



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA ATIK KULLANIMI VE CO₂ GÜBRELEMESİ:
DOMATES YETİŞTİRİCİLİĞİ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşe ULUSOY

**Danışman
Prof. Dr. Atılgan ATILGAN**

**ALANYA
2025**

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA ATIK KULLANIMI VE CO₂ GÜBRELEMESİ:
DOMATES YETİŞTİRİCİLİĞİ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşe ULUSOY
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Biyosistem Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Atılgan ATILGAN

ALANYA
(2025)

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ayşe ULUSOY

TEŞEKKÜR SAYFASI

Tez çalışmam boyunca desteğini, önerilerini, ilgisini ve yardımını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Atılgan ATILGAN hocama ve Doç. Dr. Burak SALTUK hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteğini, bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma ve sevgili aileme çok teşekkür ederim.



ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA ATIK KULLANIMI VE CO₂ GÜBRELEMESİ: DOMATES YETİŞTİRİCİLİĞİ ÖRNEĞİ

Ayşe ULUSOY

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

Temmuz, 2025 (40 Sayfa)

Bu çalışma, sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında komposttan elde edilen CO₂ gazının sera koşullarında domates bitkisi gelişimi ve verimi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi kampüsünde kurulu üç ayrı serada yürütülen çalışmada, Sera 1 ve Sera 2'ye kompost tanklarında üretilen CO₂ gazı verilmiş, Sera 3 ise kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Tanklardan elde edilen CO₂, 50 gün boyunca günlük 5 kez 10 dakikalık periyotlarla sera ortamına iletilmiştir. Bu süre boyunca seralarda CO₂ konsantrasyon ortalamaları Sera 1 için 558,46 ppm, Sera 2 için 544,52 ppm, kontrol grubu olan Sera 3 için ise 469,18 ppm olarak ölçülmüştür. CO₂ gazı uygulanan seralarda kontrol serasına göre yaklaşık % 17,54'lük bir CO₂ artışı sağlanmıştır.

Uygulama sonunda bitki boyu, gövde çapı ve ürün verimi açısından önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Çalışma öncesi değerler ile karşılaştırıldığında, Sera 2'de bitki boyunda 104,50 cm'ye, Sera 1'de ise 80,67 cm'ye ulaşılmış, kontrol grubunda ise bu değer 79,75 cm'de kalmıştır. Ortalama bitki çapı Sera 1'de 14,44 mm, Sera 2'de 15,01 mm, kontrol serasında ise 13,70 mm olarak ölçülmüştür. Yedi periyot boyunca yapılan hasatlarda toplam domates verimi Sera 1'de 5,381 t/ha, Sera 2'de 4,774 t/ha, kontrol serasında ise 3,268 t/ha olarak gerçekleşmiştir. Bu verilere göre Sera 1, kontrol serasına göre % 64,63, Sera 2 ise % 45,15 daha yüksek verim sağlamıştır.

Çalışma bulguları, sera ortamına uygulanan kompost kaynaklı CO₂ gazının, domates bitkisinin gelişim parametreleri ve toplam verimi üzerinde pozitif yönde etkili olduğunu ve bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit, Kompost, Tarımsal atık, Sera, Domates

ABSTRACT

WASTE UTILIZATION IN SUSTAINABLE AGRICULTURE AND CO₂ FERTILIZATION: A CASE STUDY OF TOMATO CULTIVATION

Ayşe ULUSOY

Department of Biosystems Engineering

Graduate School of Alanya Alaaddin Keykubat University,

July, 2025

This study was conducted to investigate the effects of CO₂ gas obtained from compost on the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions as part of sustainable agriculture practices. The research was carried out in three separate greenhouses located on the campus of Alanya Alaaddin Keykubat University. In Greenhouse 1 and Greenhouse 2, CO₂ gas generated from compost tanks was applied, while Greenhouse 3 was evaluated as the control group. The CO₂ gas produced in the tanks was introduced into the greenhouse environment for 50 days, five times daily in 10-minute intervals. During this period, the average CO₂ concentrations were measured as 558.46 ppm for Greenhouse 1, 544.52 ppm for Greenhouse 2, and 469.18 ppm for the control group (Greenhouse 3). Compared to the control greenhouse, the CO₂-applied greenhouses achieved an approximate 17.54 % increase in CO₂ concentration.

At the end of the application, significant differences were observed in terms of plant height, stem diameter, and yield. Compared to the initial values, plant height reached 104.50 cm in Greenhouse 2, 80.67 cm in Greenhouse 1, and remained at 79.75 cm in the control group. The average stem diameter was measured as 14.44 mm in Greenhouse 1, 15.01 mm in Greenhouse 2, and 13.70 mm in the control greenhouse. Over seven harvesting periods, the total tomato yield was recorded as 5.381 t/ha in Greenhouse 1, 4.774 t/ha in Greenhouse 2, and 3.268 t/ha in the control greenhouse. Based on these results, Greenhouse 1 achieved 64.63 % higher yield, and Greenhouse 2 achieved 45.15 % higher yield compared to the control greenhouse.

The findings of the study revealed that compost-based CO₂ gas applied in greenhouse conditions had a positive and statistically significant effect on the growth parameters and total yield of tomato plants.

Keywords: Carbon Dioxide, Compost, Agricultural waste, Greenhouse, Tomato

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI

ONAY SAYFASI	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
TEŞEKKÜR SAYFASI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER SAYFASI	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
2.1. Hayvansal ve Tarımsal Atıkların Kompostlanması	3
2.2. Sera Koşullarında CO ₂ Gazının Rolü	4
2.3. Domates Yetiştiriciliğinde Çevresel Faktörler	7
3. YÖNTEM	9
3.1. Alanya İlçesi İklim Özellikleri.....	9
3.2. Çalışma Seralarının Fiziksel Özellikleri	10
3.3. Çalışma Seralarının Ortamı ve Biyolojik Materyal	11
3.4. Sera ve Kompost Tanklarının Kurulumu	11
3.5. Toprak Hazırlığı	12
3.6. Sulama, Gübreleme ve Fide Dikimi	14
3.7. Kompost Tanklarının Hazırlanması	16
3.8. Kompost Tanklarından CO ₂ Gazının Çekilmesi ve Seralara İletilmesi.....	19
3.9. Kompost Tanklarının Karıştırılması ve Yenilenmesi	20
3.10. Seralarda CO ₂ Düzeyinin Artırılması ve Cihaz Çalışma Prensibi.....	21
3.11. Toplam Ağırlık Yüzdeleri.....	22
3.12. Yüzde Artış Hesabı (Görelî Artış).....	22
3.13. İstatistiksel Değerlendirme Yöntemi	22
4. BULGULAR	23
4.1. Meyve Verimi	23
4.2. Bitki Boy Uzunluğu	24

4.3. Bitki Gövde apı	26
4.4. Sera İçindeki Sıcaklık, Nem ve CO ₂ Konsantrasyon Değerleri.....	28
4.5. Seralarda CO ₂ Gazı Etkisi.....	29
4.6. lm Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi	34
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	36
6. KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Seraların Kampüs İçerisindeki Konumları	9
Şekil 3.2 Çalışma Seralarının AutoCAD Çizimli Modellemeleri.....	10
Şekil 3.3 Çalışma Seralarının Görünümleri.....	10
Şekil 3.4 Sera İçinde Fide Dizilim Görseli ve Sıralama.....	11
Şekil 3.5 Çalışma Seralarının Üstten Genel Görünümü (Sera 1 ve Sera 2)	12
Şekil 3.6 Çalışmada Kullanılan Kontrol Serasının (Sera 3) Üstten Genel Görünümü...	12
Şekil 3.7 Sera Topraklarının Havalandırılma ve Temizlenme İşlemleri	13
Şekil 3.8 Sera Örtü Malzemelerinin Yenilenme İşlemleri	13
Şekil 3.9 Sulama Sistemine ait Hatların Sera İçerisinde Konumlandırılması	14
Şekil 3.10 Seralarda Dikimi Yapılan Domates Fideleri	15
Şekil 3.11 Seralarda Domates Fideleri ve Sulama Sistemi ile Orantılı Olarak Dikimi..	15
Şekil 3.12 Çalışmada Gübrenin Konulacağı Aerobik Tank Boyutları	17
Şekil 3.13 Çalışmada Gübrenin Konulacağı Aerobik Tankların Gübre Dolu ve Boş Görünümü	17
Şekil 3.14 Kompost Tanklarının Sera 1 ve Sera 2'nin Arka Tarafında Konumlandırılması	18
Şekil 3.15 Kompost Tanklarında Kompost Uygulamasının Hazırlanışı ve Sulama İşlemi	18
Şekil 3.16 Kompost Tanklarını Karıştırmada Kullanılan Otomatik Karıştırıcı Mikser ve Helezonik Başlığı.....	19
Şekil 3.17 Kompost Tanklarının Tahliye ve Gaz Çıkışı Vanasına ait Görsel	20
Şekil 3.18 Dağıtım Hatları a) İlk Aşamadaki Dağıtım Hatları, b) 2.Kademedeki Dağıtım Hatları	20
Şekil 3.19 Otomatik Karıştırıcı ile Kompost Tanklarının Karıştırılması	21
Şekil 3.20 CO ₂ Gazının Sera İçinde Dağıtım Hattı ile Dağıtılması	22
Şekil 4.1 Seralardaki Toplam Meyve Verimi (t/ha)	23
Şekil 4.2 CO ₂ Uygulanmadan Önce Seralarda Domates Bitki Boy Uzunluğu Ortalama Değerleri	25
Şekil 4.3 CO ₂ Uygulama Sonrası Seralarda Domates Bitki Boy Uzunluğu Ortalama Değerleri	25

Şekil 4.4 CO ₂ Uygulanmadan Önce Seralarda Domates Bitki Gövde Çapı Ortalama Değerleri	27
Şekil 4.5 CO ₂ Uygulama Sonrası Seralarda Domates Bitki Gövde Çapı Ortalama Değerleri	27
Şekil 4.6 Seralarda CO ₂ Gazı Ortalama Değerleri (ppm)	30
Şekil 4.7 Sera 1'den 11.03.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri	30
Şekil 4.8 Sera 2'den 11.03.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri.....	31
Şekil 4.9 Kontrol Serasından (Sera 3) 11.03.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri.....	31
Şekil 4.10 Sera 1'den 26.01.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri	32
Şekil 4.11 Sera 2'den 26.01.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri.....	32
Şekil 4.12 Kontrol Serasından (Sera 3) 26.01.2025 Tarihinde Saat 10:00 ve 16:00 Arasında 10 Dakikada Bir Alınan CO ₂ Gazı Değerleri	33

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Seralardaki Hasat Tarihine Göre Toplam Ağırlık Değerleri	23
Tablo 4.2 Seralarda Domates Uzunluklarının Ortalama Değerleri	24
Tablo 4.3 Seralarda Domates Gövde Çapı Ortalama Değerleri	26
Tablo 4.4 Çiçeklenme Döneminde Ölçülen Ortalama Sıcaklık, CO ₂ Konsatrasyonu ve Nem Değerleri.....	28
Tablo 4.5 Meyve Olgunlaşma Döneminde Ölçülen Ortalama Sıcaklık, CO ₂ Konsatrasyonu ve Nem Değerleri.....	28
Tablo 4.6 Hasat Döneminde Ölçülen Ortalama Sıcaklık, CO ₂ Konsatrasyonu ve Nem Değerleri	29
Tablo 4.7 Seralarda Ölçülen Ortalama Değerler ve İstatistiksel Gruplandırmalar.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO ₂	Karbondioksit
%	Yüzde
°C	Santigrat
Ø	Çap
kg	Kilogram
g	Gram
ha	Hektar
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
cm	Santimetre
Lt	Litre
t	Ton

Kısaltmalar

ALKÜ	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
yy.	Yüzüncü Yıl
ppm	Milyonda Bir
UV	Ultraviyole
PE	Polietilen

1. GİRİŞ

Günümüzde sürdürülebilir tarım uygulamaları, çevresel etkilerin azaltılması ve verimliliğin artırılması adına büyük önem taşımaktadır. Tarım sektöründe kullanılan girdiler, doğrudan çevreye ve ekosistemlere etki etmektedir. Bu bağlamda, tarımsal atıkların yönetimi de kritik bir rol oynamaktadır. Tarımsal atıkların verimli bir şekilde geri dönüşümü hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır.

Hızla artan dünya nüfusu, bölgesel savaşlar, sağlıksız kentleşme, kontrolsüz sanayileşme süreci, verimi artırmak için kullanılan tarım ilaçları, bilinçsiz gübreleme ve deterjanlar gibi kimyasal içerikli maddeler giderek çevreyi kirletmeye başlamış, bunun sonucu olarak büyük oranda kirlenen su, hava ve toprak, canlılar için zararlı olabilecek bir boyuta ulaşmıştır (Korkmaz, 2007). Aynı zamanda mevcut tarım alanlarımız hatalı tarım yöntemleri neticesinde her geçen gün azalmaktadır. Artan nüfusun besin ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut alandan daha fazla verim almak zorunluluk haline gelmiştir. Bitki gelişimini yalnızca toprak-bitki-su ilişkilerine bağlı olarak açıklamak yeterli olmamaktadır. Birim alandan daha fazla verim elde etmek için, toprak işleme, hastalıklarla mücadele, gübreleme, ıslah edilmiş tohum ve damızlıkların kullanımının yanı sıra atmosferdeki gazların değişiminin de göz önüne alınması gereklidir. Örtü altı yetiştiriciliğinin yapıldığı yerlerde sıcaklık, ışık ve havadaki CO₂ miktarını, bitkinin kullanacağı en iyi aralığa getirerek birim alandan alınan ürün miktarını arttırmak mümkündür. Bitkiler yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek ve yapılarındaki kuru madde miktarını arttırmak için fotosentez yaparlar. Özellikle fotosentez olayının temel girdilerinden biri olan CO₂ gazı, bitki gelişimi üzerinde doğrudan etkilidir. Atmosferdeki CO₂ düzeyi sanayi devriminden bu yana artış göstermektedir. 20. yüzyılın başlarında yaklaşık 290 ppm seviyelerinde olan bu oran, 2024 yılı itibarıyla 420 ppm'nin üzerine çıkmıştır (NOAA, 2024). Uluslararası raporlara göre bu artışın, yüzyıl sonunda 600 ppm'yi aşması beklenmektedir (IPCC, 2021).

Karbondiyoksit, yeryüzünden yansıyan uzun dalga radyasyonunu su ile birlikte emerek atmosferin daha da ısınmasına neden olmaktadır. Bilim adamları, karbondiyoksit miktarındaki artışın bazı bitkilere gübre etkisi yaparak gelişimi hızlandıracağını belirtmektedir. Fakat asıl araştırılması gereken konu ise, iklimdeki bu değişikliğin tarıma olası etkisidir. Bugünkü koşullarda bu durum ancak bitki iklim benzetim modelleri ile tahmin edilebilmektedir (Şaylan, 1995).

Seralarda birim alanda daha fazla verim elde etmek için CO₂ gübrelemesi alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla seralarda CO₂ gübrelemesi 8 değişik şekilde uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, petrolün yakılması (kerosen) sıvı CO₂, katı CO₂, propan, gaz yağı, parafin, alkol ve doğalgazdır. Fakat bunların bir kısmı ekonomik anlamda pahalı iken bir kısmı da CO₂ ile beraber ortama zararlı gaz vererek bitkileri negatif biçimde etkileyebilmektedir. Bunların yanında sera içine hayvansal gübre uygulanması yapılarak da CO₂ gübrelemesi yapıldığı bilinmektedir (Fulford, 1986).

Günümüzde hayvansal gübreler sera içine serilerek sera içindeki CO₂ düzeyini artırmak için kullanılmaktadır. Bu uygulamanın yapılmasının bitki sağlığı açısından risk doğurduğu bilinmektedir. Özellikle gübre içerisinde taşınan nematodların bitki gelişimini olumsuz etkilemesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca yığın halinde bekletilen hayvansal gübrelerden metabolik aktiviteler sonucunda gaz çıkışı gözlemlenmektedir (Öztürk, 2008). Bu da sera içerisinde çalışan işçileri olumsuz yönde etkilemektedir (Öztürk ve Bildik, 2005). Aynı zamanda hayvansal gübrenin ihtiva ettiği nem havaya karışarak örtü altının nem miktarını artırabilmektedir. Bu olayın sonucunda da fungal hastalıklar oluşabilmektedir. Bu sebeple hayvansal gübrelerin tek başına kullanımından kaçınılmalıdır. Daha önce ülkemizde seralarda hayvansal gübreler sera içerisine plastik torbalar içerisine serilerek CO₂ gaz çıkışı uygulaması yapılmıştır.

Çalışmamızda sera içerisine hayvan gübresini koyamadan kompost reaktöründen çıkan CO₂ gazının vakum ve plastik borularla sera içerisine iletilmiştir. Burada geliştirilen kompost reaktör ve çıkan CO₂ gazının seraya verilmiş yöntemi daha önce denenmemiş olması nedeniyle çalışmaya orijinallik katmaktadır.

Bu tez çalışması Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi kampüsü içerisindeki plastik örtülü seralarda gerçekleştirilmiştir. 3 adet aynı boyut ve özellikteki seralarda gerçekleştirilen çalışmaların tüm parametreleri kayıt altına alınarak CO₂ gazının iletildiği 2 seradaki domates bitkisinin yetişmesindeki değişikliklerin belirlenmesi ve kontrol serası olan CO₂ gazı verilmeyen sera ile farklarının ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR

2.1. Hayvansal ve Tarımsal Atıkların Kompostlanması

Tarımsal faaliyette kullanılan hayvanların ve söz konusu hayvanların atıklarının tekrar tarımsal faaliyette kullanması çok önemli tarımsal bir döngüdür. Yapılan araştırmalar ile birçok tarımsal işletmede üretilen hayvansal gübrelerin bir kısmının değerlendirilmediği, bir kısmının ise kullanıncaya kadar işletmede açıkta herhangi bir tedbir alınmadan yığınlar halinde biriktirildiği belirtilmektedir (Atılğan ve ark., 2006; Çayır, 2010). Bu durum en çok çevre kirliliği açısından önemlidir. Gerekli yönetmeliklere göre depolanmayan hayvansal gübrelerdeki sıvı akıntı toprağa ve oradan da su kaynaklarına geçerek canlıları tehdit etmektedir (Karaman, 2005). Dolayısıyla atıl pozisyonda bırakılan hayvansal gübreler değerlendirilmedikleri sürece kirletici bir kaynak olarak doğada yer almaya devam edecektir.

Atılğan ve Yılmaz (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye genelinde 2007–2019 döneminde hayvan gübresinden elde edilebilir toplam organik atık miktarının yıllık yaklaşık 176 milyon ton olduğu belirlenmiştir. Bu gübrenin dörtte üçü tezek haline getirilerek kırsal alanlarda yakıt olarak kullanılırken dörtte biri gibi bir kısmı bitkisel üretimde değerlendirilmektedir (Olgun ve Polat, 2005). Yaklaşık bir rakamla ifade edecek olursak 20 milyon ton gübrenin kullanıncaya kadar atıl pozisyonda beklediği varsayılabilir. Gübrelerin uygun bir şekilde depolanmaması sonucunda gübrede bulunan sıvı çözelti toprağa geçerek yer altı sularının kirlenmesine ve gübrenin sebep olduğu pis koku ve kötü görüntü nedeni ile çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Hayvansal gübreler çevre kirliliğinin yanında bekletilmesi ve kullanılmaması durumunda ekonomik anlamda da zarar verebilmektedir. Bu kötü durumların olmaması için hayvansal gübrelerin en verimli şekilde kullanılması zorunluluğu doğmuştur.

Hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı bölgelerde oluşan hayvansal atıklar ciddi çevre kirliliğine neden olmakta ve bu durum, bölge halkının sağlıksız koşullarda yaşamasına yol açmaktadır. Bu atıkların bertarafında en uygun yöntemlerden biri kompostlama olarak görülmektedir. Kompostlaştırma, organik maddelerin aerobik veya anaerobik koşullarda mikroorganizmalar vasıtası ile kararlı hale getirildiği bir işlemdir ve neticesinde bitki besin elementleri ihtiva eden ve organik madde bakımından zengin ürün olan kompost üretilmektedir (Erdin, 2005; Öztürk ve Bildik, 2005). Daha çok tarımsal atıkların ve kahverengi atık olarak bilinen kuru yaprak, çürümüş organik maddelerden elde edilmektedir. Toprağın ihtiyaç duyduğu azotu sağlayan yeşil kompost malzemeleri;

evsel atık niteliğindeki sebze ve meyve artıkları, yumurta kabukları, park ve bahçe atıkları, yeşil yapraklar veya çay yaprakları, mezbaha atıkları gibi doğal unsurlardan oluşmaktadır. Karbon kaynağı olan kahverengi kompost malzemeleri için ise; kuru yapraklar veya otlar, dallar ve kurumuş ağaç kabukları, talaş, çam iğneleri, ayıklanmış kuruyemiş kabukları, saman balyaları, mısır koçanları, ayçiçek sapları gibi materyaller kullanılmaktadır (Özenç ve Şenlikoğlu, 2017). Katı organik atıkların kompost olarak değerlendirilmesi son yıllarda gündeme gelmiştir. Organik atıkların kompost olarak değerlendirilmesi son derece fayda sağlamaktadır. Kompostun sağladığı yararlar arasında; toprakta boşluk hacmini artırmak, havalanmayı kolaylaştırmak, zor işlenen toprakların daha kolay işlenmesini sağlamak, su tutma kapasitesini yükseltmek, besin maddelerinin etkin kullanımını desteklemek, toprağa yararlı bakteriler kazandırmak, besin maddesi miktarını artırmak, humus oluşumuna katkıda bulunmak ve erozyonu önlemek yer almaktadır (Dudu ve Nazilli, 2018). Kompostlaştırma temel olarak bir bertaraf yönteminden öte geri kazanım yöntemi olarak görülmektedir (Yeniçerioğlu, 2006).

Tarımsal atıklardan üretilen kompostların toprağa uygulanmasıyla besin içeriğinde artış sağlanmış ve toprakların daha zengin hale gelmesine katkıda bulunulmuştur. Kompost kullanımı, hem toprakların verim ve kalite düzeyini yükseltmekte hem de atıkların çevreye vereceği zararları en aza indirmektedir. Bunun yanında, organik madde oranı düşük olan ülkemiz topraklarının da bu uygulamalarla yeterli organik madde seviyesine ulaşması beklenmektedir (Sönmez ve ark., 2016). Kompostlama sürecinde oluşan yüksek sıcaklık, atık içindeki patojenleri ve yabancı ot tohumlarını yok ederek hijyen sağlamaktadır. Ayrıca erozyonun önlenmesi, zor işlenen toprakların daha kolay işlenmesi ve besin maddelerinin daha etkin kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Sürdürülebilir atık yönetimi kapsamında sera bitkisel atıklarının toprağa kompost olarak kazandırılmasıyla, organik maddece fakir toprakların zenginleştirilmesi ve bitki besin maddesi miktarının artırılması mümkün olacak, böylece daha az kimyasal gübre kullanımıyla tarımsal verimlilik artışı sağlanabilecektir (Çerçioğlu, 2019).

2.2. Sera Koşullarında CO₂ Gazının Rolü

Son yıllarda tarımdaki hızlı değişim neticesinde seralarda birim alandan alınan verim artmıştır. Birim alandaki verimi arttırmak için toprağı iyileştirici uygulamalar, optimum sulama, zararlı ve hastalıklarla mücadelenin yanında, sera içinde bulunan havanın bileşimlerinin değiştirilmesi gibi uygulamalar yapılmaktadır. Karbondioksit,

fotosentezin temel girdilerinden biri olmasına rağmen, güncel atmosferik verilerde CO₂ oranı yalnızca 420–430 ppm (0,042–0,043 %) olarak görülmektedir (NOAA, 2025). Bunun yanında kuru havadaki diğer başlıca bileşenler yaklaşık olarak % 78,08 azot, % 20,95 oksijen ve % 0,93 argondur; karbon dioksit bu karışıma yalnızca 0,0314 % civarında katkıda bulunmaktadır (U.S. Geological Survey, n.d.). Birçok araştırmalarda özellikle, kış aylarında seraların içindeki CO₂ konsantrasyonu, dışarıdaki havaya kıyasla, daima çok daha düşük bir değerler içerisinde olduğu belirtilmektedir (Ay ve ark., 2010).

Atmosferde yaklaşık % 0,043 oranında (yaklaşık 430 ppm) bulunan karbondioksit, fotosentez için gerekli temel bileşenlerden biridir. Ancak kapalı sera ortamında bu oranın hızla azalması, fotosentetik aktivitenin ve dolayısıyla bitki veriminin düşmesinde önemli bir sınırlayıcı faktör haline gelebilmektedir. Bu nedenle, seracılıkta CO₂ üzerine yapılan araştırmalar önemli bir yere sahiptir. Gece boyunca bitkilerin solunum yapması sonucu sera havasında CO₂ miktarı artarken, güneşin doğmasıyla birlikte fotosentezin başlaması CO₂ seviyesinin azalmasına neden olmaktadır. Sera havasında CO₂ seviyesinin düşmesi, bitkilerin fotosentezini sınırlayan bir faktör haline gelmektedir. Verim kaybını önlemek amacıyla bitkilerin ihtiyaç duyduğu CO₂'nin çeşitli yöntemlerle yapay olarak sağlanması "CO₂ gübrelemesi" olarak adlandırılmaktadır. Araştırmalar CO₂ gübrelemesinin verimi artırdığını göstermesine rağmen, bu uygulama seracılar tarafından ancak 1960'lı yıllarda, yaklaşık 100 yıl sonra hayata geçirilebilmiştir (Sevgican, 1989). CO₂ gübrelemesinin etkisi, sebze türleri arasında hatta aynı türün farklı çeşitlerinde bile değişkenlik göstermektedir. Uygun yetiştirme koşullarında bazı sebzelerde CO₂ düzeyinin iki katına çıkarılması, verimde % 20-30 oranında artış sağlayabilmektedir (Wolfe, 1994). Kırmızı pancar, havuç ve soğan üzerinde yapılan bir araştırmada, CO₂ seviyesinin yaklaşık % 25 oranında artırılması ve sıcaklığın 0,7-1,1°C yükselmesi durumunda taze ürün ağırlığında sırasıyla % +19, % +9 ve % +13 artış olacağı belirtilmiştir (Wurr ve ark., 1998). Yüksek CO₂ seviyesinin doğrudan etkilerinden biri, stomaların kısmen kapanarak transpirasyonun azalmasıdır. CO₂ uygulaması iki katına çıkarıldığında (patates ve fasulye) normal gelişme sıcaklıklarında ürün artışı gözlenmiştir. Ancak sıcaklık yükseldiğinde, CO₂'nin verimi artırıcı etkisi belirgin şekilde görülmemiştir (Peet ve Wolfe, 2000). CO₂, bitkinin yapacağı fotosentez miktarını ayarlama en önemli girdilerdendir. CO₂ artıkça fotosentez belli bir miktara kadar artarak sonra sabit kalmaktadır. Yapılan bir çalışmada mısır bitkisinde CO₂ gazı seviyesi 330 ppm iken verim 1542 kg/ha, CO₂ gazı miktarı 495 ppm iken verim 2460 kg/ha, 600 ppm düzeyinde ise 3140 kg/ha'a yükseldiği tespit edilmektedir (Oktay ve Demirtaş, 2007).

Sera içerisinde en kolay CO₂ gübrelemesi organik gübre kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Organik gübrenin sera toprağında parçalanması ile ortaya çıkan CO₂ sera havasının CO₂ oranını yükseltmektedir. Bundan başka CO₂ arttırılması maliyeti yüksek yöntemlerdir. Sera içinde bütan, propan gazı, parafin veya yağ yakılması ile serada CO₂ gazının oranı arttırılırsa da bunların ürünlerin yakılması sonucunda ortaya çıkan kükürt gazı, zararlı gazlar ve yakma sonucu yüksek sıcaklık oluşması bitkilere zarar verebilmektedir. CO₂ gübrelemesi çalışmalarının başarılı olması için ayrıca sera içi sıcaklık derecesi ve seranın ışıklanma yoğunluklarının da uygun koşullarda olması gerekmektedir (Sevgican, 1989).

Bitkiler hayatsal faaliyetlerini sürdürmek ve yapısındaki kuru madde miktarını arttırmak için CO₂ kullanarak fotosentez yapmaktadır. Bitkiler gün içerisinde fotosentez ile birlikte sera içindeki CO₂ miktarını azaltmaktadır. Üreticiler azalan CO₂ değerini atmosfer değerine getirmek için havalandırma yapmak zorunda kalmaktadır. Fakat havalandırmanın yapılamayacağı durumlarda bitki bu durumdan kötü bir şekilde etkilenebilmektedir. Seralara havalandırma yapılmadan dışarıdan CO₂ ilavesi yaparak fotosentez hızını artırmak ve dolayısıyla birim alandan alınan verimi artırmak mümkün olmaktadır (Wolfe, 1994).

Sera ürünleri üzerine yapılan birçok uygulamalı araştırma, bitki gelişimini etkileyen çevresel koşullara odaklanmaktadır. Su, ışık, sıcaklık ve besin maddeleri gibi faktörler, optimum yetiştirme ortamının sağlanmasında daha kolay kontrol edilebilmektedir. Karbondioksit ise bitki yetişmesinde doğanın fotosentez sürecine katkıda bulunan önemli bir bileşendir. Böylece bitkiler, ışık enerjisinin yardımıyla karbondioksit ve suyu birleştirerek şeker üretimini gerçekleştirmektedir. Bu şekerlerin bir kısmı daha karmaşık bileşiklere dönüşerek bitkinin olgunlaşması için gerekli olan büyüme maddelerinin oluşmasını sağlamaktadır. Ancak CO₂ beslemesi kesildiğinde veya azaldığında, bitkilerin karmaşık hücre yapısı güneş enerjisinden tam olarak faydalanamaz ve bu durum bitkinin büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Güneş 1995).

Bitki yetiştirilen ortamdaki CO₂ miktarının arttırılması, bitkinin yapraklarında depolanan fazla suyu ve enerjiyi kullanmasını sağlayarak büyümenin ciddi bir şekilde artmasına neden olmaktadır. Dış ortamlardaki CO₂ seviyesi ortalama 300-600 ppm'dir. Ancak bitkiler bundan daha fazlasını kullanabilir niteliktedir. Bitki yetiştirilen bir ortamdaki CO₂ miktarı 800-1500 ppm'ye yükseltilebilir. Bu dış ortamlarda karşımıza çıkan miktarın 3 ila 6 katı büyüklüğünde bir sonuç vermektedir. Sonuçta ortamda

karbondioksit miktarı arttırıldığında bitkiler daha hızlı ve daha fazla büyüme göstermektedir. CO₂ miktarı arttırıldığında, bitkilerin büyüme hızı % 100-200 kadar yüksek değerlerde saptanmaktadır. Bitkilerin genetik yapıları CO₂ gübrelemesine karşı farklı tepkiler göstermektedirler. Bütün bitkilerde bu yönde yapılan çalışmalarda varyeteler arasında farklılıklar olmakla birlikte, bitkilerde ortalama verim artışı % 50-55 dolayında olmaktadır (Oktay ve Demirtaş, 2007).

2.3. Domates Yetiştiriciliğinde Çevresel Faktörler

Seralarda yetiştiricilik sırasında üretim performansına etki yapan en önemli faktörler; sıcaklık, ışık ve havadaki CO₂ miktarının yoğunluğu gibi parametrelerinin optimum olmasına bağlıdır.

Domates yetiştiriciliğinde bitki gelişiminin farklı dönemlerinde sıcaklık istekleri de farklı olmaktadır. Domateste polenlerin çimlenmesi ve döllemenin olması için en uygun sıcaklık 18-21°C'dir. 10°C'nin altında ve 38°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda polenin çimlenmesi dolayısı ile döllemenin gerçekleşmesi güçleşmektedir (Şeniz, 1992). Çeşitlere göre değişmekle birlikte döllemenmeden yaklaşık 35-60 gün sonra meyve hasat olgunluğuna gelmektedir. Meyvelerin olgunlaşması için en uygun sıcaklık 20-24 °C'dir (Rubatzky ve Yamaguchi, 1997). Fidelerin dikiminden sonra bitkilerin en iyi gelişimi gösterebilmesi için, uygun ışıklandırma koşullarında, gündüz 17-26°C, gece 11-18°C sıcaklıklarda yetiştirilmeleri gerekmektedir (Sevgican, 1989).

Domates yetiştiriciliğinde seralardaki oransal nemin % 50-60 arasında tutulması ve günlük sapmalar dikkate alınırsa % 50-80 arasında olması yeterli görülmektedir (Sevgican, 1989). Sera içi nemi istenilen düzeylerde tutulursa, bitkilerin transpirasyonları düzenli olmakta ve polenler daha düzenli çimlenebilmektedirler (Sevgican 1989).

Domates yetiştiriciliğinde ışık, bitki gelişiminin tüm evrelerinde belirleyici bir çevresel faktör olarak öne çıkmaktadır. Özellikle tohumların çimlenmesi, tomurcukların açılması ve vejetatif aksamın (gövde, yaprak, dal vb.) sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi için uygun ışık koşullarının sağlanması gerekmektedir (Bayhan ve ark., 2019). Bitkilerin yaşam döngüsü boyunca fotosentez gerçekleştirebilmeleri, vejetasyon döneminde yeterli düzeyde güneş ışığı almasına bağlıdır. Işık, diğer sınırlayıcı faktörlerin (su, sıcaklık, besin elementi vb.) optimum seviyede olması durumunda, belirli bir noktaya kadar fotosentez hızını artırabilmektedir. Ancak ışığın azlığı kadar aşırı miktarda olması da bitki fizyolojisi üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Aşırı ışık, fotoinhibisyon gibi zararlı durumlara neden olurken; yetersiz ışık ise büyüme geriliği ve klorofil üretiminde azalma

gibi problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle, her bitki türü için belirlenmiş olan optimum ışık gereksinimleri dikkate alınarak yetiştiricilik planlaması yapılmalıdır (Avcı, 2019).

Domates bitkisi yetiştiriciliğinde ışık, sıcaklık ve nem; fotosentez, çiçeklenme ve meyve gelişimi gibi temel fizyolojik süreçleri doğrudan etkileyen en kritik çevresel faktörlerdir. Optimum ışık yoğunluğu, 20–25 °C sıcaklık aralığı ve % 60–70 bağıl nem oranı, domatesin sağlıklı büyümesi ve yüksek verim için ideal koşulları oluşturmaktadır.



3. YÖNTEM

Çalışma, Antalya ili Alanya ilçesinde bulunan Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Kestel kampüsü alanında mevcut 36 m² taban alanına sahip, 3 serada genişliği 3 m, uzunluğu 12 m, yan duvar yükseklik 2 m ve mahya yüksekliği 2,8 m olup yay çatılı plastik seralar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seraların kampüs içerisindeki konumuna ait görsel Şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Seraların kampüs içerisindeki konumları

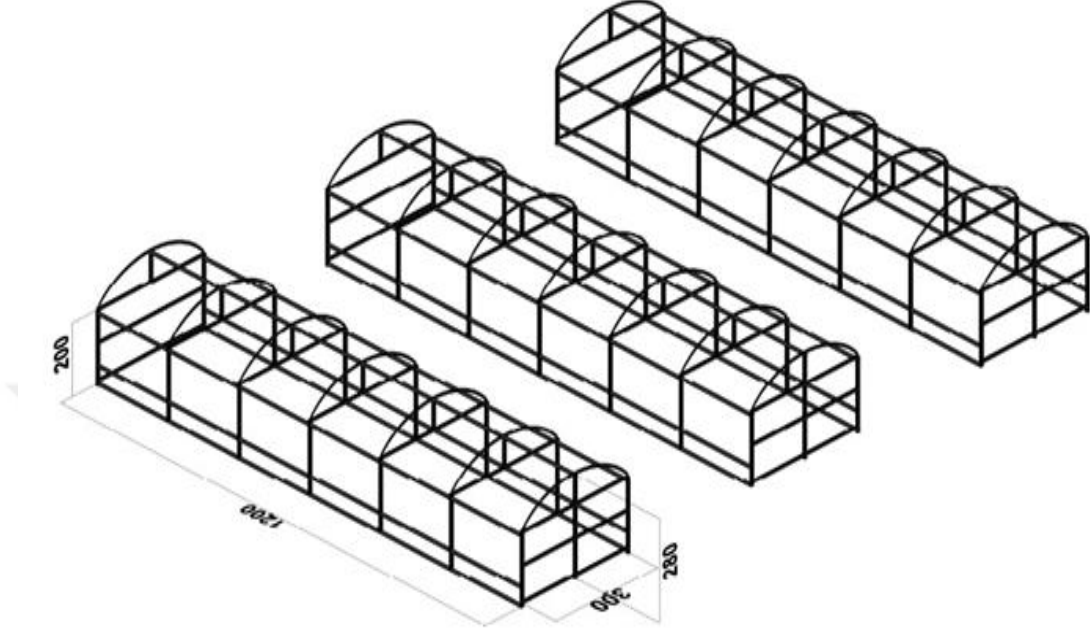
3.1. Alanya İlçesi İklim Özellikleri

Türkiye’nin güneyinde bulunan Akdeniz Bölgesinde yer alan Antalya ili Alanya ilçesinde; genel olarak yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Akdeniz iklimi gözlemlenen bölgede kış ayları daha ılıman geçmektedir. Alanya ilçenin yıllık ortalama sıcaklığı 23°C dolaylarındadır. Yılın en sıcak ayı ortalama sıcaklık 33°C ile Temmuz ayı olmaktadır. En soğuk ayı ise ortalama sıcaklığı 12°C ile Ocak ayı olarak belirtilmektedir. En yüksek ortalama yağış değerleri Aralık ayında, en düşük yağış değerleri ise Ağustos ayı olarak ölçülmüştür. Alanya’nın yıllık yağış ortalaması 900 mm’nin üzerindedir. Bu iklim özellikleri ile çalışmanın gerçekleşeceği kış periyodunda domates bitkisinin sera ortamında yetiştirilmesi uygundur.

Akdeniz Alanya ilçesinde çalışma reaktörünün çalışma performansının etkilendiği düşük sıcaklıklarda bulunmamaktadır. Düşük sıcaklıklar kompost reaktöründeki reaksiyon fazla etkilenmemektedir. Hava sıcaklıklarının en yüksek olduğu saatlerde çalışmaların yürütülmesi uygun görülmüştür. Çalışmanın son aylarında sıcaklıkların artması ile CO₂ gazı çıkış oranında yükselmeler büyük bir fark yaratmamıştır.

3.2. Çalışma Seralarının Fiziksel Özellikleri

Seraların AutoCAD çizimleri Şekil 3.2’de yer almaktadır. Seraların çizimler sonrasında tasarlanan güncel görselleri de Şekil 3.3’te yer almaktadır.



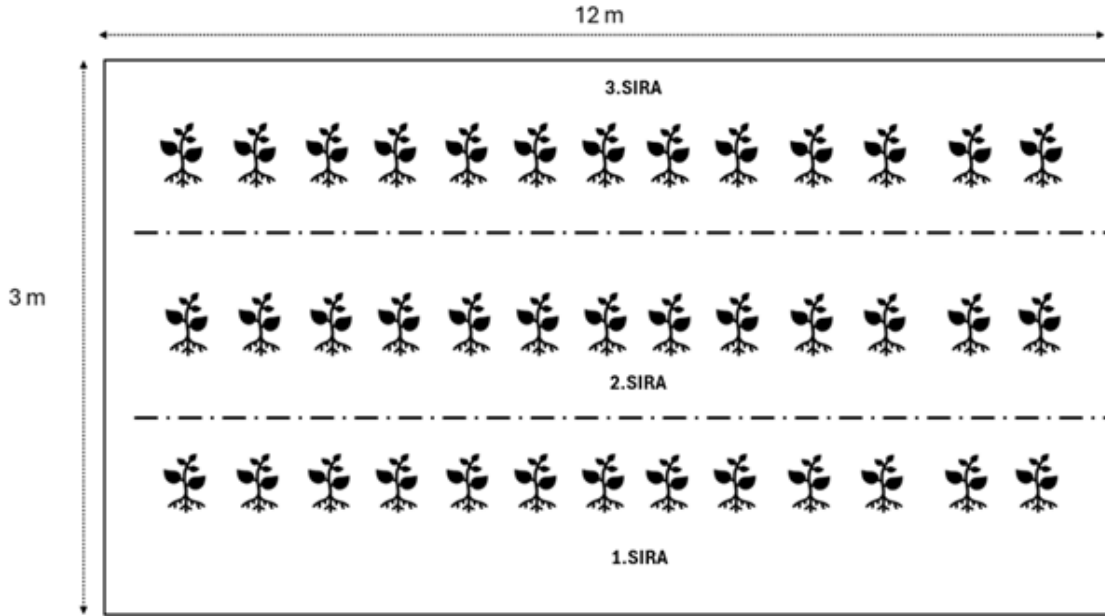
Şekil 3.2. Çalışma seralarının AutoCAD çizimli modellemeleri



Şekil 3.3. Çalışma seralarının görünümü

3.3. Çalışma Seralarının Ortamı ve Biyolojik Materyal

Çalışma seralarının her birine 3'er şerit sıra halinde domates fidesi dikilmiştir. Her sırada 13 adet domates fidesi dikimi gerçekleştirilmiştir. Her bir serada toplam 39 domates fidesi yer almaktadır. Sera içi sıra dizilimi görseli Şekil 3.4'te yer almaktadır.

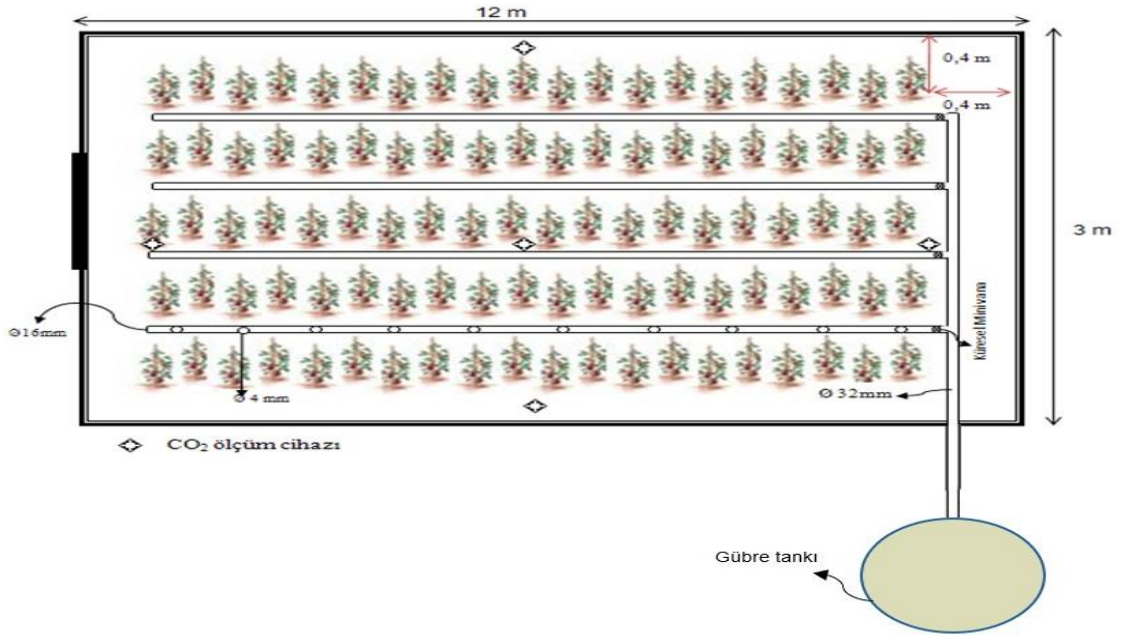


Şekil 3.4. Sera içinde fide dizilim görseli ve sıralama

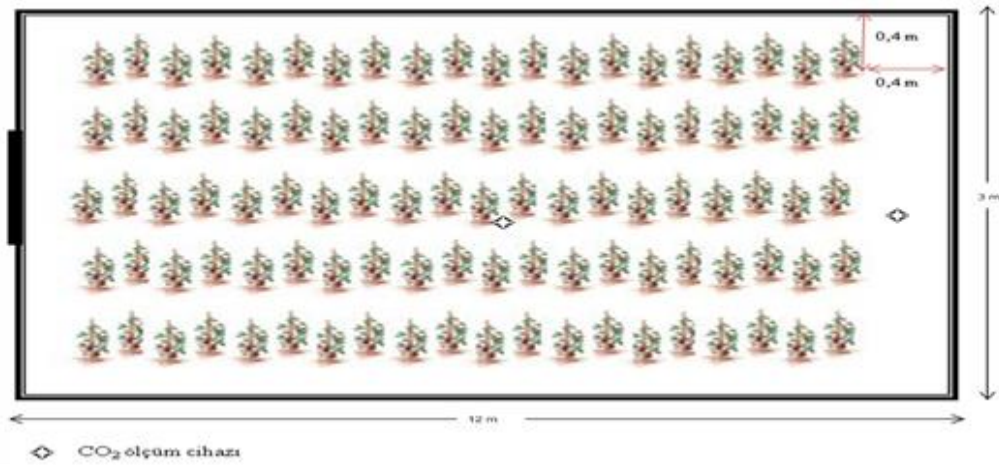
3.4. Sera ve Kompost Tanklarının Kurulumu

Çalışmada 3 adet eşit özelliklere sahip seralar kullanılmıştır. Bu seralar; CO₂ gazı temin edilen Sera 1 ve Sera 2, gaz verilmeyen kontrol serası Sera 3'tür. Seraların havalandırma yüzeylerinde CO₂ sızdırmazlığı sağlamak için sık sık kontrol edilerek ve ayrıca bu alanlara özellikle havalandırma ve bağlantı yerlerinde meydana gelebilecek açıklıklar dolgu maddeleriyle kapatılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Sera 3'teki ölçümler kontrol amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Sera 3'e herhangi bir işlem uygulanmayarak sadece kontrol ölçümleri yapılarak doğal şartlardaki CO₂ miktarının ve bitki gelişiminin diğer seraların ortalaması ile kıyaslaması yapılmıştır. Çalışma seralarına ve kompost tanklarına ait görseller Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.5. Çalışma seralarının üstten genel görünümü (Sera 1 ve Sera 2)



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan kontrol serasının (Sera 3) üstten genel görünümü

3.5. Toprak Hazırlığı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi bünyesinde bulunan Biyosistem Mühendisliği Seraları tez çalışması kapsamında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. 3 adet eşit büyüklükteki seraların toprak yapısı bir önceki proje izlerinden ve yabancı otlardan arındırılmak üzere temizlenmiştir. Toprak havalandırma işlemleri yapılarak toprağın humuslu yapısı tekrar kazandırılmıştır. Şekil 3.7’de yer alan görsellerde toprağın havalandırılması sırasında uygulanan işlemler yer almaktadır.



Şekil 3.7. Sera topraklarının havalandırılma ve temizlenme işlemleri

Seraların revize işlemi için çift katlı plastik malzeme kullanılarak sera kenarları ve kapı örtüleri çalışmanın yürütülmesinde sağlanması gereken sızdırmazlığın korunması için yenilenmiştir. Seraların örtü malzemesinin hasar gördüğü alanlar tespit edilerek yeni malzeme ile değiştirilmiştir. Özellikle sera yan kenarlıklar çeşitli sebepler ile deforme olmuştur. Buralar sökülerek yenilenmiştir. Sera perdelerinin alt kenarları toprak ile gömülerek sızdırmazlık sağlanmıştır. Seraların revize işlemlerine ait diğer görseller ise Şekil 3.8’de yer almaktadır.



Şekil 3.8. Sera örtü malzemelerinin yenilenme işlemleri

3.6. Sulama, Gübreleme ve Fide Dikimi

Seralarda sulama yöntemi olarak damla sulama (4 L h^{-1}) uygulanmıştır ve seralara döşenen damla sulama boruları ile domates bitkilerinin ihtiyaç duyduğu su ve sıvı gübre kök bölgesine fertigasyon olarak uygulanmıştır. Sulama hatlarında damlatıcı aralıkları 40 cm olarak belirlenmiştir. Her serada 3 hat olacak şekilde konumlandırılma yapılmıştır. Seralarda sulama sisteminin yerleştirilmesine ait görsel Şekil 3.9’da yer almaktadır.



Şekil 3.9. Sulama sistemine ait hatların sera içerisinde konumlandırılması

Domates fidelerinin 3 şerit olarak dikimi gerçekleştirilmiştir. Seralarda ekim işlemi eş zamanlı uygulanarak eşit şartlar her serada sağlanmıştır. Çalışma seralarına henüz CO_2 gazı verilmeden fidelerin büyümesi sağlanmıştır. Domates fidelerinin hastalık kapması veya büyüme şartlarının etkilenmesi durumlarında çalışmanın aksamaması için kimyasal kullanımı uygulanarak çalışma sürecinin etkilenmesinin önüne geçmek hedeflenmiştir. Bu durum dışında herhangi bir pestisit uygulanmamıştır.

Seralarda domates fidesi ve dikim sürecine dair görseller Şekil 3.10’da ve Şekil 3.11’de yer almaktadır.



Şekil 3.10. Seralarda dikimi yapılan domates fideleri



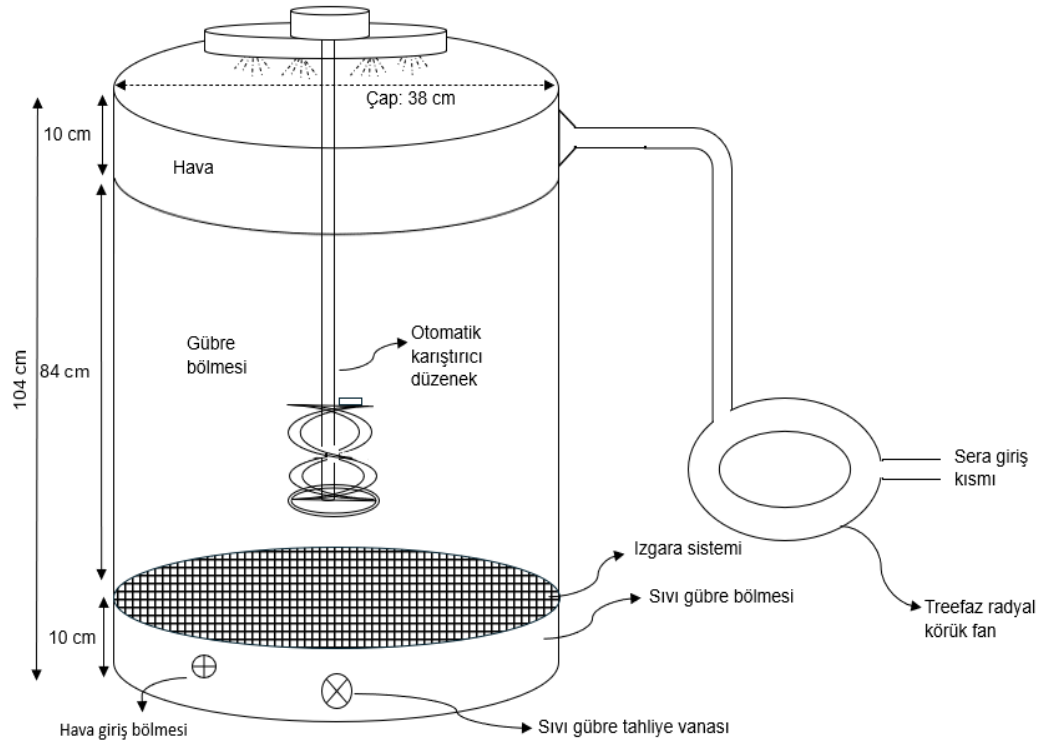
Şekil 3.11. Seralarda domates fideleri ve sulama sistemi ile orantılı olarak dikimi

3.7. Kompost Tanklarının Hazırlanması

Çalışmada hazırlanan kompost reçetesinin ana maddesi olarak büyükbaş hayvan gübresi kullanılmıştır. Hayvancılık işletmelerinden temin edilen gübre fazla nemden uzaklaştırma işleminden sonra dizayn edilen tanklara alınmıştır. Hayvanlardan çıkan ve nem içeriği oldukça yüksek olan gübrenin ilk önce neminin belli bir oranda uçurulması, diğer bir ifadeyle nem oranının düşürülmesi ve sonrasında bu gübrenin sürekli olarak karıştırılarak bol oksijenli ortamda reaksiyona girmesi sağlanarak parçalanması ve olgunlaşmasının kısa bir sürede tamamlanması ile organik gübre oluşumu gerçekleştirilmektedir (Taban, 2012). Çalışmada her iki kompost tankı için toplamda 1 m³ büyükbaş hayvan gübresi kullanılmıştır. Ancak çalışmada kullanılan otomatik karıştırıcının gücünün yetersiz kalması sonucunda gübre hacmi azaltılmıştır. Karıştırma işleminin homojen olması CO₂ gazının verimini önemli ölçüde etkilemektedir.

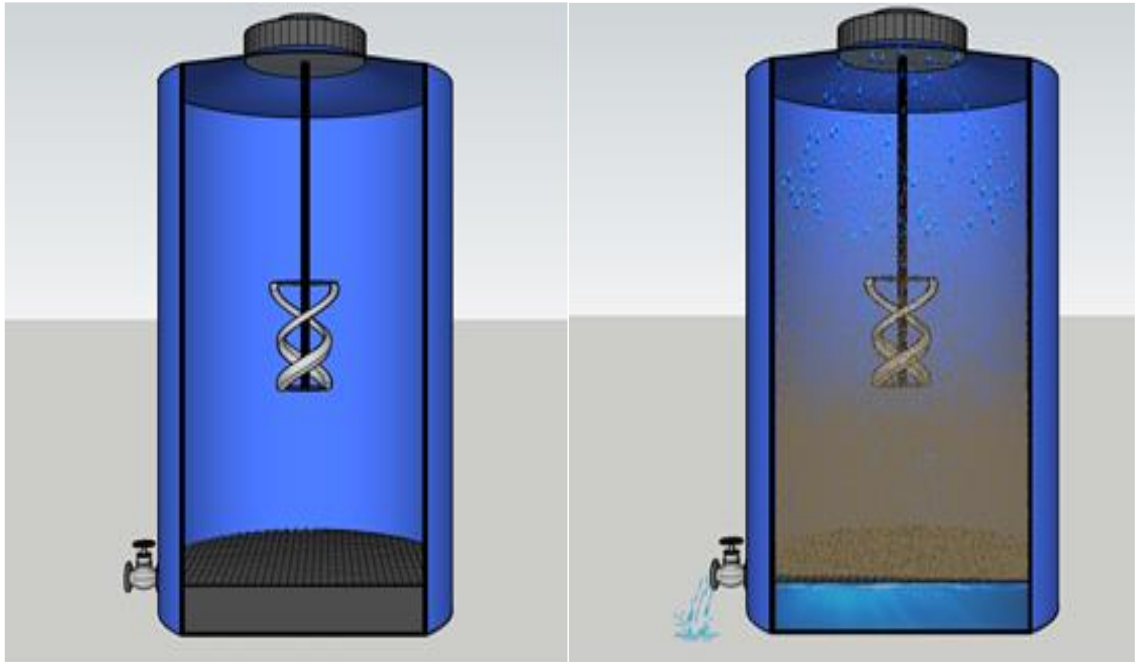
Sözer ve Yıldız (2011)'e göre, en fazla metan gazı oluşumu % 70 sığır gübresi ve % 30 muz atığı karışımından elde edilmektedir. Bu kapsamda çalışmada kullanılan kompost içeriğinde % 30 oranında muz atığının kullanılmıştır. Kompost reaktör içindeki karışım şu şekildedir. Gübrenin porozitesini artırmak için ise hayvansal gübre içerisine gübre hacminin % 30 oranında saman, azot bakımından zengin bir gübre elde etmek için % 5 oranında domates atığı, C/N dengesini sağlamak ve bitkinin tuz dengesini sağlamak için % 5 tavuk gübresi kullanılmıştır (Bu karışım % 70'lik hayvan gübresi içinde yer almıştır). Hayvansal gübreler tankın içerisine üst ve alt kısmında 10 cm boşluk kalacak şekilde konulmuştur. Tank içerisinde havanın homojen şekilde dolaşması için üst kısımda 10 cm lik bir boşluk bırakılmıştır. CO₂ gübrelemesi amacıyla sera içerisine aktarılabilecek CO₂ gazının sera içerisindeki havaya aktarım yüksekliği domates bitkisinin gelişimine bağlı olarak değiştirilmiştir. Bu amaçla sera içerisine CO₂ gaz çıkışı sağlayan boruların yerden yüksekliğini ayarlayabilmek için askılıklar yapılmıştır. Üretime başlandığında CO₂ gaz çıkış seviyesi toprak yüzeyinden fide yüksekliği seviyesinde olduğu için CO₂ gazı sera içerisine fidelerin 1 aylık gelişiminden sonra verilmiştir. Gübre tankından alınan CO₂ gazı Ø 32'lük sert PE borularla seraya iletilerek sera içerisine CO₂ gönderimine ise sabah saatlerinde güneşin doğmasından sonra başlanmıştır.

Çalışmalar saat 11:00 ve 13:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 10 dakika kompresör ile sera içine gaz çekimi 5 dakika kompresörü dinlendirme süresi belirlenmiş ve uygulanmıştır. Toplamda 1 gün için 5 çalışma yapılmıştır. Kompost tanklarının çalışma öncesi hazırlanan tasarımı Şekil 3.12'de yer almaktadır.



Şekil 3.12. Çalışmada gübrenin konulacağı aerobik tank boyutları

Çalışmada kullanılacak kompost tanklarının çalışma öncesi hazırlanan içi dolu ve boş tasarımı Şekil 3.13'te yer almaktadır. Çalışmalarda kullanılan ve dizayn edilen kompost tanklarının güncel görselleri Şekil 3.14'te ve içi kompost gübresi ile dolu görsellerde Şekil 3.15'te yer almaktadır.



Şekil 3.13. Çalışmada gübrenin konulacağı aerobik tankların gübre dolu ve boş görünümü



Şekil 3.14. Kompost tanklarının sera 1 ve sera 2'nin arka tarafında konumlandırılması



Şekil 3.15. Kompost tanklarında kompost uygulamasının hazırlanışı ve sulama işlemi

Araştırmanın yapılacağı aerobik tanklar helezonik tipi karıştırıcılar ile karıştırılmıştır. Kompost uygulamasının hazırlanma aşamasında kürek yardımı ile materyaller karıştırılmıştır. Domates atıklarının gübre ile etkileşimi sağlandıktan sonra mikserler ile her iki kompost tankının karışı gerçekleştirilmiştir. Haftada bir kez mikserler

kullanılarak karıştırma işlemi uygulanmıştır. Çalışma için temin edilen 230 Volt, 1400 watt, yüksek tork ve yüksek için 2 vitesli şanzıman mikser karıştırıcıya helezonik başlığa dair görseller Şekil 3.16’da yer almaktadır. Seralarda çalışmaların gerçekleştiği günlerde kompost üzerinde oluşan tabakanın CO₂ gazı çıkışına engel olmaması için çalışmaların sonunda tanklar kürek yardımı ile karıştırıldıktan sonra vanalar ve hava giriş çıkış hatları kapatılmıştır. Tanklara ürün girişi tank üst kapaklarından yapılmıştır.



Şekil 3.16. Kompost tanklarını karıştırmada kullanılan otomatik karıştırıcı mikser ve helezonik başlığı

3.8. Kompost Tanklarından CO₂ Gazının Çekilmesi ve Seralara İletilmesi

Tanklar Sera 1 ve Sera 2 için 2 adet olarak aynı materyaller ile hazırlanmıştır. Tankların kapak kısmına hava kanalı eklenerek kompresör ile tank içerisindeki CO₂ gazının seralara verilmesi sırasında tankların içe çökmesi engellenmiştir. Bu hava kanalları sera bandı ile kapalı tutularak yalnızca çalışma aşamasında açık tutulmuştur.

Kompost tanklarının sera tarafına bakan kısımlarında 2 adet vana bulunmaktadır. Bu vanalardan tank altında bulunan tank içerisinde kompost gübre içeriğinde bulunan fazla suyun tahliyesi için kullanılmıştır. Üstteki vana ise sera içine ulaşan iletim hattı ile tankı birbirine bağlamaktadır. Çalışma öncesinde vana açılarak tankta biriken CO₂ gazının kompresöre ulaşması sağlanmıştır. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17. Kompost tanklarının tahliye ve gaz çıkışı vanasına ait görsel

Domates boylarının uzaması ile dağıtım hatları 2. kademeye alınarak yükseltilmiştir. (Şekil 3.18)



Şekil 3.18. Dağıtım hatları a) İlk aşamadaki dağıtım hatları, b) 2.kademedeki dağıtım hatları

3.9. Kompost Tanklarının Karıştırılması ve Yenilenmesi

Sera 1 ve Sera 2'ye CO₂ gazı teminini sağlayan kompost tankları, belirlenen reçeteye uygun olarak 3 kere yenilenmiştir. Bu yenilemeler seralara iletilen gazın azalması ve tanklarda birikim olmaması sonucunda kararlaştırılmıştır. Su oranı kompost gübrenin ne çok kuru ne de çok sıvı formda olmaması için deneme yöntemi ile takviye edilmiştir. Fazla su ise tankların altına monte edilen sıvı gübre çıkış kanalından tahliye edilmiştir. Tankların karıştırma işlemleri haftada 1 olarak belirlenmiştir. Çalışmada temin edilen otomatik helezonik karıştırıcı mikserler ile tanklardaki kompost gübre homojen

olarak karıştırılmıştır. Her çalışma sonrasında ise kompost gübre kürek yardımı ile alt üst karıştırılarak bir sonraki gün yapılacak çalışma için hazır hale getirilmiştir. Bu işlem ile durağan haldeki kompost gübre üzerinde oluşan kuru tabaka önlenmiştir. Çalışmanın belli günlerde uygulanmaması bu gözlemin yapılmasını sağlamıştır. Bu tabakanın oluştuğu zamanlarda CO₂ gazının azaldığı da tespit edilmiştir. Bu sebeple sık sık kürek yardımı ile bu durumun önüne geçilmiştir. Çalışma sonrası karıştırma işleminden sonra tank kapakları klips yardımı ile kapatılmış ve sızdırmazlık sağlanmıştır. Hava kanalları da sera bandı yardımı ile kapatılarak hava giriş çıkış kanalları sadece çalışmalarda açık tutulmuştur. Otomatik karıştırıcı ile karıştırma işlemine ait görseller Şekil 3.19’da yer almaktadır.



Şekil 3.19. Otomatik karıştırıcı ile kompost tanklarının karıştırılması

3.10. Seralarda CO₂ Düzeyinin Artırılması ve Cihaz Çalışma Prensibi

Çalışmanın asıl amacı olan CO₂ gazının seralarda normal şartların üzerine çıkartılarak verimin artışının sağlanması, kompost tanklarında hazırlanan gübreden temin edilmiştir. CO₂ ölçer cihazlarının kalibrasyonları yapılarak seralarda konumlandırılmıştır. Kurulan bu sisteme ait görseller Şekil 3.20’de yer almaktadır.



Şekil 3.20. CO₂ gazının sera içinde dağıtım hattı ile dağıtılması

3.11. Toplam Ağırlık Yüzdeleri

Hasat sonucunda elde edilen meyvelerin toplam ağırlıklarının verim sonuçları denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\% \Delta = \left(\frac{V_{\text{karşılaştırılan}} - V_{\text{referans}}}{V_{\text{referans}}} \right) * 100 \quad (3.1)$$

%Δ: Yüzdesel fark (%)

$V_{\text{karşılaştırılan}}$: Karşılaştırmaya konu olan uygulama grubunun değeri

V_{referans} : Temel alınan ya da kontrol grubunu temsil eden verim değeri

3.12. Yüzde Artış Hesabı (Görelî Artış)

CO₂ etkisi farkının, kontrol serasındaki artışa göre yüzdelik artışı denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır. Bu bize CO₂ gazının ortalama bitki çapı ve yüksekliğine katkısını oransal olarak vermektedir.

$$\text{Yüzde Artış} = (\text{Fark} / \text{Sera 3 Değeri}) * 100 \quad (3.2)$$

3.13. İstatistiksel Değerlendirme Yöntemi

Seralar arasındaki farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA testi, üç veya daha fazla grubun ortalamaları arasında genel bir fark olup olmadığını gösterirken, hangi gruplar arasında fark olduğunu belirtmez. ANOVA'dan anlamlı sonuç elde edilmesi durumunda, spesifik farklılıkları belirlemek için Tukey HSD post-hoc testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR

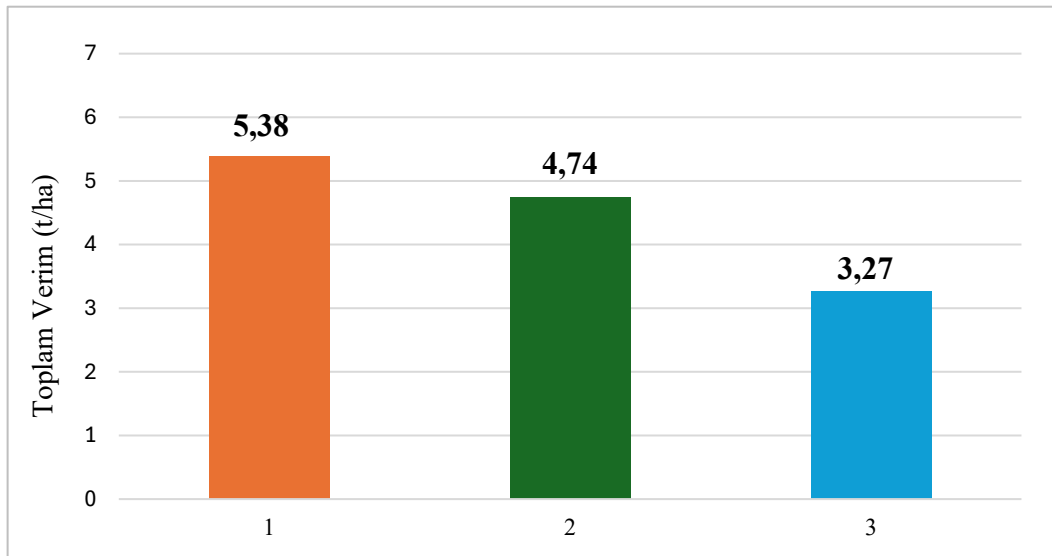
Çalışma 3 adet eşit özelliklere sahip seralarda gerçekleştirilmiştir. Seraların isimlendirilmesi Sera 1, Sera 2 ve Sera 3 olarak belirlenmiştir. Sera 1 ve Sera 2, kompost gübre vasıtası ile elde edilen CO₂ gazı ile gübrelenen seralardır. Sera 3 ise çalışma sonucunda kıyaslama yapılacak olan gaz ile gübrelenmeyen kontrol serasıdır.

4.1. Meyve Verimi

Gelişim aşamalarını tamamlayan domates bitkileri 11.02.2025 tarihinde hasat edilmeye başlanmış ve 14.04.2025 tarihinde son hasat yapılmıştır. Çalışma sürecinde 7 kez hasat yapılmıştır. (Tablo 4.1). Şekil 4.1’de genel toplam verilerin bar diyagramındaki sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Seralardaki hasat tarihine göre toplam ağırlık değerleri

Hasat No	Tarih	Sera 1 (t/ha)	Sera 2 (t/ha)	Sera 3 (t/ha)
1	11.02.2025	0,240	0,098	0,019
2	21.02.2025	0,431	0,219	0,213
3	5.03.2025	0,351	0,189	0,322
4	11.03.2025	0,316	0,430	0,502
5	20.03.2025	0,622	0,827	0,468
6	7.04.2025	1,784	1,563	0,753
7	14.04.2025	1,637	1,418	0,991
Toplam		5,38	4,74	3,27



Şekil 4.1. Seralardaki toplam meyve verimi (t/ha)

Yapılan yedi hasat sonucunda, ton/hektar (t/ha) cinsinden verim değerleri Sera 1 için 5,38 t/ha, Sera 2 için 4,74 t/ha ve kontrol serası olan Sera 3 için 3,27 t/ha olarak hesaplanmıştır. Seralardan elde edilen domates bitkisinin toplam ağırlık verimleri Sera 3 ile kıyaslanarak denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır. Sera 1, kontrol serası olan Sera 3'e göre yaklaşık % 64,63 daha fazla verim sağlamıştır. Sera 2, kontrol serasına göre yaklaşık % 45,15 daha fazla verim sağlamıştır. Bu sonuçlar, CO₂ gazı uygulanan seraların domates üretiminde anlamlı bir verim artışı sağladığını, özellikle de Sera 1'in en yüksek verimi sunduğunu ortaya koymaktadır.

- Sera 1, tüm hasadın yaklaşık % 40,5'ini gerçekleştirmiştir. Bu, en yüksek verimi sağladığını göstermektedir.
- Sera 2, toplamın yaklaşık % 35,7'sine sahiptir. Bu da CO₂ gazı uygulamasının etkili olduğunu, ancak Sera 1 kadar verimli olmadığını göstermektedir.
- Sera 3 (Kontrol Serası) ise sadece yaklaşık % 24,6 oranında kalmıştır. Bu durum, gaz uygulanmayan sera koşullarının üretim verimini belirgin şekilde sınırladığını ortaya koymaktadır.

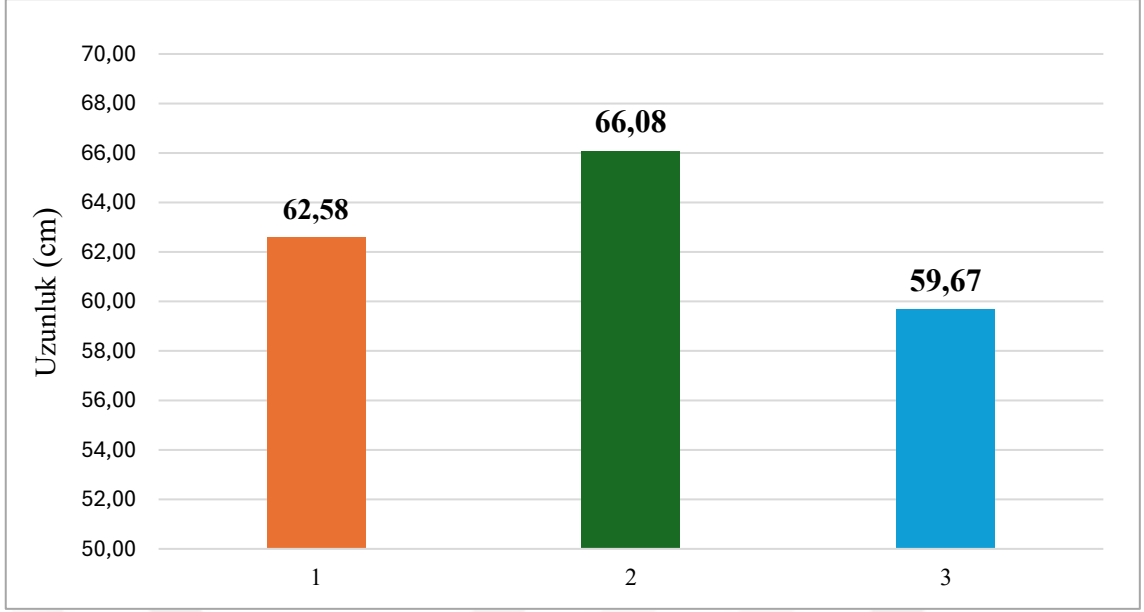
4.2. Bitki Boyu Uzunluğu

CO₂ gazı verilmeden önce ve çalışma sonrası her seradan seçilen 12 bitkiden ölçülen bitki uzunluklarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Çalışma öncesi ve son ölçüm değerleri üzerinden seralar arasındaki kıyaslamalar yapılmıştır (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

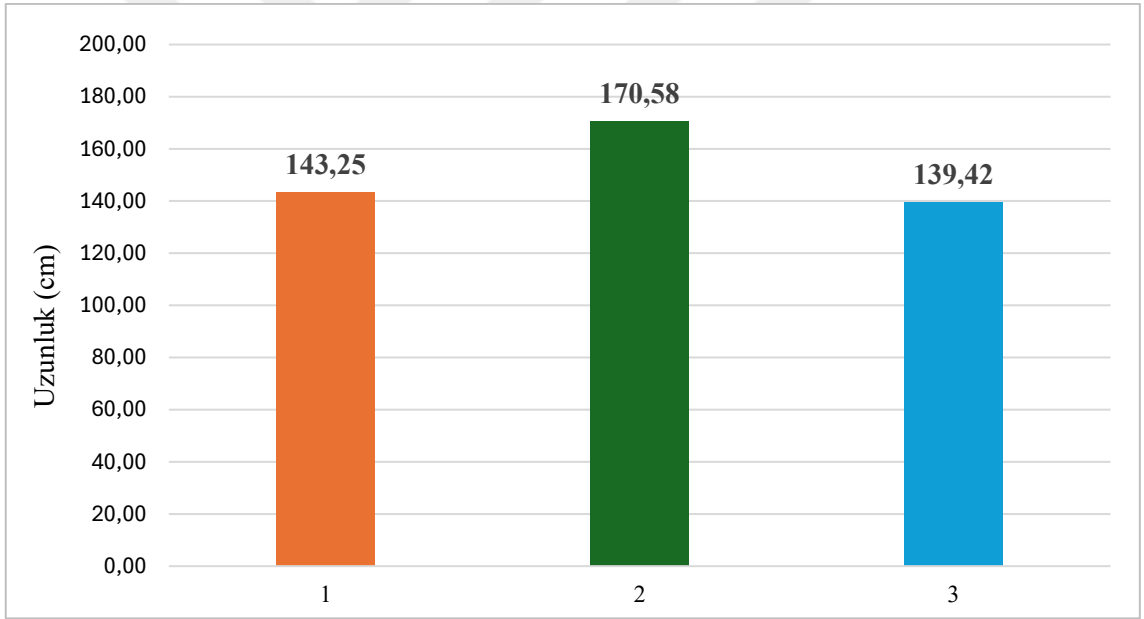
Çalışma sürecinde 1 kez CO₂ gazı öncesi, 5 kez de sonrası olmak üzere toplamda 6 kez uzunluk ölçümü yapılmıştır. Tablo 4.2'de Sera 1, Sera 2 ve Sera 3'ten elde edilen domates bitkisinin, ölçüm tarihine göre uzunluk değerleri ve yapılan 6 ölçüm sonucu yer almaktadır.

Tablo 4.2. Seralarda domates uzunluklarının ortalama değerleri

	Ölçüm No	Tarih	Sera 1 (cm)	Sera 2 (cm)	Sera 3 (cm)
CO ₂ Uygulanmadan Öncesi	1 (Kontrol)	3.01.2025	62,58	66,08	59,67
	1	10.02.2025	86,33	108,50	94,25
	2	24.02.2025	93,08	119,58	96,42
CO ₂ Uygulama Sonrası	3	12.03.2025	106,17	131,50	110,75
	4	24.03.2025	114,67	141,67	122,17
	5	14.04.2025	143,25	170,58	139,42



Şekil 4.2. CO₂ uygulanmadan önce seralarda domates bitki boy uzunluğu ortalama değerleri



Şekil 4.3. CO₂ uygulama sonrası seralarda domates bitki boy uzunluğu ortalama değerleri

Çalışma öncesinde bitki boylarının ortalamaları Sera 1 için 62,58 cm, Sera 2 için 66,08 cm ve kontrol grubu olan Sera 3 için 59,67 cm olarak kaydedilmiştir. Son ölçüm tarihinde bitki boyları Sera 2’de 170,58 cm’ye, Sera 1’de 143,25 cm’ye ve Sera 3’te 139,42 cm’ye ulaşmıştır. CO₂ gazı uygulanan Sera 1 ve Sera 2’deki yükseklik sonuçları kontrol serası olan Sera 3’e göre daha fazla bulunmuştur.

Domates, fotosentez sırasında ilk kararlı ürünü üç karbonlu bir bileşik olan 3-fosfoglisarat (3-PGA) olan ve bu nedenle C₃ bitkisi olarak sınıflandırılan bir türdür. C₃

bitkileri, atmosferik CO₂ konsantrasyonundaki artışa yüksek düzeyde duyarlıdır ve bu artış, genellikle fotosentez oranlarında ve biyokütle üretiminde anlamlı iyileşmelere yol açmaktadır (Kimball, 1983).

Elde edilen bu sonuçlar, atmosferik CO₂ konsantrasyonunun artırılmasının bitki boy gelişimini önemli düzeyde desteklediğini göstermektedir. Nitekim literatürde de C₃ fotosentez yoluna sahip bitkilerde (domates gibi) CO₂ seviyesinin artırılmasının, fotosentez oranlarını ve biyokütleyi anlamlı biçimde yükselttiği belirtilmiştir (Kimball, 1983; Jwa & Walling, 2001). Özellikle 600–1000 ppm düzeyine çıkarılan CO₂ konsantrasyonlarının bitki gelişimini % 20 ila % 40 oranında artırabildiği, verim, yaprak büyüklüğü ve gövde uzaması gibi parametrelerde iyileşme sağladığı bildirilmektedir (Kimball, 1983; Mortensen, 1985). Bu bağlamda, çalışmamızda CO₂ uygulanan Sera 2’de elde edilen ortalama 170,58 cm bitki boyu, bu literatürle tutarlılık göstermekte ve CO₂ gübrelemesinin etkili bir tarımsal uygulama olduğunu desteklemektedir.

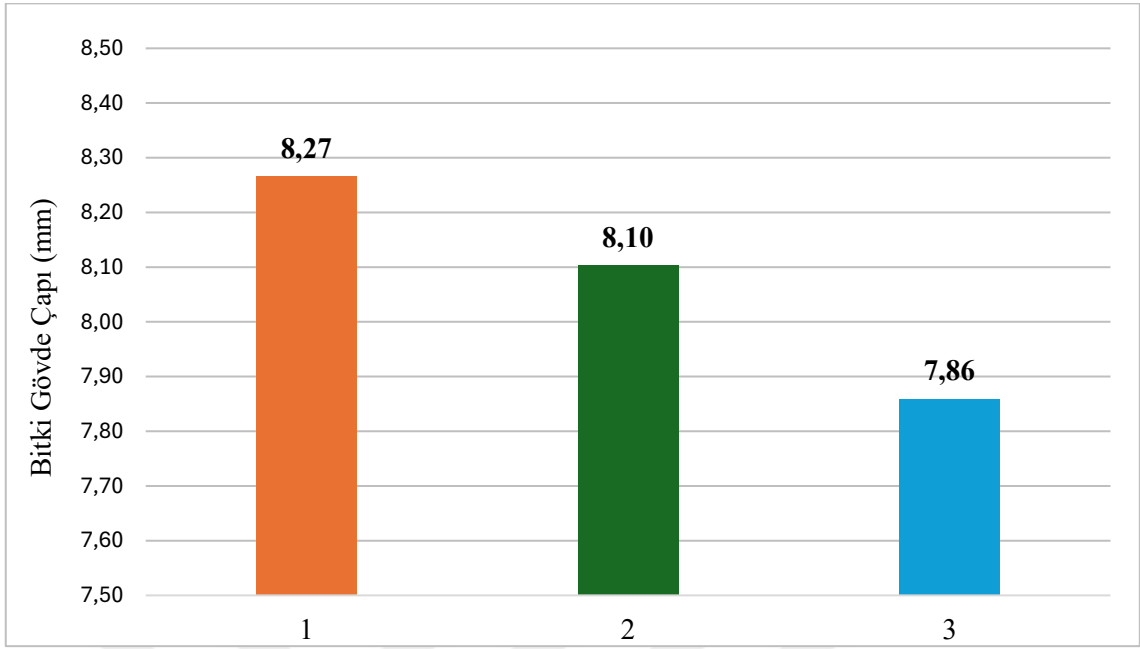
4.3. Bitki Gövde Çapı

CO₂ gazı verilmeden önce ve çalışma sonrası her seradan seçilen 12 bitkiden ölçülen bitki gövde çapları kumpas ile ölçülerek aritmetik ortalaması alınmıştır. Çalışma öncesi ve son ölçüm değerleri üzerinden seralar arasındaki kıyaslamalar yapılmıştır (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).

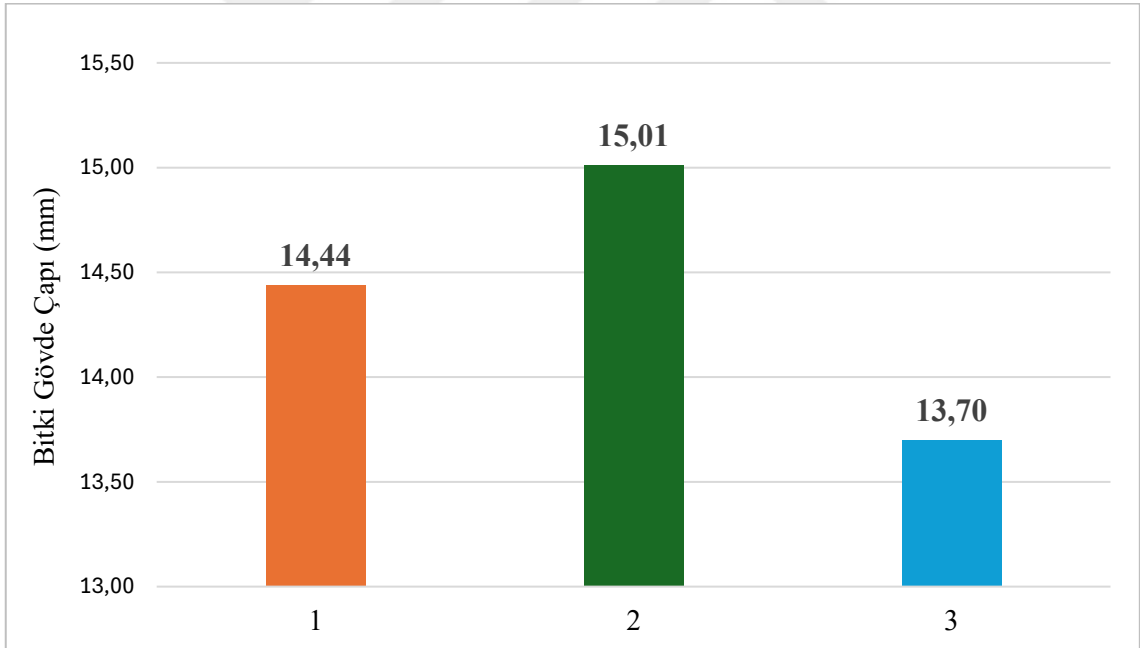
Çalışma sürecinde 1 kez CO₂ gazı öncesi, 5 kez de sonrası olmak üzere toplamda 6 kez bitki gövde çapı ölçümü yapılmıştır. Tablo 4.3’te Sera 1, Sera 2 ve Sera 3’ten elde edilen domates bitkisinin, ölçüm tarihine göre uzunluk değerleri ve yapılan 6 ölçüm sonucu yer almaktadır.

Tablo 4.3. Seralarda domates gövde çapı ortalama değerleri

	Ölçüm No	Tarih	Sera 1 (mm)	Sera 2 (mm)	Sera 3 (mm)
CO ₂ Uygulanmadan Öncesi	1 (Kontrol)	3.01.2025	8,27	8,10	7,86
	1	10.02.2025	8,52	8,66	8,55
	2	24.02.2025	9,41	9,84	8,88
CO ₂ Uygulama	3	12.03.2025	10,66	11,43	10,67
Sonrası	4	24.03.2025	12,17	13,15	12,57
	5	14.04.2025	14,44	15,01	13,70



Şekil 4.4. CO₂ uygulanmadan önce seralarda domates bitki gövde çapı ortalama değerleri



Şekil 4.5. CO₂ uygulama sonrası seralarda domates bitki gövde çapı ortalama değerleri

Çalışma öncesinde bitki gövde çapı ortalamaları Sera 1'de 8,27 mm, Sera 2'de 8,10 mm, kontrol olan Sera 3'te ise 7,86 mm olarak kaydedilmiştir. Uygulama sonrası ölçümlerde ise gövde çapı artışı net olarak görülmüş olup son ölçümlerde Sera 1 14,44 mm'ye , Sera 2 15,01 mm'ye, Sera 3 ise 13,70 mm'ye ulaşmıştır.

Bu sonuçlar, CO₂ zenginleştirmesinin morfolojik gelişimde anlamlı katkı sağladığını göstermektedir. Yao ve ark. (2023) çalışmasında 700–850 ppm CO₂ seviyelerinin domates bitkisinde gövde çapı dahil, bitki gelişim parametrelerini % 25–35 oranında artırdığı vurgulanmıştır. Villagrán ve Espitia (2025) derlemesinde de CO₂ gübrelemesinin sera domateslerinde gövde kalınlığı, bitki dayanıklılığı ve fotosentetik aktiviteyi anlamlı biçimde artırdığını rapor etmiştir.

Sonuç olarak, çalışma bulguları ve literatür verileri birlikte değerlendirildiğinde, sera ortamında uygulanan CO₂ gübrelemesinin domates bitkisinde gövde çapı gelişimini anlamlı düzeyde artırdığı ve bu etkinin özellikle CO₂ yoğunluğu daha yüksek olan seralarda daha belirgin olduğu görülmektedir.

4.4. Sera İçindeki Sıcaklık, Nem ve CO₂ Konsantrasyon Değerleri

Seralara yerleştirilen CO₂ cihazları ile tüm çalışma sürecinde sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve nem değerleri ölçülmüştür. Çiçeklenme, meyve olgunlaşma ve hasat dönemlerinde elde edilen değerlerin ortalamaları Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da sıra ile verilmektedir.

Tablo 4.4. Çiçeklenme döneminde ölçülen ortalama sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve nem değerleri

Sera Tipi	Sıcaklık (°C)	CO ₂ Konsantrasyonu (ppm)	Nem (%)
Sera 1	24,53	534,86	45,70
Sera 2	23,11	533,03	59,88
Sera 3 (Kontrol)	22,74	453,51	58,61

Tablo 4.5. Meyve olgunlaşma döneminde ölçülen ortalama sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve nem değerleri

Sera Tipi	Sıcaklık (°C)	CO ₂ Konsantrasyonu (ppm)	Nem (%)
Sera 1	29,50	583,70	71,53
Sera 2	26,33	560,67	64,89
Sera 3 (Kontrol)	25,27	493,74	62,41

Tablo 4.6. Hasat döneminde ölçülen ortalama sıcaklık, CO₂ konsantrasyonu ve nem değerleri

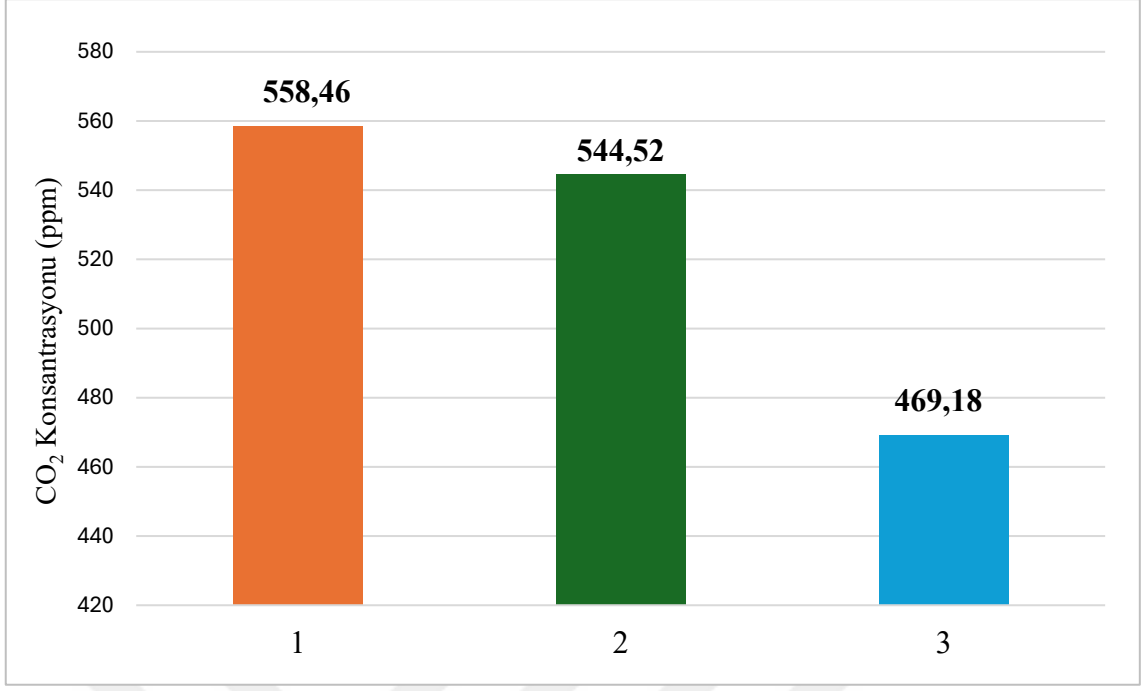
Sera Tipi	Sıcaklık (°C)	CO ₂ Konsantrasyonu (ppm)	Nem (%)
Sera 1	22,60	524,86	57,62
Sera 2	19,14	534,48	55,90
Sera 3 (Kontrol)	20,12	452,09	56,77

4.5. Seralarda CO₂ Gazı Etkisi

Tablo 4.4, 4.5 ve 4.6 incelendiğinde, çiçeklenme döneminde en yüksek CO₂ konsantrasyonu Sera 1’de ölçülmüştür. Sera 1 ve Sera 2’de aynı koşullarda CO₂ gazı uygulanmış olmakla birlikte, Sera 1’de CO₂ seviyesi Sera 2’ye kıyasla daha yüksek gözlenmiştir. Bu farkın Sera 1’de çiçeklenme döneminde ortalama sıcaklık değerinin 24,53 °C ile Sera 2’den daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklık artışının bitkilerin gaz alışverişini ve CO₂ kullanım verimliliğini artırdığı belirtilmektedir (Ziska ve ark., 1997).

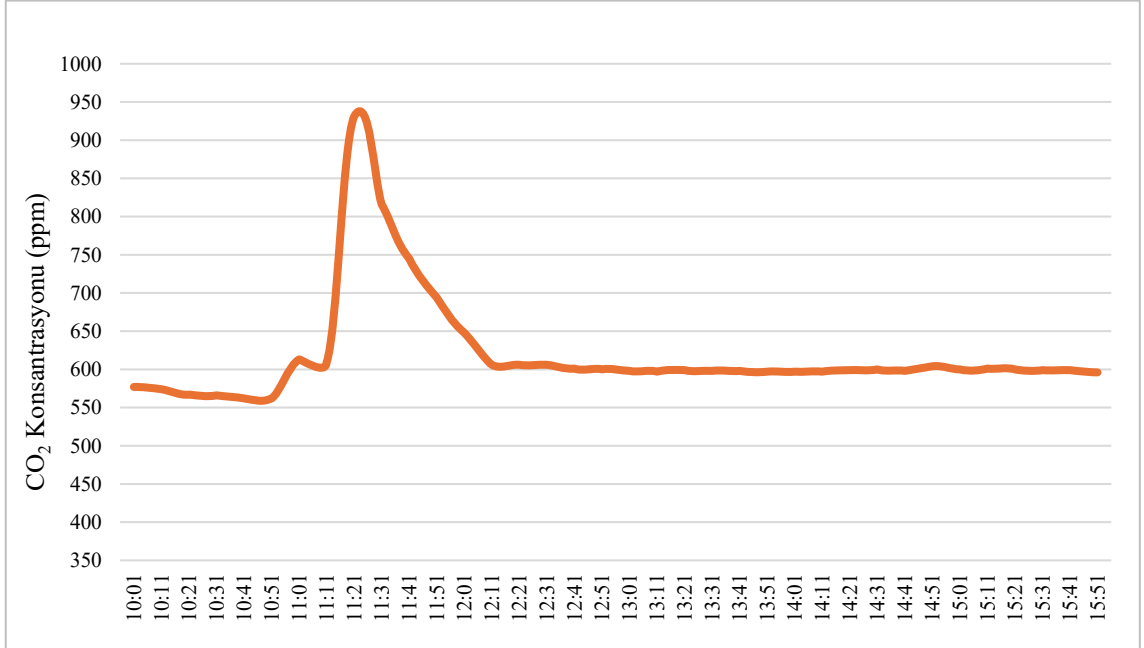
Çalışmada, CO₂ gazı konsantrasyon (ppm) değerlerinin genel ortalaması, her gün yapılan 5 uygulamanın her birinde 10’ar dakikalık ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. CO₂ gübrelemesinin sera atmosferindeki gaz konsantrasyonuna etkisini belirlemek amacıyla 50 günlük uygulama süreci boyunca her serada düzenli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda, Sera 1’de ortalama CO₂ düzeyi 558,46 ppm, Sera 2’de 544,52 ppm, kontrol grubu olan Sera 3’te ise 469,18 ppm olarak kaydedilmiştir. Seralarda çalışma süresince kaydedilen CO₂ gazı değerlerinin ortalamaları Şekil 4.6’da yer almaktadır.

Uygulama yapılan seralar (Sera 1 ve 2) birlikte değerlendirildiğinde ortalama CO₂ seviyesi 551,49 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak, uygulama yapılan seralar ile kontrol grubu arasındaki CO₂ farkının yüzdesi denklem 3.2’ye göre yaklaşık % 17,54’tür. Bu oran, C₃ bitkiler üzerinde yapılan serbest atmosferik CO₂ zenginleştirme FACE (Free-Air CO₂ Enrichment) deneylerine dayalı meta-analizlerde bildirilen ve ortalama % 18 verim artışı ile sonuçlanan yaklaşık 200 ppm’lik artışla oldukça benzer düzeydedir (Ainsworth & Long, 2005).

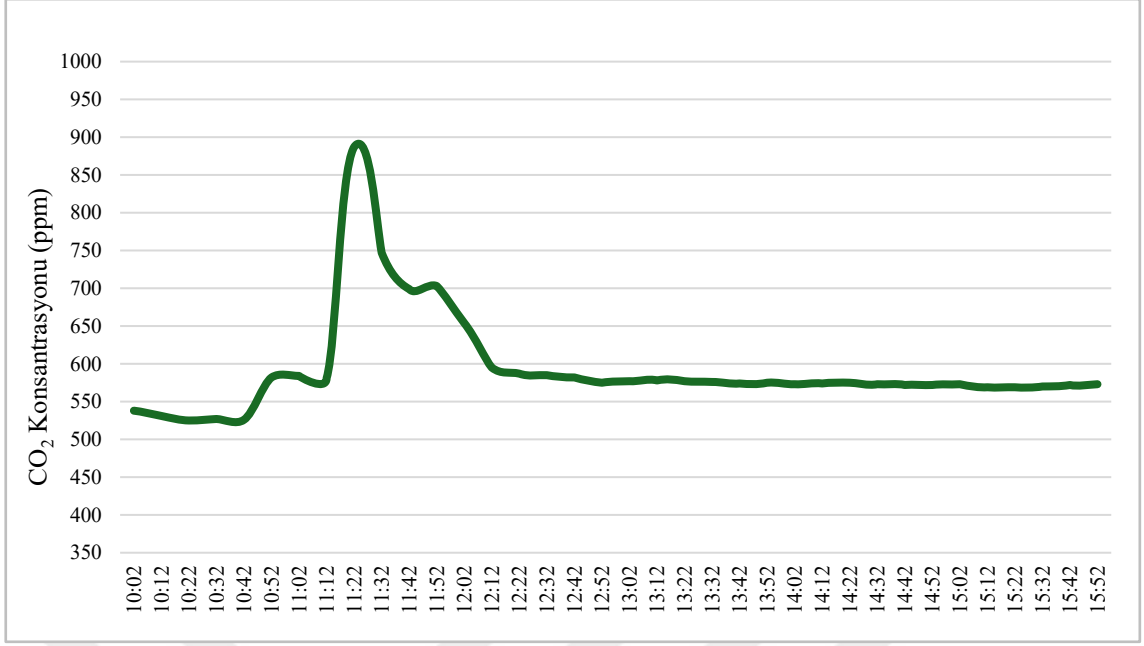


Şekil 4.6. Seralarda CO₂ gazı ortalama değerleri (ppm)

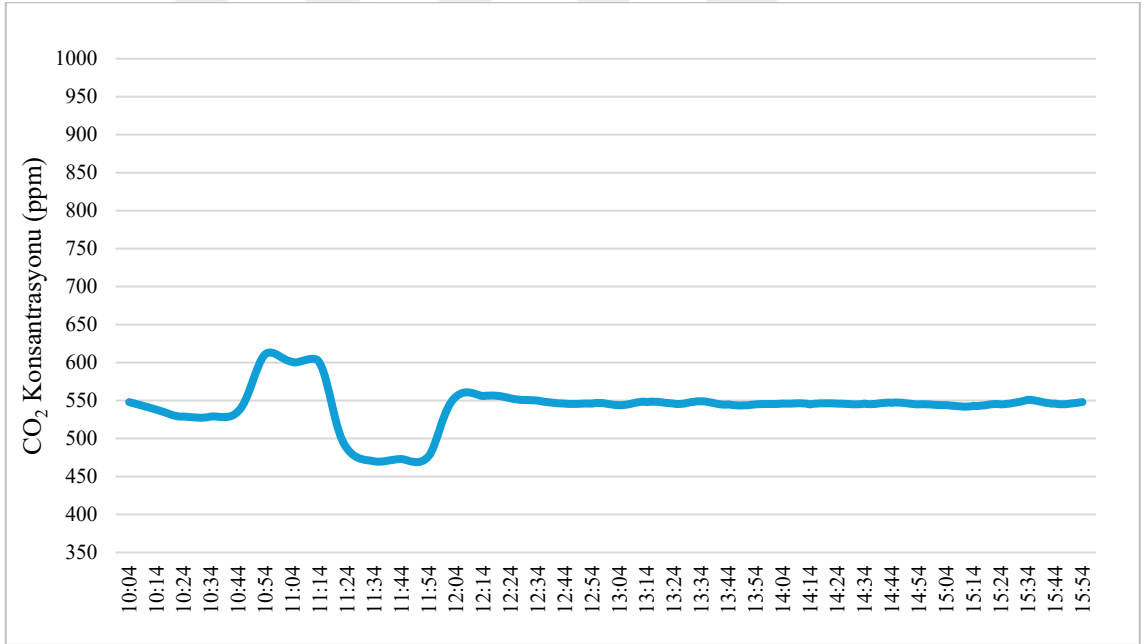
Sera 1 ve 2'ye kompost tanklarından CO₂ gazı saat 11:00 ve 13:00 arasında takviye edilmiştir. Bu saatler aralığında 5 kez 10 dakikalık çalışma yapılmıştır. Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da seralardan 11.03.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir olacak şekilde kaydedilen en yüksek CO₂ değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.7. Sera 1'den 11.03.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri



Şekil 4.8. Sera 2'den 11.03.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri

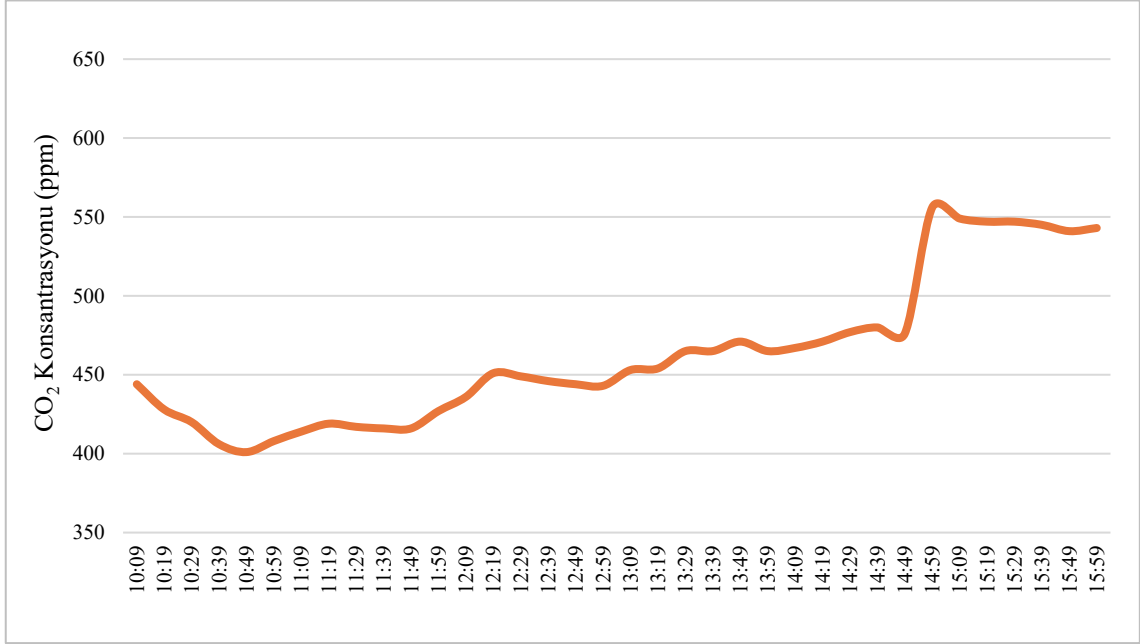


Şekil 4.9. Kontrol serasından (Sera 3) 11.03.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri

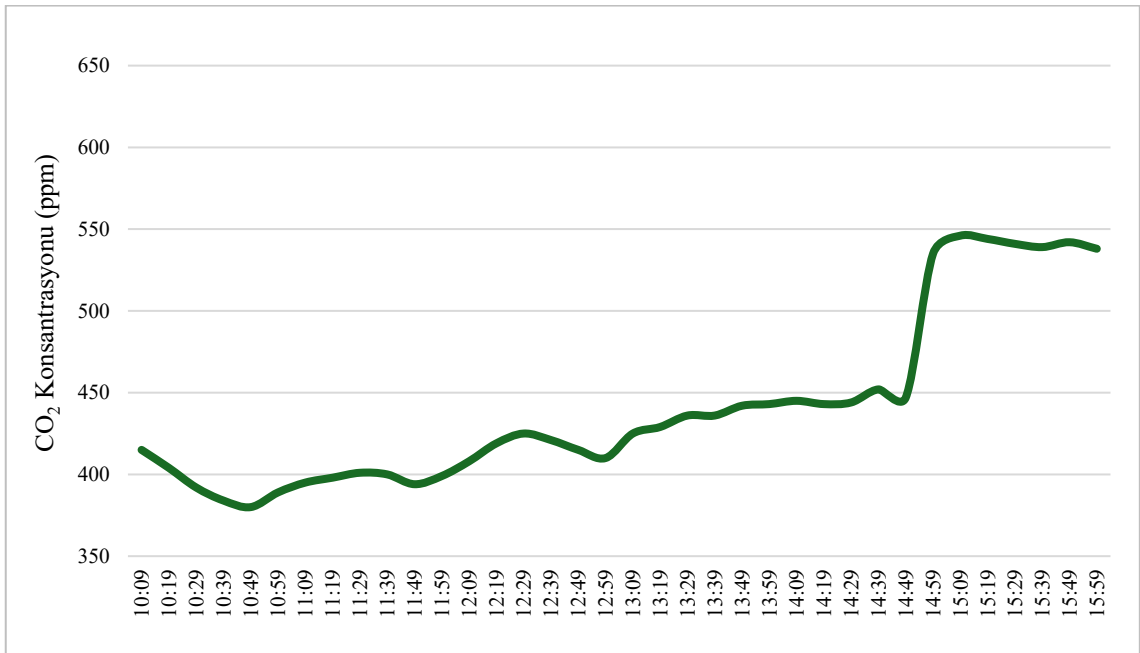
Şekil 4.9'da verilen kontrol serasında 11.03.2025 tarihine ait CO₂ gazı değerleri 11 ve 13 saatleri arasında ortalama olarak 492,4 ppm ölçülmüştür. Şekil 4.7 ve 4.8'deki CO₂ gazı verilen seralarda ise sırasıyla 766,8 ve 738 ppm olarak ölçülmüştür.

Sera 1 ve Sera 2'nin aynı şartlarda olmasına rağmen CO₂ konsantrasyonunun Sera 1'de yüksek olmasının sebebi Sera 2'deki sıcaklık değerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. CO₂ seviyesinin her iki serada da en yüksek düzeyde

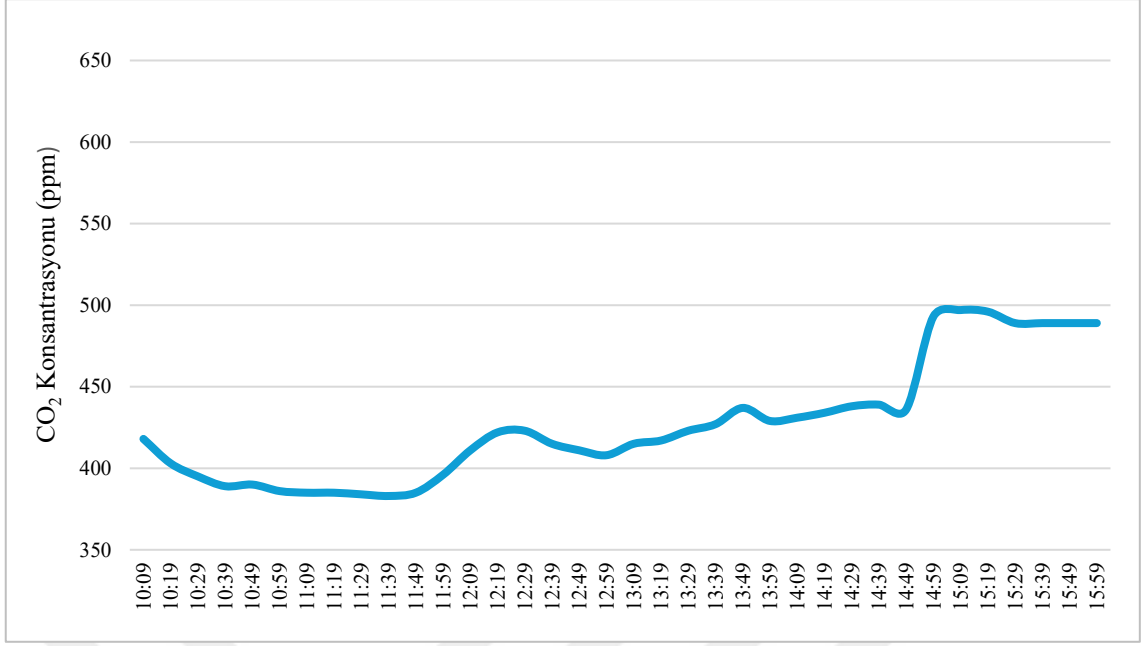
kaydedilmesinin temel nedeni, kompost tanklarının kısa süre önce yenilenmiş olmasıdır. Bu durum, kompostlama sürecinin ilk evrelerinde organik maddelerin hızlı mikrobiyal ayrışmasıyla yüksek miktarda CO₂ salımı gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Brown ve ark., 2008; Rosik ve ark., 2024). Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12’de seralardan 26.01.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir olacak şekilde kaydedilen en düşük CO₂ değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.10. Sera 1’den 26.01.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri



Şekil 4.11. Sera 2’den 26.01.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri



Şekil 4.12. Kontrol serasından (Sera 3) 26.01.2025 tarihinde saat 10:00 ve 16:00 arasında 10 dakikada bir alınan CO₂ gazı değerleri

Şekil 4.12’de verilen kontrol serasında 26.01.2025 tarihine ait CO₂ gazı değerleri 11 ve 13 saatleri arasında ortalama olarak 386,6 ppm ölçülmüştür. Şekil 4.10 ve 4.11’deki CO₂ gazı verilen seralarda ise sırasıyla 419 ve 398,4 ppm olarak ölçülmüştür.

Çalışma sürecinde bazı ölçüm tarihlerinde seralardaki CO₂ konsantrasyonlarının görece düşük olması, kompost tanklarının içeriğindeki mikrobiyal aktivitenin dönemsel olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple en düşük değerler kompost gübrenin işlevini yitirdiği tarihte elde edilmiştir.

Kompost tanklarının uzun süre değiştirilmediği veya materyalin ayrışma sürecinde ileri evrelere ulaştığı dönemlerde, mikrobiyal solunum oranı düşmekte ve buna bağlı olarak CO₂ salınımı da azalmaktadır. Kompostlama sürecinin başlangıç evresinde hızlı mikrobiyal ayrışma nedeniyle CO₂ üretimi en yüksek düzeyde gerçekleşirken, bu süreç ilerledikçe biyolojik aktivite azalmakta ve CO₂ emisyonu doğal olarak düşmektedir (Hao ve ark., 2001; Brown ve ark., 2008). Bu durum, kompost kaynaklı CO₂ gübrelemesinde düzenli tank yenilemenin, sera içi atmosferde sabit ve etkili bir CO₂ düzeyi sağlamada kritik rol oynadığını göstermektedir.

CO₂ konsantrasyonunda gözlemlenen değişimlerin, yalnızca kompost tanklarının mikrobiyal aktivite düzeyi ve yenilenme zamanlamasına değil, aynı zamanda seraların kendi iç ortam sıcaklıklarındaki farklılıklara da bağlı olarak şekillendiği görülmüştür.

4.6. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, eşit özelliklere sahip seralarda uygulanan CO₂ gübrelemesinin etkisini ortaya koymak amacıyla; meyve verimi, bitki boy uzunluğu ve bitki gövde çapı parametreleri ölçülmüştür. Bu parametrelerin seralar arasındaki farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA testi, üç veya daha fazla grubun ortalamaları arasında genel bir fark olup olmadığını gösterirken, hangi gruplar arasında fark olduğunu belirtmez. Bu nedenle, ANOVA'dan anlamlı sonuç elde edilmesi durumunda, gruplar arasındaki spesifik farklılıkları belirlemek için Tukey HSD (Honestly Significant Difference) post-hoc testi uygulanmıştır. İstatistiksel anlamlılık seviyesi olarak $p < 0,05$ kabul edilmiştir.

Çalışmada ton/hektar (t/ha) cinsinden toplam verim değerleri Sera 1'de 5,380 t/ha, Sera 2'de 4,743 t/ha ve kontrol serası olan Sera 3'te 3,268 t/ha olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonucunda, seralar arasında meyve verimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir ($F(2,18) = 8,75$, $p = 0,002$). Tukey HSD post-hoc testi ise, Sera 1 ile kontrol serası Sera 3 arasındaki farkın yüksek derecede anlamlı olduğunu göstermiştir ($p = 0,001$). Ayrıca, Sera 2 ile Sera 3 arasındaki fark da anlamlı bulunmuştur ($p = 0,037$). Buna karşılık, Sera 1 ile Sera 2 arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p = 0,142$). Bu sonuçlar, CO₂ uygulanan seraların meyve veriminde kontrol serasına kıyasla belirgin bir artış sağladığını ve özellikle Sera 1'in verim performansının öne çıktığını göstermektedir.

Seralara CO₂ uygulanmadan öncesinde ölçülen ortalama bitki boyları Sera 1 için 62,58 cm, Sera 2 için 66,08 cm ve kontrol grubu olan Sera 3 için 59,67 cm olarak kaydedilmiştir. Çalışma sonunda ise, CO₂ uygulanan Sera 2'de bitki boyu ortalaması 170,58 cm'ye, Sera 1'de 143,25 cm'ye, kontrol serası Sera 3'te ise 139,42 cm'ye ulaşmıştır (Tablo 4.2). Yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonucunda, seralar arasında bitki boyu açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Tukey HSD post-hoc testi, Sera 2'nin bitki boyunun kontrol serasına göre anlamlı derecede daha yüksek olduğunu göstermiştir ($p < 0,01$). Bu bulgular, CO₂ konsantrasyonunun artırılmasının domates bitkisinin fotosentez hızını ve biyokütle üretimini olumlu etkileyerek bitki boyunda önemli gelişmelere yol açtığını desteklemektedir.

Seralara CO₂ uygulanmadan öncesinde ortalama bitki gövde çapları Sera 1’de 8,27 mm, Sera 2’de 8,10 mm ve kontrol serası Sera 3’te 7,86 mm olarak ölçülmüştür. Uygulama sonrası ölçümlerde ise belirgin bir artış gözlenmiş, Sera 2’de gövde çapı ortalaması 15,01 mm’ye, Sera 1’de 14,44 mm’ye ve kontrol serasında 13,70 mm’ye ulaşmıştır (Tablo 4.3). Yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları, seralar arasında bitki gövde çapı açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Tukey HSD post-hoc testi, CO₂ uygulanan seraların gövde çaplarının kontrol serasına kıyasla anlamlı derecede daha kalın olduğunu ortaya koymuştur ($p < 0,05$). Bu bulgular, CO₂ konsantrasyonunun domates bitkisinin morfolojik gelişimini olumlu etkilediğini ve gövde çapının artışında önemli rol oynadığını desteklemektedir.

Çalışmada 50 günlük uygulama süresi boyunca yapılan ölçümler sonucunda, CO₂ gazı uygulanan seralarda ortalama CO₂ düzeyleri Sera 1’de 558,46 ppm, Sera 2’de 544,52 ppm ve kontrol serası olan Sera 3’te 469,18 ppm olarak belirlenmiştir. Seralar arasındaki bu fark, yapılan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F(2,18) = 9,42$; $p = 0,0015$). Tukey HSD testi sonuçlarına göre, Sera 1 ve Sera 2’nin CO₂ düzeyleri kontrol serasına kıyasla anlamlı derecede yüksektir ($p < 0,01$). Bu kapsamda komposttan sağlanan CO₂ gazı uygulamasının sera atmosferinde etkili bir gaz zenginleşmesi sağladığını ve uygulanan sistemin başarıyla işlediğini ortaya koymaktadır. Seralarda uygulanan CO₂ konsantrasyonunun bitki boyu, gövde çapı ve meyve verimi üzerindeki etkileri, Tablo 4.7’de istatistiksel olarak karşılaştırmalı şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.7. Seralarda ölçülen ortalama değerler ve istatistiksel gruplandırmalar

Parametre	Sera 1	Sera 2	Sera 3 (Kontrol)	ANOVA (F, p)	İstatistiksel Grup*
Meyve Verimi (t/ha)	5,380	4,743	3,268	$F(2,18) = 8,75$; $p = 0,002$	S1 = a, S2 = ab, S3 = b
Bitki Boyu (cm)	143,25	170,58	139,42	$p < 0,05$	S2 = a, S1 = ab, S3 = b
Gövde Çapı (mm)	14,44	15,01	13,70	$p < 0,05$	S2 = a, S1 = a, S3 = b
CO ₂ Konsantrasyonu (ppm)	558,46	544,52	469,18	$F(2,18) = 9,42$; $p = 0,0015$	S1 = a, S2 = a, S3 = b

* Aynı harf grubunu paylaşan seralar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur (Tukey HSD, $p < 0.05$).

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, sera ortamlarında CO₂ gazı uygulamasının domates bitkisi üzerindeki etkileri, verim (hasat ağırlığı), bitki yüksekliği ve gövde çapı gibi ölçülebilir parametreler üzerinden 50 gün süresince değerlendirilmiştir. CO₂ takviyesi yapılan Sera 1 ve Sera 2 ile, herhangi bir uygulama yapılmayan Sera 3 (kontrol grubu) karşılaştırılmış ve uygulamanın ürün gelişimine olan katkısı bilimsel verilerle ortaya konmuştur. Günlük olarak ölçülen CO₂ değerlerinin ortalaması Sera 1’de 558,46 ppm, Sera 2’de 544,52 ppm, Sera 3’te ise 469,18 ppm olarak hesaplanmıştır. Uygulanan seralarda CO₂ seviyesi yaklaşık % 17,5 daha yüksek bulunmuştur. Bu fark, özellikle ürün veriminde % 64,63’e varan bir artışla sonuçlanmış; aynı zamanda bitki yüksekliği ve gövde kalınlığı gibi gelişim göstergelerinde de anlamlı iyileşmeler sağlamıştır. Ayrıca, CO₂ uygulanan seralarda bitki boyu ve gövde kalınlığında da belirgin gelişmeler kaydedilmiştir; özellikle bitki boyundaki günlük artış oranı Sera 2’de 1,035 cm/gün’e kadar ulaşmıştır.

Fotosentez hızının artması, CO₂ artışının temel faydalarından biridir. Çünkü CO₂, bitkilerin fotosentez sürecinin ana girdilerinden biri olup, seviyesindeki artış fotosentez hızını artırarak bitkide daha fazla şeker üretimine ve dolayısıyla daha hızlı büyümeye olanak tanır. Ancak, CO₂ uygulamasının verimli olabilmesi için sera içi sıcaklık, ışık ve nem gibi diğer çevresel faktörlerin dengeli yönetilmesi gerekmektedir. Nitekim, Sera 2’nin yüksek CO₂ seviyelerine rağmen bazı dönemlerde Sera 1 kadar verim göstermemesi, çevresel koşulların önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar doğrultusunda, seracılıkta otomatik CO₂ dozlama sistemlerinin iklim kontrol teknolojileri ile entegre kullanımı; sürdürülebilir üretim ve yüksek verim hedefleri için kritik öneme sahiptir. Öte yandan, CO₂ uygulamasının bazı sınırlamaları da vardır. Yüksek maliyetli yatırım gereksinimi, yanlış dozlama sonucu bitkide oluşabilecek fizyolojik stres ve sera içi iklim dengesinin bozulması gibi riskler dikkate alınmalıdır. Ayrıca, sadece CO₂ seviyesinin artırılması yeterli olmayıp, ışık şiddeti ve besin dengesi gibi diğer çevresel faktörlerin de optimize edilmesi gerekir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması ile sera ortamlarında yapılan CO₂ uygulamasının bitki gelişimi ve ürün verimi üzerindeki etkisi açıkça ortaya konmuş; kontrollü tarım tekniklerinin bilimsel veriler ışığında nasıl geliştirilebileceği konusunda örnek bir çalışma olarak sunulmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Ainsworth, E.A., & Long, S.P. (2005). What Have We Learned From 15 Years of Free-Air CO₂ Enrichment (FACE)? A Meta-analytic Review of the Responses of Photosynthesis, Canopy Properties and Plant Production to Rising CO₂. *New Phytologist*, 165(2), 351–372.
- Atılgan, A., Erkan, M., Saltuk, B., & Alagöz, T. (2006). Akdeniz Bölgesindeki Hayvancılık İşletmelerinde Gübrenin Yaratdığı Çevre Kirliliği. *Ekoloji Dergisi*, 58 (15), 1-7.
- Atılgan, A., & Yılmaz, D. (2021). Türkiye’de Hayvansal Gübre ve Tarımsal Atıklardan Enerji Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(3), 275–288. <https://doi.org/10.55507/gopzfd.956361>
- Ay, E.F., Balta M., Çolak M., & Semercioğlu H. (2010). Hava Kirliliği ve Modellemesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, 5.
- Avcı, Z. (2019). Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde Led Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Bayhan, Y., & Avcı, Z. (2019). Örtü Altı Sebze Yetiştiriciliğinde Led Aydınlatma Sistemlerinin Bitki Gelişimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, (17), 86-95.
- Brown, S., Kruger, C., & Subler, S. (2008). Greenhouse Gas Balance for Composting Operations. *Journal of Environmental Quality*, 37(4), 1396-1410.
- Çayır, M. (2010). Büyükbaş Hayvan Barınaklarında Oluşan Atıkların Çevre Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Çerçioğlu, M. (2019). Sürdürülebilir Atık Yönetiminde Sera Atıklarının Kompost Olarak Değerlendirilmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 33(1), 167-177.
- Dudu, Ü., & Nazilli, G.E. (2018). Organik Katı Atıkların Aerobik Şartlarda Biyoteknolojik Yöntemlerle Kompostlaştırılması. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(2), 47-50.
- Erdin, E. (2005). Atıkların Kompostlanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Müh. Ders Notları, 8-35.
- Fulford, B. (1986). The Composting Greenhouse at New Alchemy Institute. A Report on Two Years of Operation and Monitoring. *Alchemy Institute Report* no:3, 4.
- U.S. Geological Survey. (n.d.). Composition of the atmosphere. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/atmosphere-composition>
- Güneş, A., & İnal, A. (1995). Farklı Işıklanma Sürelerinde Yetiştirilen Buğdayın (*triticum aestivum* L.) Verim ve Klorofil Kapsamına Yapraktan Uygulanan Glikozun Etkisi. *Journal of Engineering Sciences*, 1(1), 69-72.

- Hao, X., Chang, C., Larney, F.J., & Travis, G.R. (2001). Greenhouse Gas Emissions During Cattle Feedlot Manure Composting. *Journal of Environmental Quality*, 30(2), 376-386.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jwa, N.S., & Walling, L.L. (2001). Influence of elevated CO₂ concentration on disease development in tomato. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 58(2), 79-89. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2000.0325>
- Karaman, S.(2005). Tokat Yöresinde Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Çözüm Olanakları. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 57-65.
- Kimball, B.A. (1983). Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal*, 75(5), 779-788.
- Korkmaz, K. (2007). Küresel Isınma ve Tarımsal Uygulamalara Etkisi. *Alatırım Dergisi*, 6(2), 43-49.
- Mortensen, L.M. (1985). Effects of CO₂ concentration on growth and yield of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae*, 26(4), 363-373. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(85\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0304-4238(85)90021-6)
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2024). *Trends in atmospheric carbon dioxide*. Global Monitoring Laboratory – Earth System Research Laboratories. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2025). *Trends in atmospheric carbon dioxide: Mauna Loa monthly average*. Global Monitoring Laboratory – NOAA. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
- Oktay, D., & Demirtaş, Ç. (2007). Bursa Koşullarında Sıcaklık ve CO₂ Değişimlerinin Mısır Bitkisinin Verim ve Evapotranspirasyon Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, *Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 17(2), 81-87.
- Olgun, M., & Polat, H.E. (2005). Ülkemizdeki Hayvancılık İşletmelerinde Atık Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesi. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 206-211, İstanbul.
- Özenç, D.B., & Şenlikoğlu, G. (2017). Kompost ve Azotlu Gübre Uygulamasının Ispanak Bitkisinin (*Spinacia oleracea* L.) Gelişimi Üzerine Etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 227-234.
- Öztürk, M., & Bildik, B. (2005). Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, 7, Ankara.
- Öztürk, M. (2008). Hayvan Gübresinden ve Atıklardan Kompost Üretimi, 7-8, Ankara.
- Peet, M.M., & Wolfe, D.W. (2000). Crop Ecosystem Responses to Climate Change-Vegetable Crops. *CABI Publishing*, New York.
- Rosik, J., Aabid, A., & Baig, M. (2024). Effective Carbon Dioxide Mitigation and Improvement of Compost Via Biochar Amendment: Laboratory-scale Observations. *Sustainability*, 16(2), 352. <https://doi.org/10.3390/su16020352>
- Rubatzky, V.E., & Yamaguchi, M. (1997). World Vegetables: Principles, Production and Nutritive Values. Second Edition New York: Chapman and Hall.

- Sevgican, A. (1989). Örtüaltı Sebzeciliği. TAV Tarımsal Araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı, Yayın No:19, 176, Yalova.
- Sönmez, İ., Maltaş, A.Ş., Sarıkaya, H.Ş., Doğan, A., & Kaplan, M. (2019). Tavuk Gübresi Uygulamalarının Domates (*Solanum Lycopersicum* L.) Gelişimi ve Verim Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(1), 101-107.
- Sözer, S., & Yıldız, O. (2011). Muz Serası Atıkları ve Sığır Gübresi Karışımlarından Mezofilik Fermantasyon Sonoco Üretilebilecek Biyogaz Miktarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2), 75-78.
- Şaylan, L. (1995). Bitki Gelişimi Simülasyon Modellerinin Toprak, Bitki ve Su İlişkisinin Analizinde Kullanılması. 5. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri, Kültürteknik Derneği, 311-317, Antalya.
- Şeniz, V. (1992). Domates yetiştiriciliği, Karacan Yayınları, 47, İstanbul.
- Taban, S. (2012). Hızlı Kompostlama Sistemi İle Organik Gübre Üretimi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, 15.
- Villagran, E., & Espitia, J.J. (2025). CO₂ enrichment in protected agriculture: A systematic review of greenhouses, controlled environment systems, and vertical farms – Part 2. *Sustainability*, 17(7), 2809. <https://doi.org/10.3390/su17072809>
- Wolfe, D.W. (1994). Physiological and Growth Responses to Atmospheric CO₂ Concentration. *Handbook of Plant and Crop Physiology*, Marcel Dekker, New York.
- Wurr, D., Hand, D., Edmondson, R., Fellows, J., Hannah, M., & Cribb, D. (1998). Climate Change: A Response Surface Study of the Effect of CO₂ and Temperature on the Growth of Beetroot, Carrots and Onions. <http://journals.cambridge.org/action/>
- Yao, X., Zhang, L., & Li, J. (2023). Effects of elevated CO₂ concentration on morphological traits of greenhouse-grown tomatoes. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 98(2), 123–131.
- Yeniçerioğlu, M. (2006). Katı Atık Yönetimi Yasal Düzenlemeler ve Sinop Örneği, Sinop.
- Ziska, L.H., Bunce, J.A., & Goins, E.W. (1997). Carbon dioxide effects on photosynthesis and growth of soybean cultivars in the field. *Plant Physiology*, 115(4), 1019–1026.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Ayşe ULUSOY

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2022, Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı (Lisans Eğitimi)
- 2024, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği (Tezsiz Yüksek Lisans)

Yayınları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2023, Yağmur Suyu Hasadı, Biyosistem Mühendisliği V/Bölüm:12, Akademisyen Kitabevi, Ankara
- Ulusoy A., Aktar T. (2023). Zirai Uygulamalarda Gübre Çeşitliliğinin Meyve-Sebzelerde Ürün Kalitesine Etkisi. 3rd International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 207-214.
- Ulusoy A., Atılğan A. (2023). Yağmur Suyu Hasadının Önemi ve Kullanım Olasılıkları: Muz Serası Örneği. V. International Cappadocia Scientific Research Congress, 316-336.
- Ulusoy A., Atılğan AA. (2023). Tarımda İnorganik Ve Organik Gübre Kullanımı: Verimlilik, Çevresel Etkiler ve Sürdürülebilir Tarım. Ankara International Congress On Scientific Research-IX, 2850-2864.
- Ulusoy, A., Atılğan, A., Rolbiecki, R., Jagosz, B., & Rolbiecki, S. (2024). Innovative Approaches for Sustainable Wastewater Resource Management. Agriculture, 14(12), 2111. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122111>

Yabancı Dil Bilgisi: İngilizce