

**T.C
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TARIM YÖNTEMLERİ VE HASAT ZAMANININ
DOMATESLERİN ANTİOKSİDAN BİLEŞİKLERİ VE
ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Dyt. Aylin İŞLER

**Beslenme Bilimleri Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ANKARA

2026

**T.C
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TARIM YÖNTEMLERİ VE HASAT ZAMANININ
DOMATESLERİN ANTİOKSİDAN BİLEŞİKLERİ VE
ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Dyt. Aylin İŞLER

**Beslenme Bilimleri Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Nesli ERSOY**

**ANKARA
2026**

**FARKLI TARIM YÖNTEMLERİ VE HASAT ZAMANININ DOMATESLERİN ANTIOKSİDAN
BİLEŞİKLERİ VE ANTIOKSİDAN AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Öğrenci: Aylin İŞLER

Danışman: Doç.Dr. Nesli ERSOY

Bu tez çalışması 13.07.2026 tarihinde jürimiz tarafından “Beslenme Bilimleri Programı” nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: *Doç.Dr. Kübra TEL ADIGÜZEL*
(Sağlık Bilimleri Üniversitesi)

Tez Danışmanı: *Doç.Dr. Nesli ERSOY*
(Hacettepe Üniversitesi)

Üye: *Dr.Öğr.Üyesi Aslıhan ÖZDEMİR*
(Hacettepe Üniversitesi)

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuştur.

28 Temmuz 2026

Prof. Dr. Müge YEMİŞÇİ ÖZKAN
Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

30/07/2026

Aylin İşler

¹ “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**”

(1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

(2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

(3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir *. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir. Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

* Tez **danışmanının** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.**

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, Doç. Dr. Nesli ERSOY danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Dyt. Aylin İşler

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla bana yol gösteren, her aşamada desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Nesli ERSOY'a,

Tez çalışmamın yürütülmesi sürecinde laboratuvar, cihaz ve teknik altyapı olanaklarını sağlayan ve değerli katkılarıyla çalışmaya destek veren değerli hocam Prof. Dr. İrem İffet ÇANKAYA'ya,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, akademik gelişimime katkı sağlayan değerli hocalarıma,

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizlerdeki değerli katkıları için Araştırma Görevlisi Zeliha PARLAR'a,

Tez çalışmam boyunca laboratuvar çalışmalarımın yürütülmesine değerli katkılar sağlayan, karşılaştığım sorunlarda yol göstericiliğini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşım Feyza Kaya ÖZÇAVDAR'a,

Tüm tez sürecim boyunca yalnızca manevi desteğiyle değil, örneklerin temini başta olmak üzere ihtiyaç duyduğum her aşamada yanımda olan, motivasyonumu sürdürmemi sağlayan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Kerem ÇUFALAR'a,

Domates örneklerinin temini sürecinde desteklerini esirgemeyen ve araştırma materyallerinin sağlanmasına katkıda bulunan Vehbi ERSOY, Serdar AYDEMİR ve Mustafa ERKUL'a,

Ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, her koşulda sevgileri, sabırları ve destekleriyle yanımda bulunan sevgili aileme,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, yüksek lisans öğrencisi TÜBİTAK BİDEB 2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Eğitim Bursu almıştır.

ÖZET

İşler A., Farklı Tarım Yöntemleri ve Hasat Zamanının Domateslerin Antioksidan Bileşikleri ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beslenme Bilimleri Programı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2026. Domates (*Solanum lycopersicum*), likopen, β -karoten, askorbik asit ve fenolik bileşikler gibi antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşenler içermesi nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan meyvedir. Domateslerin antioksidan aktiviteleri; genotip, çevresel koşullar, hasat zamanı ve yetiştirme yöntemi gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir. Bu çalışmada organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen domateslerin antioksidan aktivitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında organik (Afyon-Başmakçı), konvansiyonel (Denizli-Sarayköy) ve topraksız tarım (Afyon-Sandıklı) yöntemleriyle üretilen salkım domates örnekleri Haziran ve Ağustos aylarında temin edilmiştir. Örnekler liyofilize edildikten sonra %80 etanol kullanılarak ekstrakte edilmiş ve antioksidan aktiviteleri DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikal süpürme yöntemi ile değerlendirilmiştir. Antioksidan aktivite, örneklerin yarı maksimal inhibitör konsantrasyonu (IC_{50}) değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Domates örneklerinin IC_{50} değerleri 97,93–947,10 $\mu\text{g/mL}$ arasında değişmiştir. Haziran ayında hasat edilen örnekler kendi içinde değerlendirildiğinde en yüksek antioksidan aktivite topraksız tarım örneğinde (H.T.: 423,54 $\mu\text{g/mL}$), bunu sırasıyla konvansiyonel (H.K.: 486,15 $\mu\text{g/mL}$) ve organik tarım (H.O.: 670,18 $\mu\text{g/mL}$) örnekleri izlemiştir. Ağustos ayında hasat edilen örneklerde ise en yüksek antioksidan aktivite konvansiyonel örnekte (A.K.: 97,93 $\mu\text{g/mL}$), bunu sırasıyla organik (A.O.: 898,15 $\mu\text{g/mL}$) ve topraksız tarım (A.T.: 947,10 $\mu\text{g/mL}$) örnekleri izlemiştir. Tarım yöntemleri hasat dönemlerine göre karşılaştırıldığında konvansiyonel örnekte Haziran'dan Ağustos'a geçişte IC_{50} değeri 486,15 $\mu\text{g/mL}$ 'den 97,93 $\mu\text{g/mL}$ 'ye düşerek antioksidan aktivite artmıştır. Organik tarım örneklerinde ise IC_{50} değeri 670,18 $\mu\text{g/mL}$ 'den 898,15 $\mu\text{g/mL}$ 'ye yükselmiş, antioksidan aktivite azalmıştır. Topraksız tarım örneklerinde de IC_{50} değeri 423,54 $\mu\text{g/mL}$ 'den 947,10 $\mu\text{g/mL}$ 'ye yükselmiş ve antioksidan aktivite belirgin biçimde düşmüştür. Elde edilen bulgular, antioksidan aktivitenin tarım yönteminin yanı sıra hasat zamanına göre de belirgin biçimde farklılaştığını göstermiştir. Sonuç olarak, domateslerin antioksidan aktivitesinin yalnızca yetiştirme yöntemine bağlı olmadığı; hasat zamanı, çevresel koşullar ve genotip gibi faktörlerden de etkilenebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle farklı üretim sistemlerinin değerlendirilmesinde besin değerini etkileyen tüm faktörlerin birlikte ele alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Domates, antioksidan aktivite, organik tarım, konvansiyonel tarım, topraksız tarım.

ABSTRACT

İşler A., Effects of Different Agricultural Production Systems and Harvest Time on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Tomatoes, Hacettepe University Graduate School of Health Sciences Nutrition Sciences Program M.Sc. Thesis, Ankara, 2026. Tomato (*Solanum lycopersicum*) is an important fruit in human nutrition due to its rich content of bioactive compounds with antioxidant properties, including lycopene, β -carotene, ascorbic acid, and phenolic compounds. The antioxidant activity of tomatoes may be influenced by several factors such as genotype, environmental conditions, harvest time, and cultivation practices. This study aimed to compare the antioxidant activities of tomatoes cultivated under organic (Afyon-Başmakçı), conventional (Denizli-Sarayköy), and soilless (Afyon-Sandıklı) agricultural production systems, with samples collected in June and August. The samples were freeze-dried and extracted with 80% ethanol, and their antioxidant activities were evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. Antioxidant activity was determined by calculating the half-maximal inhibitory concentration (IC_{50}) values of the extracts. The IC_{50} values of the tomato samples ranged between 97.93 and 947.10 $\mu\text{g/mL}$. Among the samples harvested in June, the highest antioxidant activity was observed in the soilless-grown tomato (H.T.: 423.54 $\mu\text{g/mL}$), followed by conventional (H.K.: 486.15 $\mu\text{g/mL}$) and organic (H.O.: 670.18 $\mu\text{g/mL}$) samples. Among the samples harvested in August, the highest antioxidant activity was observed in the conventional sample (A.K.: 97.93 $\mu\text{g/mL}$), followed by organic (A.O.: 898.15 $\mu\text{g/mL}$) and soilless-grown (A.T.: 947.10 $\mu\text{g/mL}$) samples. When compared across harvest periods, antioxidant activity increased in the conventional sample from June to August, whereas it decreased markedly in both organic and soilless-grown samples. These findings demonstrated that antioxidant activity varied considerably not only by cultivation method but also by harvest time. In conclusion, the antioxidant activity of tomatoes appears to be influenced not only by cultivation method but also by factors such as harvest time, environmental conditions, and genotype. Therefore, the evaluation of different agricultural production systems should consider all factors affecting nutritional quality rather than cultivation method alone.

Keywords: Tomato, antioxidant activity, organic farming, conventional farming, soilless cultivation.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA ve FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN SAYFASI	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER	xiii
TABLOLAR	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgi ve Kapsam	1
1.2. Amaç ve Hipotezler	2
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Domates	4
2.2. Enerji ve Besin Ögesi İçeriği	5
2.3. Domatesin Antioksidan Aktivitesi	5
2.4. Domatesin Sağlık Yararları	7
2.5. Tarımın Geleceği	9
2.6. Ülkemizde Uygulanan Tarım Yöntemleri	9
2.6.1. Konvansiyonel Tarım	9
2.6.2. Organik Tarım	11

2.6.3. Topraksız Tarım	13
3. GEREÇ ve YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.2. Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	21
3.3. Örneklerin Hazırlanması ve Ekstraksiyon Prosedürü	21
3.4. Antioksidan Aktivite Tayini (DPPH Yöntemi)	23
3.5. Verilerin Değerlendirilmesi	24
4. BULGULAR	26
4.1. Antioksidan Aktivite Tayini Sonuçları	26
4.2. Fiyat-Performans Analizi	28
5. TARTIŞMA	31
5.1. Hasat zamanı ve sıcaklık stresinin antioksidan aktivite üzerine etkisi	33
5.2. Pestisit kaynaklı stres ve antioksidan savunma mekanizmaları	36
5.3. Topraksız tarım sistemlerinde besin çözeltisi ve çevresel koşulların antioksidan aktivite üzerine etkisi	37
5.4. Fiyat Performans Analizi	38
5.5. Çalışmanın Güçlü ve Sınırlı Yönleri	39
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	41
7. KAYNAKLAR	43
8. EKLER	60
EK-1: Tez Çalışması Orijinallik Raporu	
9. ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER ve KISALTMALAR

ABTS	2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)
BM	Birleşmiş Milletler
CAT	Katalaz (Catalase)
DNA	Deoksiribonükleik Asit (Deoxyribonucleic Acid)
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EC	Elektriksel İletkenlik (Electrical Conductivity)
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
FRAP	Demir İndirgeme Antioksidan Gücü (Ferric Reducing Antioxidant Power)
HÜNİTEK	Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
IC₅₀	Yarı Maksimal İnhibitör Konsantrasyonu (Half-maximal inhibitory concentration)
IFOAM	Uluslararası Organik Tarım Hareketi Federasyonu (International Federation of Organic Agriculture Movements)
LDL	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein (Low-Density Lipoprotein)
IPBES	Hükümetler Arası Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Bilim-Politika Platformu (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
PAL	Fenilalanin Amonyak Liyaz (Phenylalanine Ammonia-Lyase)
ROS	Reaktif Oksijen Türleri (Reactive Oxygen Species)
SOD	Süperoksit Dismutaz (Superoxide Dismutase)
TAC	Toplam Antioksidan Kapasite (Total Antioxidant Capacity)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UV-Vis	Ultraviyole-Görünür (Ultraviolet-Visible)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
µg/mL	Mikrogram/mililitre

ŞEKİLLER

Şekil		Sayfa
3.1.	Farklı tarım yöntemiyle yetişmiş domateslerin görüntüleri.	20
4.1.	Kuarsetin standardına ait DPPH inhibisyon grafiği.	26
4.2.	Domates örnekleri ve standart kuarsetin bileşimine ait IC ₅₀ değeri.	28

TABLolar

Tablo		Sayfa
2.1.	Domatesin besin içeriği.	6
3.1.	Çalışmada kullanılan domates örneklerine ait özellikler.	21
4.1.	Domates örneklerinin ve standart bileşiğin DPPH radikal süpürme aktivitesine ait değerleri.	27
4.2.	Fiyat performans analizi.	29

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi ve Kapsam

Domates, dünyada en fazla üretilen ve tüketilen meyvelerden biri olup insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (1). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde kişi başına yıllık domates tüketiminin yaklaşık 124,6 kg olması, bu besinin toplum beslenmesindeki önemini açıkça ortaya koymaktadır (2). Nitekim Türkiye genelindeki bireylerin %51,1'inin her gün domates tüketiyor olması, domatesin günlük beslenme düzenindeki sürekliliğini ve yaygınlığını göstermektedir (3).

Domates; başta likopen ve β -karoten gibi karotenoidler olmak üzere askorbik asit, flavonoidler ve fenolik asitler gibi çeşitli biyoaktif bileşenler açısından zengindir (4). Bu bileşikler antioksidan özellikleri sayesinde serbest radikallerin neden olduğu hücresel hasarın azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (5). Yüksek tüketim sıklığı ve zengin biyoaktif bileşen profiliyle domates, diyetle alınan antioksidanların önemli bir kaynağı olarak kabul edilmektedir (6). Bu nedenle domatesin antioksidan aktivitesinde meydana gelebilecek değişimler diyet kalitesini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir.

Canlı sistemlerde metabolik faaliyetler sonucu endojen olarak ya da çevresel faktörlerin etkisiyle eksojen olarak reaktif oksijen türleri (ROS) oluşabilmektedir (7, 8). Oksidatif stres, ROS üretimi ile bu türleri etkisiz hale getiren antioksidan savunma sistemleri arasındaki dengenin bozulması sonucu ortaya çıkmaktadır (9). Oksidatif stresin kanser, kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar ve yaşlanma ile ilişkili birçok kronik hastalığın patogenezinde rol oynadığı bildirilmektedir (10-13). Antioksidan bileşikler açısından zengin besinlerin tüketimi bu süreçte önemli bir koruyucu rol üstlenebilmektedir. Literatürde domates tüketiminin kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve bazı kanser türleri gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etkiler gösterebildiği bildirilmektedir (14).

Domates, konvansiyonel, organik ve topraksız tarım sistemleri dahil olmak üzere farklı üretim yöntemleriyle yetiştirilebilen önemli bir meyve türüdür (15).

Bununla birlikte domateslerin kimyasal bileşimi yalnızca yetiştirme yöntemlerinden etkilenmemekte; genetik özellikler, ışık, sıcaklık, sulama uygulamaları, olgunlaşma düzeyi ve hasat zamanı gibi birçok faktörün etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (16). Özellikle likopen, askorbik asit ve fenolik bileşiklerin miktarlarının ve antioksidan aktivitenin olgunlaşma süreci ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (17).

Son yıllarda tüketiciler, organik üretim sistemlerinden elde edilen ürünleri daha sağlıklı ve daha yüksek besinsel değere sahip olduğu düşüncesiyle tercih etmektedir (18, 19). Bununla birlikte farklı tarım yöntemlerinin domateslerin besin değeri, biyoaktif bileşen içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkilerine ilişkin literatürde çelişkili sonuçlar bulunmaktadır (20, 21). İklim değişikliği, artan nüfus ve tarım topraklarının bozulması sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu süreçte, farklı tarım yöntemlerinin besin değeri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması daha da önem kazanmaktadır (22).

Bu nedenle farklı tarım yöntemleriyle yetiştirilen domateslerin antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesi hem toplum beslenmesi hem de sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen domates örneklerinin antioksidan aktiviteleri 2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil radikali (DPPH) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, farklı tarım yöntemleriyle yetiştirilen domateslerin antioksidan aktivitesine ilişkin ülkemizdeki veri birikimine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

1.2. Amaç ve Hipotezler

Bu araştırmanın temel amacı; konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin antioksidan aktivitelerini DPPH yöntemi kullanılarak değerlendirmek ve karşılaştırmaktır. Bu kapsamda, farklı yetiştirme tekniklerinin ve hasat dönemlerinin antioksidan aktivite üzerindeki etkileri belirlenerek, gözlemlenen bu farklılıkların olası nedenleri bilimsel veriler ışığında tartışılacaktır.

Hipotez 0: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri arasında fark yoktur.

Hipotez 1: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri arasında fark vardır.

Hipotez 0: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen ve farklı zamanlarda hasat edilen domateslerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri arasında fark yoktur.

Hipotez 1: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen ve farklı zamanlarda hasat edilen domateslerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri arasında fark vardır.

Hipotez 0: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin fiyat-performans skorları arasında fark yoktur.

Hipotez 1: Konvansiyonel, organik ve topraksız tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin fiyat-performans skorları arasında fark vardır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Domates

Domates (*Solanum lycopersicum*), 3000'den fazla türün yer aldığı patlıcangiller (*Solanaceae*) familyasına ait önemli bir bitki türüdür. 1-3 metreye kadar büyüyen bu çok yıllık bitki, tarımda genellikle tek yıllık olarak yetiştirilmektedir (23). Kültür domatesinin yabani atası Güney Amerika'nın batı kıyıları boyunca Ekvador'un merkezinden Şili'nin kuzeyine ve Galapagos adalarına kadar uzanan coğrafi bir alanda yetişmektedir (24). Kökeni Amerika kıtası olan domates 17. yüzyılda Türk mutfak kültürüne girmiştir; ancak ilk dönemlerde ham ve yeşil formda turşu yapımında kullanılırken, 19. yüzyıldan itibaren yaygın bir tüketim ürünü haline gelmiştir (25).

Domates meyvesi ekzokarp (kırmızı tabaka), perikarp (et) ve epikarp (kabuk) olmak üzere üç kısımdan oluşur (26). Etli ve yumuşak bir dokuya sahip olan domates meyveleri yuvarlak, oval ve armutsu şekilde olabilir. Morfolojik özellikleri türler arasında büyük farklılıklar göstermekte olup meyve ağırlıkları birkaç gramdan bir kilogramı aşan değerlere kadar değişebilmektedir. Olgunlaşma sürecinde meyvelerin rengi koyu yeşilden krem, sarı, turuncu, pembe, kırmızı veya kahverengi tonlarına dönüşebilmektedir (27). Yapısında bulunan organik asitler (sitrik asit ve malik asit) ve çözünür şekerler, domatesin tat ve aroma profilini belirleyen en önemli bileşenler arasında yer almaktadır. Bu bileşenlerin miktarı domates çeşidi, yetiştirme koşulları ve olgunlaşma evresi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (28).

Domates, sıcak ve ılıman iklim koşullarında yetişen ve düşük sıcaklıklara toleransı sınırlı olan bir bitkidir. Sıcaklık 0°C'nin altına düştüğünde bitki ölür. Optimum gelişimi sağlamak için sıcaklık aralığının 16-35°C arasında olması gerekir. Su tutma kapasitesi yüksek, humusça zengin ve besin türlerince iyi düzeyde tınlı topraklar, domatesin ideal şekilde yetişmesine olanak tanır. Yüksek nem koşullarında gelişimi desteklenen domates bitkisi, dikimden hasat zamanına kadar, yağış miktarı, nem oranı ve güneş radyasyonu gibi faktörlere bağlı olarak 650-1100 mm arasında su tüketir. Yetersiz su alımı üst yapraklarında kıvrılmaya yol açarken, aşırı sulama ise çeşitli hastalıklara zemin hazırlamaktadır. Gelişimini sürdürebilmek için 13 temel

besin ögesine ihtiyaç duyan domates, özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) gibi mikro besin ögelerine gereksinim duymaktadır (29).

Dünya çapında yaygın bir şekilde yetiştirilen ve tüketilen domates, küresel üretimde önemli bir yer tutmaktadır. Dünya genelinde 2022 yılı içinde 5.244.101 hektar alanda 186,62 milyon ton domates üretilmiştir. Çin 68 milyon tonluk üretimiyle birinci sırada yer alırken, Hindistan 21 milyon ton, Türkiye ise 13 milyon tonluk üretimiyle bu ülkeleri takip etmektedir (30). Domates, tarım ekonomisine önemli katkılar sağlayan başlıca ürünlerden biridir. Taze olarak tüketilmesinin yanı sıra konserve, salça, ketçap ve sos gibi endüstriyel ürünler şeklinde de kullanılmaktadır (31).

2.2. Enerji ve Besin Ögesi İçeriği

Domates ekonomik öneminin yanı sıra besin ögesi içeriği açısından da değerli bir besindir. Tablo 2.1.'de domatesin enerji içeriği ve besin ögesi bileşimi gösterilmiştir. İçeriğinin yaklaşık %94,2'sini su oluşturmakta olup, 100 g taze domates ortalama 2,9 g karbonhidrat, 1,1 g diyet lifi, 0,9 g protein ve 0,2 g yağ içermektedir. Düşük enerji yoğunluğuna sahip olan domates, 100 g'da yaklaşık 19 kkal enerji sağlamaktadır (32). Domates; C vitamini, B kompleks vitaminleri (B₁, B₂, B₃, B₅, B₆), A, E ve K vitaminleri açısından zengindir. Literatürde domateste C vitamininin diğer vitaminlere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmektedir (6).

2.3. Domatesin Antioksidan Aktivitesi

Dünya genelinde çiğ veya işlenmiş formda tüketilen domatesler β -karoten, askorbik asit, likopen, tokoferol, fenolik asitler gibi çok çeşitli antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşenden zengindir. Bu bileşikler, hücresel hasarı önleyerek oksidatif strese karşı koruma sağlamaktadır (33, 34). Domatesin antioksidan profilinde hidrofilik antioksidanlar, özellikle askorbik asit, baskın rol oynamaktadır. Lipofilik antioksidanlar (karotenoidler ve E vitamini) ise toplam antioksidan kapasiteye (TAC) sınırlı bir katkı (%17) sağlamaktadır (35). Nitekim kurutulmuş domateslerin hidrofilik özütlerinin, DPPH serbest radikallerini temizlemede lipofilik özütlere kıyasla daha yüksek etkinlik gösterdiği belirlenmiştir (36). Ayrıca, bazı ekstraktların DPPH radikal

süpürücü aktivitelerinin ticari antioksidanlarla benzer etkinlik gösterebildiği bildirilmiştir. Bu durum, domateslerin doğal antioksidan kaynağı olarak değerlendirilebileceğini desteklemektedir (37). Lipofilik özütler arasında da özellikle likopenin antioksidan aktivitesi daha yüksektir ve α -tokoferol ile potansiyel sinerjik etkiler göstermektedir (38). Liu ve ark. (39) tarafından yapılan bir çalışmada likopen, E vitamini, C vitamini ve β -karoten arasındaki sinerjik etki gösterilmiş; dört bileşiğin bir arada bulunmasının antioksidan aktiviteyi güçlendirdiği ortaya konulmuştur.

Tablo 2.1. Domatesin besin içeriği (32).

Bileşen	Miktar	Bileşen	Miktar
Enerji (kkal)	19	Toplam B6 (mg)	0,08
Su (g)	94,2	A vitamini (RE)	51
Protein (g)	0,9	Beta Karoten (μ g)	612
Yağ (g)	0,2	Likopen (μ g)	5681
Karbonhidrat (g)	2,9	Lutein (μ g)	40
Toplam diyet lifi (g)	1,1	K ₁ vitamini (μ g)	3,3
Glukoz (g)	1,2	Demir (mg)	0,3
Fruktoz (g)	1,2	Fosfor (mg)	27
C vitamini (mg)	19,8	Çinko (mg)	0,2
Tiamin (mg)	0,03	Kalsiyum (mg)	10
Riboflavin (mg)	0,03	Potasyum (mg)	206
Niasin (mg)	0,6	Magnezyum (mg)	12

Domatesin antioksidan aktivitesi genotip, yetiştirme koşulları, hasat zamanı ve iklim gibi çevresel koşullardan etkilenmektedir (40). Yapılan çalışmalarda, farklı domates çeşitlerinin antioksidan içeriği ve aktivitesinde önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. İspanya'da yetiştirilen dört farklı domates çeşidini inceleyen bir çalışmada, yuvarlak domatesin fenolik bileşikler, karotenoidler ve tokoferoller gibi çeşitli antioksidanlar açısından en zengin olduğu ve dolayısıyla en yüksek aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur (41). Farklı domates çeşitlerinde gerçekleştirilen bir

çalışmada ise olgunlaşma süreci boyunca antioksidan profilindeki değişimler incelenmiştir. Sonuçlar, askorbik asit ve likopen gibi antioksidanların içeriğinin olgunlaşma ile arttığını ve olgun domateslerin antioksidan aktivitesinin en yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kiraz domates çeşitlerinin, diğer domates çeşitlerine kıyasla karotenoidler, askorbik asit, toplam fenolik bileşikler ve flavonoidler açısından daha zengin olduğu ve dolayısıyla daha yüksek bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon analizleri, domatesin antioksidan aktivitesi ile toplam fenolik bileşikler, askorbik asit, flavonoidler, karotenoidler ve lutein gibi belirli bileşenler arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, domatesin antioksidan aktivitesinin hem genetik faktörler hem de çevresel faktörler tarafından kompleks bir şekilde etkilendiğini ve bu etkileşimin antioksidan profilini belirlediğini göstermektedir (42). Bhandari ve ark. (43), yaptıkları çalışmada toplam fenol, lutein ve beta karoten içeriğiyle antioksidan aktivite arasında güçlü korelasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Hindistan'da gerçekleştirilen bir çalışmada, yüksek rakım ve ova bölgelerinde yetişen domates çeşitlerinin farklı kısımlarındaki antioksidan bileşenler incelenmiştir. Çalışmada, likopenin yüksek rakımlı çeşitlerde, askorbik asit ve fenolik bileşiklerin ise ova bölgesi çeşitlerinde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum da, çeşitlerin genetik yapısı ve yetiştirme koşullarının antioksidan içeriği üzerindeki önemli etkisini doğrulamaktadır (44). Farklı domates çeşitlerinin tohum, posa ve kabuk kısımlarındaki antioksidan aktivitesinin karşılaştırıldığı bir çalışmada kabuk kısmının en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve bu durumun genotipe bağlı olarak %25-39 oranında değiştiği gösterilmiştir (45). Domatesin kabuk ve çekirdeklerinin çıkarılması, likopen, beta-karoten, askorbik asit ve fenolik bileşikler gibi değerli fitokimyasalların kaybına neden olarak meyvenin TAC'sini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden domatesin besin değeri ve sağlık faydaları açısından tamamının tüketilmesi gerekmektedir (46).

2.4. Domatesin Sağlık Yararları

Domates; içerdiği karotenoidler (özellikle likopen), vitaminler, mineraller ve fenolik bileşikler gibi zengin biyoaktif bileşenler sayesinde insan sağlığı üzerinde çok yönlü koruyucu etkilere sahiptir. Domatesin fonksiyonel özellikleri arasında en dikkat çekici olanı, kronik hastalıkların patogenezinde rol oynayan oksidatif stresi ve hücrel

hasarı önleme kapasitesidir (47). Nitekim yapılan *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar, domates bileşenlerinin güçlü antikanser aktivite gösterdiğini; özellikle prostat kanseri gibi spesifik kanser türlerinde tümör hücrelerinin proliferasyonunu inhibe ederek apoptozu teşvik ettiğini ortaya koymaktadır (48). Bu bulguları destekler nitelikte, Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen geniş kapsamlı bir kohort çalışmasında, düzenli domates ve likopen tüketimi ile kanser kaynaklı mortalite riski arasında ters yönlü güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir (49).

Kardiyovasküler sağlıkla ilgili yapılan çalışmalar, domates tüketiminin düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol seviyelerini düşürerek, inflamasyonu azaltarak ve endotel fonksiyonunu iyileştirerek kalp sağlığını destekleyebileceğini göstermektedir (50, 51). Ayrıca vazodilatör etkileri sayesinde kan basıncını düşürerek hipertansiyon riskini azaltmaktadır (52). Kadın popülasyonunda yürütülen bir klinik çalışmada, düzenli domates suyu tüketiminin vücut ağırlığı yönetiminde olumlu sonuçlar verdiği, antropometrik ölçümlerde ve kardiyovasküler risk parametrelerinde anlamlı iyileşmeler sağladığı belirlenmiştir (53). Bir meta-analizin sonuçları, domates ve likopen tüketiminin kardiyovasküler risk faktörlerini doğrudan etkilemediğini, ancak likopen takviyesinin oksidatif stresi azaltarak dolaylı bir etkisi olabileceğini göstermiştir (54).

Domatesin Deoksiribonükleik asit (DNA) hasarını önlemedeki rolü de önemli bir araştırma alanıdır. Yapılan çalışmalar, domates tüketiminin oksidatif strese bağlı DNA hasarını azalttığını ve böylece hücre sağlığını koruduğunu göstermektedir (55-57). Son yıllarda yapılan çalışmalar, domatesin bağırsak sağlığı üzerinde de olumlu etkileri olduğunu göstermektedir (58, 59). Domates suyu, karaciğer hastalığı olan fare modellerinde prebiyotik etki göstererek bağırsak mikrobiyotasını düzenlemiş ve kolon epitel bariyer fonksiyonu iyileştirmiştir. Bu iyileşme sonucu karaciğer dokusunda fibrozis ve inflamasyon azalmıştır (60). Domatesin Parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıklarda da koruyucu etkileri olduğu öne sürülmektedir (61). Likopenin, beyindeki dopamin seviyelerini artırarak ve oksidatif stresi azaltarak Parkinson hastalığına bağlı nörodejenerasyonu yavaşlatabileceği düşünülmektedir (61). Benzer şekilde, fruktoz kaynaklı insülin direnci ve bilişsel bozulma modellerinde likopenin koruyucu etkileri olduğu gösterilmiştir (62).

2.5. Tarımın Geleceği

Birleşmiş Milletler (BM) tahminlerine göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,7 milyar kişiye ulaşması öngörülmekte olup bu durum, tarım arazileri üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır (63, 64). Hızlı kentleşme, su kaynaklarının azalması, tarım arazilerinin kaybı ve erozyon gibi çevresel sorunlar küresel besin güvenliğini tehdit etmekte; ekilebilir alanların genişletilmesini zorlaştırmaktadır (65). Buna ek olarak, sürdürülemez tarım uygulamaları sonucunda her yıl yaklaşık 24 milyar ton verimli toprak kaybı yaşanmakta olup Hükümetler Arası Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Bilim-Politika Platformu (IPBES) raporlarına göre mevcut eğilimlerin sürmesi halinde 2050 yılı itibarıyla küresel kara alanlarının %95'inin bozulma riski altında olacağı öngörülmektedir (66).

Bu tablo, tarım sektörünün sürdürülebilirlik ve adaptasyon odaklı yeni stratejilere yönelmesini zorunlu kılmaktadır (67). Bu süreçte sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması ve farklı üretim sistemlerinin çevresel etkiler ve besin değeri üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak ortaya konulması bu süreçte kritik bir önem taşımaktadır. Bu doğrultuda organik, konvansiyonel ve topraksız tarım gibi farklı üretim yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi sürdürülebilir tarım politikalarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

2.6. Ülkemizde Uygulanan Tarım Yöntemleri

2.6.1. Konvansiyonel Tarım

Tarımsal sistemler, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren avcı-toplayıcı toplumlardan yerleşik hayata geçişle birlikte evrilmiş ve teknoloji ile bilgi birikiminin artmasıyla sürekli bir gelişim süreci göstermiştir. İlkel tarım uygulamalarından geleneksel tarıma ve nihayetinde modern tarımsal üretim sistemlerine geçiş, insanlık tarihinin dönüm noktalarından biri olarak değerlendirilmektedir (68). Konvansiyonel tarım, modern tarımsal üretim tekniklerinin yoğun şekilde kullanıldığı, maksimum verim ve üretim hedefleyen bir tarım modelidir. Bu yöntem, genellikle kimyasal gübre, pestisit, yoğun sulama teknikleri ve mekanizasyon gibi ileri teknolojilere dayanır (69). Bu tarım sistemi, düşük maliyetli girdiler, geniş üretim alanları ve yüksek verim

sayesinde üreticilere yüksek kârlılık sağlarken, tüketicilere uygun fiyatlı ürünler sunarak besin güvencesine katkıda bulunmaktadır (70). Ancak bu sistemin genellikle monokültür üzerine kurulu olması, yani yalnızca tek bir ürün yetiştirilmesi, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır (71).

Konvansiyonel tarımda üretimi artırmak amacıyla kullanılan kimyasal gübre ve pestisit, kısa vadede verim artışı sağlamakla birlikte uzun vadeli çevresel ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır (72). Dünya genelinde hektar başına ortalama 2,4 kg pestisit kullanılmakta olup, bazı bölgelerde meyve ve sebzelerde izin verilen sınırların üzerinde pestisit kalıntısı bulunduğu tespit edilmiştir (73-75). Azotlu gübrelerin yoğun kullanımı ise küresel azot döngüsünü bozmakta, yeraltı sularında nitrat kirliliğine neden olmakta, sera gazı emisyonlarını artırarak iklim değişikliğini hızlandırmaktadır (76). 2019 verilerine göre, küresel sera gazı emisyonlarının %20'si tarımsal üretimden kaynaklanmaktadır (77).

Konvansiyonel tarımda yoğun toprak işleme ve sentetik gübre kullanımı, toprak ekosistemlerinin biyolojik çeşitliliğini ve işlevselliğini azaltarak toprak organik maddesinin miktar ve kalitesini düşürmektedir. Bu süreçler, besin döngüsünü, bitki besin ögelerinin alımını ve bitkilerde fitokimyasal bileşiklerin sentezini olumsuz etkileyebilmektedir (78). Ayrıca, küresel besin üretim sistemi, dünya yüzeyinin yaklaşık dörtte birini işgal etmekte ve tatlı su kaynaklarının %70'inden fazlasını tüketmektedir (79). Bu yüzden tarım sektörü, su kıtlığı sorununda en büyük paya sahip sektör olarak öne çıkmaktadır (80). Bununla birlikte tarım uygulamaları, toprak kalitesinin düşüşü ve denizlere aşırı miktarda azot ve fosfor salınımı gibi birden fazla mekanizma yoluyla kıyı ekosistemlerinin sağlığını tehdit etmekte ve ekosistemin bozulmasına yol açmaktadır (81).

Konvansiyonel tarımın yüksek verim ve düşük maliyet gibi avantajlarına rağmen, uzun vadede çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlar yarattığı görülmektedir (82). Bu nedenle, tarımsal üretimde daha sürdürülebilir yöntemlere geçiş zorunlu hale gelmiştir. Sürdürülebilir besin üretimi ihtiyacının artması, tarımsal yönetim uygulamalarında yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere olan ilgiyi artırmaktadır (83).

2.6.2. Organik Tarım

Organik tarım, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından oluşturulan Codex Alimentarius Komisyonu'nun (2007) tanımına göre, tarımsal ekosistemlerin sağlığını mineral ve bitkisel kökenli doğal girdilerle destekleyerek, sentetik girdilerin kullanımını sınırlandıran bütünleşmiş bir üretim sistemidir. Bu sistem, toprak biyolojik aktivitesi, biyolojik çeşitlilik ve biyolojik döngüler gibi ekosistem süreçlerini optimize ederek, sürdürülebilir ve çevre dostu bir tarım modeli sunar (84). Uluslararası Organik Tarım Hareketi Federasyonu (IFOAM)'na göre ise; 'Ekolojik tarım; toprak, ekosistem ve insan sağlığını koruyan ve sürdüren bir üretim sistemidir. Bu sistem, olumsuz etkileri olan girdilerin kullanımı yerine ekolojik süreçlere, biyolojik çeşitliliğe ve yerel koşullara uyum sağlamış döngülere dayanır. Ekolojik tarım, çevrenin korunmasına katkı sağlamak, adil ilişkileri desteklemek ve tüm paydaşlar için iyi bir yaşam kalitesini teşvik etmek amacıyla geleneksel bilgi, yenilikçi uygulamalar ve bilimi bir araya getirir.' (85).

Türkiye'de organik tarım faaliyetleri, 5262 sayılı Organik Tarım Kanunu ve Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik kapsamında T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından düzenlenmekte ve denetlenmektedir. Bu çerçevede organik ürünlerin üretiminin her aşaması kontrol edilmekte ve nihai ürün sertifikalandırılmaktadır (86). Organik tarım sistemlerinde, sentetik pestisitler, herbisitler, çözünür gübreler ve veteriner ilaçları gibi doğrudan kontrol yöntemlerinin yasaklanması veya kullanımının sınırlandırılması nedeniyle, çiftçiler önleyici ve sistemik yaklaşım benimseyerek tarımsal üretimi sürdürmektedir. Bu bağlamda, organik tarım sistemi, tarımsal ekosistemlerin doğal dengesini ve sürdürülebilirliğini esas alarak baklagil ekimi, kompost uygulamaları ve yerel kaynakların döngüsel kullanımı gibi yöntemlerle toprak verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Biyolojik çeşitliliği destekleyen ve ekosistem hizmetlerini güçlendiren önleyici uygulamalar, organik tarımda zararlı organizmalar ve hastalıklarla mücadele stratejilerinin temelini oluşturmaktadır (87). Organik ve geleneksel tarım sistemleri karşılaştırılması yapılırken üretim verimliliği, ekonomik boyutlar, çevresel etkiler, refah düzeyi ve sürdürülebilirlik gibi konular üzerinde durulur. Organik tarım tüm bunların dışında, sosyal, kültürel, ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği bir arada hedefleyen bütüncül

bir sistem olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca konvansiyonel tarıma kıyasla daha karlı ve çevre dostu olduğu belirtilmektedir (88). Yapılan kapsamlı meta-analizler, organik tarımın geleneksel tarıma göre ortalama %19-25 daha düşük verimle sonuçlandığını ancak biyolojik biyoçeşitliliği %30 oranında arttırdığını göstermektedir (89, 90).

Küresel çapta organik tarımın yaygınlaşması ve tüketici talebindeki artış, bu üretim sisteminin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. 188 ülkede uygulanan organik tarım, 96 milyon hektarı aşan bir alanda sürdürülmekte ve Avustralya (53,0 milyon hektar), Hindistan (4,7 milyon hektar) ve Arjantin (4,1 milyon hektar) gibi ülkeler bu alanda öncü konumdadır (91). Ülkemizde de organik tarım 382,6 bin hektarlık alanda uygulanmaktadır (92). Tüketiciler, organik ürünlerin daha sağlıklı, çevre dostu ve besin değeri yüksek olduğu inancıyla bu ürünleri tercih etmektedir. Bu düşünce, organik tarıma olan talebi artıran en önemli faktörlerden biridir (93, 94).

Yayınlar organik ve geleneksel tarım uygulamalarıyla üretilen mahsuller arasındaki makro besin ögesi düzeyleri açısından anlamlı farklılıkların sınırlı olduğunu göstermektedir. Ancak, farklı bitki türleri ve tarım uygulamalarının mikro besin içeriği üzerindeki etkileri konusunda daha belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Genel olarak, geleneksel tarım yöntemleriyle üretilen ürünlerde daha yüksek düzeylerde pestisit kalıntıları tespit edilirken, organik tarımla üretilen ürünlerde, insan sağlığı açısından yararlı olduğu bilinen fitokimyasal bileşiklerin daha yüksek düzeylerde bulunduğu bildirilmektedir (78, 95). Nitekim çeşitli araştırmalar, organik besin tüketiminin idrar örneklerindeki pestisit seviyelerini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (96, 97). Sağlıklı bireyler ve kronik böbrek hastalığı olan bireylerle yürütülen bir Akdeniz diyet müdahale çalışmasında, organik besinlerden zengin diyeti takip edenlerde yağsız vücut kütlelerinde artış, proinflatuar sitokinlerde ve toplam plazma homosisteininde azalış gözlemlenmiştir (98). NutriNet-Santé kohort çalışmasında, organik besin tüketimi ile vücut kompozisyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, katılımcıların organik besin tüketim düzeylerindeki artış, aşırı kilolu ve obezite risklerinde anlamlı bir azalma ile ilişkili bulunmuştur. Ortalama 3,1 yıllık takip süresi sonunda, obezite riskinde %37 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir (99). Organik besin tüketiminin insan sağlığına etkilerini inceleyen ve 23 gözlemsel ile 27 girişimsel olmak üzere toplam 50 çalışmayı kapsayan

bir sistematik derleme ve meta-analizde, organik besin tüketiminin pestisit maruziyetini azaltmada olumlu bir ilişki gösterdiği; ayrıca vücut kitle indeksi ve obezite başta olmak üzere genel hastalık ve fonksiyonel değişimler açısından da faydalı bir ilişkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Ancak tekil hastalıklarla ilişkisine dair kanıtların, çalışma sayısının ve kapsamının sınırlı olması nedeniyle yetersiz olduğu belirtilmiştir (100).

2.6.3. Topraksız Tarım

Topraksız tarım, bitkilerin besin ögesi ihtiyaçlarını toprak yerine besin çözeltileri aracılığıyla karşıladığı bir yetiştirme yöntemidir (101). Tarihsel olarak Mısır ve Çin gibi medeniyetlerde uygulanan bu yöntem, günümüzde modern tarım sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (102). Topraksız tarım sistemlerinde bitkiler konvansiyonel tarımda olduğu gibi toprak ortamına doğrudan ihtiyaç duymazlar. Ancak sağlıklı bir büyüme ve gelişme için azot (N), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), kükürt (S), demir (Fe), manganez (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), molibden (Mo), bor (B), klor (Cl) gibi mikro besin öğelerine ihtiyaç duyarlar. Topraksız tarım sistemlerinde bitki köklerinin sağlıklı bir gelişimi için besin çözeltilerine ek olarak yeterli su, ışık, karbondioksit ve oksijen sağlanması gerekmektedir (103). Bitki büyümesi boyunca besin öğeleri alım hızları farklılık gösterdiğinden, besin çözeltisi analizleri düzenli olarak yapılmalı ve eksiklikler tamamlanmalıdır (104).

Bitkilerin kontrollü koşullar altında yetiştirilmesinde özellikle hidroponik ve aeroponik sistemler kullanılmaktadır. Bu terimler, Latince ve Yunanca kökenli olup "hidro" (su) ve "aero" (hava) anlamına gelen sözcüklerle "ponos" (emek, çalışma) kelimesinden türetilmiştir. Her iki sistemde de bitkiler kontrollü koşullar altında toprak kullanılmaksızın büyümektedirler. Bu sistemlerde bitki kökleri ya besin açısından zengin bir suyun içerisinde ya da havada asılı buhar formunda besin içeriğine maruz kalarak yetiştirilmektedir (105, 106).

Hidroponik Tarım

Hidroponik tarım, bitkilerin toprak yerine inert bir yetiştirme ortamında yetiştirildiği ve besin ihtiyaçlarının suda çözünmüş besinlerle karşılandığı modern bir tarımsal üretim sistemidir (107). Bu sistem, geleneksel tarıma kıyasla su tüketimini yaklaşık %70 oranında azaltarak önemli bir çevresel avantaj sunmaktadır. Bitkiler, hindistancevizi torfu, perlit veya mineral yün gibi inert bir ortamda köklendirilmekte ve ihtiyaç duydukları besinler, su içinde çözünmüş şekilde temin edilmektedir (108). "Hidroponik" terimi, Yunanca "hidro" (su) ve "ponos" (çalışma) kelimelerinden türetilmiştir ve bu sistemin temel prensiplerini ifade etmektedir (105).

Hidroponik tarım, geleneksel bahçecilik uygulamalarına kıyasla su tüketimini yaklaşık 20 kat azaltmakta ve kullanılan suyun geri dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır. Daha küçük alanlarda daha fazla ürün yetiştirilebilmesi sayesinde yer tasarrufu sağlanırken, otomasyon sistemleri aracılığıyla büyüme süreci daha etkili bir şekilde yönetilebilmekte ve ürün kalitesi artırılabilir. Kapalı ve steril üretim ortamlarında gerçekleştirilen hidroponik sistemlerde zararlı böcek ve yabancı otlarla mücadeleye gerek duyulmamakta, bu sayede pestisit kullanımına olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır. Ayrıca, toprak gereksinimi olmaması nedeniyle toprak işçiliği yapılmamakta ve hasat süreçleri daha kolay ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (109, 110). Hidroponik sistemler, su verimliliği, enerji tasarrufu ve pestisit kullanımının azaltılması gibi avantajları sayesinde küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmesine katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Sürdürülebilir tarım ilkeleriyle uyumlu olan bu sistemler, çevresel etkileri azaltırken biyoçeşitliliğin korunmasına da katkı sağlamaktadır (111, 112).

Topraksız tarım sistemlerinde, geleneksel tarımın aksine, bitkiler toprak yerine çeşitli substratlar üzerinde yetiştirilir (113). Bu substratlar, bitkilerin kök sistemlerine destek sağlarken, aynı zamanda besin maddelerini ve suyu tutma görevini üstlenirler (114). Yetiştiriciler, mevcut bilgi ve deneyimleri ile teknik altyapı gereksinimlerini göz önünde bulundurarak organik ve inorganik kökenli substratları tercih etmektedir. Organik substratlar arasında turba, kompost ve hindistan cevizi lifi gibi bitkisel kökenli materyaller yer alırken; inorganik substratlar arasında ise kum, perlit,

vermikülit, çakıl, pomza, genişmiş kil ve volkanik tuf gibi mineral kökenli materyaller yer almaktadır (115). Özellikle hindistan cevizi lifi, yüksek su tutma kapasitesi, dayanıklı yapısı ve potasyum içeriği sayesinde dikkat çekmektedir. Hindistan cevizi endüstrisinin bir yan ürünü olan bu lif, uygun koşullarda dört yıla kadar tekrar kullanılabilirliği ile sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlar (116).

Hidroponik tarım sistemleri, bitkilerin besin maddelerini aldığı ortam ve kullanılan yetiştirme ortamına göre farklı şekilde sınıflandırılabilir.

- 1) Besin Filmi Tekniği: Bu sistemde bitki kökleri sürekli olarak besin çözeltisine maruz kalır ve buradan ihtiyaç duydukları besinleri alır. Özellikle daha az desteğe ihtiyaç duyan yeşil yapraklı sebzeler ve otlar bu sistemde yetiştirilir.
- 2) Derin Su Kültürü: Hidroponik sistemler arasında bitki köklerinin doğrudan, oksijenli ve besin açısından zengin su çözeltisinde yetiştirildiği bir yöntemdir. Bu sistemde, bitkiler genellikle polistiren gibi hafif malzemelerden yapılmış sal üstünde, deliklere yerleştirilmiş saksılarda desteklenir. Besin çözeltisi ise, yaklaşık 20 cm derinliğindeki uzun kanallarda sürekli olarak dolaştırılır (117). Bitki kökleri sürekli nemli ve oksijenli bir ortamda bulunduğu için hızlı ve sağlıklı büyüyebilir (118).
- 3) Damlama Sistemi: Bitki yetiştiriciliğinde suyun verimli kullanımı ve bitki büyümesinin optimize edilmesi amacıyla geliştirilmiş bir sulama yöntemidir. Bu sistemde, su düşük basınç altında borular ve özel olarak tasarlanmış damlatıcılar aracılığıyla bitki kök bölgesine doğrudan ve kontrollü bir şekilde verilir (119).

Geleneksel tarım yöntemlerine alternatif olarak hidroponik tarım sistemlerin yaygınlaştırılması, gelecekte artan nüfus ve sınırlı kaynaklar karşısında sürdürülebilir besin üretimi için stratejik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu sistem, daha az kaynakla daha fazla üretim sağlayarak tarımsal verimliliği artırmakta ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

Aeroponik Tarım

Aeroponik tarım, bitkilerin toprak yerine köklerinin havada asılı olduğu nemli bir ortamda yetiştirildiği ileri bir tarımsal üretim yöntemidir. (120). Bu sistemde, besin çözeltisi sisleme veya damlama yöntemiyle bitki köklerine iletilir (121). Özellikle yüksek basınçlı otomizasyon tekniği kullanılarak, besin çözeltisi küçük bir delikten yüksek basınç altında geçirilerek 10-100 µm çapında aerosol damlacıklarına dönüştürülür (106). Bu yöntem, köklere daha iyi oksijen erişimi sağlayarak metabolik süreçleri destekler, kök büyümesini ve besin alımını olumlu yönde etkiler (122).

Aeroponik tarım sistemi, hidroponik tarım sistemin avantajlarına ek olarak su ve kaynak kullanımında önemli ölçüde tasarruf sağlar. Bu yöntemle %98 su, %60 besin ve %100 oranında pestisit ve herbisit tasarrufu sağlanabilmektedir (123). 1990'lı yılların başından itibaren Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA), pestisit içermeyen bitki ve sebze üretimi için düşük kütleli, şişirilebilir aeroponik sistemler üzerinde araştırmalar yürütmektedir. Bu sistemler, tahıl, domates, marul, biber gibi ürünlerin hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesine olanak tanımaktadır (121).

Aeroponik tarım sisteminde yetiştirilebilecek ürünler oldukça çeşitlidir. Sistem, özellikle kök seviyesinden oksijen, nem ve besin gereksinimi yüksek olan mahsullerin üretiminde kullanılır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, aeroponik sistemin kök büyümesini ve yumru oluşumunu destekleyen koşullar sağlandığında, kök sebzelerin üretimi için de uygun olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda marul, ıspanak, roka, patates, yer elması, domates, dut, çilek, ayçiçeği, pelin otu, kişniş ve nane gibi ürünler başarılı bir şekilde yetiştirilebilmektedir (124, 125).

Çevresel koşulların (sıcaklık, nem ve besin seviyeleri) izlenmesi için aeroponik sistemde sensör teknolojisi kullanılır. Bu sensörler, bitki büyümesi için en uygun koşulların sağlanmasına destek olur ve bitki sağlığını takip eder. Ayrıca, sensörlere entegre otomatik kontrol sistemleri sayesinde çevresel koşullardaki değişimlere hızlı bir şekilde yanıt verilebilir (126). Bitkilerin en verimli şekilde büyüme potansiyeline ulaşmasını sağlamak amacıyla, bu sistemde hassas algılama teknolojileri kullanılmalı ve besin çözeltisinin dozajı dikkatle kontrol edilmelidir (127). Aeroponik sistemin başarısını etkileyen önemli faktörlerden biri de aerosol faz oluşumudur. Aerosol

parçacık boyutu dağılımı, parçacık hızı ve higroskopisitesi, bu fazın oluşumunda kritik öneme sahiptir (128). Bu unsurların optimize edilmesi, sistemin etkinliği ve bitki verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Akvaponik Tarım

Akvaponik sistem, hidroponik ve akuakültür sistemlerinin ayrı ayrı yönetimine kıyasla, entegre bir yaklaşımla besin girdisi ve atık yönetimi gereksinimlerini önemli ölçüde azaltan, sürdürülebilir bir tarım yöntemi sunmaktadır (129). Kökeni tarihsel olarak yüzyıllar öncesine dayansa da modern akvaponik sistemler üzerine araştırmalar 1970'li yılların sonlarında başlamıştır. Günümüzde özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avrupa ve Avustralya gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (130).

Bu sistem, balık yetiştiriciliği ile bitki üretimini birleştirerek simbiyotik bir döngü oluşturur. Balıkların metabolik atıkları su ortamında birikir ve bitkiler tarafından besin kaynağı olarak kullanılır. Bitkiler ise biyofiltre görevi görerek suyu zararlı bileşiklerden arındırır, böylece hem su kalitesini artırır hem de balıklar için uygun bir yaşam ortamı sağlar. Bu döngü, hem atıkların bertaraf edilmesine hem de suyun verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır (131). Akvaponik sistem, yalnızca bitki ve balık etkileşimiyle sınırlı kalmayıp, organik maddelerin mineralizasyonunda önemli rol oynayan bakterileri de içerir. Bu bakteriler, bitkilerin kolayca alabileceği besin elementlerini sağlar (132). Ancak, sistem patojenik bakterilerin üremesi için de uygun bir ortam sunabilir ve bu durum hastalık riskini artırabilir (133). Bu nedenle pestisit kullanımından kaçınılarak entegre zararlı yönetim sistemleri benimsenmektedir (134).

Akvaponik sistemlerde çeşitli balık türleri kullanılmaktadır. Uluslararası araştırmalar, en sık yetiştirilen türlerin tilapia (%55) ve süs balıkları (örneğin koi, Japon balığı ve tropikal balıklar) olduğunu göstermektedir. Bunları yayın balığı ve levrek gibi diğer türler takip etmektedir (135). Tilapia balıkları, çevresel koşullara karşı yüksek uyum yetenekleri ve hızlı büyüme özellikleri nedeniyle akvaponik sistemlerde yaygın olarak tercih edilmektedir (136). Bu sistemlerde yaygın olarak

yetiştirilen bitkiler arasında marul ve türevleri, fesleğen ve domates gibi ürünler yer almaktadır (137-139).

Hidroponik tarım sistemlere kıyasla daha az gübre kullanılması, akvaponik tarımın sera gazı emisyonlarını azaltmasına katkı sağlar (140). Atıkların geri dönüştürülmesi, suyun verimli kullanımı ve arazi gereksinimlerinin azalması gibi avantajları nedeniyle, akvaponik sistemler kentsel tarım için uygun ve sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (141).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Araştırma Laboratuvarı, Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Botanik Laboratuvarı ve Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜNİTEK), Haziran 2025 – Şubat 2026 tarihleri arasında yürütülmüştür.

Çalışma kapsamında organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen salkım domates örneklerinin antioksidan aktivitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda doğal hasat dönemlerini temsil eden Haziran ve Ağustos 2025 aylarında doğrudan üreticilerden temin edilen örnekler hasat edilen örnekler, hasat edildikleri gün laboratuvara ulaştırılmış ve yıkama ile dilimleme işlemlerinin ardından $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de dondurulmuştur. Dondurulan örnekler liyofilizasyon yöntemiyle kurutulmuş, mekanik olarak homojenize edilerek toz haline getirilmiş ve %80 etanol ile ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Elde edilen ekstraktların antioksidan aktiviteleri DPPH serbest radikal süpürme yöntemi kullanılarak yarı maksimal inhibitör konsantrasyonu (IC_{50}) değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.

3.1. Materyal

Araştırmanın temel bitkisel materyali olarak salkım domates tercih edilmiştir. Domatesin Türkiye'de yaygın bir tüketim ağına sahip olması; likopen, askorbik asit, β -karoten ve fenolik bileşikler gibi antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşenler açısından zengin bir profil sunması ve farklı tarım metodolojilerine yüksek adaptasyon kabiliyeti, çalışmadaki örnek seçiminde belirleyici olmuştur (2-4, 142-144).

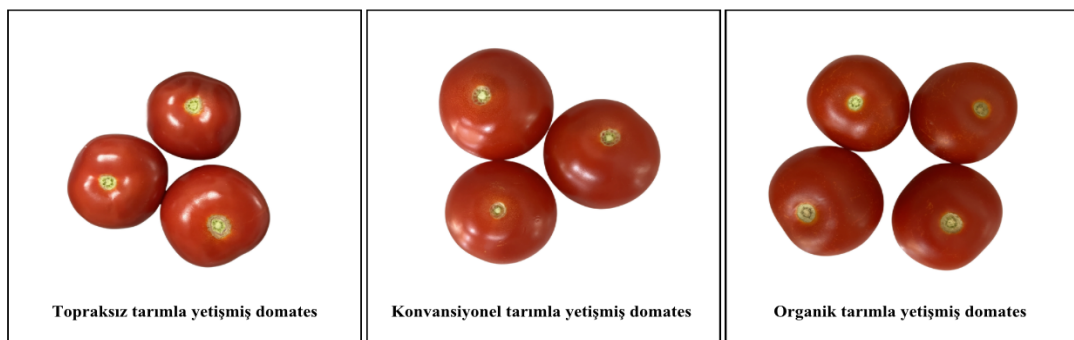
Çalışmada; sürdürülebilir tarım yaklaşımını temsil eden organik tarım, yaygın ticari üretim modeli olan konvansiyonel tarım ve modern kontrollü üretim sistemi sunan topraksız tarım yöntemleri karşılaştırılmıştır. Örnekleme bölgelerinin belirlenmesinde, ilgili üretim yöntemlerinin bölgedeki üretim yoğunluğu, mikroklimal özellikleri ve ekolojik temsil kabiliyeti dikkate alınmıştır.

Çalışmanın örneklem büyüklüğü, Vélez-Terreros ve ark.'nın (145) çalışması referans alınarak GPower 3.1.9.2 programı ile gerçekleştirilen güç analizi sonucunda

her grup için $n=35$, toplamda $N=105$ olarak belirlenmiş ve bu örneklem büyüklüğüne ulaşılmıştır.

Tüm örnekler ürünlerin doğal olgunlaşma ve ticari hasat dönemini yansıtacak şekilde Haziran ve Ağustos 2025 aylarında doğrudan üreticilerden temin edilmiştir. Organik tarım yöntemiyle yetiştirilen salkım domates örnekleri Başmakçı (Afyonkarahisar) bölgesindeki Ersöz Çiftliği'nden, konvansiyonel yöntemle yetiştirilenler Sarayköy (Denizli) bölgesindeki Yavuz İncir Gıda Tarım Sanayi Ticaret Ltd. Şti.'nden, topraksız tarım yöntemiyle coco peat ortamında yetiştirilenler ise Sandıklı (Afyonkarahisar) bölgesindeki jeotermal seralardan tedarik edilmiştir.

Araştırmada her tarım sisteminin koşullarına uygun ticari salkım domates çeşitleri kullanılmıştır. Salkım domates; organik, konvansiyonel ve topraksız tarım sistemlerinin her birinde yaygın olarak yetiştirilen ve ticari üretimde geniş adaptasyon kabiliyetiyle öne çıkan bir domates tipidir. Bu doğrultuda topraksız tarım sisteminde Altess F1, konvansiyonel tarım sisteminde Merkür F1 hibrit ve organik tarım sisteminde Sirius F1 çeşidi tercih edilmiştir. Söz konusu çeşitler yüksek verim potansiyeli, uniform meyve özellikleri ve hastalıklara karşı dayanıklılıkları nedeniyle ilgili üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve ticari ölçekte temin edilebilen kùltivarlar arasında yer almaktadır (146, 147).



Şekil 3.1. Farklı tarım yöntemiyle yetiştirilmiş domateslerin görüntüleri.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan domates örneklerine ait özellikler.

Özellik	Topraksız Tarım	Konvansiyonel Tarım	Organik Tarım
Bitki Yapısı	Sırık	Sırık	Sırık
Meyve Şekli	Yuvarlak	Yuvarlak	Yuvarlak
Meyve Ağırlığı (g)	125–140	130–150	140–150
Renk ve Görünüm	Parlak koyu kırmızı	Parlak koyu kırmızı	Koyu kırmızı, parlak
Meyve Yapısı	Sert	Sert	Sert
Salkım Özelliği	5 meyve	5–7 meyve	5–7 meyve
Hasat Şekli	Salkım	Salkım	Salkım
Kg fiyatı (Haziran-Ağustos 2025)	50-60 TL	40-50 TL	100-80 TL

3.2. Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Örnek hazırlama ve homojenizasyon işlemlerinde laboratuvar tipi mekanik parçalayıcı (Tefal Masterblend, 750 W, Fransa) ile analitik hassas terazi (Mettler Toledo, AB204-S, İsviçre) kullanılmıştır. Solvent uzaklaştırma işlemlerinde döner buharlaştırıcı (Rotavapor Heidolph Sürüm G3, Almanya) kullanılmıştır. Örneklerin dondurarak kurutulmasında Labconco (FreeZone, MO, ABD) ve Telstar (LyoQuest, İspanya) liyofilizatörleri kullanılmıştır. Antioksidan aktivite analizlerindeki spektrofotometrik ölçümler ise UV-Vis spektrofotometre (Biostar, Spektra S-220, ABD) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.3. Örneklerin Hazırlanması ve Ekstraksiyon Prosedürü

Çalışma kapsamında, organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen salkım domateslerden, Haziran ve Ağustos 2025 hasat dönemlerinde her tarım yöntemi için 35'er örnek temin edilmiştir. Domates örnekleri araştırmacı tarafından doğrudan üretim bölgelerinden alınmış ve tazeliklerinin korunması

amacıyla hasat edildikleri gün laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvara ulaştırılan örnekler, musluk suyu altında yıkanarak olası yüzey kontaminantlarından arındırılmıştır. Tüm örnekler, metal iyonlarına bağlı gelişebilecek olası oksidasyon reaksiyonlarını ve biyoaktif bileşen kayıplarını minimize etmek amacıyla seramik bıçaklar kullanılarak standart boyutlarda dilimlenmiştir. Kesim işleminin hemen ardından örnekler kabuk ve çekirdek yapıları korunacak şekilde bekletilmeksizin -20°C 'de derin dondurucuda dondurulmuştur (46, 148, 149).

Dondurulan örnekler, içerdikleri nem tamamen uzaklaştırılana kadar 72–96 saat liyofilizatörde liyofilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Liyofilizasyon yöntemi, düşük sıcaklık ve yüksek vakum koşullarında gerçekleştirildiğinden domates dilimlerinin fiziksel yapısını ve fenolik içeriğini korumada üstünlük sağlamaktadır (150). Liyofilizasyon işlemi tamamlanan kuru örnekler mekanik parçalayıcı yardımıyla homojenize edilerek toz haline getirilmiştir. Her tarım yöntemi ve hasat dönemine ait 35 örnek bu aşamada birleştirilerek örnek oluşturulmuş; bu yöntemle toplam altı bileşik örnek hazırlanmış ve tüm analizler bu örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Ekstraksiyon işlemi için liyofilize edilip homojenize edilen örneklerden analitik terazi kullanılarak 25 g tartılmıştır. Örnekler çözücü olarak 200 mL %80 etanol çözeltisi (Isolab, Germany) ilave edilmiştir. Karışım cam baget ile homojen şekilde karıştırıldıktan sonra, solventin buharlaşmasını ve ışığa bağlı fotodegradasyonu önlemek amacıyla erlenmayerlerin ağzı sızdırmaz şekilde kapatılmış ve alüminyum folyo ile sarılmıştır. Ekstraksiyon yöntemi olarak maserasyon uygulanmıştır. Maserasyon; bitkisel materyalin oda sıcaklığında ve karanlık ortamda uygun bir çözücü içerisinde belirli bir süre bekletilmesi yoluyla biyoaktif bileşiklerin pasif difüzyon prensibiyle çözücüye geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan karışımlar oda sıcaklığında karanlık ortamda 24 saat bekletilmiştir. Maserasyon süresince çözücü-örnek temasını artırmak ve ekstraksiyon verimini yükseltmek amacıyla karışımlar belirli aralıklarla çalkalanmıştır (151). Ekstraksiyon verimliliğini maksimum düzeye çıkarmak amacıyla maserasyon işlemi aynı tortu üzerinde üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon koşulları belirlenirken domates örneklerinde antioksidan aktivitenin

değerlendirilmesine yönelik literatürde valide edilmiş etanol bazlı ekstraksiyon metodolojilerinden yararlanılmış ve laboratuvar olanaklarına göre düzenlenmiştir (45, 152, 153).

Belirlenen sürelerin sonunda ekstratlar, %80'lik etanol ile önceden doyurulmuş süzgeç kâğıdı yardımıyla süzülmüştür. Elde edilen süzüntülerdeki etanol, döner buharlaştırıcıda 40 °C su banyosu sıcaklığında, düşük basınç altında tamamen uçurulmuştur (154). Balonlarda kalan sulu konsantre tortular, tamamen susuz, stabil ve higroskopik olmayan bir form elde edilmesi amacıyla yeniden liyofilize edilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

3.4. Antioksidan Aktivite Tayini (DPPH Yöntemi)

Antioksidan aktivite tayini, DPPH serbest radikal süpürme yöntemi kullanılarak spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir. DPPH yöntemi; hızlı, tekrarlanabilir, yüksek tekrarlanabilirliğe sahip ve düşük maliyetli olması nedeniyle bitkisel matrislerdeki antioksidan aktivitenin taranmasında literatürde yaygın olarak tercih edilen metotların başında gelmektedir (155). Mor renkli ve stabil bir serbest radikal olan DPPH'nin, test edilen bileşiklerle reaksiyona girerek indirgenmesi sonucu meydana gelen renk değişimi, UV-Vis spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Analiz protokolü, Brand-Williams ve ark. (156) tarafından tanımlanan prosedür esas alınarak uygulanmıştır.

Örnek ekstratları ve standart kuarsetin çözeltileri etanol çözücüsü kullanılarak hazırlanmıştır. Her bir kuru domates ekstresinden 2 mg tartılarak 2 mL hacmindeki mikrosantrifüj tüplerine aktarılmış, stok çözeltilerden hareketle 62,5–1000 µg/mL derişim aralığında seri örnek çözeltileri hazırlanmıştır. Pozitif kontrol ve standart madde olarak kullanılan kuarsetin, 2 mg tartılarak etanolde çözülmüş ve 1,56–200 µg/mL derişim aralığında standart çalışma çözeltileri hazırlanmıştır. DPPH çözeltisi, 3,125 mg DPPH'nin 7,5 mL etanol içerisinde çözülmesiyle hazırlanmıştır. DPPH çözeltisi ışığa duyarlı olduğundan cam flakon alüminyum folyo ile sarılarak muhafaza edilmiştir.

Antioksidan aktivite ölçümleri, 96 kuyucuklu düz tabanlı polistiren mikropalakalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir kuyucuğa 150 µL örnek ekstresi veya standart kuarsetin çözeltisi ile 50 µL 1 mM DPPH radikal çözeltisi eklenmiştir. Reaksiyon karışımları, oda sıcaklığında ve tamamen karanlık ortamda 30 dakika süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda kuyucukların absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Örneklerin serbest radikal süpürme kapasiteleri, aşağıdaki formül yardımıyla "% İnhibisyon" olarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ İnhibisyon} = [(A_{\text{Kontrol}} - A_{\text{Örnek}}) / A_{\text{Kontrol}}] \times 100$$

Bu formülde (A_{Kontrol}), kontrol örneğinin absorbansını; ($A_{\text{Örnek}}$) ise test edilen örneğin absorbansını ifade etmektedir.

Ekstrelerin IC_{50} değerleri, inhibisyon yüzdesi ile konsantrasyon arasındaki ilişki kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon eğrisinden hesaplanmıştır. IC_{50} değeri, DPPH radikallerinin %50'sini inhibe eden örnek konsantrasyonunu ifade etmektedir. Düşük IC_{50} değerleri, daha düşük konsantrasyonda daha yüksek radikal süpürme kapasitesi sağlandığını gösterdiğinden yüksek antioksidan aktivite ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle IC_{50} değeri, farklı örneklerin antioksidan aktivitelerinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan nicel bir parametre olarak kabul edilmektedir (157).

3.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Farklı tarım yöntemleriyle yetiştirilen domates örneklerinin antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesinde, örneklerin seri konsantrasyon kademelerinde (25–800 µg/mL) sergilediği DPPH radikal inhibisyon yüzdeleri esas alınmıştır. Spektrofotometrik ölçümler neticesinde elde edilen ham absorbans verilerinden yararlanılarak, her bir konsantrasyon düzeyi için spesifik yüzde inhibisyon (% İnhibisyon) değerleri matematiksel olarak hesaplanmıştır.

Örneklerin konsantrasyona bağlı radikal süpürme eğilimlerini belirlemek amacıyla, yatay ekseninde (x) ekstrakt konsantrasyonu, dikey ekseninde (y) ise % inhibisyon değerleri olacak şekilde konsantrasyon-yanıt grafikleri oluşturulmuştur.

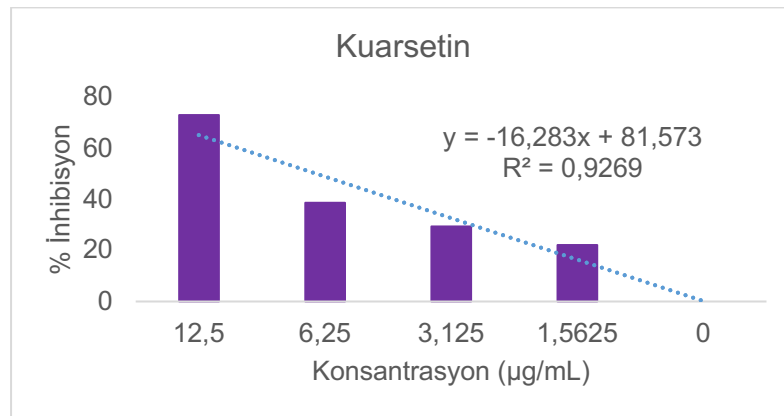
Her bir domates örneğine ait değeri (DPPH radikallerinin %50'sini inhibe eden efektif ekstrakt konsantrasyonu), bu grafikler üzerinden elde edilen doğrusal (lineer) veya eğrisel (non-lineer) regresyon denklemleri kullanılarak matematiksel olarak hesaplanmıştır. Tüm matematiksel modellemeler, veri matrislerinin oluşturulması ve grafiksel çizimler Microsoft Excel (Sürüm 2021, Microsoft Corp., ABD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada; organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen salkım domates örneklerinin antioksidan aktiviteleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Örnek toplama süreçleri; ilk hasat dönemi olan Haziran 2025 ayında ve yaz sonu hasat dönemini temsil eden Ağustos 2025 ayında gerçekleştirilmiş olup, her bir tarım metodolojisinden iki farklı dönemde örnekleme yapılmıştır. Araştırma kapsamında toplam altı farklı domates matrisinin ve kullanılan standart kuarsetin bileşiğinin antioksidan aktiviteleri DPPH serbest radikali süpürme yöntemi kullanılarak kantitatif olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Antioksidan Aktivite Tayini Sonuçları

Farklı tarım yöntemleriyle yetiştirilen ve iki farklı dönemde hasat edilen domates örneklerinden elde edilen etanol ekstraktları, 62,5–1000 µg/mL derişim aralığında analize tabi tutulmuştur. Pozitif kontrol ve standart madde olarak kullanılan kuarsetin bileşiği ise 1,56–200 µg/mL konsantrasyon aralığında hazırlanmıştır. Spektrofotometrik analizler sonucunda elde edilen absorbans değerleri kullanılarak her bir derişim için yüzde radikal inhibisyonu hesaplanmıştır. Standart kuarsetinin derişime bağlı DPPH radikal inhibisyon eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kuarsetin standardına ait DPPH inhibisyon grafiği.

Örnekler üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen veriler aşağıdaki tabloda ve şekilde ifade edilmiştir (Tablo 4.1 ve Şekil 4.2).

Tablo 4.1. Domates örneklerinin ve standart bileşiğin DPPH radikal süpürme aktivitesine ait değerleri.

Örnek Kodu	Tarım Yöntemi	Hasat Dönemi	IC ₅₀ Değeri (µg/mL)
H.O.	Organik Tarım	Haziran	670,18
H.K.	Konvansiyonel Tarım	Haziran	486,15
H.T.	Topraksız Tarım	Haziran	423,54
A.O.	Organik Tarım	Ağustos	898,15
A.K.	Konvansiyonel Tarım	Ağustos	97,93
A.T.	Topraksız Tarım	Ağustos	947,10
Kuarsetin	Standart / Pozitif Kontrol	-	7,89

H.O: Haziran-Organik Tarım, H.K: Haziran-Konvansiyonel Tarım, H.T: Haziran-Topraksız Tarım, A.O: Ağustos-Organik Tarım, A.K: Ağustos-Konvansiyonel Tarım, A.T: Ağustos-Topraksız Tarım

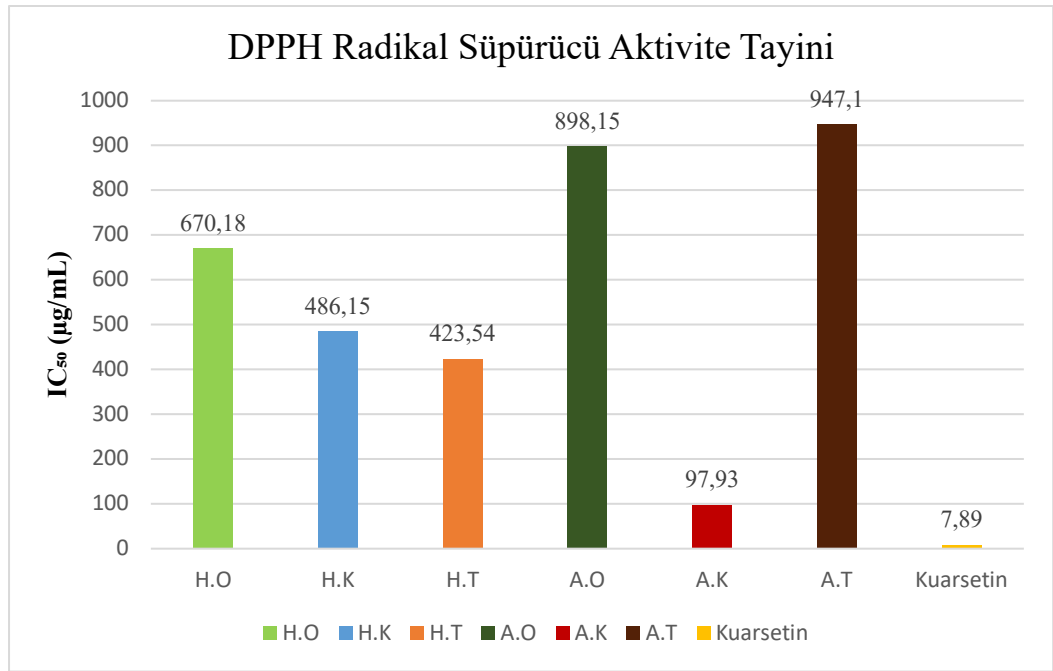
Tablo 4.1 incelendiğinde, analiz edilen domates örnekleri ile standart kuarsetin arasında IC₅₀ değerleri bakımından belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. En yüksek antioksidan aktivite, beklendiği üzere, saf antioksidan bileşik olan standart kuarsetinde (IC₅₀: 7,89 µg/mL) saptanmıştır. DPPH analizinde düşük IC₅₀ değeri daha yüksek antioksidan aktiviteye işaret etmektedir (158).

Domates örnekleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, en yüksek antioksidan aktivite ağustos ayında hasat edilen konvansiyonel örnekte (A.K.: 97,93 µg/mL), en düşük antioksidan aktivite ise yine ağustos ayında hasat edilen topraksız tarım örneğinde (A.T.: 947,10 µg/mL) saptanmıştır.

Haziran ayı örnekleri kendi içinde karşılaştırıldığında en yüksek antioksidan aktivite topraksız tarım örneğinde (H.T.: 423,54 µg/mL) gözlenmiş; bunu sırasıyla konvansiyonel (H.K.: 486,15 µg/mL) ve organik tarım (H.O.: 670,18 µg/mL) örnekleri izlemiştir. Ağustos ayı örneklerinde ise en yüksek antioksidan aktivite konvansiyonel örnekte (A.K.: 97,93 µg/mL) belirlenmiş; organik (A.O.: 898,15 µg/mL) ve topraksız tarım (A.T.: 947,10 µg/mL) örnekleri daha düşük aktivite sergilemiştir. Bu bulgular

hem uygulanan tarım yönteminin hem de hasat döneminin domateslerin antioksidan aktivitesi üzerinde etkili olduğuna işaret etmektedir.

Domates ekstrelerinin ve standart maddenin antioksidan aktivitelerinin grafiksel karşılaştırması Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Domates örnekleri ve standart kuarsetin bileşiğine ait IC₅₀ değeri.

H.O: Haziran-Organik Tarım, H.K: Haziran-Konvansiyonel Tarım, H.T: Haziran-Topraksız Tarım, A.O: Ağustos-Organik Tarım, A.K: Ağustos-Konvansiyonel Tarım, A.T: Ağustos-Topraksız Tarım

4.2. Fiyat-Performans Analizi

Çalışmada kullanılan domates örneklerinin piyasa fiyatları ile antioksidan aktivite verileri birlikte değerlendirilerek fiyat-performans analizi yapılmıştır. Bu amaçla her bir örnek için birim fiyat başına antioksidan aktivite skoru hesaplanmıştır. Aktivite skoru aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aktivite skoru: } (1/\text{IC}_{50}) \times 1000 / \text{fiyat (TL/kg)}$$

Hesaplanan aktivite skorunun yüksek olması, birim fiyat başına daha yüksek antioksidan aktivite elde edildiğini göstermektedir. Fiyat verileri; konvansiyonel domates için Ankara Hali’nden, organik domates için yerel üreticiden ve topraksız tarım domatesi için süpermarketten temin edilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Domates örneklerinin fiyat-performans analizi.

Örnek Kodu	IC ₅₀ (µg/mL)	Fiyat (TL/kg)	Aktivite/TL Skoru
H.O	670,18	100	0,0149
H.K	486,15	40	0,0515
H.T	423,54	50	0,0473
A.O	898,15	80	0,0139
A.K	97,93	50	0,2044
A.T	947,10	65	0,0162

H.O: Haziran-Organik Tarım, H.K: Haziran-Konvansiyonel Tarım, H.T: Haziran-Topraksız Tarım, A.O: Ağustos-Organik Tarım, A.K: Ağustos-Konvansiyonel Tarım, A.T: Ağustos-Topraksız Tarım

Tablo 4.2 incelendiğinde, fiyat-performans skorlarının hem tarım yöntemine hem de hasat dönemine bağlı olarak belirgin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. En yüksek fiyat-performans skoru Ağustos ayında hasat edilen konvansiyonel domates örneğinde (A.K.: 0,2044) elde edilmiştir. Bu sonuç, söz konusu örneğin çalışmadaki en düşük IC₅₀ değerine (97,93 µg/mL) sahip olmasının yanı sıra görece düşük bir piyasa fiyatıyla (50 TL/kg) sunulmasının bir yansımasıdır. Bunu sırasıyla Haziran ayında hasat edilen konvansiyonel (H.K.: 0,0515) ve topraksız tarım (H.T.: 0,0473) örnekleri izlemiştir.

Ağustos ayında hasat edilen topraksız tarım örneği (A.T.) ise IC₅₀ değerinin belirgin biçimde artması (947,10 µg/mL) ve piyasa fiyatının yükselmesi (65 TL/kg) nedeniyle en düşük skorlar arasında yer almıştır (0,0162). Organik domates örnekleri her iki hasat döneminde de düşük fiyat-performans skoru sergilemiş; Haziran (H.O.: 0,0149) ve Ağustos (A.O.: 0,0139) aylarına ait skorlar tüm örnekler arasında en alt sıralarda kalmıştır.

Tarım yöntemi bazında ortalama skorlar değerlendirildiğinde konvansiyonel tarımın (ort. 0,1280) topraksız tarımı (ort. 0,0317) ve organik tarımı (ort. 0,0144) belirgin biçimde geride bıraktığı saptanmıştır. Hasat dönemi açısından ele alındığında ise Ağustos ayında hasat edilen konvansiyonel örneğin (A.K.) yüksek skoru nedeniyle

Ağustos dönemi ortalamasının Haziran dönemine kıyasla daha geniş bir dağılım gösterdiği dikkat çekmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen domates örneklerinin antioksidan aktiviteleri DPPH serbest radikal giderme yöntemiyle IC₅₀ değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Çalışma üç temel hipotez çerçevesinde tasarlanmıştır: birinci hipotez farklı tarım yöntemleriyle üretilen domateslerin antioksidan aktivitelerinin birbirinden farklı olacağını, ikinci hipotez bu farklılığın hasat zamanına göre de değişeceğini, üçüncü hipotez ise tarım yöntemleri arasında fiyat-performans skorları bakımından da farklılık bulunacağını öngörmektedir.

Gruplar arasında IC₅₀ değerleri bakımından belirgin farklılıklar saptanmıştır: en düşük IC₅₀ değeri — yani en yüksek antioksidan aktivite — ağustos ayında konvansiyonel örnekte (97,93 µg/mL), en yüksek IC₅₀ değeri ise aynı dönemde topraksız tarım örneğinde (947,10 µg/mL) gözlemlenmiştir. Dikkat çekici bir bulgu olarak organik örnekler her iki hasat döneminde de (haziran: 670,18 µg/mL; ağustos: 898,15 µg/mL) diğer gruplara kıyasla görece yüksek IC₅₀ değerleri göstermiş; bu durum organik tarımın antioksidan aktiviteyi artırdığına dair yaygın beklentiyle örtüşmemiştir. Bununla birlikte analizler sonucunda istatistiksel değerlendirme için yeterli veri elde edilememiş olup bulgular gözlemsel düzeyde yorumlanmıştır.

Literatürde organik, konvansiyonel ve topraksız tarım yöntemleriyle yetiştirilen domateslerin antioksidan aktivitesi üzerine yapılan çalışmalar çelişkili sonuçlar ortaya koymaktadır. Bir çalışmada, organik domateslerde DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivitenin konvansiyonel üretim sistemiyle yetiştirilen domateslere kıyasla anlamlı düzeyde yüksek olduğu; buna karşın fenolik madde ve flavonoid içerikleri açısından iki yöntem arasında anlamlı fark bulunmadığı bildirilmiştir (159). Buna karşın başka bir çalışmada, organik ve konvansiyonel domatesler arasında toplam antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde açısından çoğunlukla anlamlı bir fark saptanmamış; gözlenen farklılıkların üretim yönteminden ziyade çeşitler arasındaki değişkenlikten kaynaklandığı bildirilmiştir (160). Bu bulguyu destekler nitelikte, çok sayıda çalışmayı derleyen bir başka araştırmada da organik ve konvansiyonel domateslerin askorbik asit ve likopen değer aralıklarının

büyük ölçüde örtüştüğü ve organik ürünlerin konvansiyonele göre besinsel açıdan objektif bir üstünlük göstermediği ortaya konmuştur (161).

Organik domates örneklerinde gözlemlenen bu beklenmedik örüntünün olası açıklamalarından biri, Stamp tarafından öne sürülen karbon-besin dengesi hipotezidir. Bu hipoteze göre, bitkilerde besin öğelerinin yeterli düzeyde bulunduğu koşullarda büyüme ve biyokütle birikimi öncelik kazanırken, flavonoidler gibi savunma amaçlı ikincil metabolitlerin sentezi baskılanabilmektedir (162). Dolayısıyla organik üretim sistemlerinde uygulanan gübreleme stratejileri ve toprağın verimlilik düzeyi, antioksidan bileşiklerin sentezini doğrudan etkileyebilir (163). Nitekim bazı araştırmacılar, organik ve konvansiyonel sistemler arasında gözlenen farklılıkların yalnızca üretim yönteminden değil, aynı zamanda toprak verimliliği yönetimi ve bitki besleme uygulamalarından da kaynaklanabileceğini bildirmektedir (164). Aldrich ve ark. (40) 10 domates çeşidini iki yetiştirme sezonu boyunca organik ve konvansiyonel koşullarda karşılaştırmış; her tekerrürden 3 domates örneği alınarak 2005 yılında toplam n=180, 2006 yılında ise n=240 örnek üzerinde toplam fenolik madde, askorbik asit, 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) ve DPPH yöntemleri antioksidan aktivite testlerini uygulamıştır. Çalışmada organik üretim sistemlerinde yetiştirilen domateslerin her koşulda daha yüksek antioksidan aktivite göstermediği; çeşit seçimi ve yıllık çevresel değişimlerin besin değeri üzerinde yetiştirme yönteminden daha belirleyici olduğu ortaya konmuştur. En yüksek antioksidan grubundaki çeşitler ('New Girl', 'Jet Star', 'Fantastic', 'First Lady'), en düşük gruptakilere ('Roma', 'Early Girl') göre 1,35-1,67 kat daha yüksek değerler göstermiştir.

Topraksız tarım sistemlerinde yetiştirilen domateslerin likopen ve beta-karoten gibi antioksidan bileşikler bakımından toprak bazlı üretime kıyasla avantajlı olabileceği bildirilmiştir. Verdoliva ve ark. (165), domatesleri toprak, damla sulamalı hidroponik ve derin su kültürü olmak üzere üç farklı sistemde karşılaştırmış; derin su kültürü sisteminde yetiştirilen domateslerin toprakta yetiştirilenlere göre anlamlı düzeyde daha yüksek likopen ve beta-karoten içeriğine sahip olduğunu, buna karşın toplam çözünür katı madde ve şeker düzeyleri açısından üç sistem arasında anlamlı bir fark bulunmadığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Giri ve ark. (166), arıtılmış atık su

temelli hidroponik sistemde yetiştirilen domateslerin likopen ve beta-karoten içeriğinin toprakta yetiştirilenlere kıyasla sırasıyla yaklaşık 2,5 ve 9 kat daha yüksek olduğunu; ayrıca karbonhidrat ve protein içeriğinin de topraktakine göre anlamlı düzeyde arttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, Kralik ve ark. (138) akvaponik sistemleri kapsayan çalışmalarında farklı bir tablo ortaya koymuştur: akvaponik ve toprakta yetiştirilen domatesleri üç yıl boyunca karşılaştırmış; toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite bakımından iki üretim yöntemi arasında anlamlı bir fark bulmamıştır.

Üç tarım yöntemini birlikte karşılaştıran sınırlı sayıdaki çalışmalardan biri olan Vélez-Terreros ve ark. (145), Ekvador'da konvansiyonel, organik ve hidroponik domates örneklerini (her gruptan n=30) askorbik asit, likopen, toplam fenolik madde ve DPPH serbest radikal giderme aktivitesi bakımından karşılaştırmıştır. Askorbik asit organik örneklerde en yüksek, hidroponik örneklerde en düşük bulunmuş; toplam fenolik madde organik ve konvansiyonel örneklerde hidroponiğe göre yaklaşık 1,5 kat daha yüksek çıkmış; likopen içeriği açısından ise gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Serbest radikal giderme aktivitesi organik, hidroponik ve konvansiyonel örneklerde sırasıyla azalan yönde gözlemlenmiş, ancak fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Araştırmacılar, sonuçlardaki geniş değişkenlik nedeniyle hiçbir tarım yönteminin diğerine üstün olmadığı sonucuna varmıştır. Bununla birlikte hidroponik sistemde yetiştirilen kiraz domateslerinde biyolojik amin ve fenolik bileşen içeriğinin organik ve konvansiyonel yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu da bildirilmiştir (167).

Bu doğrultuda mevcut bulgular, antioksidan aktivitenin üretim yönteminin ötesinde; genotip, hasat zamanı, toprak yönetimi ve çevresel koşulların etkileşimiyle şekillendiğine işaret etmektedir. Aşağıdaki alt bölümlerde bu faktörlerin her biri kendi verilerimiz çerçevesinde ele alınmaktadır.

5.1. Hasat zamanı ve sıcaklık stresinin antioksidan aktivite üzerine etkisi

Çalışmamızda hasat zamanının etkisi üretim yöntemine göre belirgin biçimde farklılaşmıştır. Organik ve topraksız tarım örneklerinde hazirandan ağustosa geçişte

IC₅₀ değerleri sırasıyla %34 ve %123 artarak antioksidan aktivite düşmüştür. Konvansiyonel örnekte ise tam tersi bir örüntü gözlemlenmiş; IC₅₀ değeri 486,15'ten 97,93 µg/mL'ye gerileyerek yaklaşık beş katlık bir aktivite artışı saptanmıştır. Bu bulgu, hasat zamanının etkisinin tüm tarım sistemlerinde aynı yönde işlemediğini ve üretim yöntemiyle etkileşim içinde değişebildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Literatürde yaz aylarında hasat edilen domateslerin daha yüksek antioksidan aktivite gösterebildiği bildirilmekte; bu durumun yüksek ışık şiddeti ve ılımlı sıcaklık stresinin likopen, fenolik bileşikler ve C vitamini gibi biyoaktif bileşenlerin sentezini artırmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (168-171). Nitekim Toor ve ark. (149) Yeni Zelanda'da serada yetiştirilen üç domates çeşidini farklı mevsimlerde hasat ederek antioksidan bileşimlerini karşılaştırmıştır. Yaz aylarında (Aralık-Şubat) hasat edilen domateslerde toplam fenolik içeriğinin %62, antioksidan aktivitenin ise %39 daha yüksek olduğu saptanmış; bu artış söz konusu dönemdeki yoğun güneş radyasyonu ve yüksek sıcaklıkla ilişkilendirilmiştir. Hasat zamanının karotenoid içeriği üzerindeki etkisi de bu bulguları destekler niteliktedir. Mazur ve ark. (172) Polonya'da serada topraksız sistemde yetiştirilen 'Dasher F1' ve 'Pareso F1' çeri domates çeşitlerinde eylül ayında hasat edilen meyvelerin likopen içeriğinin haziran örneklerine kıyasla yaklaşık üç kat daha yüksek olduğunu bildirmiş; bu artışı meyve gelişim sürecinde daha yüksek sıcaklık ve güneş ışığına maruz kalınmasıyla ilişkilendirmiştir.

Ancak çalışmamızda Afyon ilinden temin edilen organik ve topraksız tarım örnekleri bu beklentiyle örtüşmemiştir. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Afyon ilinde güneşlenme süresinin hazirana kıyasla daha uzun olduğu ağustos ayında organik tarım örneğinde IC₅₀ değeri 670,18'den 898,15 µg/mL'ye, topraksız tarım örneğinde ise 423,54'ten 947,10 µg/mL'ye yükselerek antioksidan aktivite belirgin biçimde düşmüştür (173). Bu beklenmedik düşüşün olası nedenlerinden biri meyvenin olgunlaşma düzeyidir. Olgunlaşma süreci ilerledikçe likopen ve fenolik bileşik içeriğinin arttığı ve antioksidan kapasitenin tam kırmızı olgunluk aşamasında en yüksek düzeye ulaştığı bilinmektedir (174).

Sıcaklık bu noktada önemli bir faktör olarak öne çıkmakla birlikte, bulgularımız sıcaklığın tek başına açıklayıcı olmadığına işaret etmektedir. Afyon ilinde Ağustos ayı ortalama maksimum sıcaklığı 29,7 °C olarak gerçekleşmiş, yani literatürde karotenoid biyosentezini baskıladığı bildirilen 32 °C eşiğinin altında kalmıştır (173, 175). Buna karşın Afyon'dan temin edilen organik ve topraksız tarım örneklerinde belirgin bir aktivite düşüşü gözlemlenmiştir. Bu durum, söz konusu örneklerdeki aktivite düşüşünün doğrudan termal baskılanmayla değil; bitkinin gelişim evresi, olgunlaşma düzeyi ve mevsimsel metabolik değişimlerle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Denizli ilinden temin edilen konvansiyonel örnekte ise ağustos ayı ortalama maksimum sıcaklığı 34,7 °C'ye ulaşmış ve 32 °C eşiği aşılmıştır. Hernandez ve ark. (175), bu eşiğin üzerindeki sıcaklıkların C vitamini, likopen, beta-karoten ve violaksantin konsantrasyonlarında başlangıçta azalmaya yol açtığını; ancak uzun süreli termal strese maruz kalan bitkilerin adaptasyon mekanizmaları geliştirebildiğini ve bazı metabolit düzeylerinde yeniden artış gözlemlendiğini bildirmiştir. Bu metabolik yeniden düzenlenme, konvansiyonel örnekte gözlemlenen beş katlık aktivite artışını açıklayan mekanizmalardan biri olarak değerlendirilebilir. Hernandez ve ark.'ın (175) tanımladığı bu adaptif sürecin yanı sıra, bitkilerin yüksek sıcaklık stresi altında aktive ettiği enzimatik savunma mekanizmaları da söz konusu artışa katkıda bulunmuş olabilir (176, 177). Bu süreçte süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) reaktif oksijen türlerini detoksifiye ederken, fenilalanin amonyak liyaz (PAL) enzimi fenilpropanoid metabolizması aracılığıyla fenolik bileşik ve flavonoid sentezini artırmaktadır (178, 179). Sıcak şoka maruz bırakılan domates fidelerinde aşırı ısı stresinin antioksidan aktiviteyi baskıladığı; buna karşın ılımlı stres koşullarında fenolik bileşik ve flavonoid düzeylerinin artabildiği de rapor edilmiştir (180). Bu bulgular, belirli bir eşiğin altında kalan termal stresin savunma mekanizmalarını uyarabileceğine; bu eşiğin üzerinde ise metabolik baskılanmanın ya da uzun süreli adaptasyonun devreye girebileceğine işaret etmektedir. Konvansiyonel örnekte gözlemlenen aktivite artışının bu iki mekanizmadan hangisiyle ilişkili olduğu mevcut verilerle kesin olarak belirlenmemektedir.

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, hasat zamanının antioksidan aktivite üzerindeki etkisinin tek yönlü ve öngörülebilir bir örüntü izlemediği; bunun yerine üretim yöntemi, coğrafi konum, sıcaklık koşulları ve bitkinin metabolik yanıt kapasitesinin etkileşimiyle şekillendiği anlaşılmaktadır.

5.2. Pestisit kaynaklı stres ve antioksidan savunma mekanizmaları

Çalışmamızda konvansiyonel örnek her iki hasat döneminde de organik ve topraksız tarım örneklerine kıyasla görece düşük IC₅₀ değerleri sergilemiştir. Haziran ayında konvansiyonel örneğin IC₅₀ değeri (486,15 µg/mL) organik örnekten (670,18 µg/mL) belirgin biçimde düşük seyretmiş; ağustos ayında ise bu fark daha da belirginleşmiş ve konvansiyonel örnek (97,93 µg/mL) hem organik (898,15 µg/mL) hem de topraksız tarım (947,10 µg/mL) örneklerine kıyasla çok daha düşük IC₅₀ değeri sergileyerek belirgin biçimde yüksek antioksidan aktivite göstermiştir. Bu örüntünün açıklanmasında pestisit maruziyetinin tetiklediği biyokimyasal stres yanıtları önemli bir mekanizma olarak değerlendirilebilir (181).

Konvansiyonel üretimde tetrakonazol, mancozeb, boscalid, acetamiprid ve abamektin gibi çeşitli fungusit ve insektisit aktif maddelerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Literatürde pestisit maruziyetinin bitkilerde biyokimyasal bir stres yanıtını tetikleyerek antioksidan savunma sistemlerinde değişikliklere yol açabileceği bildirilmektedir (182-184). Nitekim Shakir ve ark. (183), domates fidelerinde önerilen dozun üzerinde uygulanan pestisitlerin oksidatif stresi artırdığını ve buna karşılık bitkinin enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmalarını doza bağımlı biçimde harekete geçirdiğini bildirmiştir. Bu bulgu, mevcut çalışmada konvansiyonel örnekte gözlemlenen yüksek antioksidan aktivitenin pestisit kaynaklı bir savunma yanıtını yansıtabileceği yorumunu desteklemektedir; ancak kullanılan pestisit sınıflarının farklı olması nedeniyle bu ilişki dolaylı bir destek niteliğindedir. Benzer şekilde kullanılan fungusitlerden biri olan mancozebin domateslerde hücresel dengeyi bozarak oksidatif stresi tetiklediği gösterilmiştir (185). Pestisit stresine maruz kalan sebzelerde A ve C vitamini düzeylerinin kontrol gruplarına kıyasla artış gösterdiği saptanmış; bu artışın bitkinin pestisit kaynaklı ROS birikmesine karşı antioksidan üretimini aktive etmesiyle açıklanabileceği bildirilmektedir (186).

Bununla birlikte pestisit kaynaklı antioksidan artışının her zaman ürün kalitesinin iyileştiği anlamına gelmediği vurgulanmalıdır. Pestisit stresine maruz kalan domates fidelerinde antioksidan savunma sistemi uyarılmış olmasına karşın protein içeriğinde belirgin bir azalma saptanmış; ayrıca toplam şeker ve likopen düzeylerinde de düşüş gözlemlenmiştir (183, 187). Mevcut çalışma kapsamında kullanılan pestisit aktif maddeleri üreticiden alınan bilgiye dayanmaktadır. Literatürde konvansiyonel tarımda organik ve topraksız tarıma kıyasla daha yüksek düzeyde pestisit kullanıldığı bildirilmekle birlikte, kalıntı analizi yapılmamış olması pestisit maruziyeti ile antioksidan aktivite arasındaki ilişkinin doğrudan test edilmesini kısıtlamaktadır (188, 189).

5.3. Topraksız tarım sistemlerinde besin çözeltisi ve çevresel koşulların antioksidan aktivite üzerine etkisi

Çalışmamızda topraksız tarım örneğinde Haziran ayında elde edilen IC_{50} değeri (423,54 $\mu\text{g/mL}$) üç sistem arasında en düşük değer olmuş; ancak Ağustos ayında bu değer 947,10 $\mu\text{g/mL}$ 'ye yükselmiş ve en yüksek IC_{50} 'ye — yani en düşük antioksidan aktiviteye — sahip örnek konumuna gerilemiştir. Bu yaklaşık iki katlık değişim, kontrollü bir üretim sistemi olan topraksız tarımda dahi antioksidan aktivitenin hasat dönemine bağlı olarak belirgin biçimde farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır.

Topraksız tarımı diğer yöntemlerden ayıran en kritik faktör besin çözeltisinin içeriğidir. Fanasca ve ark. (190) domateslere verilen besin çözeltisindeki potasyum artışının likopen sentezini teşvik ettiğini, magnezyumun ise toplam antioksidan aktiviteyi artırdığını göstermiştir. Besin çözeltisinin bileşiminin doğrudan antioksidan aktiviteyi şekillendirebileceğine işaret eden bu bulgulara ek olarak, Wang ve ark. (191) topraksız tarım sistemlerinin askorbik asit ve çözünür şeker içeriği açısından toprak bazlı üretime göre üstün olduğunu; ancak nitrat birikimi gibi olumsuz bir etkiyle de karşılaşılabilceğini bildirmiştir. Bu bulgu, besin çözeltisi yönetiminin yalnızca antioksidan aktiviteyi değil, genel besin değerini de etkileyebileceğine işaret etmektedir.

Besin çözeltisinin elektriksel iletkenliği (EC) de bu bağlamda belirleyici bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Düşük ve orta EC düzeylerinin bitki gelişimini

destekleyebildiği; yüksek EC düzeylerinin ise ozmotik strese neden olarak büyümeyi baskılayabildiği bildirilmektedir (192, 193). Bununla birlikte kontrollü düzeyde EC artışının bazı kalite parametrelerinde iyileşme sağlayabildiği de rapor edilmiştir (194). Benzer şekilde topraksız sistemlerde uygulanan ılımlı tuz stresinin domateslerde likopen, C vitamini ve antioksidan aktivite düzeylerini artırabildiği; ancak aşırı stres koşullarında verim ve meyve kalitesinde düşüş yaşandığı bildirilmektedir (195). Bu bulgular, topraksız tarım sistemlerinde hafif düzeyde çevresel stresin antioksidan bileşik sentezini uyarabildiğini; buna karşın aşırı stresin metabolik baskılanmaya yol açabileceğini düşündürmektedir. Bu görüşü destekler nitelikte hidroponik sistemde yetiştirilen domateslerin yüksek antioksidan aktivite göstermesi kontrollü üretim ortamında daha az stres faktörüne maruz kalmasıyla ilişkilendirilmiştir (196).

Çalışmamızda topraksız tarım örneğinin ağustosta gözlemlenen belirgin aktivite düşüşü bu çerçevede değerlendirilebilir. Mevsimsel koşullara bağlı besin çözeltisi yönetimindeki olası değişimler, bitkinin büyüme evresi veya ozmotik denge üzerindeki kümülatif etkiler bu düşüşe katkıda bulunmuş olabilir. Ancak çalışmamızda üretici firma tarafından besin çözeltisinin bileşimi ve EC değerleri paylaşılmamıştır. Bu durum topraksız tarım örneğindeki aktivite farklılığının hangi faktörlerden kaynaklandığının belirlenmesini kısıtlayan önemli bir sınırlılık oluşturmakta olup gelecek çalışmalarda bu parametrelerin sistematik olarak izlenmesi önerilmektedir.

5.4. Fiyat-Performans Analizi

Çalışmada elde edilen antioksidan aktivite verileri piyasa fiyatlarıyla birlikte değerlendirilerek birim fiyat başına antioksidan aktivite skoru hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek fiyat-performans skoru Ağustos ayında hasat edilen konvansiyonel örnekte (0,2044), en düşük skor ise aynı dönemde hasat edilen organik örnekte (0,0139) belirlenmiştir. Bu bulgu, daha yüksek fiyatlı ürünlerin her zaman daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmadığını somut biçimde ortaya koymaktadır. Nitekim organik domatesin piyasa fiyatı konvansiyonel domatese kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olmasına karşın her iki hasat döneminde de belirgin biçimde düşük antioksidan aktivite göstermiştir (Tablo 4.2). Bu durum, tüketicilerin besin tercihlerini yalnızca üretim yöntemine veya fiyata göre değil; hasat zamanı ve ürünün gerçek besinsel özellikleri göz önünde bulundurularak yapmaları gerektiğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte fiyat-performans analizinin yalnızca antioksidan aktivite üzerinden yapılmış olması bir sınırlılık oluşturmaktadır; besinsel kalitenin bütüncül olarak değerlendirilebilmesi için toplam fenolik madde, karotenoid ve vitamin içeriği gibi ek parametrelerin de analize dahil edilmesi gerekmektedir.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, domateslerin antioksidan aktivitesinin yalnızca üretim yöntemine bağlı olmadığı; hasat zamanı, çevresel koşullar, yetiştirme uygulamaları, besin çözeltisi yönetimi ve bitkinin maruz kaldığı çeşitli stres faktörlerinin etkileşimiyle şekillendiği anlaşılmaktadır. Çalışmamızda farklı tarım yöntemleri arasında antioksidan aktivite bakımından bazı farklılıklar gözlenmiş olmakla birlikte, elde edilen sonuçlar doğrultusunda tek bir üretim sisteminin diğerlerine üstün olduğunu kesin olarak söylemek mümkün görünmemektedir.

5.5. Çalışmanın Güçlü ve Sınırlı Yönleri

Bu çalışmanın en önemli güçlü yönlerinden biri, aynı domates tipini temsil eden örneklerin üç farklı üretim sistemi —organik, konvansiyonel ve topraksız tarım— açısından standart bir analitik yöntemle karşılaştırılmış olmasıdır; literatürde bu üç sistemin aynı çalışma kapsamında birlikte ele alındığı araştırmaların sınırlı sayıda olması, çalışmayı bu yönüyle özgün kılmakta ve ülkemizdeki veri birikimine katkı sağlamaktadır. Ayrıca örneklerin iki farklı hasat döneminde (Haziran ve Ağustos) değerlendirilmesi, antioksidan aktivitenin yalnızca üretim yöntemine değil, mevsimsel koşullara bağlı olarak da nasıl değişebildiğinin ortaya konulmasına imkân tanımıştır. Örneklerin, kontrollü sera koşulları yerine gerçek üreticilerden ticari üretim koşullarını yansıtacak şekilde temin edilmiş ve hasat edildikleri gün işlenmiş olması, bulguların hem piyasa koşullarını gerçekçi biçimde yansıtmaları hem de hasat sonrası kayıpların en aza indirilmesi açısından çalışmayı güçlendirmektedir.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bütçe ve laboratuvar olanaklarındaki kısıtlılıklar nedeniyle planlanan C vitamini ve karotenoid analizleri gerçekleştirilememiş, bu nedenle antioksidan aktivitedeki değişimlerin hangi bileşenlerden kaynaklandığı belirlenememiştir. Örneklerin duplike veya triplike çalışılmamış olması ve farklı tarım yöntemlerine ait örneklerin farklı coğrafi

bölgelerden temin edilmiş olması, tarım yönteminin etkisinin net bir şekilde izole edilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle elde edilen bulgular ön değerlendirme niteliğinde olup, herhangi bir tarım yönteminin diğerlerine kesin olarak üstün olduğu sonucuna varılmamalıdır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuç

1. Farklı tarım yöntemleriyle yetiştirilen domates örneklerinin IC_{50} değerleri 97,93–947,10 $\mu\text{g/mL}$ arasında değişmiş; tarım yöntemleri ve hasat dönemleri arasında antioksidan aktivite bakımından belirgin farklılıklar saptanmıştır.
2. Haziran ayında en yüksek antioksidan aktivite topraksız tarım örneğinde (IC_{50} : 423,54 $\mu\text{g/mL}$) saptanmış, bunu konvansiyonel örnek (IC_{50} : 486,15 $\mu\text{g/mL}$) yakından izlemiştir. Ağustos ayında ise en yüksek antioksidan aktivite konvansiyonel örnekte (IC_{50} : 97,93 $\mu\text{g/mL}$) belirlenmiştir. Her iki dönemde de organik örnekler görece düşük antioksidan aktivite göstermiştir.
3. Hasat zamanının etkisi tarım sistemine göre farklılaşmıştır. Konvansiyonel örnekte hazirandan ağustosa geçişte yaklaşık beş katlık bir aktivite artışı gözlemlenirken, organik ve topraksız tarım örneklerinde belirgin bir aktivite düşüşü saptanmıştır.
4. Fiyat-performans analizi, daha yüksek fiyatlı ürünlerin her zaman daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmadığını ortaya koymuştur.

6.2. Öneriler

1. Gelecekte yapılacak çalışmalarda her tarım yöntemini temsil eden farklı üreticilerden ve farklı bölgelerden örnek alınarak sonuçların genellenebilirliği artırılmalıdır.
2. Antioksidan aktiviteye ek olarak toplam fenolik madde, flavonoid, karotenoid ve C vitamini içerikleri birlikte değerlendirilerek antioksidan aktiviteden sorumlu bileşenler belirlenmelidir.
3. Antioksidan aktivitenin daha kapsamlı değerlendirilmesi amacıyla DPPH yönteminin yanı sıra demir indirgeme antioksidan gücü (FRAP) ve ABTS gibi farklı analiz yöntemleri de kullanılmalıdır.
4. Topraksız tarım sistemlerinde besin çözeltisi kompozisyonu ile kontrollü çevresel stres uygulamalarının sekonder metabolit sentezi üzerindeki rolleri araştırılmalı; bu sayede besin içeriği zenginleştirilmiş fonksiyonel ürün üretimi desteklenmelidir.

5. Tüketicilerin farklı tarım yöntemleriyle üretilen ürünlere yönelik bilgi düzeyleri ve tercihleri araştırılarak tarım politikaları ile beslenme uygulamalarına katkı sağlanmalıdır.
6. Çalışma kapsamında liyofilize edilerek muhafaza edilen domates örneklerinde askorbik asit, karotenoid ve flavonoid içeriklerinin belirlenmesine yönelik ileri analizlerin Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Botanik Anabilim Dalı iş birliğiyle gerçekleştirilmesi ve bilimsel yayına dönüştürülmesi planlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024. Rome: FAO; 2024.
2. TÜİK. Meyvesi için yetiştirilen sebzeler denge tabloları [İnternet]. 2025 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58005>.
3. T.C. Sağlık Bakanlığı HSGM, Hacettepe Üniversitesi, Başkent Üniversitesi. Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması (TBSA). 2019.
4. Borguini RG, Ferraz da Silva Torres EA. Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food reviews international*. 2009;25(4):313–25.
5. Mukherjee B, Al Hoque A, Halder Hota S, Gope S, Ray M, Barman M, et al. Antioxidants and their physiological role in free radical scavenging. In: Mukherjee B, editor. *Dietary Supplements and Nutraceuticals*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2025. p. 397–440.
6. Ali MY, Sina AAI, Khandker SS, Neesa L, Tanvir E, Kabir A, et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*. 2020;10(1):45.
7. Schieber M, Chandel NS. ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current biology*. 2014;24(10):R453–R62.
8. Valko M, Jomova K, Rhodes CJ, Kuča K, Musilek K. Redox-and non-redox-metal-induced formation of free radicals and their role in human disease. *Archives of toxicology*. 2016;90(1):1–37.
9. Chatterjee S. Oxidative stress, inflammation, and disease. *Oxidative stress and biomaterials*: Elsevier; 2016. p. 35–58.
10. Hayes JD, Dinkova-Kostova AT, Tew KD. Oxidative stress in cancer. *Cancer cell*. 2020;38(2):167–97.
11. Singh A, Tiwari V, Roy S. Multifaceted role of oxidative stress in neurological disorders. *Molecular Biology Reports*. 2025;52(1):640.
12. Dubois-Deruy E, Peugnet V, Turkieh A, Pinet F. Oxidative stress in cardiovascular diseases. *Antioxidants*. 2020;9(9):864.
13. Yang J, Luo J, Tian X, Zhao Y, Li Y, Wu X. Progress in understanding oxidative stress, aging, and aging-related diseases. *Antioxidants*. 2024;13(4):394.
14. Collins EJ, Bowyer C, Tsouza A, Chopra M. Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology*. 2022;11(2):239.

15. Schwarz D, Thompson AJ, Kläring H-P. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in plant science*. 2014;5:625.
16. Jesus Periago M, García-Alonso J, Jacob K, Belen Olivares A, Jose Bernal M, Dolores Iniesta M, et al. Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicum esculentum*) during vine ripening. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009;60(8):694–708.
17. Cruz-Chamorro I, Santos-Sánchez G, Martín F, Fernández-Pachón M-S, Hornero-Méndez D, Cerrillo I. Evaluation of the impact of the ripening stage on the composition and antioxidant properties of fruits from organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Spanish varieties. *Foods*. 2024;13(15):2337.
18. Petrescu DC, Petrescu-Mag RM. Organic food perception: fad, or healthy and environmentally friendly? A case on Romanian consumers. *Sustainability*. 2015;7(9):12017–31.
19. Eyinade GA, Mushunje A, Yusuf SFG. The willingness to consume organic food: A review. *Food and Agricultural Immunology*. 2021;32(1):78–104.
20. Hallmann E. The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012;92(14):2840–8.
21. Kanabur V, Reddy D. A study on antioxidant property of organic and conventional tomatoes. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 2014;7(5):12–7.
22. Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, et al. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*. 2019;8(2):34.
23. Padmanabhan P, Cheema A, Paliyath G. Solanaceous fruits including tomato, eggplant, and peppers. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of Food and Health*: Academic Press; 2016. p. 24–32.
24. Razdan MK, Mattoo AK, editors. *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato*. Enfield, NH: Science Publishers; 2007.
25. Aydın B, Aksoy İ, Adanır Z. Alafranga Cuisine in Ottoman Empire. *J Curr Debates Soc Sci (CUDES)*. 2020;3(2):88-94.
26. Rock C, Yang W, Goodrich-Schneider R, Feng H. Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*. 2012;4:1–15.
27. Blancard D. The tomato plant and its culture. In: Blancard D, editor. *Tomato Diseases*. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2012. p. 17–34.

28. Andelini M, Major N, Išić N, Kovačević TK, Ban D, Palčić I, et al. Sugar and Organic Acid Content Is Dependent on Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Peel Color. *Horticulturae*. 2023;9(3):313.
29. Aybak HÇ. *Serada ve Açık Alanlarda Domates Yetiştiriciliği*. İstanbul: Hasad Yayıncılık Ltd. Şti.; 2015.
30. FAO. Production quantities of tomatoes by country [İnternet]. 2024 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
31. Salanță LC, Fărcaș AC. Exploring the efficacy and feasibility of tomato by-products in advancing food industry applications. *Food Bioscience*. 2024;62:105567.
32. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. TürKomp - Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı: Domates, sofralık [İnternet]. 2013 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/>
33. Erge HS, Karadeniz F. Bioactive compounds and antioxidant activity of tomato cultivars. *International Journal of Food Properties*. 2011;14(5):968–77.
34. de Souza AV, de Mello JM, da Silva Favaro VF, da Silva VF, dos Santos TGF, de Lucca Sartori D, et al. Antioxidant activity, bioactive compounds, and agro-industrial quality: correlations between parameters in fresh and processed tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021;45(9):e15696.
35. Kotíková Z, Lachman J, Hejtmánková A, Hejtmánková K. Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT-Food Science and Technology*. 2011;44(8):1703–10.
36. de Abreu WC, Barcelos MdFP, de Barros Vilas Boas EV, da Silva EP. Total antioxidant activity of dried tomatoes marketed in Brazil. *International journal of food properties*. 2014;17(3):639–49.
37. Guil-Guerrero J, Reboloso-Fuentes M. Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and analysis*. 2009;22(2):123–9.
38. Stinco CM, Heredia FJ, Vicario IM, Meléndez-Martínez AJ. In vitro antioxidant capacity of tomato products: Relationships with their lycopene, phytoene, phytofluene and alpha-tocopherol contents, evaluation of interactions and correlation with reflectance measurements. *LWT-Food Science and Technology*. 2016;65:718–24.
39. Liu D, Shi J, Ibarra AC, Kakuda Y, Xue SJ. The scavenging capacity and synergistic effects of lycopene, vitamin E, vitamin C, and β -carotene mixtures on the DPPH free radical. *LWT-Food Science and Technology*. 2008;41(7):1344–9.

40. Aldrich HT, Salandanan K, Kendall P, Bunning M, Stonaker F, Külen O, et al. Cultivar choice provides options for local production of organic and conventionally produced tomatoes with higher quality and antioxidant content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90(15):2548–55.
41. Pinela J, Barros L, Carvalho AM, Ferreira IC. Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and chemical toxicology*. 2012;50(3-4):829–34.
42. Bhandari R, Neupane N, Adhikari DP. Climatic change and its impact on tomato (*lycopersicum esculentum* l.) production in plain area of Nepal. *Environmental Challenges*. 2021;4:100129.
43. Bhandari SR, Cho M-C, Lee JG. Genotypic variation in carotenoid, ascorbic acid, total phenolic, and flavonoid contents, and antioxidant activity in selected tomato breeding lines. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2016;57:440–52.
44. Chandra HM, Ramalingam S. Antioxidant potentials of skin, pulp, and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Science and Biotechnology*. 2011;20:15–21.
45. Bianchi AR, Vitale E, Guerretti V, Palumbo G, De Clemente IM, Vitale L, et al. Antioxidant characterization of six tomato cultivars and derived products destined for human consumption. *Antioxidants*. 2023;12(3):761.
46. Vinha AF, Alves RC, Barreira SV, Castro A, Costa AS, Oliveira MBP. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT-Food Science and Technology*. 2014;55(1):197–202.
47. Agarwal S, Rao AV. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Cmaj*. 2000;163(6):739–44.
48. Soares NdCP, Machado CL, Trindade BB, do Canto Lima IC, Teodoro AJ, Takiya C, et al. Lycopene extracts from different tomato-based food products induce apoptosis in cultured human primary prostate cancer cells and regulate TP53, Bax and Bcl-2 transcript expression. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*. 2017;18(2):339.
49. Mazidi M, Ferns GA, Banach M. A high consumption of tomato and lycopene is associated with a lower risk of cancer mortality: results from a multi-ethnic cohort. *Public health nutrition*. 2020;23(9):1569–75.
50. Cheng HM, Koutsidis G, Lodge JK, Ashor A, Siervo M, Lara J. Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*. 2017;257:100–8.

51. Cheng HM, Koutsidis G, Lodge JK, Ashor AW, Siervo M, Lara J. Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019;59(1):141–58.
52. Zhao D, Tian Z, Liang Y, Chen H, Fan Z, Liu Z, et al. J-shaped association of tomato intake with new-onset hypertension in general adults: a nationwide prospective cohort study. *Nutrients*. 2022;14(22):4813.
53. Li Y-F, Chang Y-Y, Huang H-C, Wu Y-C, Yang M-D, Chao P-M. Tomato juice supplementation in young women reduces inflammatory adipokine levels independently of body fat reduction. *Nutrition*. 2015;31(5):691–6.
54. Zamani M, Behmanesh Nia F, Ghaedi K, Mohammadpour S, Amirani N, Goudarzi K, et al. The effects of lycopene and tomato consumption on cardiovascular risk factors in adults: a grade assessment systematic review and meta-analysis. *Current Pharmaceutical Design*. 2023;29(21):1671–700.
55. Porrini M, Riso P, Brusamolino A, Berti C, Guarnieri S, Visioli F. Daily intake of a formulated tomato drink affects carotenoid plasma and lymphocyte concentrations and improves cellular antioxidant protection. *British Journal of Nutrition*. 2005;93(1):93–9.
56. Nakamura A, Itaki C, Saito A, Yonezawa T, Aizawa K, Hirai A, et al. Possible benefits of tomato juice consumption: a pilot study on irradiated human lymphocytes from healthy donors. *Nutrition journal*. 2017;16(1):27.
57. Kujawska M, Ewertowska M, Adamska T, Sadowski C, Ignatowicz E, Jodynisi-Liebert J. Antioxidant effect of lycopene-enriched tomato paste on N-nitrosodiethylamine-induced oxidative stress in rats. *Journal of Physiology and Biochemistry*. 2014;70(4):981–90.
58. Firman J, Narro A, Liu L, Mahalak K, Lemons J, Van den Abbeele P, et al. Tomato seed extract promotes health of the gut microbiota and demonstrates a potential new way to valorize tomato waste. *Plos one*. 2024;19(4):e0301381.
59. Hwang D, Koh J-H, Lee J, Kim Y, Lim Y-H. Cherry tomato supplementation increases the area of the intestinal mucosa and the number of muscle layers in rats. *Food research international*. 2014;64:298–304.
60. Song X, Sun J, Yue Y, Li D, Chen F. Microbiota-derived succinic acid mediates attenuating effect of dietary tomato juice supplementation on steatohepatitis through enhancing intestinal barrier. *Food Research International*. 2024;196:115123.
61. Prema A, Janakiraman U, Manivasagam T, Thenmozhi AJ. Neuroprotective effect of lycopene against MPTP induced experimental Parkinson's disease in mice. *Neuroscience letters*. 2015;599:12–9.

62. Yin Q, Ma Y, Hong Y, Hou X, Chen J, Shen C, et al. Lycopene attenuates insulin signaling deficits, oxidative stress, neuroinflammation, and cognitive impairment in fructose-drinking insulin resistant rats. *Neuropharmacology*. 2014;86:389–96.
63. United Nations. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100 [İnternet]. 2017 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>.
64. Searchinger T, Waite R, Hanson C, Ranganathan J, Dumas P, Matthews E, et al. Creating a sustainable food future: A menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Final report. WRI; 2019.
65. Wang H, Zeng H, Wang Q, Zhou R, Xu Z, Fan M, et al. Global agro-environmental trends and challenges. *Agricultural Environment and Sustainability*. 2025:100006.
66. Eswaran H, Lal R, Reich P. Land degradation: an overview. *Response to land degradation*. 2019:20–35.
67. Özbek B, Özbek S. Relationship between climate change, environmental taxes, environmental pollution and modern agriculture. 2024.
68. Misra S, Ghosh A. Agriculture paradigm shift: a journey from traditional to modern agriculture. In: Das S, Dash HR, editors. *Biodiversity and Bioeconomy*. Amsterdam: Elsevier; 2024. p. 113–141.
69. Sumberg J, Giller KE. What is ‘conventional’ agriculture? *Global Food Security*. 2022;32:100617.
70. Thakur N, Kumari C, Dev VA. A nano-agro formulation strategy: combatting plant stresses via linking agri-sustainability and environmental safety. In: Kumar V, Prasad R, Kumar M, Choudhary DK, editors. *Microbial Management of Plant Stresses*. Singapore: Springer; 2021. p. 73–83.
71. Al-Musawi ZK, Vona V, Kulmány IM. Utilizing different crop rotation systems for agricultural and environmental sustainability: A review. *Agronomy*. 2025;15(8):1966.
72. Tudi M, Li H, Li H, Wang L, Lyu J, Yang L, et al. Exposure routes and health risks associated with pesticide application. *Toxics*. 2022;10(6):335.
73. FAO. Pesticides Use, Pesticides Trade and Pesticides Indicators. Rome: FAO; 2022.
74. Khan N, Yaqub G, Hafeez T, Tariq M. Assessment of health risk due to pesticide residues in fruits, vegetables, soil, and water. *Journal of Chemistry*. 2020;2020(1):5497952.

75. El-Sheikh E-SA, Ramadan MM, El-Sobki AE, Shalaby AA, McCoy MR, Hamed IA, et al. Pesticide residues in vegetables and fruits from farmer markets and associated dietary risks. *Molecules*. 2022;27(22):8072.
76. Gomiero T, Pimentel D, Paoletti MG. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical reviews in plant sciences*. 2011;30(1-2):95–124.
77. Davin ÉL. Land–climate interactions. 2022. Report No.: 1009158015.
78. Montgomery DR, Biklé A. Soil health and nutrient density: beyond organic vs. conventional farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5:699147.
79. Eurostat. Agriculture, Forestry and Fishery Statistics: 2018 Edition [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9455154/KS-FK-18-001-EN-N.pdf>.
80. Ingrao C, Strippoli R, Lagioia G, Huisinsh D. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*. 2023.
81. Akinnawo SO. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*. 2023;12:100733.
82. Pretty J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008;363(1491):447–65.
83. Struik PC, Kuyper TW. Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. A review. *Agronomy for sustainable development*. 2017;37:1–15.
84. Codex Alimentarius Commission. *Organically Produced Foods*. Rome: WHO/FAO; 2007.
85. IFOAM – Organics International. Definition of Organic Agriculture [Internet]. 2024 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://archive.ifoam.bio/>.
86. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Organik Tarımın Esasları ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik [Internet]. 2010 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/>
87. Niggli U. Sustainability of organic food production: challenges and innovations. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2015;74(1):83–8.
88. Çakmakçı S, Çakmakçı R. Quality and nutritional parameters of food in agri-food production systems. *Foods*. 2023;12(2):351.

89. De Ponti T, Rijk B, Van Ittersum MK. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems*. 2012;108:1–9.
90. Tuck SL, Winqvist C, Mota F, Ahnström J, Turnbull LA, Bengtsson J. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of applied ecology*. 2014;51(3):746–55.
91. Willer H, Trávníček J, Schlatter B, editors. *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2024*. Frick: Research Institute of Organic Agriculture FiBL; Bonn: IFOAM – Organics International; 2024.
92. Willer H, Meier C, Schlatter B, Dietemann L, Kemper L, Trávníček J. The World of Organic Agriculture 2022—Summary. In: Willer H, Trávníček J, Meier C, Schlatter B, editors. *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2022*. Frick: Research Institute of Organic Agriculture FiBL; Bonn: IFOAM – Organics International; 2022. p. 20–31.
93. Peng M. The growing market of organic foods: impact on the US and global economy. In: Biswas D, Micallef SA, editors. *Safety and Practice for Organic Food*. London: Academic Press; 2019. p. 3–22.
94. Gundala RR, Singh A. What motivates consumers to buy organic foods? Results of an empirical study in the United States. *Plos one*. 2021;16(9):e0257288.
95. Zheng Y, Yu X, Yang H, Wang S. From a perspective of nutrition: importance of organic foods over conventional counterparts. In: Biswas D, Micallef SA, editors. *Safety and Practice for Organic Food*. London: Academic Press; 2019. p. 75–134.
96. Oates L, Cohen M, Braun L, Schembri A, Taskova R. Reduction in urinary organophosphate pesticide metabolites in adults after a week-long organic diet. *Environmental research*. 2014;132:105–11.
97. Rempelos L, Wang J, Barański M, Watson A, Volakakis N, Hoppe H-W, et al. Diet and food type affect urinary pesticide residue excretion profiles in healthy individuals: results of a randomized controlled dietary intervention trial. *The American journal of clinical nutrition*. 2022;115(2):364–77.
98. De Lorenzo A, Noce A, Bigioni M, Calabrese V, Della Rocca D, Daniele N, et al. The effects of Italian Mediterranean organic diet (IMOD) on health status. *Current pharmaceutical design*. 2010;16(7):814–24.
99. Kesse-Guyot E, Baudry J, Assmann KE, Galan P, Hercberg S, Lairon D. Prospective association between consumption frequency of organic food and body weight change, risk of overweight or obesity: results from the NutriNet-Santé Study. *British Journal of Nutrition*. 2017;117(2):325–34.

100. Jiang B, Pang J, Li J, Mi L, Ru D, Feng J, et al. The effects of organic food on human health: a systematic review and meta-analysis of population-based studies. *Nutrition Reviews*. 2024;82(9):1151–75.
101. Baudoin W, Nono-Womdim R, Lutaladio N, Hodder A, Castilla N, Leonardi C, et al., editors. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2013. FAO Plant Production and Protection Paper No. 217.
102. Gruda N, Prasad M, Maher MJ. Soilless culture. *Encyclopedia of Soil Science* Taylor & Francis (Marcel Dekker), Inc, New York. 2005.
103. El-Kazzaz K, El-Kazzaz A. Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agric Res Technol Open Access J*. 2017;3:63–72.
104. Tsukagoshi S, Shinohara Y. Nutrition and nutrient uptake in soilless culture systems. In: Kozai T, Niu G, Takagaki M, editors. *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. 2nd ed. London: Academic Press; 2020.
105. Khan FA. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 2018;2(2):59–66.
106. Lakhia IA, Gao J, Syed TN, Chandio FA, Buttar NA. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of plant interactions*. 2018;13(1):338–52.
107. Savvas D, Gianquinto G, Tüzel Y, Gruda N. Soilless culture. In: Baudoin W, Nono-Womdim R, Lutaladio N, Hodder A, Castilla N, Leonardi C, et al., editors. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2013. p. 303–354.
108. Royston RM, Pavithra M. Vertical farming: A concept. *International Journal of Engineering and Techniques*. 2018;4(3):500–6.
109. Mahesh P, Naheem M, Mubafar R, Shyba S, Beevi S, editors. New aspect for organic farming practices: Controlled crop nutrition and soilless agriculture. 2016 IEEE global humanitarian technology conference (GHTC); 2016: IEEE.
110. Chandra S, Khan S, Avula B, Lata H, Yang MH, ElSohly MA, et al. Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2014;2014(1):253875.

111. Gebreegziher WG. Soilless culture technology to transform vegetable farming, reduce land pressure and degradation in drylands. *Cogent Food & Agriculture*. 2023;9(2):2265106.
112. Lakhia IA, Yan H, Syed TN, Zhang C, Shaikh SA, Rakibuzzaman M, et al. Soilless agricultural systems: Opportunities, challenges, and applications for enhancing horticultural resilience to climate change and urbanization. *Horticulturae*. 2025;11(6):568.
113. Barrett G, Alexander P, Robinson J, Bragg N. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems—A review. *Scientia horticulturae*. 2016;212:220–34.
114. Mihrete TB. Crop substrates for sustainable hydroponic farming. *Hydroponic Farming*. 2025:1.
115. Wilkinson KM, Landis TD, Haase DL, Daley BF, Dumroese RK. *Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants*. Washington, DC: USDA Forest Service; 2014.
116. Kalaivani K, Jawaharlal M. Study on physical characterization of coco peat with different proportions of organic amendments for soilless cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019;8(3):2283–6.
117. Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*. 2014(589):I.
118. Saaid M, Yahya N, Noor M, Ali MM, editors. A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC). 2013 IEEE 9th international colloquium on signal processing and its applications; 2013: IEEE.
119. Van Os E, Gieling TH, Lieth JH. Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv M, Lieth JH, Bar-Tal A, editors. *Soilless Culture: Theory and Practice*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier; 2019. p. 587–635.
120. Reyes J, Montoya R, Ledesma C, Ramírez R, editors. Development of an aeroponic system for vegetable production. II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947; 2011.
121. Gurley TW. *Aeroponics: Growing Vertical*. Boca Raton: CRC Press; 2020.
122. Stoner R, Clawson J. A high performance, gravity insensitive, enclosed aeroponic system for food production in space. Principal Investigator, NASA SBIR NAS10-98030. 1998.
123. Mirzabe AH, Hajiahmad A, Fadavi A, Rafiee S. Piezoelectric atomizer in aeroponic systems: A study of some fluid properties and optimization of operational parameters. *Information Processing in Agriculture*. 2023;10(4):564–80.

124. Garzón J, Montes L, Garzón J, Lampropoulos G. Systematic review of technology in aeroponics: Introducing the technology adoption and integration in sustainable agriculture model. *Agronomy*. 2023;13(10):2517.
125. Kirmani S, Gulzar M, Bhat SA, Raja W. Aeroponics: an innovative technique for production of vegetable crops. In: *Handbook of Agricultural Technologies*. Singapore: Springer; 2025. p. 1–16.
126. Rahmad IF, Tanti L, Puspasari R, Ekadiansyah E, Fragastia VA, editors. Automatic monitoring and control system in aeroponic plant agriculture. 2020 8th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM); 2020: IEEE.
127. Wong CE, Teo ZWN, Shen L, Yu H. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;106:48–63.
128. Eldridge BM, Manzoni LR, Graham CA, Rodgers B, Farmer JR, Dodd AN. Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *New Phytologist*. 2020;228(4):1183–92.
129. Rakocy JE, Bailey DS, Shultz KA, Cole WM, editors. Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. *Tilapia aquaculture: proceedings of the fourth international symposium on tilapia in aquaculture*, Orlando, Florida; 1997.
130. Pattillo DA, Hager JV, Cline DJ, Roy LA, Hanson TR. System design and production practices of aquaponic stakeholders. *PloS one*. 2022;17(4):e0266475.
131. Endut A, Jusoh A, Ali N, Nik WW, Hassan A. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource technology*. 2010;101(5):1511–7.
132. Eck M, Sare AR, Massart S, Schmautz Z, Junge R, Smits TH, et al. Exploring bacterial communities in aquaponic systems. *Water*. 2019;11(2):260.
133. Dinev T, Velichkova K, Stoyanova A, Sirakov I. Microbial Pathogens in Aquaponics Potentially Hazardous for Human Health. *Microorganisms*. 2023;11(12):2824.
134. Pilinszky K, Bittsanszky A, Gyulai G, Komives T. Plant protection in aquaponic systems-Comment on Karthikeyan and Gopalakrishnan's (2014)" A novel report of phytopathogenic fungi *Gilbertella persicaria* infection on *Penaeus monodon*". *Aquaculture*. 2015;435:275–6.
135. Love DC, Fry JP, Genello L, Hill ES, Frederick JA, Li X, et al. An international survey of aquaponics practitioners. *PloS one*. 2014;9(7):e102662.
136. Effendi H, Wahyuningsih S, Wardiatno Y. The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa*

L. var. longifolia) in water recirculation system. *Applied Water Science*. 2017;7:3055–63.

137. Blanchard C, Wells DE, Pickens JM, Blersch DM. Effect of pH on cucumber growth and nutrient availability in a decoupled aquaponic system with minimal solids removal. *Horticulturae*. 2020;6(1):10.

138. Kralik B, Nieschwitz N, Neves K, Zeedyk N, Wildschutte H, Kershaw J. The effect of aquaponics on tomato (*Solanum lycopersicum*) sensory, quality, and safety outcomes. *Journal of food science*. 2023;88(6):2261–72.

139. Matysiak B, Kaniszewski S, Mieszczakowska-Fraç M. Growth and quality of leaf and romaine lettuce grown on a vertical farm in an aquaponics system: Results of farm research. *Agriculture*. 2023;13(4):897.

140. Monsees H, Suhl J, Paul M, Kloas W, Dannehl D, Würtz S. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS One*. 2019;14(6):e0218368.

141. Dos Santos MJPL. Smart cities and urban areas—Aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban forestry & urban greening*. 2016;20:402–6.

142. Eğilmez S. Domates-Ürün Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE); 2022. Report No.: 364.

143. Gatahi DM. Challenges and opportunities in tomato production chain and sustainable standards. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2020;7(3):235–62.

144. Resendiz-Nava CN, Alonso-Onofre F, Silva-Rojas HV, Rebollar-Alviter A, Rivera-Pastrana DM, Stasiewicz MJ, et al. Tomato plant microbiota under conventional and organic fertilization regimes in a soilless culture system. *Microorganisms*. 2023;11(7):1633.

145. Vélez-Terreros PY, Romero-Estévez D, Navarrete H, Yáñez-Jácome GS. Nutritional Quality of Conventional, Organic, and Hydroponic Tomatoes Commercialized in Quito, Ecuador. *Foods*. 2024;13(9):1348.

146. Sánchez AS, Flores P, Hernández V, Sánchez E, Molina E, López N, et al. Fruit agronomic and quality traits of tomato F1 hybrids derived from traditional varieties. *Horticulturae*. 2024;10(5):440.

147. Nkongho RN, Ndam LM, Akoneh NN, Tongwa QM, Njilar RM, Agbor DT, et al. Vegetative propagation of F1 tomato hybrid (*Solanum lycopersicum* L.) using different rooting media and stem-nodal cuttings. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;11:100470.

148. Perea-Domínguez XP, Hernández-Gastelum LZ, Olivas-Olguin HR, Espinosa-Alonso LG, Valdez-Morales M, Medina-Godoy S. Phenolic composition of tomato varieties and an industrial tomato by-product: free, conjugated and bound phenolics and antioxidant activity. *Journal of food science and technology*. 2018;55(9):3453–61.
149. Toor R, Savage G, Lister C. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006;19(1):1–10.
150. Tan S, Ke Z, Chai D, Miao Y, Luo K, Li W. Lycopene, polyphenols and antioxidant activities of three characteristic tomato cultivars subjected to two drying methods. *Food Chemistry*. 2021;338:128062.
151. Jha AK, Sit N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2022;119:579–91.
152. Andarwulan N, Batari R, Sandrasari DA, Bolling B, Wijaya H. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. *Food chemistry*. 2010;121(4):1231–5.
153. Kim HS, Chin KB. Evaluation of antioxidative activity of various levels of ethanol extracted tomato powder and application to pork patties. *Korean journal for food science of animal resources*. 2017;37(2):242.
154. Varshini K, Parthasarathi T. Isolation, structural elucidation, and antioxidant potential of phytomelatonin from tomato (*Solanum lycopersicum* L.) leaves. *Front Pharmacol*. 2026;17:1818804.
155. Seyhan SA. DPPH antioksidan analizinin yeniden değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*. 2019;9(2):125–35.
156. Brand-Williams W, Cuvelier M-E, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*. 1995;28(1):25–30.
157. Gulcin İ, Alwasel SH. DPPH radical scavenging assay. *Processes*. 2023;11(8):2248.
158. Kedare SB, Singh R. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology*. 2011;48(4):412–22.
159. de Lima DP, Júnior EdSP, de Menezes AV, de Souza DA, de São José VPB, da Silva BP, et al. Chemical composition, minerals concentration, total phenolic compounds, flavonoids content and antioxidant capacity in organic and conventional vegetables. *Food Research International*. 2024;175:113684.
160. Drakou M, Birmpa A, Koutelidakis AE, Komaitis M, Panagou EZ, Kapsokefalou M. Total antioxidant capacity, total phenolic content and iron and zinc dialyzability in selected Greek varieties of table olives, tomatoes and legumes from

conventional and organic farming. *International journal of food sciences and nutrition*. 2015;66(2):197–202.

161. Vélez-Terreros PY, Romero-Estévez D, Yáñez-Jácome GS, Simbaña-Farinango K, Navarrete H. Comparison of major nutrients and minerals between organic and conventional tomatoes. A review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;100:103922.

162. Stamp N. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly review of biology*. 2003;78(1):23–55.

163. Oliva M, Marra F, Santoro L, Battaglia S, Mallamaci C, Muscolo A. Circular Fertilization Strategy Using Sulphur with Orange Waste Enhances Soil Health and Broccoli Nutritional and Nutraceutical Quality in Mediterranean Systems. *Applied Sciences*. 2025;15(16):9010.

164. Mitchell AE, Hong Y-J, Koh E, Barrett DM, Bryant D, Denison RF, et al. Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2007;55(15):6154–9.

165. Verdoliva SG, Gwyn-Jones D, Detheridge A, Robson P. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β -carotene contents in hydroponically grown tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 2021;279:109896.

166. Giri L, Hussain M, Angmo JC, Mustafa G, Singh B, Bahukhnadi A, et al. Enhancing tomato (*Solanum lycopersicum*) yield and nutrition quality through hydroponic cultivation with treated wastewater. *Food Chemistry*. 2025;463:141079.

167. Rapa M, Ciano S, Ruggieri R, Vinci G. Bioactive compounds in cherry tomatoes (*Solanum Lycopersicum* var. *Cerasiforme*): Cultivation techniques classification by multivariate analysis. *Food Chemistry*. 2021;355:129630.

168. Slimestad R, Verheul MJ. Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005;53(8):3114–9.

169. Szymańska R, Ślesak I, Orzechowska A, Kruk J. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*. 2017;139:165–77.

170. Pék Z, Szuvandzsiev P, Nemenyi A, Helyes L, Lugasi A. The effect of natural light on changes in antioxidant content and color parameters of vine-ripened tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *HortScience*. 2011;46(4):583–5.

171. Daood HG, Ráth S, Abushita AA, Máté M, Helyes L. Impact of Rainfall and Air Temperature Before Harvest on Content and Response of Carotenoids,

Tocopherols, and Vitamin C to Postharvest Thermal Processing of Tomato. *Horticulturae*. 2025;11(10):1245.

172. Mazur KZ, Gajewski M, Metera AM, Wtulich JA, Marcinkowska MM. Effect of Growing Medium and Harvest Term on Yield and Several Quality Traits of Two Cultivars of "Cherry" Tomatoes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2012;40(2):197–202.

173. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Afyonkarahisar İli ve İlçeleri Meteorolojik İstatistikleri [İnternet]. 2026 [Erişim Tarihi: 28 Haziran 2026]. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/>.

174. Anton D, Bender I, Kaart T, Roasto M, Heinonen M, Luik A, et al. Changes in polyphenols contents and antioxidant capacities of organically and conventionally cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during ripening. *International Journal of Analytical Chemistry*. 2017;2017(1):2367453.

175. Hernández V, Hellín P, Fenoll J, Flores P. Increased temperature produces changes in the bioactive composition of tomato, depending on its developmental stage. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2015;63(9):2378–82.

176. Cannea FB, Padiglia A. Antioxidant defense systems in plants: Mechanisms, regulation, and biotechnological strategies for enhanced oxidative stress tolerance. *Life*. 2025;15(8):1293.

177. Hasanuzzaman M, Bhuyan MB, Zulfiqar F, Raza A, Mohsin SM, Mahmud JA, et al. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*. 2020;9(8):681.

178. Ighodaro O, Akinloye O. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria journal of medicine*. 2018;54(4):287–93.

179. Christopoulos MV, Tsantili E. Participation of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in increased phenolic compounds in fresh cold stressed walnut (*Juglans regia* L.) kernels. *Postharvest Biology and Technology*. 2015;104:17–25.

180. Alhaithloul HA, Galal FH, Seufi AM. Effect of extreme temperature changes on phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ*. 2021;9:e11193.

181. Yengkokpam P, Mazumder PB. Antioxidant enzymatic activities and profiling of gene expression associated with organophosphate stress tolerance in *Solanum melongena* L. cv. Longai. *3 Biotech*. 2021;11(12):510.

182. Homayoonzadeh M, Moeini P, Talebi K, Roessner U, Hosseininaveh V. Antioxidant system status of cucumber plants under pesticides treatment. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020;42(11):161.
183. Shakir SK, Irfan S, Akhtar B, Rehman SU, Daud MK, Taimur N, et al. Pesticide-induced oxidative stress and antioxidant responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. *Ecotoxicology*. 2018;27(7):919–35.
184. Soares C, Pereira R, Spormann S, Fidalgo F. Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants?—Evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. *Environmental Pollution*. 2019;247:256–65.
185. Yuzbasioglu E, Dalyan E, Akpinar I. Effect of dose-dependent application of fungicides propineb and mancozeb on H₂O₂, lipid peroxidation, and photosynthetic pigment in tomato leaves. *European Journal of Biology*. 2024;83(2).
186. Hassan Mhya D, Mohammed A. Pesticides' Impact on the Nutritious and Bioactive Molecules of Green Leafy Vegetables: Spinach and Lettuce. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2025;25(2):2559–75.
187. Hatamleh AA, Danish M, Al-Dosary MA, El-Zaidy M, Ali S. Physiological and oxidative stress responses of *Solanum lycopersicum* (L.)(tomato) when exposed to different chemical pesticides. *RSC advances*. 2022;12(12):7237–52.
188. Riedo J, Wettstein FE, Rösch A, Herzog C, Banerjee S, Büchi L, et al. Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils—the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental science & technology*. 2021;55(5):2919–28.
189. Chen S, Yao C, Zhou J, Ma H, Jin J, Song W, et al. Occurrence and risk assessment of pesticides, phthalates, and heavy metal residues in vegetables from hydroponic and conventional cultivation. *Foods*. 2024;13(8):1151.
190. Fanasca S, Colla G, Maiani G, Venneria E, Rouphael Y, Azzini E, et al. Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2006;54(12):4319–25.
191. Wang L, Ning S, Zheng W, Guo J, Li Y, Li Y, et al. Performance analysis of two typical greenhouse lettuce production systems: commercial hydroponic production and traditional soil cultivation. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1165856.
192. Shawon MRA, Azad MOK, Ryu BR, Na JK, Choi KY. The electrical conductivity of nutrient solution influenced the growth, centellosides content and gene expression of *Centella asiatica* in a hydroponic system. *Agriculture*. 2023;13(12):2236.

193. He L, Xu W, Zhou D, Yan J, Jin H, Zhang H, et al. The impact of nutrient solution electrical conductivity on leaf transcriptome contributing to the fruit quality of cucumber grown in coir cultivation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(22):11864.
194. Suhandy D. The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology (JAEB)*. 2014;2(1):7–12.
195. Krauss S, Schnitzler WH, Grassmann J, Voitke M. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(2):441–8.
196. Schmautz Z, Loeu F, Liebisch F, Graber A, Mathis A, Griessler Bulc T, et al. Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water*. 2016;8(11):533.

8. EKLER

Ek-1: Tez Çalışması Orijinallik Raporu



Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin **Turnitin**'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:

Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Nesli ARPACI
Ödev başlığı: AYLIN TEZ SINAV
Gönderi Başlığı: Aylin tez
Dosya adı: aylin_i_ler.docx
Dosya boyutu: 444.92K
Sayfa sayısı: 49
Kelime sayısı: 10,460
Karakter sayısı: 76,751
Gönderim Tarihi: 24-Tem-2026 01:00ÖS (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2988232608



ORJİNALLİK RAPORU

%5

BENZERLİK ENDEKSİ

%5

İNTERNET KAYNAKLARI

%3

YAYINLAR

%3

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	%1
2	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
3	core.ac.uk İnternet Kaynağı	<%1
4	icebconference.org İnternet Kaynağı	<%1
5	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	Atasağun, Ayşe Özgül. "Bir Halk Sağlığı Müdürlüğü'nde Çalışanların Organik Gıda Tüketimi ve Sağlık Algıları İlişkisinin İncelenmesi", Marmara Üniversitesi (Turkey), 2023 Yayın	<%1
7	Submitted to Koc University Öğrenci Ödevi	<%1
8	www.science.gov İnternet Kaynağı	<%1
9	Gloria Holguín Martínez. "Memorias del XI Congreso Colombiano de Fitoquímica", Vitae, 2011 Yayın	<%1
10	Submitted to TechKnowledge Turkey Öğrenci Ödevi	<%1
11	www.nrfhh.com İnternet Kaynağı	<%1
12	Submitted to Kirikkale University Öğrenci Ödevi	<%1
13	Submitted to Galatasaray University Öğrenci Ödevi	<%1
14	Submitted to Ege Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<%1

9. ÖZGEÇMİŞ