2273.
- Arbel, A., Shklyar, A., & Barak, M. (2000). Buoyancy-driven ventilation in a greenhouse cooled by a fogging system. *Acta Horticulturae*, 534, 3327–3334
- Arbel, A., Yekutieli, O., & Barak, M. (1999). Performance of a fog system for cooling greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72, 129-136.

- Aroca-Delgado, R., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á. J., & Velázquez-Martí, B. (2018). Compatibility between Crops and Solar Panels: An Overview from Shading Systems. *Sustainability*, *10*, 743.
- Baille, A. (1999). Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulture*, *491*, 37–47.
- Barker, J. C. (1990). Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science*, *65*(3), 323–331. <https://doi.org/10.1080/00221589.1990.11516061>
- Barker, J. C., & Sonneveld, C. (1988). Calcium deficiency of glasshouse cucumber as affected by environmental humidity and mineral nutrition. *Journal of Horticultural Science*, *63*, 241–246. <https://doi.org/10.1080/14620316.1988.11515854>
- Borodinecs, A., Lebedeva, K., Prozuments, A., Brahmanis, A., Grekis, A., Zajecs, D., Zekunde, A., & Vatin, N. (2021). Feasibility of reducing electricity consumption of air conditioning equipment by condenser direct evaporative cooling technology. Example of Case Study in Dubai. *Atmosphere*, *12*, 1205. <https://doi.org/10.3390/atmos12091205>
- Boulard, T., & Baille, A. (1993). A simple greenhouse climate control model incorporating effects on ventilation and evaporative cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, *65*, 145-157.
- Boyacı, S. (2018). Kırşehir ilindeki sera ve yüksek tünellerin mevcut durumu üzerine bir araştırma. *Mediterranean Agricultural Sciences*, *31*(2), 129–136.
- Boyacı, S. (2019). Fan-Ped serinletme sisteminin duyulur ve gizli ısı transferine etkisi ve sistem etkinliğinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *6*(1), 64-70.
- Boyacı, S., & Akyüz, A. (2019). Seralarda soğutma pedi olarak bazı yerel malzemelerin uygunluklarının değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, *24*(Özel Sayı), 257-268.
- Carpenter, W. J., & Willis, W. W. (1957). Comparison of low pressure mist atomised fog and evaporation fan and pad systems for greenhouse cooling and plant response. *Journal of American Society for Horticulture Science*, *70*, 490-500.
- Chantana, C. (2019). A Cooling system for a mushroom house for use in the upper central region climate of Thailand. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, *27*(3), 10–19.

- Chaomuang, N., Nuangjamnong, T., & Rakmae, S. (2023). Performance evaluation of a wet medium made of mangosteen peels for a direct evaporative cooling system. *AgriEngineering*, 5, 1865–1878.
- Chinenye, N. M., & Manuwa, S. I. (2014). Review of research and application of evaporative cooling in preservation of fresh agricultural produce. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 85-102.
- Cohen, Y., Stanhill, G., & Fuchs, M. (1983). An experimental comparison of evaporative cooling in a naturally ventilated glasshouse due to wetting the outer roof and inner crop soil surfaces. *Agricultural Meteorology*, 28(3), 239-251.
- Dayıoğlu, M. A., & Silleli, HH. (2015). Performance analysis of a greenhouse fan-pad cooling system: gradients of horizontal temperature and relative humidity. *Journal Of Agricultural Sciences*, 21, 132-143.
- Dhakulkar, K. T., & Dharme. M. R. (2017). An experimental analysis of direct evaporative cooler by varying materials and thickness of cooling pad : A review. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3, 605-608.
- Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., & Singh, A. (2017). Experimental performance analysis of alternative cooling pad made by agricultural waste for direct evaporative cooling system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(7), 199–212.
- Dzivama, A. U., Bindir, U. B., & Aboaba, F. O. (1999). Evaluation of pad materials in construction of active evaporative cooler for stroge of fruits and vegetables in arid environments. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, AMA*, 30(3), 51-55.
- Elmsaad, E., & Omran, A. (2015). Evaluating the effect of new local materials of evaporative cooling pads. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15(1), 78-84.
- Elsargany, N., Darwish, M., Salah Sh., & Ghoname, M. S. (2022). A Techno-economic assessment for the possibility of luffa as a pad cooling material. *Journal of Sustainable Agricultural and Environmental Sciences*, 1(1), 161 – 168.
- Franco, A., Valera, D. L., & Peña, A. (2014). Energy efficiency in greenhouse evaporative cooling techniques: Cooling boxes versus cellulose pads. *Energies*, 7, 1427-1447. <https://doi.org/10.3390/en7031427>

- García, M., Medrano, E., Sánchez-Guerrero, M., & Lorenzo, P. (2011). Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system. *Biosyst. Eng.*, *108*, 133–143.
- Grange, R.I., & Hand, D. W. (1987). A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, *62*, 125–134. <https://doi.org/10.1080/14620316.1987.11515760>
- Gunhan, T., Demir, V., & Yagcioglu, A.K. (2007). Evaluation of the suitability of some local materials as cooling pads. *Biosystems Engineering*, *96*(3), 369-377.
- Hanan, J. J., Holley, W. D., & Goldsberry, K. L. (1978). Greenhouse management. Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg, 530p.
- Hellickson, M. A. & Walker, J. N. (1983). Ventilation of agricultural structures. *American Society of Agricultural Engineers*, Michigan- USA, 372p.
- Helmy, M. A., Eltawil, M. A., Abo-shieshaa, R. R., & El-Zan, N. M. (2013). Enhancing the evaporative cooling performance of fan-pad system using alternative pad materials and water film over the greenhouse roof. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *15*(2), 173-187.
- Hoffman, G. J. (1979). Humidity. In T. W. Tibbitts & T. T. Kozlowski (Eds.), *Controlled Environment Guidelines for Plant Research* (pp. 141-172). Academic Press.
- Holcman, E., & Sentelhas, P. C. (2012). Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, *16*, 858–863. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800007>.
- Jain, J.K., & Hindoliya, D.A. (2014). Correlations for saturation efficiency of evaporative cooling pads. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, *95*(1), 5–10.
- Jakubowski, T., Boyacı, S., Kociğcka, J., & Atılgan, A. (2024). Determination of performance of different pad materials and energy consumption values of direct evaporative cooler. *Energies*, *17*, 2811. <https://doi.org/10.3390/en17122811>
- Katsoulas, N., Baille, A., & Kittas, C. (2001). Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *106*, 233-247.

- Kesavan, M. (2018). Performance evaluation of evaporative cooler using luffa fiber materials. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(9), 193-196.
- Kittas, C., Bartzanas, T., & Jaffrin, A. (2003). Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Engineering*, 85(1), 87-94. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00018-7)
- Kittas, C., Katsoulas, N., & Baille, A. (2001). Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy portioning of a rose canopy during summer conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(3), 349-360.
- Kulkarni, M.M., Vijaykumar, K.N., Jadhav, N.A., Bhor, M.J., & Shinde, S.S. (2015). Experimental performance evaluation of new cooling pad material for direct evaporating cooling for pune summer conditions. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 22(6), 281-287.
- Laknizi, A., Mahdaoui, M., Ben Abdellah, A., Anoune, K., Bakhouya, M., & Ezbakhe, H. (2019). Performance analysis and optimal parameters of a direct evaporative pad cooling system under the climate conditions of Morocco. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100362.
- Lal Basediya, A., Samuel, D.V. K., & Beera, V. (2013). Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 429–442. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0311-6>
- Leonardi, C., Guichard, S., & Bertin, N. (2000). High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 84(3), 285-296. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00127-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00127-2)
- Liao, C., Singh, S., & Wang, T. (1998). Characterizing the performance of alternative evaporative cooling pad media in thermal environmental control applications. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 33(7), 1391–1417. <https://doi.org/10.1080/10934529809376795>
- Luchow, K., & von Zabeltitz, C. (1992). Investigation of a spray cooling system in a plastic-film greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 52(1), 1–10.
- Malli, A., Seyf, H. R., Layeghi, M., Sharifian, S., & Behraves, H. (2011). Investigating the performance of cellulosic evaporative cooling pads. *Energy Conversion and Management*, 52, 2598–2603.

- Maurya, R., Shrivastava, N., & Shrivastava, V. (2014). Performance evaluation of alternative evaporative cooling media. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(10), 676–684.
- McCartney, L., Orsat, V., & Lefsrud, M.G. (2018). An experimental study of the cooling performance and airflow patterns in a model natural ventilation augmented cooling (NVAC) greenhouse. *Biosystems Engineering*, 174, 173–189.
- Mehere, S. V., Mudafale, K. P., & Prayagi, S. V. (2014). Review of direct evaporative cooling system with its applications. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(6), 995–999.
- Mishra, P. R., Somwanshi, A., & Gaba, V. K. (2023). Experimental investigation of locally available Torai (*Iuffa cylindrica*) as evaporative cooling pads, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(1), 2523–2539, <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2188317>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., Kittas, C. (2018). Dynamic assessment of whitewash shading and evaporative cooling on the greenhouse microclimate and cucumber growth in a mediterranean climate. *Italian Journal of Agrometeorology*, 2, 15–26.
- Obando Vega, F. A., Montoya Rios, A. P., Osorio Saraz, J. A., Damasceno, F. A., & Barbari, M. (2022). Comparative analysis of the cooling efficiency in tropical climate of three alternative materials for evaporative cooling pads. *Applied Sciences*, 12, 77. <https://doi.org/10.3390/app12010077>
- Oliveira, R. S. de., Henriques, J. R., & Mendes Primo, A. R. (2012). Efficiency of vegetable pads used for direct evaporative cooling systems: an experimental study. *Revista Tecnologia Fortaleza*, 33(1), 32–45.
- Öztürk, H. H. (2004). Venlo tip cam serada fan-ped serinletme sisteminin etkinliği ile duyulur ve gizli ısı transferi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10, 381–388.
- Öztürk, H. H. (2006). Effect of a fogging system on sensible and latent heat transfer in a plastic greenhouse. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 37, 52–61.
- Öztürk, H.H., & Başçetinçelik, A. (2002). Seralarda havalandırma. Çukurova Üniversitesi, Yayın No: 227, Adana-Türkiye, 304s.
- Prozuments, A., Brahmanis, A., Muceniaks, A., Jacnevs, V., & Zajecs, D. (2022). Preliminary study of various cross-sectional metal sheet shapes in adiabatic

- evaporative cooling pads. *Energies*, 15, 3875.
<https://doi.org/10.3390/en15113875>
- Roshan, R., & Parashar, U. (2015). Comparative analysis of efficiency of evaporative air cooler with two different cooling pad material. In *SSRG International Journal of Thermal Engineering*, 1, 18–21.
- Salins, S.S., Kota Reddy, S.V., & Kumar, S. (2021). Experimental investigation on use of alternative innovative materials for sustainable cooling applications. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(5), 1207-1217.
<https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1924894>
- Sapounas, A.A., Nikita-Martzopoulou, C.H., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2008). Fan and pad evaporative cooling system for greenhouses: Evaluation of a numerical and analytical model. *Acta Horticulturae*, 797, 131-137.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.797.16>
- Seginer, I. (1994). Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71, 265-281.
- Sethi, V., & Sharma, S. (2007). Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol. Energy*, 81, 1447–1459.
- Shivpuje, C., Waghmare, M., Kalote, H.S., & Kedar, S. (2018). Experimental performance of direct evaporative cooler. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5, 1986–1989.
- Shrivastava, K., Deshmukh, D., & Rawlani, MV. (2014). Experimental analysis of coconut coir pad evaporative cooler. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1), 8346-8352.
- Tekinel, O., Çevik, B., Tekinsoy, M.A., Baytorun, N., & Akyüz, A. (1999). İnşaat Malzeme Bilgisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü, Yayın no: 58, Ders Kitapları Yayın No: 4.
- TÜİK, (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Erişim Linki: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, Erişim Tarihi: 01.10.2024.
- Vala, K. V., Kumpavat, M. T., & Nema, A. (2016). Comparative performance evaluation of evaporative cooling local pad materials with commercial pads. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 39(4), 198-203.
- Vala, K. V., Makwana, M., & Sagarika, N. (2019). Validation of evaporative cooling system using CFD analysis. In *International Journal of Current Microbiology*

and *Applied Sciences*, 8, 393–399.

<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.049>

von Zabeltitz, C. (1994). Effective use of renewable energies for greenhouse heating. *Renewable Energy*, 5, 479–485.

von Zabeltitz, C. (2011). Integrated greenhouse systems for mild climates climate conditions, design, construction, maintenance, climate control. Springer Science & Business Media, Hannover, 363p.

Warke, D. A., & Deshmukh, S. J. (2017). Experimental analysis of cellulose cooling pads used in evaporative coolers. *International Journal of Energy Science and Engineering*, 3(4), 37-43.

Willits, D. H. (1999). Constraints and limitations in greenhouse cooling: challenges for the next decade. *Acta Horticulturae*, 534, 57-66.

Yash, R., Bhosal, D., Gandhi, G. K. N., & Gandhi, T. S. (2017). Performance improvement techniques for evaporative air cooler - A Review. In *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6, 379–382. <https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS030367>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Kübra ARSLAN
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0009-0007-1090-5873

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fakülte	Ziraat Fakültesi
Bölümü	Biyosistem Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2013
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2025

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Boyacı, S., & Arslan, K. (2023). Kurak ve yarı kurak iklim koşullarında sera çatısından sulama amaçlı yağmur suyu hasadı. Alatarım, 22 (1), 44–54.