

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**STRİGOLAKTON VE MİKORİZA UYGULAMALARININ  
110R/NARİNCE AŞI KOMBİNASYONUNDAKİ ASMA FİDANLARININ  
GELİŞİMİ İLE BESİN ELEMENTİ ALIMINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS

Erdal ÖZTÜNÇ  
Danışman: Prof. Dr. Nurhan KESKİN  
İkinci Danışman: Prof. Dr. Adem YAĞCI

VAN – 2025



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**STRİGOLAKTON VE MİKORİZA UYGULAMALARININ 110R/NARİNCE  
AŞI KOMBİNASYONUNDAKİ ASMA FİDANLARININ GELİŞİMİ İLE  
BESİN ELEMENTİ ALIMINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS

Erdal ÖZTÜNCÜ

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nurhan KESKİN (Danışman)

Doç. Dr. Cüneyt UYAK (Üye)

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Samet GÖKÇEN (Üye)

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından  
FYL-2024-11176 No'lu proje ile desteklenmiştir.

VAN – 2025



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Nurhan KESKİN ve Prof. Dr. Adem YAĞCI danışmanlığında Erdal ÖZTÜNÇ tarafından sunulan “Strigolakton ve Mikoriza Uygulamalarının 110R/Narince Aşı Kombinasyonundaki Asma Fidanlarının Gelişimi ile Besin Elementi Alımına Etkileri” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 20/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Nurhan KESKİN

İmza:

Üye: Doç. Dr. Cüneyt UYAK

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Samet GÖKÇEN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .... / .... / ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Doç. Dr. Adnan ÇETİN  
Enstitü Müdürü



## ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Erdal ÖZTÜNÇ





## ÖZET

### STRİGOLAKTON VE MİKORİZA UYGULAMALARININ 110R/NARİNCE AŞI KOMBİNASYONUNDAKİ ASMA FİDANLARININ GELİŞİMİ İLE BESİN ELEMENTİ ALIMINA ETKİLERİ

ÖZTÜNÇ, Erdal

Yüksek Lisans Tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurhan KESKİN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Adem YAĞCI

Ekim 2025, 59 sayfa

Bu çalışmada, 110R/Narince aşı kombinasyonunda sera koşullarında tüplü fidan üretiminde farklı dozlarda GR24 (sentetik strigolakton analogu) ve arbusküler mikorizal fungus (AMF) uygulamalarının kök ve sürgün gelişimi ile besin elementi alımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aşılı çelikler, omega kesit yöntemiyle aşılınmış, kaynaştırma odasında kallus gelişimi sağlandıktan sonra, sera koşullarda içerisinde perlit ve torf (1:1) bulunan siyah renkli polietilen tüplere dikilmiştir. Uygulamalar, dikim öncesi ve sonrası olmak üzere iki aşamada yapılmış; GR24 (1, 5 ve 10  $\mu$ M) çözeltilerinde 1 saat bekletme ve köklere 5 ml enjeksiyon, AMF'de ise 1 dk bekletme ve köklere 30 ml enjeksiyon şeklinde gerçekleştirilmiştir. Denemede yaprak sayısı, sürgün uzunluğu, sürgün çapı, sürgün yaş ve kuru ağırlıkları, toplam yaprak alanı, azot denge indeksi (ADI), klorofil, flavonoid, antosiyanin, gövde ve kök mineral içerikleri, kök uzunluğu, kök sayısı, gelişim düzeyi, kök yaş ve kuru ağırlıkları, kök kuru madde oranı değerlendirilmiştir. Bulgular, GR24 ve AMF uygulamalarının kontrol grubuna oranla kök ve sürgün gelişiminde istatistik olarak önemli artışlar sağladığını göstermiştir ( $p<0.05$ ). Özellikle 1 ve 5  $\mu$ M GR24, kök ve sürgün özelliklerinde en yüksek değerleri verirken, GR24 + AMF kombinasyonu kök gelişiminde öne çıkmıştır. Sonuç olarak, strigolakton ve mikoriza uygulamalarının birlikte kullanımının asma fidanlarında morfolojik gelişim ve besin elementi alımını sinerjik şekilde artırdığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Asma fidanı, GR24, Mineral içerik, Mikoriza, Vejetatif gelişme



## ABSTRACT

### EFFECTS OF STRIGOLACTONE AND MYCORRHIZA TREATMENTS ON THE DEVELOPMENT AND NUTRIENT ELEMENT UPTAKING OF GRAPEVINE SAPLINGS IN 110R/NARINCE GRAFTING COMBINATION

ÖZTÜNÇ, Erdal

M.Sc. Thesis, Department of Horticulture

Supervisor: Prof. Dr. Nurhan KESKİN

Second Supervisor: Prof. Dr. Adem YAĞCI

October 2025, 59 pages

In this study, the effects of different doses of GR24 (a synthetic strigolactone analog) and arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) on root and shoot development and nutrient uptake in greenhouse potted sapling production using the 110R/Narince grafting combination were investigated. Grafted cuttings were grafted using the omega section method. After callus development was achieved in the incubation chamber, they were planted in black polyethylene tubes containing perlite and peat (1:1) under greenhouse conditions.

Treatments were made in two stages: pre- and post-planting. GR24 (1, 5, and 10  $\mu$ M) solutions were inoculated for 1 hour and injected with 5 ml of root solution. AMF was inoculated for 1 minute and injected with 30 ml of root solution. Leaf number, shoot length, shoot diameter, shoot fresh and dry weights, total leaf area, nitrogen balance index (NBI), chlorophyll, flavonoid, anthocyanin, stem and root mineral contents, root length, root number, development level, root fresh and dry weights, root dry matter ratio were considered. Results showed that GR24 and AMF treatments provided statistically significant increases in root and shoot development compared to the control group ( $p < 0.05$ ). Specifically, 1 and 5  $\mu$ M GR24 yielded the highest root and shoot parameters, while the GR24 + AMF combination was prominent in root development. In conclusion, the combined use of strigolactone and mycorrhizal treatments synergistically enhanced morphological development and nutrient uptake in grapevine saplings.

**Keywords:** Grapevine sapling, GR24, Mineral composition, Mycorrhiza, Vegetative growth



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren ve geliőtiren değerli hocam Prof. Dr. Nurhan KESKİN' e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca deneme kurma, analiz ve sonuçların değerlendirilmesi sürecinde gerek bilgi gerekse ekipmanlar konusunda yardımını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Adem YAĞCI'ya, tezin istatistik analizlerini yapan değerli hocam Prof. Dr. Sıddık KESKİN'e, beni bu günlere getiren aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

2025

Erdal ÖZTÜNÇ



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	5
2.1 Strigolaktonlar (SL'ler) .....	5
2.1.1 Biyosentez ve Yapısal Özellikleri .....	6
2.1.2 Bitki Gelişimindeki Rollerini .....	7
2.1.3 Arbusküler Mikorizal Funguslarla (AMF) Etkileşim .....	7
2.2 Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF) .....	10
2.3 Aşılı Asma Fidanı Üretiminde Yeni Nesil Fitohormon Uygulamaları .....	11
2.4 Aşılı Asma Fidanı Üretiminde Mikoriza Uygulamaları .....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1 Materyal .....	15
3.2 Yöntem .....	16
3.2.1 Strigolakton (GR24) ve arbusküler mikorizal fungus (AMF) uygulamaları .....	17
3.2.2 İncelenen Özellikler .....	20
3.2.2.1 Sürgün Özellikleri .....	20
3.2.2.2 Kök Özellikleri .....	23
3.3 İstatistik Analiz .....	25
4. BULGULAR .....	27
4.1 Sürgün Gelişimi Üzerine Uygulamaların Etkisi .....	27
4.2 Kök Gelişimi Üzerine Uygulamaların Etkisi .....	32
4.3 Besin Elementi Alımı Üzerine Uygulamaların Etkisi .....	35
4.3.1 Yaprak Mineral İçeriği .....	35
4.3.2 Gövde Mineral İçeriği .....	38
4.3.3 Kök Mineral İçeriği .....	41
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	45
5.1 Sürgün Gelişimi .....	45

5.2 Kök Gelişimi .....	46
5.3 Besin Element Alımı .....	47
KAYNAKLAR.....	51
ÖZ GEÇMİŞ.....	59



## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1 Narince üzüm çeşidinin özellikleri (Çelik, 2006) (Foto: Zir. Yük. Müh. Muhsin BALCI).....	16
Çizelge 3.2 Ticari Endo Roots Soluble (ERS) solüsyonu içeriği .....	18
Çizelge 3.3 Kök gelişim düzeyi.....	23
Çizelge 4.1 Sürgün gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları .....	27
Çizelge 4.2 Kök gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları .....	32
Çizelge 4.3 Yaprak mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları .....	36
Çizelge 4.4 Gövde mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları .....	39
Çizelge 4.5 Kök mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları.....	42



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Fitohormonlar ve SL'lerin fonksiyonel sınıflandırması.....	5
Şekil 3.1 110R anacı (soldan sağa sürgün, yaprak ve çiçek) (Plantgrape, 2023).....	15
Şekil 3.2 Aşılama işlemi.....	17
Şekil 3.3 Aşılı çelikle dikim öncesi GR24 uygulaması.....	19
Şekil 3.4 Aşılı materyalin polietilen tüplere dikimi .....	19
Şekil 3.5 Dikim sonrası genel görünüm .....	20
Şekil 3.6 Sürgünlerde yaprak sayımı.....	21
Şekil 3.7 Sürgün uzunluğunun ölçülmesi.....	21
Şekil 3.8. Sürgün çapının ölçülmesi .....	22
Şekil 3.9. Kök gelişim düzeyi.....	24
Şekil 3.10. Kök yaş ağırlığının belirlenmesi .....	24
Şekil 4.1 Sürgün gelişimi üzerine uygulamaların etkisi.....	30
Şekil 4.2 Kök gelişimi üzerine uygulamaların etkisi.....	34



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>cm</b>	Santimetre
<b>dx</b>	Dualex indeksi
<b>g</b>	Gram
<b>l</b>	Litre
<b>m</b>	Metre
<b>µg</b>	Mikrogram
<b>µM</b>	Mikromolar
<b>mm</b>	Milimetre
<b>mM</b>	Milimolar
<b>ppm</b>	Part per million (milyonda bir kısım)
<b>sn</b>	Saniye
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b>%</b>	Yüzde

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ABA</b>	Absizik Asit
<b>ADİ</b>	Azot Denge İndeksi
<b>AMF</b>	Arbusküler Mikorizal Fungus
<b>DMSO</b>	Dimetil Sülfoksit
<b>ERS</b>	Endo Roots Soluble
<b>IAA</b>	Indol-3-Asetik Asit
<b>IBA</b>	Indol Butirik Asit
<b>SL</b>	Strigolakton



## 1. GİRİŞ

Asma (*Vitis vinifera* L.), dünya genelinde yaklaşık 7.3 milyon hektarlık alanda yetiştirilen (OIV, 2023), ekonomik ve kültürel değeri yüksek, çok yıllık bir bitkidir. Meyvesi olan üzüm ise, hem taze tüketimi hem de işlenmiş ürünleri (şarap, kuru üzüm, pekmez vb.) ile dünyada ekonomik değeri yüksek meyvelerden biridir. Türkiye, üzüm yetiştiriciliğinde binlerce yıllık bir geçmişe sahip olup, genetik çeşitliliği, farklı ekolojik bölgelerdeki adaptasyon yeteneği ve geleneksel bağcılık kültürü sayesinde, bu alanda dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Türkiye, *Vitis vinifera* L. türünün gen merkezlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Çelik, 2019). Ülkemizde yaklaşık 3.6 milyon tonluk yıllık üzüm üretimi (TÜİK, 2023) gerçekleştirilmektedir.

Bağcılık, ülkemiz tarımında yalnızca üretim miktarı açısından değil, kırsal istihdam, katma değer ve ihracat yönünden de stratejik öneme sahiptir. Yaklaşık 500 bin aile doğrudan ya da dolaylı olarak bağcılıkla geçimini sağlamakta, ihracatta üzüm ve üzüm ürünleri yıllık 600 milyon doların üzerinde gelir oluşturmaktadır (TÜİK, 2023). Dolayısıyla bağcılığın sürdürülebilirliği, Türkiye için hem tarımsal hem de sosyo-ekonomik bir değer taşımaktadır.

Yeni bağ tesislerinin verim ve kalite potansiyeli, doğrudan kullanılan fidanların kalitesi ile ilişkilidir. Fidan üretimi, bağcılığın sürdürülebilirliğini belirleyen en temel aşamalardan biridir (Çelik, 2019). Ancak ülkemizde, her yıl milyonlarca fidan üretilmesine rağmen, fidan randımanında %20-40 arasında değişen kayıplar yaşandığı bildirilmektedir (Arık, 2020). Bu kayıplar; üretim maliyetlerini artırmakta, sağlıklı fidan arzını azaltmakta ve yeni bağ tesislerinin verimliliğini düşürmektedir. Fidan üretiminde randıman kayıplarının başlıca nedenleri arasında; Amerikan asma anaçlarının köklenme zorlukları, aşı uyumsuzlukları, fungal hastalık etmenleri, olumsuz çevre koşulları (sıcaklık, nem, oksijen yetersizliği vb.) yer almaktadır (Çelik, 2019; Arık, 2020).

Amerikan asma anaçlarının kullanımı, bağcılıkta filoksera zararlısına karşı dayanıklılık sağladığı için kaçınılmazdır. Ancak bazı anaçların özellikle köklenme oranlarının düşük olması, fidan üretiminde en önemli darboğazlardan birini oluşturur. Örneğin 110R (Richter 110), 140Ru (Ruggeri 140) ve 41B (Millardet et de Grasset 41B) gibi anaçlar, yüksek adaptasyon kabiliyetlerine rağmen zor köklenen anaçlar olarak bilinir.

Geçmişte, bu sorunu aşmak amacıyla birçok uygulama geliştirilmiştir. Bunlar arasında; köklendirme hormonları (IBA, NAA) kullanımı, sıcaklık ve nem kontrollü sisleme sistemleri, ökseleme (çizik atma) teknikleri, köklendirme ortamı değişiklikleri (perlit, torf, vermikülit karışımları), sıcak su veya sıcak hava uygulamaları gibi yöntemler yer almaktadır (Hartmann vd., 2011; Çelik, 2019). Ancak bu yöntemlerin çoğu, belirli anaçlarda sınırlı etki göstermiş, fidan randıman kayıplarını tam olarak ortadan kaldıramamıştır. Özellikle düşük köklenme oranı gösteren Amerikan anaçlarında kalıcı bir çözüm elde edilememiştir. Bu durum, kök gelişimini ve fidan canlılığını destekleyecek biyolojik veya hormonal düzenleyicilere olan gereksinimi artırmıştır. Son yıllarda bu amaçla öne çıkan iki önemli biyoregülatör grup; strigolaktonlar (SL'ler) ve mikorizal mantarlar (AMF) olmuştur.

Strigolaktonlar (SL'ler) ilk kez bitki köklerinden salgılanan ve parazitik yabancı ot tohumlarının çimlenmesini tetikleyen bileşikler olarak tanımlanmış, daha sonra bitkiler arası sinyal molekülleri ve bitki içi hormonlar olarak kabul edilmiştir (Gomez-Roldan vd., 2008; Umehara vd., 2008; Al-Babili ve Bouwmeester, 2015). SL'ler; kök mimarisini düzenler, yan sürgün gelişimini baskılar, abiyotik streslere dayanımı artırır, mikorizal simbiyozun oluşumunda sinyal rolü üstlenir (Alvi vd., 2022). Özellikle sentetik strigolakton analogu GR24, düşük köklenme oranına sahip anaçlarda kök gelişimini uyararak fidan randımanını artırma potansiyeli taşımaktadır (Polat, 2023).

Mikoriza, bitki kökleri ile toprak mantarları arasında gelişen ve her iki organizma için karşılıklı yarar sağlayan simbiyotik bir ilişkidir (Khaliq vd., 2022). Özellikle arbusküler mikorizal funguslar (AMF), bitkilerin kök sistemini genişleterek fosfor başta olmak üzere besin elementi alımını iyileştirir, su kullanım etkinliğini artırır ve stres koşullarına toleransı güçlendirir (Smith ve Read, 2008; Schreiner, 2005; Trouvelot vd., 2015). Mikoriza uygulamaları; fidan döneminde besin alımını optimize eder, kök gelişimini teşvik eder, fidanın dikim sonrası tutma başarısını yükseltir (Naz vd., 2025). Bu özellikleriyle mikoriza, randıman kayıplarını azaltabilecek doğal bir biyolojik destek unsuru olarak değerlendirilebilir.

Literatürde GR24 ve AMF'nin birlikte kullanımına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. SL'ler, AMF'lerin kök yüzeyine yönelimini ve kolonizasyonunu kolaylaştırırken, AMF'ler de kök gelişimi ve mineral madde alımını desteklemektedir.

Bu nedenle iki uygulamanın birlikte kullanımının, asma fidanlarının gelişiminde sinerjik bir etki oluşturma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, 110R/Narince aşu kombinasyonuna sahip asma fidanlarında, GR24 ve AMF uygulamalarının tek ve kombine kullanımının; aşılı asma fidanlarında kök ve sürgün özellikleri ile besin elementi alımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın temel araştırma sorusu şudur: 110R/Narince aşu kombinasyonuna sahip asma fidanlarında, GR24 ve AMF uygulamaları, sürgün gelişimi, kök mimarisi ve besin elementi alımı üzerinde tekil ve kombinasyon halinde farklı etkiler oluşturmakta mıdır?

Araştırma hipotezleri:

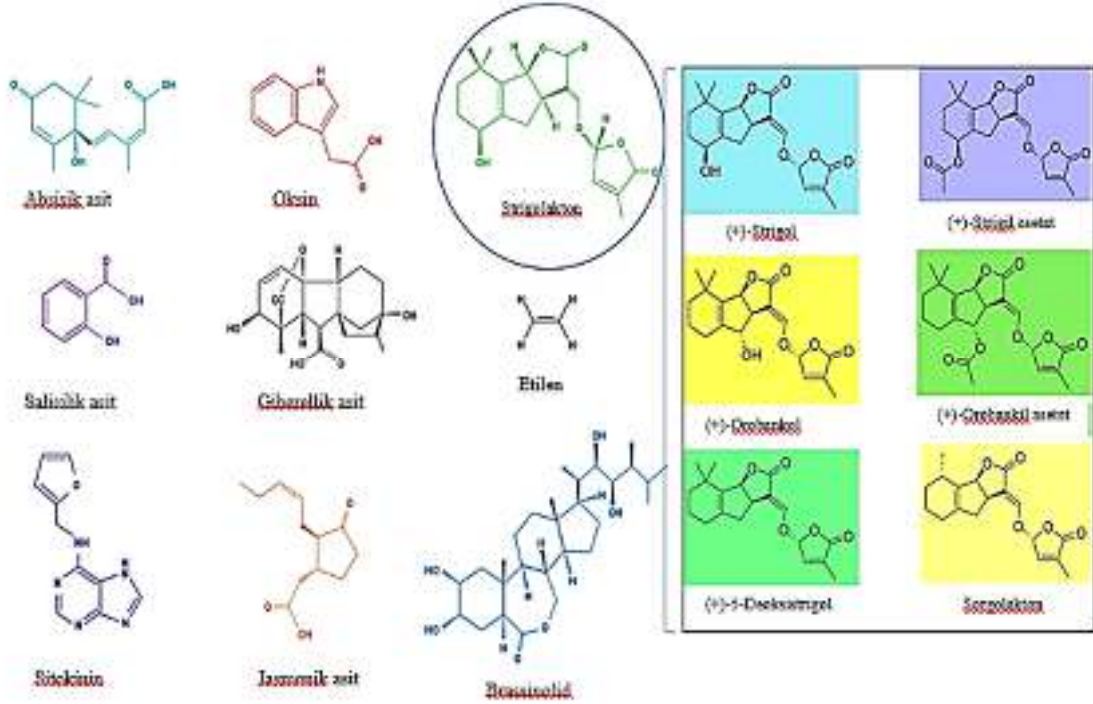
- 1) H<sub>1</sub>: GR24 uygulaması, 110R/Narince aşu kombinasyonunda kök mimarisini ve sürgün gelişimini kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde artırır.
- 2) H<sub>1</sub>: GR24 ve AMF'nin birlikte uygulanması, tekil uygulamalara göre kök mimarisi, sürgün gelişimi ve besin elementi alımında sinerjik bir etki oluşturur.



## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

### 2.1 Strigolaktonlar (SL'ler)

Bitki gelişimi söz konusu olduğunda, fitohormonlar (Şekil 2.1) doğal olarak üretilen ve büyüme ile gelişmeyi düzenleyen küçük moleküller olup daha önce birçok çalışmada bitki hormonlarının gelişim üzerindeki etkileri ele alınmıştır (Anfang ve Shani, 2021; Saha vd., 2021; Chakraborty vd., 2025; Naz vd., 2025; Yu vd., 2025). Bu hormonlar arasında oksin (IAA), giberellin (GA<sub>3</sub>), absisik asit (ABA), sitokinin (CK), salisilik asit (SA) gibi bileşikler yer alır (Naz vd., 2025). SL'ler ise, başlangıçta rizosferde alelokimyasal olarak tanımlanan, günümüzde ise bitki büyüme ve gelişimini düzenleyen yeni bir fitohormon sınıfı olarak kabul edilen karotenoid türevi bileşiklerdir (Cook vd., 1966; Smith, 2014). İlk olarak parazit yabancı otların tohum çimlenmesini uyaran bileşikler olarak tanımlanan SL'ler, daha sonra bitki mimarisi, kök sistemi gelişimi, yaprak yaşlanması ve simbiyotik ilişkilerin düzenlenmesinde görev aldığı anlaşılmıştır (Yoneyama, 2019; Yoneyama ve Brewer, 2021).



Şekil 2.1 Fitohormonlar ve SL'lerin fonksiyonel sınıflandırması

### 2.1.1 Biyosentez ve Yapısal Özellikleri

Günümüzde 30'dan fazla yapısal olarak farklı SL tanımlanmış olsa da, üretim nedenleri ve biyokimyasal yollarının karmaşıklığı hâlâ tam olarak anlaşılmamıştır (Naz vd., 2025). Transkriptomik analizler ve ters genetik teknikler, bu yapısal çeşitliliğe sahip SL'lerin tam biyosentetik yollarını ortaya koymuştur (Yoneyama, 2019; Patel vd., 2020). SL'lerin ilk keşfedilen hormonal işlevi, sürgün dallanmasının baskılamasıdır ve bu özellik, onları geniş bir yelpazedeki büyüme ve gelişme süreçlerini etkileyen özgün bir fitohormon ailesi yapmaktadır (Yoneyama ve Brewer, 2021).

SL'ler rizosfere salındığında, AMF'lerin büyümesini teşvik eden sinyal molekülleri olarak işlev görür. Bu moleküller, yalnızca konak köklerin yakınında gözlemlenebilen hif dallanmasını uyarır (Akiyama vd., 2005). Ancak kök paraziti yabancı otlar, SL'leri konak köklerini bulmak için kullanarak ciddi tarımsal sorunlara neden olur; bu türlerin tohumları yalnızca çevrede SL algıladığında çimlenir. Örneğin darı, mısır ve marul gibi bazı bitkiler, azot yetersizliği durumunda SL üretilip salgılayarak AMF ile simbiyotik ilişkiden azot temin eder (Yoneyama, 2019). Yakın tarihli araştırmalar, pirinç bitkisinde SL biyosentezi ve sürgün dallanmasının, fotosentetik şeker tarafından kontrol edilen sirkadiyen ritim düzenleyicisiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Wang vd., 2020).

SL'ler, karotenoid kökenli bileşikler olarak, bitki gelişimi ve adaptasyonunda çok sayıda süreci düzenler. Özellikle besin kıtlığı koşullarında kök gelişimini teşvik eder (Smith, 2014). Kök gelişimi, yaprak yaşlanması ve sürgün dallanması gibi süreçlerde görev alırlar (Kim vd., 2022). Bitki tarafından üretilen bu sinyal molekülleri, içsel hormonlar olarak bitki gelişimini düzenlerken, aynı zamanda toprak mikroorganizmalarıyla simbiyotik ilişkilerin kurulmasına aracılık eder (Marro vd., 2022).

SL'lerin biyolojik özellikleri arasında en bilineni, striga (cadı otu) ve orobanş (canavar otu) gibi parazit yabancı ot tohumlarının çimlenmesini uyarmalarıdır (Decker vd., 2017). Araştırmalar, SL'lerin stereokimyasına göre (+/-) strigol tipi ve orobanş tipi olmak üzere iki ana gruba ayrıldığını, doğada orobanş tipinin daha yaygın olduğunu göstermektedir (Lee vd., 2019). Bu bileşiklerin işlevsel özelliklerinin incelenmesinde stereokimya, yapısal-aktivite ilişkileri, kararlılık ve basit bileşiklerin kombinasyonu gibi faktörler önemlidir (Marzec ve Melzer, 2018).

SL'ler, bitki büyümesi ve kök mikroorganizmaları ile ilişkilerin düzenlenmesinde kritik rol oynayan hormonlardır (Yoneyama, 2019). *Arabidopsis thaliana* ve pirinçte, DWARF14 (D14), MORE AXILLARY GROWTH 2 (MAX2) ve MAX2-benzeri baskılayıcı proteinlerle (SMXL6, SMXL7, SMXL8) kompleksler oluşturarak işlev görürler (Chen vd., 2014; Wang vd., 2020).

SL'ler, kök bölgesinde yaşayan faydalı AMF'lerin kolonizasyonunu artırmanın yanı sıra, tarımsal açıdan sürdürülebilir uygulamalarda ürün verimi ve kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. SL biyosentezinin değiştirilmesi, kök parazit yabancı otların etkilerini azaltma ve düşük girdiyle yüksek verim sağlama açısından umut vaat etmektedir (Rasheed vd., 2022). Ancak, SL metabolizması ve ürünlerinin bitki içindeki işlevleri hakkındaki eksiklikler giderilmeden bu potansiyelin tam anlamıyla kullanılabilmesi mümkün değildir (Chesterfield vd., 2020).

SL'ler ayrıca diğer bitki hormonlarıyla çapraz konuşma (crosstalk) yaparak bitki büyümesini düzenler. Özellikle oksin ile ilişkileri dikkat çekicidir; oksin, SL biyosentezini CCD7 ve CCD8 genlerini yukarı regüle ederek modüle eder (Omoarelojie vd., 2019). SL'ler ayrıca sitokinin, giberellin, absisik asit ve brassinosteroidlerle etkileşime girerek bitki mimarisini ve stres adaptasyonunu etkiler (Screpanti vd., 2016; Shafi vd., 2022).

### **2.1.2 Bitki Gelişimindeki Roller**

SL'lerin bilinen ilk hormonal işlevi sürgün dallanmasını baskılamasıdır (Yoneyama ve Brewer, 2021). Bunun yanında lateral kök oluşumu, kök tüyü uzunluğu, yaprak senesensi ve fotosentez düzenlemesinde de rol oynarlar (Kim vd., 2022). SL'ler besin kıtlığı koşullarında, özellikle fosfor (P) ve azot (N) eksikliğinde kök gelişimini teşvik eder (Smith, 2014). Ayrıca fotosentetik şeker tarafından kontrol edilen sirkadiyen ritim yollarıyla SL biyosentezi arasında bağlantılar gösterilmiştir (Wang vd., 2020).

### **2.1.3 Arbusküler Mikorizal Funguslarla (AMF) Etkileşim**

AMF'ler, kara bitkilerinin yaklaşık %80'i ile simbiyotik ilişki kurarak bitki beslenmesi (Lee vd., 2013), su alımı ve stres toleransına önemli katkılar sağlamaktadır (Simon vd., 1993). Bu simbiyozun kökeni, yaklaşık 460 milyon yıl öncesine, kara

bitkilerinin ilk ortaya çıkış dönemine kadar uzanmaktadır. AMF ile bitki kökleri arasındaki iletişim, karmaşık bir sinyal ağı tarafından düzenlenmektedir. Bu ağın temel unsurlarından birinin SL'ler olduğu artık bilinmektedir (Akiyama vd., 2005).

Konak bitki köklerinden salınan bazı bileşiklerin, AMF hiflerinin büyümesini etkilemenin yanı sıra dallanmayı da teşvik ettiği bildirilmektedir (Mosse ve Hepper, 1975; Powell, 1976; Mosse, 1988; Giovannetti vd., 1993; Giovannetti vd., 1994). AMF hif dallanması, başarılı kök kolonizasyonundan önce gerçekleşen ve konak kök tanıma sürecinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Giovannetti ve Sbrana, 1998; Buée vd., 2000; Nagahashi ve Douds, 2000). Bu dallanma tepkisi sayesinde kolonizasyona uygun bir kök bölgesi ile karşılaşma olasılığı artmaktadır (Nagahashi ve Douds, 2000). Hif dallanmasını uyaran aktif sinyaller, havuç, tütün, mısır, sorgum, bezelye ve domates gibi çok sayıda AMF konak bitkide tespit edilmiştir (Steinkellner vd., 2007).

Tamasloukht vd. (2003), köklerden salgılanan dallanma faktörünün etki sürecini incelemiştir. Dallanma faktörünün hife uygulanmasından 0.5-1 saat sonra *Gigaspora rosea*'da gen aktivasyonu başlamış, 1.5-3 saat içinde fizyolojik değişiklikler gözlenmiş ve 5 saat içinde hif dallanması başlamıştır. Bazı flavonoidlerin de hif dallanmasını uyardığı bildirilmiştir (Tsai ve Phillips, 1991; Phillips ve Tsai, 1992; Scervino vd., 2005a; Scervino vd., 2005b; Scervino vd., 2006) ancak bu flavonoidler yalnızca sınırlı sayıda bitkide bulunduğundan, başarılı bir AMF kök kolonizasyonu için genel sinyal bileşikleri oldukları görüşü tartışmalıdır.

Kök salgılarında dallanma faktörünü tanımlamaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Nagahashi ve Douds, 1999; Buée vd., 2000; Nagahashi ve Douds, 2000; Nagahashi ve Douds, 2003). Ancak, *Lotus japonicus*'un kök salgılarında hif dallanma faktörünün SL'ler olduğu net olarak belirlenmiştir (Akiyama vd., 2005). SL'lerin AMF üzerindeki etkileri fizyolojik düzeyde de ortaya konmuştur. *Glomus intraradices* ve *Glomus claroideum*'da spor çimlenmesi SL varlığında uyarılmış, *G. rosea*'da ise mitokondri şekli, hareketi ve yoğunluğu değişmiştir (Besserer vd., 2006). Akiyama ve Hayashi (2006), SL'lerin yalnızca hif dallanmasını uyaran birincil sinyaller olmadığını, aynı zamanda AMF'nin köklere yöneliminde de rol oynayabileceğini öne sürmüştür; ancak bu etkiye dair deneysel veri henüz bulunmamaktadır (Vierheilig vd., 1998; Sbrana ve Giovannetti, 2005).

SL'lerin farklı bitki taksonlarına ait kök salgılarında bulunması nedeniyle, bu bileşiklerin AMF simbiyozunun kurulmasında genel ve temel sinyal molekülleri olduğu ileri sürülmüştür (Akiyama ve Hayashi, 2006). Bu görüş, Gómez-Roldán vd. (2007) tarafından güçlendirilmiştir. Matusova vd. (2005), SL'lerin karotenoid biyosentez yolundan türediğini öne sürmüştür. Eğer SL'ler AMF ilişkisi için gerekli sinyaller ise, karotenoid metabolizmasındaki değişikliklerin AMF-bitki etkileşimini etkilemesi beklenir. Bu hipotez, karotenoid yolunda mutasyona sahip mısır bitkileri ve karotenoid biyosentez inhibitörü ile muamele edilmiş mısır bitkileri üzerinde test edilmiştir. Her iki durumda da *G. rosea* ile kök kolonizasyonu azalmış, ancak SL analogu GR24 uygulaması ile kontrol bitkilerdeki düzeylere yakın bir kolonizasyon sağlanmıştır (Gómez-Roldán vd., 2007).

Hif dallanması, konak köklerin yakınında gözlenmiş ve başarılı kök kolonizasyonunun önemli bir basamağı olarak değerlendirilmiştir. Gómez-Roldán vd. (2007)'nin belirttiği gibi, GR24'ün büyüme ortamına uygulanması, köklerin varlığından bağımsız olarak yoğun hif dallanması oluşturabilir. Bu durum, dallanmanın AMF-bitki etkileşiminde önemli bir basamak olduğunu, ancak mutlaka köklerin yakınında gerçekleşmesinin gerekmediğini düşündürmektedir.

Önceki çalışmalarda, SL'lerin AMF-bitki etkileşiminin ilerleyen aşamalarında, mantar kökte yerleştikten sonra da rol oynayabileceğini göstermektedir. Birçok çalışmada, mikorizal bitkilerde yeni kök kolonizasyonunun, mikorizal olmayan bitkilere oranla azaldığı bildirilmiştir (Vierheilig vd., 2000a; Vierheilig vd., 2000b; Catford vd., 2003; Vierheilig, 2004; Meixner, 2005; Catford vd., 2006; Meixner vd., 2007).

Dallanma faktörünün kök kolonizasyonunu düzenleyici mekanizma olarak rolü, yüksek fosfor (P) seviyelerinin hif dallanması üzerindeki etkileriyle de desteklenmektedir. Yüksek P düzeylerinde köklerde strigolakton üretiminin azaldığı bilinmektedir (Yoneyama vd., 2007; Yoneyama vd., 2021;) Düşük P koşullarındaki kök salgılarının hif dallanmasını uyardığı bildirilmişken (Nagahashi ve Douds, 1999; Buée vd., 2000; Nagahashi ve Douds, 2000; Nagahashi ve Douds, 2003), yüksek P bitkilerinin kök salgılarında böyle bir etki gözlenmemiştir (Buée vd., 2000; Nagahashi ve Douds, 2000).

Özetle, kök salgılarında bulunan ve AMF hif dallanmasını uyaran SL'ler, AMF'nin bitkiyi tanınmasında önemli sinyaller olarak değerlendirilmektedir (Akiyama

vd., 2005; Akiyama ve Hayashi, 2006; Besserer vd., 2006; Gomez-Roldan vd., 2007). Ancak kök salgılarının Orobanş tohumu çimlenmesi ve AMF hif dallanması üzerindeki etkilerine dair verilerde bazı çelişkiler mevcuttur. *Arabidopsis thaliana*, kolza ve lahanana (*Brassicaceae*) ile şeker pancarı (*Chenopodiaceae*), AMF'ye konak olmayan bitkilerdir (Smith ve Read, 2008). Bu bitkilerin kök salgılarında dallanma faktörü aktivitesi görülmezken, Orobanş tohumu çimlenmesini uyardıkları bildirilmiştir (Jacobsohn ve Levy, 1986; Westwood, 2000; Goldwasser ve Yodder, 2001; Benharrat vd., 2003). *A. thaliana*, kolza ve lahananın kök salgılarındaki tohum çimlenmesini uyaran bileşik seviyeleri, havuç ve tütün gibi konak bitkilerden daha düşük bulunmuştur (Westwood, 2000).

## 2.2 Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF)

AMF, karasal bitkilerle simbiyotik ilişki kuran ve küresel ekosistemlerin temel bileşenlerinden birini oluşturan kök simbiyotlarıdır (Lee vd., 2013). Bitki kök hücrelerine penetrasyon sağlayan bu mantarlar, oluşturdukları geniş hif ağı aracılığıyla özellikle hareketliliği düşük besin elementlerinin (örneğin fosfor, P) daha etkin şekilde alınmasını kolaylaştırmaktadır (Bagyaraj vd., 2015). Böylece AMF, yalnızca besin alımını artırmakla kalmamakta, aynı zamanda kök mimarisini değiştirerek ince kök yoğunluğunu yükseltmekte ve bitki büyümesini desteklemektedir (Xu vd., 2021).

AMF'nin bitki gelişimine olan katkıları besin alımı ile sınırlı değildir. Kök hastalıklarının baskılanması gibi faydaları da bulunmaktadır. Bağcılıkta yürütülen çalışmalarda, AMF çeşitliliğinin özellikle Siyah Bacak Hastalığı (Black Foot Disease) gibi kök patojenlerine karşı etkinlik gösterdiği ve genç asma fidanlarında biyokimyasal parametreler açısından %60-80 oranında büyüme artışı sağladığı bildirilmektedir (Moukarzel vd., 2022). Bu etkilerin, kök ortamında mikorizal çeşitlilik ve uygun simbiyotik eşleşmelerin artmasıyla daha belirgin hale geldiği ifade edilmektedir (Marasco vd., 2022).

Fizyolojik düzeyde, AMF kolonizasyonu bitkilerin su kullanım verimliliğini artırmakta; fosforun yanı sıra potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) gibi makro elementlerin alımını teşvik etmektedir (Nicolás vd., 2014). Bitki, simbiyotik ilişki karşılığında karbon kaynaklarını fungusa aktarırken, AMF geniş hif ağı sayesinde daha büyük toprak hacimlerinden besin elementi elde etmektedir. Bununla birlikte, toprakta artan

antropojenik azot (N) birikiminin AMF topluluk yapısını olumsuz etkileyebildiği, azot fazlalığının bazı AMF türlerinin aktivitesini baskılayarak bitkilerin fosfor alım kapasitesini düşürebildiği de rapor edilmiştir (Treseder vd., 2018).

Ayrıca AMF, bitkileri metal nanoparçacıkların toksisitesine karşı koruyabilmekte, oksidatif stres yanıtlarını düzenleyerek olumsuz toprak koşullarında daha sağlıklı bir gelişim imkânı sunmaktadır (Feng vd., 2013). Bu yönüyle AMF uygulamaları, bitki besleme açısından gübre kullanımını azaltma potansiyeline sahip olup tarımsal üretimde çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Bagyaraj vd., 2015; Felföldi vd., 2022).

AMF'nin biyolojik çeşitliliği ve fonksiyonel etkileri, bitki türü ile kullanılan anaç-kalem kombinasyonuna göre değişmekte ve ekosistem işlevlerinde heterojenlik yaratarak üretim performansına ve dayanıklılığa katkı sağlamaktadır (Lee vd., 2013; Lee vd., 2023).

### **2.3 Aşılı Asma Fidanı Üretiminde Yeni Nesil Fitohormon Uygulamaları**

Korkutal ve Oçkun (2015), 110R anacı üzerine aşılı Cabernet Franc çeliklerinde kallus oluşumu ve kaynaşma düzeyi üzerine SA (0, 250, 500, 1000 ppm), metil jasmonat (MeJA; 0, 130, 375, 500 ppm) ve jasmonik asit (JA; 0, 50, 100, 150 µM) uygulamalarının etkilerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre 250 ppm SA uygulaması kaynaşma başta olmak üzere birçok parametreyi olumlu yönde etkilemiş, 50 µM JA kallus oluşumunu artırmış, 130 ppm MeJA ise kallus oluşum oranı ve kaynaşma düzeyi üzerinde olumlu sonuçlar vermiştir.

Kiraz (2020), Amerikan asma anacı 5BB ve şaraplık üzüm çeşidi Cabernet Sauvignon çeliklerinde farklı dozlarda IAA (0, 1000, 2000, 4000 ppm) ve melatonin (MEL; 0, 0.1, 0.5, 1 µM) uygulamalarının köklenme ve sürgün gelişimine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada köklenme, sürme, sağlıklı bitki oranı, kök ve sürgün gelişimi gibi parametreler değerlendirilmiştir. 5BB anacında uygulamaların etkisi genel olarak sınırlı bulunmakla birlikte, 4000 ppm IAA ile 0.1 ve 0.5 µM MEL uygulamaları %100 köklenme sağlamıştır. Cabernet Sauvignon'da ise köklü çelik oranı üzerine önemli bir etki gözlenmemekle birlikte, IAA uygulamalarının MEL'e kıyasla daha yüksek köklü ve sağlıklı bitki oranları sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca 2000 ppm IAA ve 1 µM MEL sırasıyla %96.67 ve %93.33 oranında sağlıklı fidan elde edilmesine olanak tanımıştır.

Zhong vd. (2020), iklim odasında yetiştirilen Xiahei üzüm çeşidi fidanlarına farklı MEL dozları (0, 50, 100, 150, 200 µmol/l) uygulayarak fidan kalitesi ve sakkaroz

metabolizması üzerindeki etkilerini incelemiştir. MEL uygulamalarının biyokütle artışını teşvik ettiği, yaprakların fotosentetik performansını artırarak büyüme ve gelişmeyi desteklediği belirlenmiştir. Fotosentezdeki artış, sakkaroz üretiminin yükselmesine ve sakkaroz metabolizmasıyla ilişkili enzim aktivitelerinin artmasına yol açmıştır. Bunun sonucunda fidanlarda yüksek miktarda sakkarozun glikoz ve fruktoza hidrolize edilmesi sağlanmış, çözümlü şeker içeriği ile antioksidan enzim aktivitelerindeki artış fidanların çevresel koşullara daha dirençli hale gelmesine katkıda bulunmuştur. Özellikle 150 µmol/l MEL uygulaması büyüme, şeker metabolizması ve stres direnci üzerinde en olumlu sonuçları vermiştir.

İnce (2023), zor köklenen bir anaç olan 110R üzerine aşılı Narince çeşidinde, MEL'in farklı konsantrasyonlarını (1, 2, 5 µM) hızlı daldırma yöntemi (5 sn) ile uygulayarak tüplü fidan randımanı ve kalitesi üzerine etkilerini, IBA uygulaması ile karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Çalışmada 1 µM MEL + 2000 ppm IBA kombinasyonu fidan randımanı (%74.57), kök sayısı (14.60 adet), sürgün uzunluğu (18.12 cm), sürgün yaş ağırlığı (29.22 g) ve yaprak sayısı bakımından en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca 2 µM MEL uygulaması kök uzunluğu (13.57 cm) ve kök kuru madde oranı (%17.55) açısından öne çıkarken, 5 µM MEL kök kuru ağırlığı (1.67 g) bakımından en yüksek değeri sağlamıştır.

Polat, (2025) çalışmasında, 110R/Narince aşı kombinasyonuna ait tüplü asma fidanlarında, farklı dozlarda uygulanan GR24 (1, 5 ve 10 µM) ve 2000 ppm IBA (indol-3-bütirik asit) hormonlarının kök ve sürgün gelişimi ile fidan randımanı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Kallus gelişimi yeterli düzeye ulaşan çeliklere GR24 ve IBA uygulamaları bireysel ve kombine olarak yapılmış, ardından çelikler 1:1 perlit-torf karışımı ortama dikilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, düşük doz GR24 uygulaması kök mimarisi, sürgün uzunluğu ve kuru madde oranı üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. Buna karşılık, yüksek doz GR24 ve GR24+IBA kombinasyonları kök ve sürgün gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir.

#### **2.4 Aşılı Asma Fidanı Üretiminde Mikoriza Uygulamaları**

Mikoriza ve asma kökleri arasındaki simbiyotik ilişki, besin maddesi alımını artırarak fidan gelişimine katkı sağlamaktadır (Mattheou vd., 1994). Nitekim Karagiannidis vd. (1995), düşük fosfor içeriğine sahip topraklarda mikoriza

uygulamalarının kök kuru ağırlığını artırdığını bildirmiştir. Ancak Bayram (2000), bazı mikoriza türlerinin Amerikan asma fidanlarının kök ve sürgün gelişimi üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada, yaş ve kuru kök ağırlığı bakımından istatistik olarak anlamlı bir fark bulunmadığını ifade etmiştir.

Augin vd. (2004), *Glomus aggregatum* ile yapılan inokulasyonun kök morfolojisini değiştirdiğini, özellikle birinci derece yan köklerde dallanmayı artırdığını ve 110R, 99R ve 101-14Mgt anaçlarında yeterli P seviyelerinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Schreiner ve Linderman (2005) ise mikorizanın kök-toprak arayüzünde emici yüzeyi artırarak asmalarda büyümeyi teşvik ettiğini vurgulamıştır.

Kara ve Özdemir (2009), bazı Amerikan asma anaçları ve üzüm çeşitlerinde mikoriza kokteyl uygulamasının vegetatif gelişme üzerine etkilerini incelemiş ve sürgün uzunluğu, sürgün çapı, sürgün sayısı, yaprak sayısı ve yaprak biyokütlesi gibi parametrelerde 2.47-4.47 kat artış sağlandığını bildirmiştir.

Benzer şekilde, Bavaresco vd. (2010) mikoriza uygulamasıyla fotosentez hızı, toplam kuru madde, köklerde demir (Fe) ve stilben miktarında artış gözlemlerken, Eftekhari vd. (2010) yaprak alanı, yaprak sayısı ve sürgün uzunluğunda belirgin artışlar kaydetmiştir.

Özdemir vd. (2010), *Glomus intraradices*'in kök gelişimini desteklediğini, Anzanello vd. (2011) ise mikorizanın asma anaçlarında sürgün büyümesini teşvik ettiğini rapor etmiştir. Kara vd. (2011), mikoriza uygulamalarının kök dokularında P, Cu, Mn, Zn ve B içeriklerini artırdığını göstermiştir.

Kara ve Bağçevli (2012), Bioplin ve ERS (Endo Roots Soluble) uygulamalarının 99R anacında sürgün uzunluğu, çapı, yaprak sayısı, yaprak alanı ve yaprak ağırlıkları üzerinde önemli artışlar sağladığını, Bio-one ve Vitormone uygulamalarının ise 110R anacında benzer etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Özellikle zor köklenen 41B anacında da benzer gelişim gözlenmiş ve kokteyl mikoriza uygulamalarının fidan üretiminde umut vadettiği ifade edilmiştir.

Eroğlu (2014), 110R ve 1103P anaçlarına aşılanan Alphonse Lavallée ve Red Globe çeşitlerinde üç farklı mikoriza preparasyonunu denemiş, 110R anacına aşılananlarda köklenme oranı, kök sayısı ve kök ağırlıklarının daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Eroğlu ve Çelik (2015) ise biyolojik preparat uygulamalarında mikoriza kokteylinin kök sayısına etkisinin istatistik olarak önemsiz olduğunu belirtmiştir.

Balestrini vd. (2017), *Funneliformis mosseae* ve mikoriza karışımı uygulamalarında 110R/Pinot Noir kombinasyonunun köklerinde üç ay sonra kolonizasyon gözlemiş, kök yaş ve kuru ağırlıklarında kontrolle karşılaştırıldığında artış olsa da istatistik açıdan fark bulunmadığını belirtmiştir. Ancak P ve K konsantrasyonlarının tek mikoriza uygulamasında daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Korkutal vd. (2017a, 2017b), 110R/Syrah fidanlarında dikim öncesi *Trichoderma harzianum* uygulamasının fidan tutma ve gelişmeyi olumlu etkilediğini, fakat 110R/Merlot kombinasyonunda bazı sürgün ve kök gelişim parametrelerini azalttığını göstermiştir (Korkutal vd., 2018).

Cangi ve Kılıç (2020), farklı anaç-çesit kombinasyonlarında beş ticari mikoriza preparatının (Roots Deep Gel, ERS, Myco Apply, Bio-one, Biovam) etkilerini araştırmış ve kök sayısı, çapı, yaş ve kuru ağırlığı ile kök gelişim düzeyi üzerinde farklı anaçlara bağlı değişimler olduğunu rapor etmiştir.

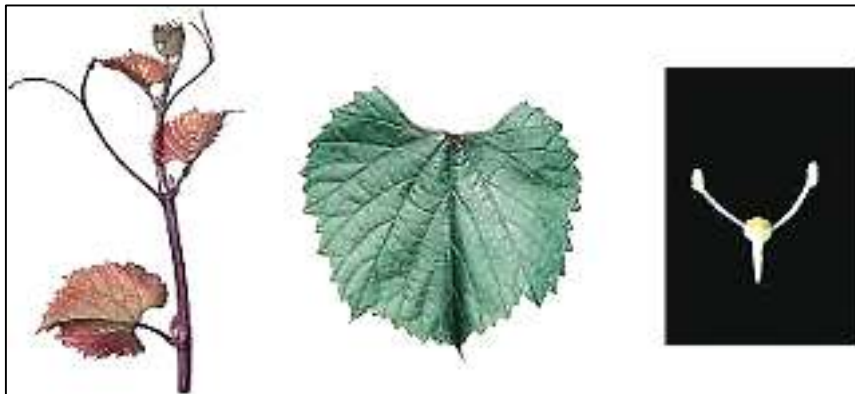
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, 2024-2025 yıllarında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'nde yürütülmüştür.

#### 3.1 Materyal

Çalışmada anaç olarak '110 Richter (110R)', çeşit olarak ise 'Narince' kullanılmıştır. Anaç ve çeşide ait çelikler, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait bağdan kış budaması sonrası (Mart ayında) temin edilmiş ve %80-95 nem ile 0-4 °C koşullarında soğuk hava deposunda muhafaza edilmiştir (Becker, 1971).


**110 Richter (110R):** Franz Richter tarafından 1902 yılında *Vitis berlandieri* Rössig No.2 × *Vitis rupestris* Martin 110Richter melezinden elde edilmiştir. Erkek çiçekli olup (Şekil 3.1), kök filokserasına oldukça dayanıklıdır. *Meloidogyne incognita* ve *M. arenaria* nematodlarına karşı orta düzeyde dayanıklılık gösterir. Aktif kirece %20'ye kadar toleranslıdır; ancak bazı kombinasyonlarda (110R/Syrah gibi) bu tolerans %5-7'ye kadar düşebilmektedir. Demir klorozuna orta derecede dayanıklıdır. Kuvvetli gelişme gösteren bir anaç olup kuraklığa uyumlu, su fazlalığına ise hassastır. Üzerine aşılana çeşitleri geç olgunlaştırma eğilimi vardır. Pek çok üzüm çeşidiyle uyumlu olmakla birlikte, bazı çeşitlerde (Ugni blanc, Pinot) uyumsuzluk gösterebilmektedir. Çeliklerinin köklenmesi ve aşı tutma yeteneği orta düzeydedir (Plantgrape, 2023).



Şekil 3.1 110R anacı (soldan sağa sürgün, yaprak ve çiçek) (Plantgrape, 2023)

**Narince:** Narince üzüm çeşidi (Çizelge 3.1), sofralık, şaraplık ve yapraklık özellikleriyle Türkiye'nin önemli üzüm çeşitlerinden biridir. Sek beyaz şarap üretiminde yaygın olarak kullanılmakta, aromatik yapısı nedeniyle sofralık tüketimde tercih edilmekte ve yaprakları yemeklik olarak değerlendirilmektedir (Çelik, 2006).

Çizelge 3.1 Narince üzüm çeşidinin özellikleri (Çelik, 2006) (Foto: Zir. Yük. Müh. Muhsin BALCI)

<b>Narince</b>	<b>Tane Özellikleri</b>	
	Renk	Sarı
	Şekil	Hafif oval
	Büyüklik	İri, 3-4 g
	Çekirdek	1-2
	Tad	Çeşide özgü
<b>Salkım Özellikleri</b>		
	Şekil	Dallı konik
	Büyüklik	İri, 350-450 g
	Sıklık	Dolgun
<b>Kültürel Özellikleri</b>		
	Olgunlaşma	Orta geç
	Budama	Kısa-Karışık
	Yöre	Tokat, Amasya

### 3.2 Yöntem

Aşılama işlemi (Şekil 3.2) Mart 2024'te yapılmış, kesitleri omega şeklinde açan pedallı makineler kullanılmıştır. Anaç ve kalemlerin çapları 6-12 mm olacak şekilde seçilmiştir. Aşılama sonrası materyaller 74-76 °C'de parafinlenmiş, çam talaşı doldurulmuş kasalara yerleştirilerek kaynaştırma (çimlendirme) odasına alınmıştır. Kaynaştırma odasında sıcaklık ve nem koşulları sırasıyla 3 gün 28-29 °C, 15 gün 25-26 °C, 3 gün 22-24 °C; nem oranı %85-95; havalandırma 6-12 saatte bir olacak şekilde düzenlenmiştir (Çelik, 1983).

İkinci parafinleme işleminden önce kaynaştırma odasından alınan kasalarda iri talaşlar çıkarılıp kallus etrafında renk dönüşümünün olduğu zamana kadar materyaller

kasada 3 ila 6 gün arasında bekletilmiştir. Aşılı materyal 3-4 gün su içerisinde bekletilmiş ve dikim işleminin yapılması için seraya götürülmüştür.



Şekil 3.2 Aşılama işlemi

### 3.2.1 Strigolakton (GR24) ve arbusküler mikorizal fungus (AMF) uygulamaları

Çalışmada strigolakton analogu GR24 kullanılmış, uygulama dozları Özbilen vd., (2022)'ye göre, dikim öncesi bekletme süresi ve uygulama yöntemi ise ön deneme yapılarak belirlenmiştir. GR24 (Sigma-Aldrich St. Louis, MO, ABD) stok çözeltisi DMSO (Dimetil Sülfoksit) içerisinde 1 mM konsantrasyonunda hazırlanmış ve bu çözeltiden 1, 5 ve 10  $\mu\text{M}$ 'lık çözeltiler uygun oranlarda saf su ile seyreltilerek elde edilmiştir. Aşılı çelikler bu çözeltilerde 1 saat bekletildikten sonra (Şekil 3.3) daha önceden ısıtmasız cam sera içerisinde hazırlanmış olan 12x20 cm ebatlarında (Çelik ve Uyar, 1992) %2 UV katkılı siyah renkli polietilen tüplere dikilmişlerdir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Harç olarak perlit ve torf (1:1) karışımı kullanılmıştır.

Çalışmada AMF kaynağı olarak kullanılan Endo Roots Soluble (ERS), suda çözünebilen bir mikoriza preparatı olup %23.5 toplam canlı organizma ve %27.55

mikoriza içermektedir (Çizelge 3.2). AMF inokulum uygulama şekli üretici firma önerisi dikkate alınarak yapılmış, bu preparatta aşılı çelikler dikim öncesi 1 dk bekletilmiş dikimden 10 gün sonra ise aynı preparattan bir şırınga yardımı ile 30 ml köklere enjeksiyon yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Ticari Endo Roots Soluble (ERS) solüsyonu içeriği

Aktif bileşenler	Hareketsiz bileşenler
<i>Glomus intraradices</i> 25	Humic Acids %28.70
<i>Glomus mosseae</i> 24	Cold Water Kelp Extracts %18.0
<i>Glomus aggregatum</i> 24	Ascorbic Acid (Vitamin C) %12.0
<i>Glomus clarum</i> 1	Amino Acids %6.0
<i>Glomus monosporus</i> 1	Myo-Inositol %2.5
<i>Glomus deserticola</i> 1	Surfactant %2.5
<i>Glomus brasilianum</i> 1	Thiamine (Vitamin B1) %1.75
<i>Glomus etunicatum</i> 1	Alpha-tocopherol (Vitamin E) %1.00
<i>Gigaspora margarita</i> 1	

Çalışmada sekiz uygulama grubu oluşturulmuştur:

1. Grup: Kontrol (Herhangi bir uygulama yapılmamış)
2. Grup: 1 µM GR24 (dikim öncesi 1 saat bekletme)
3. Grup: 5 µM GR24 (dikim öncesi 1 saat bekletme)
4. Grup: 10 µM GR24 (dikim öncesi 1 saat bekletme)
5. Grup: 1 µM GR24 + AMF (GR24: dikim öncesi 1 saat bekletme + dikim sonrası 5 ml köklere şırınga ile enjeksiyon; AMF: dikim öncesi 1 dk bekletme + dikim sonrası 30 ml köklere şırınga ile enjeksiyon)
6. Grup: 5 µM GR24 + AMF (yukarıdaki uygulamanın aynısı)
7. Grup: 10 µM GR24 + AMF (yukarıdaki uygulamanın aynısı)
8. Grup: AMF (dikim öncesi 1 dk bekletme + dikim sonrası 30 ml şırınga ile enjeksiyon)



Şekil 3.3 Aşılı çeliklere dikim öncesi GR24 uygulaması



Şekil 3.4 Aşılı materyalin polietilen tüplere dikimi



Şekil 3.5 Dikim sonrası genel görünüm

### 3.2.2 İncelenen Özellikler

Aşılı asma fidanlarında morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler Haziran-ayını içerisinde TS 3981 (Anonim, 1995)'e göre yapılmıştır.

#### 3.2.2.1 Sürgün Özellikleri

**Yaprak (boğum) sayısı (adet):** Sürgünlerdeki yaprak adedi sayılmıştır (Şekil 3.6).

**Sürgün uzunluğu (cm):** Aşılı fidanlarda ana sürgün uzunluğu hesaplanırken, sürgünün çıkış noktası ile sürgün ucuna kadar olan kısım ölçülmüştür (Şekil 3.7).

**Sürgün çapı (mm):** Sürgünün çıkış noktasından itibaren 4. ve 5. boğumlarının arasından kumpas ile ölçülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.6 Sürgünlerde yaprak sayımı



Şekil 3.7 Sürgün uzunluğunun ölçülmesi



Şekil 3.8. Sürgün çapının ölçülmesi

**Sürgün yaş ağırlığı (g):** Sürgünler dikkatlice yıkanıp fazla suyu alındıktan sonra tartılarak yaş ağırlıkları ölçülmüştür.

**Sürgün kuru ağırlığı (g):** Yaş ağırlığı tartıldıktan sonra sürgünler, etüvde 58°C'de 72 saat boyunca sabit ağırlığına ulaşana kadar kurutulduktan sonra tartımı yapılarak belirlenmiştir.

**Sürgün kuru madde oranı (%):** Sürgün kuru ağırlığı sürgün yaş ağırlığına oranlanmıştır.

**Toplam yaprak alanı (cm<sup>2</sup>):** Fidanların orta kısmından alınan yapraklar A4 (210 × 297 mm = 62.370 mm<sup>2</sup>) tarama alanına sahip yüksek çözünürlüklü (1200 dpi) tarayıcıda taranarak veriler Photoshop CS6 programıyla piksel hesaplama metodu ile belirlenmiştir (Doğan vd., 2018).

**Azot denge indeksi (ADİ), klorofil, flavonol ve antosiyanin içerikleri:** Her grup için 25 adet farklı yaştaki yaprak (genç, orta ve yaşlı) esas alınarak Dualex® Sensörü (ForcaA, Orsay, Fransa) ile ölçümler yapılmıştır. Yaprakların hasar görmemiş olmalarına dikkat edilmiş çok yaşlı ve çok genç yapraklar dikkate alınmamıştır. Yapraklarda Dualex indeksi (dx) cinsinden Azot denge indeksi (ADİ), flavonol ve antosiyanin değerleri ile klorofil değeri (µg/cm<sup>2</sup>) belirlenmiştir.

**Yaprak, gövde ve kök mineral madde analizi:** Her uygulamadan ayrı ayrı alınan gövde, yaprak ve kök örneklerinde Azot (N), Kjeldahl yöntemine göre, fosfor (P) ise yaş

yakma sonucu elde edilen süzüklerde spektrofotometre ile sarı renk yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar, 1984). Potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve bakır (Cu) analizleri yaş yakma sonucu elde edilen süzüklerde Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS)'yle analiz edilmiştir (Kacar, 1984).

### 3.2.2.2 Kök Özellikleri

**Kök uzunluğu (cm):** Aşılı asma fidanlarında meydana gelen köklerin uzunlukları dip kısmından itibaren cetvelle ölçümü yapılarak hesaplanmıştır.

**Kök sayısı (adet):** Fidanların dip kısımlarında ortaya çıkan kök sayıları tek tek sayılarak hesaplanmıştır

**Kök gelişim düzeyi:** Kök gelişim düzeyi belirlenirken 0-4 ölçeğinden (Çelik, 1982) yararlanılmıştır (Çizelge 3.3, Şekil 3.9).

Çizelge 3.3 Kök gelişim düzeyi

	<b>Kök gelişim düzeyi</b>
0	Gelişme yok
1	Gelişme zayıf
2	Gelişme orta kuvvette
3	Gelişme kuvvetli
4	Gelişme çok kuvvetli

**Kök yaş ağırlığı (g):** Kökler dikkatlice yıkanıp fazla suyun alınmasının ardından, gövdeden ayrılan kökler (Şekil 3.10) tartılarak yaş ağırlıkları ölçülmüştür.

**Kök kuru ağırlığı (g):** Yaş ağırlığı tartıldıktan sonra kökler, etüvde 58°C'de 72 saat boyunca sabit ağırlığına ulaşana kadar kurutulduktan sonra tartımı yapılarak belirlenmiştir.

**Kök kuru madde oranı (%):** Kuru kök ağırlığı yaş kök ağırlığına oranlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Kök gelişim düzeyi



Şekil 3.10. Kök yaş ağırlığının belirlenmesi

### 3.3 İstatistik Analiz

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre planlanmış, 360 adet aşılı materyal (8 adet uygulama x 3 tekerrür x her tekerrürde 15 fidan) ihtiyacına karşılık olarak 500 adet aşılama işlemi yapılmıştır. Üzerinde durulan özellikler için tanımlayıcı istatistikler; Ortalama, Standart Hata, Minimum ve Maksimum değerler olarak ifade edilmiştir. Sürekli değişkenler bakımından grup ortalamalarını karşılaştırmada Tek Yönlü Varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizini takiben farklı grupları belirlemede Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Hesaplamalarda istatistik önemlilik (anlamlılık) düzeyi %5 olarak alınmış ve hesaplamalar için SPSS (ver: 21) istatistik paket programı kullanılmıştır.



## 4. BULGULAR

### 4.1 Sürgün Gelişimi Üzerine Uygulamaların Etkisi

Sürgün gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.1’de, sürgün gelişimi üzerine uygulamaların etkisi ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Sürgün gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Özellikler	Grup	Ort.	St. Hata	Min.	Mak.	p
Yaprak (boğum) sayısı (adet)	Kontrol	5.67 d	0.33	5.00	6.00	0.001
	1 µM GR24	7.50 cd	0.50	6.50	8.00	
	5 µM GR24	11.67 ab	0.88	10.00	13.00	
	10 µM GR24	9.67 bc	0.33	9.00	10.00	
	1 µM GR24 + AMF	13.00 a	0.58	12.00	14.00	
	5 µM GR24 + AMF	9.17 bc	0.44	8.50	10.00	
	10 µM GR24 + AMF	9.17 bc	1.17	8.00	11.50	
	AMF	9.83 bc	1.36	8.00	12.50	
	Sürgün uzunluğu (cm)	Kontrol	17.33 d	0.88	16.00	
1 µM GR24		21.17 cd	1.76	18.50	24.50	
5 µM GR24		45.00 a	3.06	41.00	51.00	
10 µM GR24		24.83 c	1.36	23.00	27.50	
1 µM GR24 + AMF		45.33 a	1.17	43.50	47.50	
5 µM GR24 + AMF		20.83 cd	1.88	17.50	24.00	
10 µM GR24 + AMF		25.50 c	2.57	20.50	29.00	
AMF		31.17 b	1.01	29.50	33.00	
Sürgün çapı (mm)		Kontrol	3.33 cd	0.15	3.15	3.62
	1 µM GR24	3.44 bcd	0.18	3.09	3.67	
	5 µM GR24	4.01ab	0.13	3.78	4.21	
	10 µM GR24	3.54 bcd	0.33	2.89	3.89	
	1 µM GR24 + AMF	3.81 abc	0.15	3.65	4.11	
	5 µM GR24 + AMF	3.05 d	0.04	2.97	3.10	
	10 µM GR24 + AMF	4.20 a	0.26	3.80	4.68	
	AMF	3.73 abc	0.22	3.31	4.04	

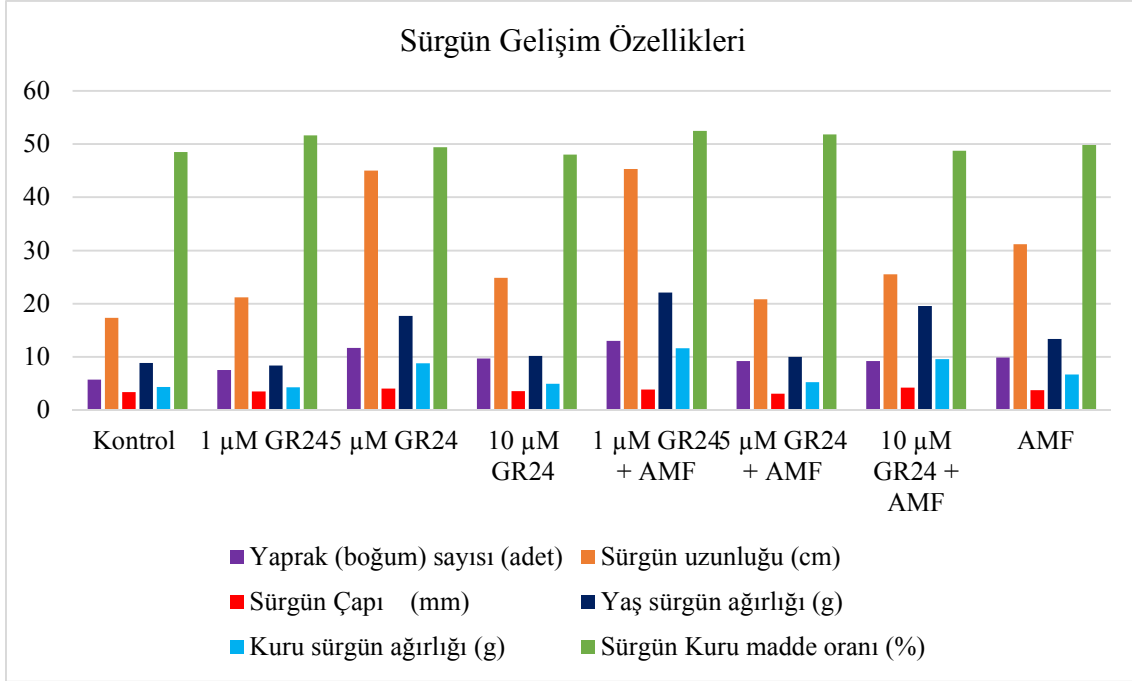
Çizelge 4.1 Sürgün gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Özellikler	Grup	Ort.	St. Hata	Min.	Mak.	p
Sürgün yaş ağırlığı (g)	Kontrol	8.85 c	0.34	8.17	9.23	0.001
	1 µM GR24	8.35 bc	1.95	5.81	12.18	
	5 µM GR24	17.70 ab	0.43	16.89	18.36	
	10 µM GR24	10.13 c	3.45	3.28	14.18	
	1 µM GR24 + AMF	22.09 a	1.36	19.85	24.56	
	5 µM GR24 + AMF	9.98 c	0.89	8.32	11.36	
	10 µM GR24 + AMF	19.54 a	2.36	17.13	24.26	
	AMF	13.37 bc	0.42	12.90	14.22	
Sürgün kuru ağırlığı (g)	Kontrol	4.29 c	0.14	4.13	4.56	0.001
	1 µM GR24	4.28 c	0.93	3.15	6.12	
	5 µM GR24	8.76 b	0.32	8.13	9.16	
	10 µM GR24	4.91 c	1.71	1.53	6.98	
	1 µM GR24 + AMF	11.61 a	0.83	10.25	13.12	
	5 µM GR24 + AMF	5.20 c	0.61	4.12	6.23	
	10 µM GR24 + AMF	9.58 ab	1.43	8.14	12.45	
	AMF	6.68 bc	0.43	6.15	7.54	
Sürgün kuru madde oranı (%)	Kontrol	48.53	1.49	45.63	50.55	0.130
	1 µM GR24	51.66	1.27	50.27	54.19	
	5 µM GR24	49.44	0.67	48.13	50.31	
	10 µM GR24	48.04	0.73	46.71	49.22	
	1 µM GR24 + AMF	52.47	0.52	51.64	53.42	
	5 µM GR24 + AMF	51.85	1.58	49.50	54.86	
	10 µM GR24 + AMF	48.74	1.29	47.26	51.32	
	AMF	49.85	1.63	47.66	53.04	
Toplam yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )	Kontrol	67.33 d	3.38	63.00	74.00	0.001
	1 µM GR24	87.17cd	5.13	77.50	95.00	
	5 µM GR24	148.83 a	2.13	146.00	153.00	
	10 µM GR24	119.83 abc	9.18	102.00	132.50	
	1 µM GR24 + AMF	140.00 a	2.89	135.00	145.00	
	5 µM GR24 + AMF	123.83 ab	20.05	95.63	162.63	
	10 µM GR24 + AMF	102.29 bc	18.83	66.25	129.75	
	AMF	94.67 bcd	2.03	91.00	98.00	

Çizelge 4.1 Sürgün gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Özellikler	Grup	Ort.	St. Hata	Min.	Mak.	p
ADİ (dx)	Kontrol	134.00 b	23.925	82.2	221.1	0.039
	1 µM GR24	154.71 ab	26.107	63.6	243.1	
	5 µM GR24	232.15 ab	32.534	151.7	373.7	
	10 µM GR24	189.00 ab	61.649	73.5	420.3	
	1 µM GR24 + AMF	293.25 a	50.820	144.4	429.2	
	5 µM GR24 + AMF	291.33 b	63.735	108.8	499.2	
	10 µM GR24 + AMF	168.76 ab	33.725	91.1	316.1	
	AMF	135.63 b	19.383	73.7	217.8	
Klorofil (µg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol	20.16	0.698	17.2	21.7	0.224
	1 µM GR24	22.55	1.099	19.3	26.3	
	5 µM GR24	23.98	0.939	21.9	27.7	
	10 µM GR24	21.93	1.839	15.3	28.7	
	1 µM GR24 + AMF	21.00	1.009	16.0	22.5	
	5 µM GR24 + AMF	23.18	2.051	14.5	28.1	
	10 µM GR24 + AMF	19.36	1.528	13.1	24.3	
	AMF	23.18	1.089	19.5	26.3	
Flavonol (dx)	Kontrol	0.16	0.022	0.100	0.230	0.402
	1 µM GR24	0.17	0.033	0.100	0.330	
	5 µM GR24	0.11	0.015	0.070	0.180	
	10 µM GR24	0.18	0.043	0.040	0.290	
	1 µM GR24 + AMF	0.24	0.088	0.050	0.530	
	5 µM GR24 + AMF	0.10	0.033	0.040	0.240	
	10 µM GR24 + AMF	0.14	0.033	0.060	0.270	
	AMF	0.19	0.033	0.090	0.340	
Antosiyanin (dx)	Kontrol	0.14	0.011	0.090	0.170	0.964
	1 µM GR24	0.12	0.009	0.100	0.160	
	5 µM GR24	0.12	0.012	0.100	0.160	
	10 µM GR24	0.13	0.013	0.090	0.170	
	1 µM GR24 + AMF	0.12	0.010	0.100	0.170	
	5 µM GR24 + AMF	0.13	0.008	0.110	0.170	
	10 µM GR24 + AMF	0.13	0.013	0.100	0.190	
	AMF	0.14	0.012	0.100	0.180	

Farklılık önemli bulunmayan özellikler için harflendirme yapılmamıştır.  
Her özellik için farklı harfi alan ortalamalar arası fark önemlidir.



Şekil 4.1 Sürgün gelişimi üzerine uygulamaların etkisi

GR24 ve AMF uygulamaları, 110R/Narince aşu kombinasyonuna sahip asma fidanlarının sürgün gelişimi üzerine anlamlı etkiler oluşturmuştur ( $p < 0.05$ ).

Yaprak (boğum) sayısı bakımından en yüksek değer 1 µM GR24 + AMF uygulamasında (13.00 adet) elde edilmiştir. Bu değer, kontrol grubuna (5.67 adet) göre yaklaşık %130 artış göstermiştir (Çizelge 4.1). 5 µM GR24 (11.67 adet) ve AMF tek uygulaması (9.83 adet) da kontrol grubuna göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

Sürgün uzunluğu yönünden 5 µM GR24 (45.00 cm) ve 1 µM GR24 + AMF (45.33 cm) grupları, istatistik olarak aynı grupta yer almış ve en yüksek sürgün uzamasını sağlamıştır. Bu iki uygulama kontrol grubuna göre yaklaşık %160 oranında artış göstermiştir. AMF uygulaması (31.17 cm) da kontrol grubuna oranla anlamlı şekilde daha yüksek bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

Sürgün çapı açısından en yüksek değer 10 µM GR24 + AMF (4.20 mm) grubunda elde edilmiş, bu uygulamayı 5 µM GR24 (4.01 mm) ve 1 µM GR24 + AMF (3.81 mm) uygulamaları izlemiştir. Kontrol grubunun sürgün çapı 3.33 mm ile en düşük değeri göstermiştir (Çizelge 4.1).

Sürgün yaş ağırlığı bakımından 1 µM GR24 + AMF (22.09 g) ve 10 µM GR24 + AMF (19.54 g) uygulamaları istatistik olarak aynı grupta yer alarak en yüksek değerleri

oluşturmuştur. Kontrol grubuna (8.85 g) göre yaklaşık 2.5 kata varan bir artış belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Sürgün kuru ağırlığı açısından da benzer bir eğilim gözlenmiştir; en yüksek değer 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (11.61 g) grubunda elde edilmiştir. Bu grup, kontrol (4.29 g) ve 1  $\mu\text{M}$  GR24 (4.28 g) uygulamalarına göre yaklaşık üç kat daha yüksek kuru madde birikimi sağlamıştır (Çizelge 4.1).

Sürgünlerin kuru madde oranı (%) bakımından istatistik olarak anlamlı fark oluşmamış olmakla birlikte, 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (%52.47) ve 5  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (%51.85) uygulamaları nispeten yüksek oranlar göstermiştir (Çizelge 4.1).

Toplam yaprak alanı açısından 5  $\mu\text{M}$  GR24 (148.83  $\text{cm}^2$ ) ve 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (140.00  $\text{cm}^2$ ) grupları en yüksek değerlere sahip olmuş, kontrol grubuna (67.33  $\text{cm}^2$ ) göre sırasıyla %121 ve %108 artış sağlamıştır (Çizelge 4.1).

Azot Denge İndeksi (ADI) değerleri incelendiğinde, 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (293.25 dx) uygulaması en yüksek sonucu vermiştir. Bu durum, aynı uygulamanın sürgün gelişimindeki artışla paralellik göstermektedir (Çizelge 4.1).

Klorofil düzeyi ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) yönünden gruplar arasında istatistik olarak anlamlı fark saptanmamıştır; ancak 5  $\mu\text{M}$  GR24 (23.98  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) ve AMF tek uygulaması (23.18  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) nispeten yüksek klorofil içeriklerine sahip olmuştur (Çizelge 4.1).

Yaprak flavonol içeriğinde 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF (0.24 dx) grubu en yüksek değeri verirken; antosiyanin içerikleri bakımından ise gruplar arasında anlamlı fark oluşmamıştır.

Sürgün gelişimi üzerine uygulamaların etkisi ile ilgili bulgular genel olarak değerlendirildiğinde;

- GR24 ve AMF uygulamaları, özellikle düşük (1  $\mu\text{M}$ ) ve orta (5  $\mu\text{M}$ ) GR24 dozlarında sinerjik etki göstermiştir.
- 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF kombinasyonu, hem yaprak sayısı, hem sürgün uzunluğu hem de yaş/kuru ağırlık yönünden en yüksek değerleri sağlamıştır.
- 5  $\mu\text{M}$  GR24 tek uygulaması ise özellikle sürgün uzunluğu ve yaprak alanı özelliklerinde etkili olmuştur.
- 10  $\mu\text{M}$  GR24 dozu tek başına sürgün uzunluğu ve boğum sayısında sınırlı kazanımlar sağlarken, AMF ile kombinasyon sürgün çapını maksimize etmiş ve biyoküttele belirgin artışlar oluşturmuştur. Bu durum, daha yüksek dozlarda

kaynak tahsisinin kısmen kalınlaşmaya yönlenebileceğini düşündürmektedir. AMF'nin tek başına kullanımı, kök-sürgün gelişimini desteklemiş ancak GR24 ile birlikte kullanıldığında daha belirgin bir sinerji ortaya çıkmıştır.

#### 4.2 Kök Gelişimi Üzerine Uygulamaların Etkisi

Kök gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.2'de, kök gelişimi üzerine uygulamaların etkisi ise Şekil 4.2'de verilmiştir.

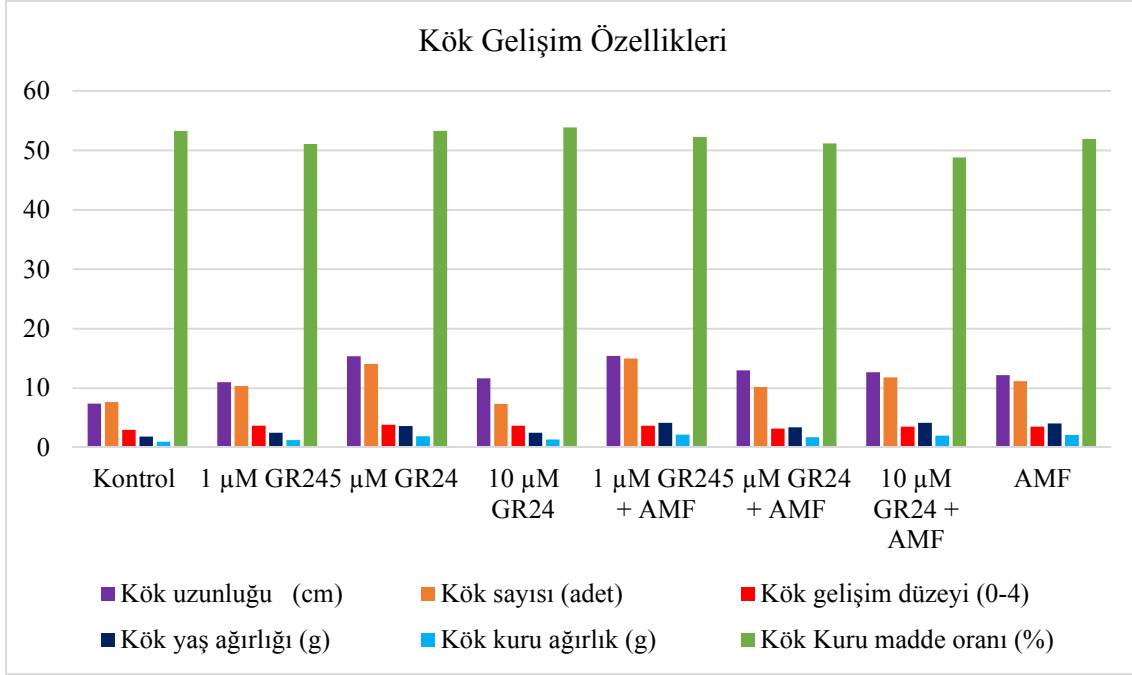
Çizelge 4.2 Kök gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Özellikler	Grup	Ort.	St. Hata	Min.	Mak.	p
Kök uzunluğu (cm)	Kontrol	7.37 c	0.75	6.00	8.60	0.001
	1 µM GR24	11.00 b	0.58	10.00	12.00	
	5 µM GR24	15.37 a	0.56	14.30	16.20	
	10 µM GR24	11.67 b	1.17	9.50	13.50	
	1 µM GR24 + AMF	15.40 a	0.56	14.70	16.50	
	5 µM GR24 + AMF	13.00 ab	0.87	11.50	14.50	
	10 µM GR24 + AMF	12.67 ab	1.36	10.00	14.50	
	AMF	12.17 b	0.60	11.00	13.00	
Kök sayısı (adet)	Kontrol	7.67 d	0.33	7.00	8.00	0.001
	1 µM GR24	10.33 cd	1.17	8.00	11.50	
	5 µM GR24	14.07 ab	1.11	12.50	16.20	
	10 µM GR24	7.33 d	0.73	6.00	8.50	
	1 µM GR24 + AMF	15.00 a	0.58	14.00	16.00	
	5 µM GR24 + AMF	10.17 cd	1.45	7.50	12.50	
	10 µM GR24 + AMF	11.83 bc	0.73	10.50	13.00	
	AMF	11.17 bc	0.88	9.50	12.50	
Kök gelişim düzeyi (0-4 skala)	Kontrol	3.00	0.29	2.50	3.50	0.001
	1 µM GR24	3.67	0.17	3.50	4.00	
	5 µM GR24	3.83	0.17	3.50	4.00	
	10 µM GR24	3.67	0.17	3.50	4.00	
	1 µM GR24 + AMF	3.67	0.17	3.50	4.00	
	5 µM GR24 + AMF	3.17	0.17	3.00	3.50	
	10 µM GR24 + AMF	3.50	0.29	3.00	4.00	
	AMF	3.50	0.29	3.00	4.00	

Çizelge 4.2 Kök gelişimi ile ilgili incelenen özellikler bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Özellikler	Grup	Ort.	St. Hata	Min.	Mak.	p
Kök yaş ağırlığı(g)	Kontrol	1.82 c	0.35	1.12	2.18	0.197
	1 µM GR24	2.48 bc	0.27	1.96	2.85	
	5 µM GR24	3.61 a	0.27	3.07	3.97	
	10 µM GR24	2.51 bc	0.14	2.30	2.78	
	1 µM GR24 + AMF	4.15 a	0.06	4.04	4.26	
	5 µM GR24 + AMF	3.43 ab	0.07	3.30	3.55	
	10 µM GR24 + AMF	4.17 a	0.80	2.91	5.67	
	AMF	4.04 a	0.15	3.79	4.31	
Kök kuru ağırlığı (g)	Kontrol	0.98 c	0.20	0.57	1.21	0.001
	1 µM GR24	1.27 c	0.15	0.99	1.51	
	5 µM GR24	1.92 a	0.14	1.65	2.12	
	10 µM GR24	1.35 bc	0.06	1.25	1.45	
	1 µM GR24 + AMF	2.17 a	0.04	2.11	2.25	
	5 µM GR24 + AMF	1.76 ab	0.06	1.65	1.87	
	10 µM GR24 + AMF	2.00 a	0.30	1.54	2.56	
	AMF	2.09 a	0.05	2.00	2.15	
Kök kuru madde oranı (%)	Kontrol	53.30	1.33	50.89	55.50	0.139
	1 µM GR24	51.10	0.98	50.00	53.06	
	5 µM GR24	53.31	0.29	52.77	53.75	
	10 µM GR24	53.86	0.87	52.16	55.01	
	1 µM GR24 + AMF	52.28	0.29	51.81	52.82	
	5 µM GR24 + AMF	51.17	0.84	50.11	52.83	
	10 µM GR24 + AMF	48.81	2.29	45.24	53.08	
	AMF	51.94	1.28	49.42	53.62	

Farklılık önemli bulunmayan özellikler için harflendirme yapılmamıştır.  
Her özellik için farklı harfi alan ortalamalar arası fark önemlidir.



Şekil 4.2 Kök gelişimi üzerine uygulamaların etkisi

GR24 ve AMF uygulamaları, 110R/Narince aşu kombinasyonuna sahip asma fidanlarının kök gelişimi üzerinde istatistik olarak anlamlı farklar oluşturmuştur ( $p < 0.05$ ).

Kök uzunluğu bakımından en yüksek değer 1 µM GR24 + AMF (15.40 cm) ve 5 µM GR24 (15.37 cm) uygulamalarında elde edilmiştir. Bu iki uygulama, kontrol grubuna (7.37 cm) göre yaklaşık iki kat daha uzun kök gelişimi sağlamıştır. Ayrıca 5 µM GR24 + AMF (13.00 cm) ve 10 µM GR24 + AMF (12.67 cm) uygulamaları da kontrol grubuna göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). 1 µM GR24 (11.00 cm) ve AMF (12.17 cm) uygulamaları da kök uzamasını olumlu etkilemiş, 10 µM GR24 (11.67 cm) uygulaması ise orta düzeyde etki göstermiştir (Çizelge 4.2).

Kök sayısı bakımından en yüksek değer 1 µM GR24 + AMF (15.00 adet) uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulama, kontrol grubuna (7.67 adet) göre %95 artış sağlamıştır. Bunu 5 µM GR24 (14.07 adet) uygulaması izlemiştir. En düşük kök sayısı ise 10 µM GR24 (7.33 adet) uygulamasında kaydedilmiş, bu durum yüksek GR24 dozunun kök teşvik edici etkisinin azalabileceğini düşündürmektedir. AMF uygulaması (11.17 adet) ve 10 µM GR24 + AMF (11.83 adet) grupları da kontrol grubuna oranla anlamlı derecede yüksek kök sayısı üretmiştir ( $p < 0.05$ ).

Kök gelişim düzeyi açısından gruplar arasında istatistik olarak anlamlı fark belirlenmemiştir. Ancak 5 µM GR24 (3.83) ve 1 µM GR24 (3.67) uygulamaları, kontrol (3.00) grubuna göre daha yüksek skorlar göstermiştir (Çizelge 4.2).

Kök yaş ağırlığı yönünden en yüksek değerler 10 µM GR24 + AMF (4.17 g), 1 µM GR24 + AMF (4.15 g) ve AMF tek uygulaması (4.04 g) gruplarında elde edilmiştir. Bu değerler, kontrol grubuna (1.82 g) göre yaklaşık 2,3 kat artış göstermektedir. Ayrıca 5 µM GR24 (3.61 g) ve 5 µM GR24 + AMF (3.43 g) uygulamaları da kök yaş ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır (Çizelge 4.2).

Benzer şekilde kök kuru ağırlığı açısından da 1 µM GR24 + AMF (2.17 g), 10 µM GR24 + AMF (2.00 g) ve AMF (2.09 g) uygulamaları en yüksek değerleri vermiştir. Bu üç uygulama kontrol grubuna (0.98 g) göre yaklaşık iki kat daha yüksek kuru madde birikimi sağlamıştır. 5 µM GR24 (1.92 g) uygulaması da bu gruplarla istatistik olarak benzer düzeydedir ( $p < 0.05$ ).

Kök kuru madde oranı yönünden uygulamalar arasında istatistik olarak anlamlı fark tespit edilmemiştir. Oranlar %48.8-53.9 arasında değişmiş, en yüksek değer 10 µM GR24 (%53.86) uygulamasında, en düşük değer ise 10 µM GR24 + AMF (%48.81) uygulamasında kaydedilmiştir (Çizelge 4.2).

Elde edilen bulgular, hem GR24 hem de AMF uygulamalarının kök gelişimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Özellikle 1 µM GR24 + AMF ve 5 µM GR24 uygulamaları, hem kök uzunluğu hem de kök sayısı bakımından en başarılı kombinasyonlardır.

GR24'ün düşük dozlarının (1-5 µM) kök teşvik edici, yüksek dozunun (10 µM) ise kısmen baskılayıcı etki gösterdiği belirlenmiştir.

AMF'nin tek başına kullanımı, kök yaş ve kuru ağırlığı yönünden GR24 kadar etkili olmuş, kombine uygulamalarda sinerjik bir etki gözlenmiştir.

### **4.3 Besin Elementi Alımı Üzerine Uygulamaların Etkisi**

#### **4.3.1 Yaprak Mineral İçeriği**

Yaprak mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Yaprak mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Yaprak	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
N (%)	Kontrol	2.0476 e	.25684	.14829	1.82	2.33	0.001
	1 µM GR24	2.3995 cd	.07143	.04124	2.32	2.47	
	5 µM GR24	2.9347 b	.10564	.06099	2.84	3.05	
	10 µM GR24	2.0633 e	.13093	.07559	1.98	2.21	
	1 µM GR24 + AMF	3.4154 a	.15435	.08911	3.24	3.52	
	5 µM GR24 + AMF	2.8328 b	.07129	.04116	2.76	2.91	
	10 µM GR24 + AMF	2.5836 c	.09759	.05634	2.47	2.66	
	AMF	2.2695 de	.03468	.02002	2.23	2.30	
P (%)	Kontrol	.1663	.00776	.00448	.16	.18	0.001
	1 µM GR24	.2180 cd	.02097	.01211	.20	.24	
	5 µM GR24	.2378 c	.03308	.01910	.20	.26	
	10 µM GR24	.1660 e	.01614	.00932	.15	.18	
	1 µM GR24 + AMF	.4210 a	.02826	.01631	.40	.45	
	5 µM GR24 + AMF	.3260 b	.02000	.01155	.31	.35	
	10 µM GR24 + AMF	.1858 de	.02421	.01398	.16	.21	
	AMF	.1998 cde	.01196	.00690	.19	.21	
K (%)	Kontrol	1.1993 g	.07018	.04052	1.14	1.28	0.001
	1 µM GR24	1.6634 e	.07526	.04345	1.59	1.74	
	5 µM GR24	2.1639 c	.01861	.01075	2.14	2.18	
	10 µM GR24	1.3532 f	.06751	.03898	1.30	1.43	
	1 µM GR24 + AMF	2.5486 a	.01455	.00840	2.54	2.57	
	5 µM GR24 + AMF	2.3171 b	.06360	.03672	2.25	2.37	
	10 µM GR24 + AMF	1.8709 d	.06130	.03539	1.80	1.92	
	AMF	2.1994 c	.04260	.02460	2.16	2.24	
Ca (%)	Kontrol	1.5416 g	.03860	.02229	1.51	1.58	0.001
	1 µM GR24	2.0901 d	.07750	.04475	2.00	2.15	
	5 µM GR24	2.4713 c	.07488	.04323	2.42	2.56	
	10 µM GR24	1.7483 f	.07070	.04082	1.69	1.83	
	1 µM GR24 + AMF	3.2092 b	.02871	.01657	3.18	3.24	
	5 µM GR24 + AMF	3.4171 a	.07419	.04284	3.36	3.50	
	10 µM GR24 + AMF	1.7060 f	.01931	.01115	1.69	1.72	
	AMF	1.9285 e	.05704	.03293	1.87	1.98	
Mg (%)	Kontrol	.3059 f	.04640	.02679	.27	.36	0.001
	1 µM GR24	.5698 d	.01497	.00864	.55	.58	
	5 µM GR24	.8656 a	.01944	.01122	.84	.88	
	10 µM GR24	.2984 f	.03179	.01836	.26	.32	
	1 µM GR24 + AMF	.7772 b	.02535	.01464	.75	.80	
	5 µM GR24 + AMF	.6271 c	.02306	.01331	.60	.65	
	10 µM GR24 + AMF	.3923 e	.05394	.03114	.35	.45	
	AMF	.5248 d	.02973	.01716	.49	.55	
S (%)	Kontrol	.2150 e	.01806	.01043	.20	.24	0.001
	1 µM GR24	.2644 d	.00460	.00266	.26	.27	
	5 µM GR24	.3390 c	.04575	.02641	.30	.39	
	10 µM GR24	.2240 e	.01463	.00845	.21	.24	
	1 µM GR24 + AMF	.4806 a	.02442	.01410	.45	.50	
	5 µM GR24 + AMF	.3963 b	.01729	.00998	.38	.41	
	10 µM GR24 + AMF	.2126 e	.00949	.00548	.20	.22	
	AMF	.2853 d	.02356	.01361	.26	.31	

Çizelge 4.3 Yaprak mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Yaprak	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
Mn (ppm)	Kontrol	55.3431 e	3.77554	2.17981	51.06	58.18	0.001
	1 µM GR24	78.0931 d	8.76146	5.05843	69.28	86.80	
	5 µM GR24	102.5992 c	11.69291	6.75090	92.47	115.40	
	10 µM GR24	78.3335 d	5.54754	3.20287	72.79	83.88	
	1 µM GR24 + AMF	195.7127 a	2.57978	1.48944	193.02	198.16	
	5 µM GR24 + AMF	163.0152 b	11.61776	6.70752	153.01	175.75	
	10 µM GR24 + AMF	116.0599 c	1.44157	.83229	114.46	117.26	
	AMF	87.2799 d	9.10040	5.25412	77.60	95.66	
Fe (ppm)	Kontrol	68.2695 e	9.75268	5.63071	59.41	78.72	0.001
	1 µM GR24	97.0282 c	1.98651	1.14691	95.46	99.26	
	5 µM GR24	104.2602 a	3.69004	2.13045	100.11	107.18	
	10 µM GR24	67.3012 e	2.28482	1.31914	65.94	69.94	
	1 µM GR24 + AMF	140.0564 a	4.85185	2.80122	135.86	145.37	
	5 µM GR24 + AMF	125.3544 b	3.55063	2.04996	122.41	129.30	
	10 µM GR24 + AMF	82.5598 d	5.48916	3.16917	76.32	86.63	
	AMF	97.9947 c	2.49611	1.44113	95.55	100.54	
Zn (ppm)	Kontrol	23.9244 f	2.02589	1.16965	21.77	25.79	0.001
	1 µM GR24	34.9722 e	5.37957	3.10590	30.04	40.71	
	5 µM GR24	50.7253 d	4.22496	2.43928	47.39	55.48	
	10 µM GR24	25.3201 f	3.90178	2.25269	21.10	28.79	
	1 µM GR24 + AMF	91.4276 a	6.92700	3.99931	85.09	98.82	
	5 µM GR24 + AMF	72.7088 b	5.21714	3.01212	66.82	76.75	
	10 µM GR24 + AMF	62.8880 c	2.05744	1.18786	61.22	65.19	
	AMF	39.1258 e	3.28443	1.89627	36.29	42.72	
B (ppm)	Kontrol	29.2048 f	1.54806	.89377	27.68	30.78	0.001
	1 µM GR24	39.2405 e	1.09995	.63506	38.15	40.35	
	5 µM GR24	76.6083 c	7.76316	4.48206	67.81	82.49	
	10 µM GR24	43.6226 e	2.32891	1.34460	40.94	45.15	
	1 µM GR24 + AMF	94.8903 a	3.94975	2.28039	90.63	98.43	
	5 µM GR24 + AMF	86.4724 b	1.00655	.58113	85.52	87.53	
	10 µM GR24 + AMF	54.2250 d	2.07387	1.19735	52.96	56.62	
	AMF	52.1982 d	2.53962	1.46625	50.11	55.03	
Cu (ppm)	Kontrol	6.6667 e	1.52753	.88192	5.00	8.00	0.001
	1 µM GR24	12.7335 d	2.39536	1.38296	10.16	14.89	
	5 µM GR24	18.7787 c	.40294	.23264	18.52	19.24	
	10 µM GR24	11.5694 d	1.08709	.62763	10.75	12.80	
	1 µM GR24 + AMF	28.4885 a	.64455	.37213	27.82	29.10	
	5 µM GR24 + AMF	24.4620 b	1.36245	.78661	23.08	25.80	
	10 µM GR24 + AMF	19.8934 c	1.99973	1.15455	18.10	22.05	
	AMF	12.3053 d	1.98484	1.14595	10.11	13.98	

Her özellik için farklı küçük harfi alan grup ortalamaları arası fark önemlidir (p<0.05)

GR24 ve AMF uygulamaları yaprakların besin elementi birikimini önemli düzeyde etkilemiştir (p<0.05). Yaprak azot (N) içeriği en yüksek 1 µM GR24 + AMF uygulamasında (%3.42) saptanmış, GR24'ün tek başına uygulandığı gruplarda artış doza bağlı olarak 1-5 µM arasında belirginleşmiş, 10 µM dozunda ise N içeriği azalmıştır (Çizelge 4.3). Bu durum, yüksek doz GR24'ün azot metabolizmasını baskılayabileceğini düşündürmektedir.

Fosfor (P) içeriği de benzer bir eğilim göstermiş, 1 µM GR24 + AMF (%0.42) en yüksek değeri oluştururken kontrol (%0.17) ve 10 µM GR24 (%0.17) uygulamaları en düşük düzeyde kalmıştır (Çizelge 4.3). AMF'nin tek başına uygulandığı grup (%0.20), kontrolle karşılaştırıldığında P alımında anlamlı artış sağlamıştır ( $p < 0.05$ ).

Potasyum (K) yönünden en yüksek değer 1 µM GR24 + AMF (%2.55) uygulamasında gözlenmiş, bunu 5 µM GR24 + AMF (%2.32) ve 5 µM GR24 (%2.16) uygulamaları takip etmiştir (Çizelge 4.3). Bu sonuç, GR24'ün özellikle düşük ve orta dozlarda AMF ile birlikte kök sisteminin iyon alım kapasitesini artırdığını göstermektedir.

Kalsiyum (Ca) içeriği açısından da 5 µM GR24 + AMF (%3.42) ve 1 µM GR24 + AMF (%3.21) uygulamaları en yüksek değerleri oluşturmuştur (Çizelge 4.3). Kontrol grubunun (%1.54) yaklaşık iki katına ulaşan bu artışlar, strigolaktonun kalsiyum taşınımını destekleyici etkisini ortaya koymaktadır.

Magnezyum (Mg) içeriği bakımından en yüksek oran 5 µM GR24 (%0.87) uygulamasında belirlenmiş, bunu 1 µM GR24 + AMF (%0,78) izlemiştir. Bununla birlikte 10 µM GR24 uygulaması (%0.30) kontrol düzeyine yakın düşük bir değer sergilemiştir (Çizelge 4.3).

Yaprak kükürt (S) konsantrasyonu, 1 µM GR24 + AMF uygulamasında (%0.48) en yüksek düzeye ulaşmış; kontrol grubundaki (%0.21) değerin yaklaşık iki katına çıkmıştır (Çizelge 4.3).

Mikro elementler arasında mangan (Mn), demir (Fe), çinko (Zn), bor (B) ve bakır (Cu) konsantrasyonları da GR24 ve AMF etkileşiminden güçlü biçimde etkilenmiştir. Özellikle 1 µM GR24 + AMF uygulaması Mn (195 ppm), Fe (140 ppm), Zn (91 ppm), B (95 ppm) ve Cu (28 ppm) ile tüm elementlerde en yüksek düzeyi göstermiştir. Yalnız GR24 uygulanan gruplarda orta dozlar (5 µM) genellikle optimum düzeyi sağlamış, yüksek dozlar (10 µM) ise tüm mikro elementlerde düşüşe yol açmıştır (Çizelge 4.3).

#### **4.3.2 Gövde Mineral İçeriği**

Gövde mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4 Gövde mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Gövde	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
N (%)	Kontrol	.3711 f	.02077	.01199	.35	.39	0.001
	1 µM GR24	.6696 c	.02627	.01517	.64	.69	
	5 µM GR24	.9498 a	.04766	.02752	.89	.98	
	10 µM GR24	.6074 cd	.02035	.01175	.58	.62	
	1 µM GR24 + AMF	.9470 a	.04503	.02600	.90	.99	
	5 µM GR24 + AMF	.7895 b	.05906	.03410	.75	.86	
	10 µM GR24 + AMF	.5245 e	.02062	.01190	.50	.54	
	AMF	.5531 de	.03776	.02180	.53	.60	
P (%)	Kontrol	.0421 bc	.00744	.00430	.03	.05	0.048
	1 µM GR24	.0690 abc	.00808	.00466	.06	.08	
	5 µM GR24	.0813 abc	.00852	.00492	.08	.09	
	10 µM GR24	.0524 bc	.00440	.00254	.05	.06	
	1 µM GR24 + AMF	.0945 ab	.07152	.04129	.01	.14	
	5 µM GR24 + AMF	.1046 a	.00676	.00390	.10	.11	
	10 µM GR24 + AMF	.0770 abc	.01267	.00732	.07	.09	
	AMF	.0457 c	.00297	.00171	.04	.05	
K (%)	Kontrol	.4506 f	.03119	.01801	.42	.48	0.001
	1 µM GR24	.6771 de	.01559	.00900	.66	.69	
	5 µM GR24	.9463 c	.05167	.02983	.89	.99	
	10 µM GR24	.6286 e	.11571	.06681	.52	.75	
	1 µM GR24 + AMF	1.4627 a	.01395	.00805	1.45	1.48	
	5 µM GR24 + AMF	1.1840 b	.05411	.03124	1.13	1.24	
	10 µM GR24 + AMF	.6781 de	.03217	.01857	.65	.71	
	AMF	.7645 d	.01679	.00969	.75	.78	
Ca (%)	Kontrol	.5693 f	.02276	.01314	.55	.59	0.001
	1 µM GR24	.6569 e	.02620	.01513	.63	.68	
	5 µM GR24	.7848 d	.02230	.01287	.76	.81	
	10 µM GR24	.5749 f	.02426	.01401	.55	.60	
	1 µM GR24 + AMF	1.4415 a	.02904	.01676	1.41	1.46	
	5 µM GR24 + AMF	1.2731 b	.03759	.02170	1.25	1.32	
	10 µM GR24 + AMF	.6838 e	.04413	.02548	.63	.72	
	AMF	1.0955 c	.08608	.04970	1.00	1.16	
Mg (%)	Kontrol	.0617 d	.01031	.00595	.05	.07	0.001
	1 µM GR24	.0822 d	.00274	.00158	.08	.09	
	5 µM GR24	.1410 bc	.00859	.00496	.13	.15	
	10 µM GR24	.1226 c	.01644	.00949	.11	.14	
	1 µM GR24 + AMF	.2168 a	.02071	.01196	.20	.24	
	5 µM GR24 + AMF	.1410 bc	.02179	.01258	.12	.15	
	10 µM GR24 + AMF	.1566 b	.02862	.01652	.13	.18	
	AMF	.1564 b	.00765	.00442	.15	.16	
S (%)	Kontrol	.0389 e	.00525	.00303	.03	.04	0.001
	1 µM GR24	.0728 bc	.00939	.00542	.06	.08	
	5 µM GR24	.0630 bcd	.00866	.00500	.05	.07	
	10 µM GR24	.0589 d	.00733	.00423	.05	.06	
	1 µM GR24 + AMF	.0994 a	.00974	.00562	.09	.10	
	5 µM GR24 + AMF	.0773 b	.00633	.00366	.07	.08	
	10 µM GR24 + AMF	.0540 cd	.00580	.00335	.05	.06	
	AMF	.0620 bcd	.01189	.00686	.05	.07	

Çizelge 4.4 Gövde mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Gövde	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
Mn (ppm)	Kontrol	12.8741 e	.39733	.22940	12.56	13.32	0.001
	1 µM GR24	17.3728 e	1.81138	1.04580	15.91	19.40	
	5 µM GR24	37.3295 c	6.18949	3.57350	30.79	43.09	
	10 µM GR24	13.5299 e	1.88547	1.08858	11.69	15.46	
	1 µM GR24 + AMF	58.2054 a	7.42772	4.28839	50.11	64.70	
	5 µM GR24 + AMF	45.3840 b	.55444	.32011	44.90	45.99	
	10 µM GR24 + AMF	26.4438 d	1.25736	.72594	25.00	27.32	
	AMF	28.9347 d	.53617	.30956	28.56	29.55	
Fe (ppm)	Kontrol	61.3386 f	6.52513	3.76728	55.00	68.04	0.001
	1 µM GR24	91.3927 e	7.25638	4.18947	83.29	97.28	
	5 µM GR24	119.4772 c	7.05797	4.07492	111.35	124.03	
	10 µM GR24	100.3251 d	5.22631	3.01741	95.19	105.64	
	1 µM GR24 + AMF	149.5796 a	2.24210	1.29447	147.09	151.44	
	5 µM GR24 + AMF	131.2346 b	1.75638	1.01404	129.23	132.53	
	10 µM GR24 + AMF	117.8611 c	2.42653	1.40096	115.07	119.51	
	AMF	115.5636 c	4.57883	2.64359	112.71	120.85	
Zn (ppm)	Kontrol	14.6188 d	1.79894	1.03862	12.54	15.70	0.001
	1 µM GR24	25.1456 c	3.93605	2.27248	20.87	28.62	
	5 µM GR24	36.2190 b	5.09443	2.94127	30.78	40.87	
	10 µM GR24	27.4672 c	2.08888	1.20602	25.84	29.82	
	1 µM GR24 + AMF	44.2774 a	3.29173	1.90048	40.59	46.93	
	5 µM GR24 + AMF	37.4005 b	1.10218	.63634	36.38	38.57	
	10 µM GR24 + AMF	25.2341 c	1.77139	1.02272	23.53	27.07	
	AMF	32.7777 b	3.05123	1.76163	29.73	35.83	
B (ppm)	Kontrol	10.1703 e	.03879	.02240	10.13	10.21	0.001
	1 µM GR24	13.2979 d	2.37590	1.37173	11.08	15.81	
	5 µM GR24	18.9063 b	1.95717	1.12997	16.95	20.87	
	10 µM GR24	11.7392 e	.97908	.56527	10.64	12.53	
	1 µM GR24 + AMF	23.4823 a	1.71022	.98740	21.52	24.67	
	5 µM GR24 + AMF	16.0446 c	1.70626	.98511	15.01	18.01	
	10 µM GR24 + AMF	11.4477 e	1.22093	.70490	10.08	12.43	
	AMF	20.6730 b	.32580	.18810	20.36	21.01	
Cu (ppm)	Kontrol	5.3258 f	.77644	.44828	4.47	5.98	0.001
	1 µM GR24	8.0305 cd	.54403	.31410	7.58	8.64	
	5 µM GR24	9.5731 b	.52355	.30227	8.97	9.91	
	10 µM GR24	5.3670 f	.57496	.33195	5.03	6.03	
	1 µM GR24 + AMF	13.0735 a	1.00552	.58054	12.07	14.08	
	5 µM GR24 + AMF	8.8328 bc	.55499	.32042	8.20	9.22	
	10 µM GR24 + AMF	6.2240 ef	1.30508	.75349	5.31	7.72	
	AMF	7.1496 de	.51503	.29735	6.78	7.74	

Her özellik için farklı küçük harfi alan grup ortalamaları arası fark önemlidir (p<0.05)

Gövde dokusunda da yaprakta gözlenen eğilime paralel olarak tüm makro ve mikro element içerikleri GR24 ve AMF uygulamalarıyla önemli derecede artmıştır (p<0.05).

En yüksek N içeriği 5  $\mu$ M GR24 (%0.95) ve 1  $\mu$ M GR24 + AMF (%0.95) uygulamalarında belirlenmiştir. P içeriği bakımından 5  $\mu$ M GR24 + AMF (%0,10) en yüksek değeri oluşturmuştur (Çizelge 4.4).

Gövde K içeriği 1  $\mu$ M GR24 + AMF grubunda (%1.46) maksimuma ulaşmış, kontrol grubuna (%0.45) göre üç kat artmıştır. Benzer şekilde Ca içeriği aynı uygulamada (%1.44) en yüksek düzeyde saptanmıştır (Çizelge 4.4).

Mg ve S içerikleri açısından da 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulaması sırasıyla %0.22 ve %0.10 değerleriyle öne çıkmıştır (Çizelge 4.4). Bu artışlar, kök ve gövde arasında besin translokasyonunun AMF varlığında belirgin biçimde güçlendiğini göstermektedir.

Mikro elementlerden Mn (58 ppm), Fe (150 ppm), Zn (44 ppm), B (23 ppm) ve Cu (13 ppm) içerikleri de yine 1  $\mu$ M GR24 + AMF grubunda maksimum düzeyde tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

### 4.3.3 Kök Mineral İçeriği

Kök mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Kök mineral içeriği açısından da uygulamalar arasında önemli farklar bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). En yüksek azot içeriği %0.9498 ile 5  $\mu$ M GR24 ve %0.9470 ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamalarında saptanmıştır. Bu iki uygulama istatistik olarak aynı grupta yer almış ve kontrol grubuna (%0.3711) kıyasla önemli bir artış göstermiştir. Bu durum, GR24'ün tek başına veya AMF ile birlikte uygulanmasının köklerde azot birikimini belirgin biçimde teşvik ettiğini göstermektedir.

P içeriği bakımından en yüksek değer %0.1046 ile 5  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında belirlenmiştir. Bu değeri %0.0945 ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF izlemiştir. Her iki uygulama kontrol grubuna (%0.0421) göre anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, GR24 ve AMF'nin sinerjik etkisiyle fosfor alımının arttığını göstermektedir (Çizelge 4.5).

P içeriği, %1.4627 ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek düzeye ulaşmıştır. Bu uygulamayı %1.1840 ile 5  $\mu$ M GR24 + AMF takip etmiştir. GR24'ün tek başına uygulandığı denemelerde de artış gözlenmiş ancak AMF ile birlikte uygulandığında bu etki belirgin şekilde artmıştır. Bu bulgu, mikorizal simbiyozun kök P alımını güçlendirdiğini göstermektedir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Kök mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları

Kök	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
N (%)	Kontrol	.3711 f	.02077	.01199	.35	.39	0.001
	1 µM GR24	.6696 c	.02627	.01517	.64	.69	
	5 µM GR24	.9498 a	.04766	.02752	.89	.98	
	10 µM GR24	.6074 cd	.02035	.01175	.58	.62	
	1 µM GR24 + AMF	.9470 a	.04503	.02600	.90	.99	
	5 µM GR24 + AMF	.7895 b	.05906	.03410	.75	.86	
	10 µM GR24 + AMF	.5245 e	.02062	.01190	.50	.54	
	AMF	.5531 de	.03776	.02180	.53	.60	
P (%)	Kontrol	.0421 bc	.00744	.00430	.03	.05	0.048
	1 µM GR24	.0690 abc	.00808	.00466	.06	.08	
	5 µM GR24	.0813 abc	.00852	.00492	.08	.09	
	10 µM GR24	.0524 bc	.00440	.00254	.05	.06	
	1 µM GR24 + AMF	.0945 ab	.07152	.04129	.01	.14	
	5 µM GR24 + AMF	.1046 a	.00676	.00390	.10	.11	
	10 µM GR24 + AMF	.0770 abc	.01267	.00732	.07	.09	
	AMF	.0457 c	.00297	.00171	.04	.05	
K (%)	Kontrol	.4506 f	.03119	.01801	.42	.48	0.001
	1 µM GR24	.6771 de	.01559	.00900	.66	.69	
	5 µM GR24	.9463 c	.05167	.02983	.89	.99	
	10 µM GR24	.6286 e	.11571	.06681	.52	.75	
	1 µM GR24 + AMF	1.4627 a	.01395	.00805	1.45	1.48	
	5 µM GR24 + AMF	1.1840 b	.05411	.03124	1.13	1.24	
	10 µM GR24 + AMF	.6781 de	.03217	.01857	.65	.71	
	AMF	.7645 d	.01679	.00969	.75	.78	
Ca (%)	Kontrol	.5693 f	.02276	.01314	.55	.59	0.001
	1 µM GR24	.6569 e	.02620	.01513	.63	.68	
	5 µM GR24	.7848 d	.02230	.01287	.76	.81	
	10 µM GR24	.5749 f	.02426	.01401	.55	.60	
	1 µM GR24 + AMF	1.4415 a	.02904	.01676	1.41	1.46	
	5 µM GR24 + AMF	1.2731 b	.03759	.02170	1.25	1.32	
	10 µM GR24 + AMF	.6838 e	.04413	.02548	.63	.72	
	AMF	1.0955 c	.08608	.04970	1.00	1.16	
Mg (%)	Kontrol	.0617 d	.01031	.00595	.05	.07	0.001
	1 µM GR24	.0822 d	.00274	.00158	.08	.09	
	5 µM GR24	.1410 bc	.00859	.00496	.13	.15	
	10 µM GR24	.1226 c	.01644	.00949	.11	.14	
	1 µM GR24 + AMF	.2168 a	.02071	.01196	.20	.24	
	5 µM GR24 + AMF	.1410 bc	.02179	.01258	.12	.15	
	10 µM GR24 + AMF	.1566 b	.02862	.01652	.13	.18	
	AMF	.1564 b	.00765	.00442	.15	.16	
S (%)	Kontrol	.0389 e	.00525	.00303	.03	.04	0.001
	1 µM GR24	.0728 bc	.00939	.00542	.06	.08	
	5 µM GR24	.0630 bcd	.00866	.00500	.05	.07	
	10 µM GR24	.0589 d	.00733	.00423	.05	.06	
	1 µM GR24 + AMF	.0994 a	.00974	.00562	.09	.10	
	5 µM GR24 + AMF	.0773 b	.00633	.00366	.07	.08	
	10 µM GR24 + AMF	.0540 cd	.00580	.00335	.05	.06	
	AMF	.0620 bcd	.01189	.00686	.05	.07	

Çizelge 4.5 Kök mineral içeriği bakımından tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları (devam)

Kök	Uygulama	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Min.	Mak.	p
Mn (ppm)	Kontrol	12.8741 e	.39733	.22940	12.56	13.32	0.001
	1 µM GR24	17.3728 e	1.81138	1.04580	15.91	19.40	
	5 µM GR24	37.3295 c	6.18949	3.57350	30.79	43.09	
	10 µM GR24	13.5299 e	1.88547	1.08858	11.69	15.46	
	1 µM GR24 + AMF	58.2054 a	7.42772	4.28839	50.11	64.70	
	5 µM GR24 + AMF	45.3840 b	.55444	.32011	44.90	45.99	
	10 µM GR24 + AMF	26.4438 d	1.25736	.72594	25.00	27.32	
	AMF	28.9347 d	.53617	.30956	28.56	29.55	
Fe (ppm)	Kontrol	61.3386 f	6.52513	3.76728	55.00	68.04	0.001
	1 µM GR24	91.3927 e	7.25638	4.18947	83.29	97.28	
	5 µM GR24	119.4772 c	7.05797	4.07492	111.35	124.03	
	10 µM GR24	100.3251 d	5.22631	3.01741	95.19	105.64	
	1 µM GR24 + AMF	149.5796 a	2.24210	1.29447	147.09	151.44	
	5 µM GR24 + AMF	131.2346 b	1.75638	1.01404	129.23	132.53	
	10 µM GR24 + AMF	117.8611 c	2.42653	1.40096	115.07	119.51	
	AMF	115.5636 c	4.57883	2.64359	112.71	120.85	
Zn (ppm)	Kontrol	14.6188 d	1.79894	1.03862	12.54	15.70	0.001
	1 µM GR24	25.1456 c	3.93605	2.27248	20.87	28.62	
	5 µM GR24	36.2190 b	5.09443	2.94127	30.78	40.87	
	10 µM GR24	27.4672 c	2.08888	1.20602	25.84	29.82	
	1 µM GR24 + AMF	44.2774 a	3.29173	1.90048	40.59	46.93	
	5 µM GR24 + AMF	37.4005 b	1.10218	.63634	36.38	38.57	
	10 µM GR24 + AMF	25.2341 c	1.77139	1.02272	23.53	27.07	
	AMF	32.7777 b	3.05123	1.76163	29.73	35.83	
B (ppm)	Kontrol	10.1703 e	.03879	.02240	10.13	10.21	0.001
	1 µM GR24	13.2979 d	2.37590	1.37173	11.08	15.81	
	5 µM GR24	18.9063 b	1.95717	1.12997	16.95	20.87	
	10 µM GR24	11.7392 e	.97908	.56527	10.64	12.53	
	1 µM GR24 + AMF	23.4823 a	1.71022	.98740	21.52	24.67	
	5 µM GR24 + AMF	16.0446 c	1.70626	.98511	15.01	18.01	
	10 µM GR24 + AMF	11.4477 e	1.22093	.70490	10.08	12.43	
	AMF	20.6730 b	.32580	.18810	20.36	21.01	
Cu (ppm)	Kontrol	5.3258 f	.77644	.44828	4.47	5.98	0.001
	1 µM GR24	8.0305 cd	.54403	.31410	7.58	8.64	
	5 µM GR24	9.5731 b	.52355	.30227	8.97	9.91	
	10 µM GR24	5.3670 f	.57496	.33195	5.03	6.03	
	1 µM GR24 + AMF	13.0735 a	1.00552	.58054	12.07	14.08	
	5 µM GR24 + AMF	8.8328 bc	.55499	.32042	8.20	9.22	
	10 µM GR24 + AMF	6.2240 ef	1.30508	.75349	5.31	7.72	
	AMF	7.1496 de	.51503	.29735	6.78	7.74	

Her özellik için farklı küçük harfi alan grup ortalamaları arası fark önemlidir (p<0.05)

Ca içeriği %1.4415 ile 1 µM GR24 + AMF uygulamasında en yüksek düzeyde saptanmıştır. 5 µM GR24 + AMF (%1.2731) ve sadece AMF uygulaması (%1.0955) da kontrole göre anlamlı artışlar göstermiştir. GR24'ün yüksek dozlarında (10 µM) ise Ca düzeyi azalmıştır. Bu, yüksek doz SL uygulamalarının Ca taşınımı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir (Çizelge 4.5).

Mg içeriği %0.2168 ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek değere ulaşmıştır. Bu uygulamayı 10  $\mu$ M GR24 + AMF (%0.1566) ve AMF (%0.1564) takip etmiştir. Mikorizal uygulamaların Mg birikimini artırdığı açıkça görülmektedir (Çizelge 4.5).

Kök kükürt içeriği %0.0994 ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek, kontrol grubunda (%0.0389) ise en düşük bulunmuştur. GR24'ün düşük dozlarda AMF ile birlikte uygulanması kükürt alımını artırmıştır (Çizelge 4.5).

Mikro elementler açısından Çizelge 4.5 incelendiğinde Mn içeriği 58.2054 ppm ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek düzeydedir. Bunu 5  $\mu$ M GR24 + AMF (45.3840 ppm) takip etmiştir. Kontrol grubundaki Mn düzeyi (12.8741 ppm) en düşük seviyededir. Mikorizal simbiyoz Mn alımını belirgin biçimde artırmıştır. Fe içeriği açısından da benzer bir eğilim gözlenmiştir. En yüksek değer 149.5796 ppm ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında saptanmış, bunu 131.2346 ppm ile 5  $\mu$ M GR24 + AMF izlemiştir. Kontrol grubundaki Fe düzeyi 61.3386 ppm olup diğer tüm uygulamalardan anlamlı biçimde düşüktür. Zn birikimi bakımından en yüksek değer 44.2774 ppm ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değeri 37.4005 ppm ile 5  $\mu$ M GR24 + AMF ve 36.2190 ppm ile 5  $\mu$ M GR24 izlemiştir. Mikorizal uygulamalar Zn alımında belirgin bir artış sağlamıştır. Bor içeriği 23.4823 ppm ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek düzeyde bulunmuştur. AMF'nin tek başına uygulandığı grupta da 20.6730 ppm ile kontrole göre önemli bir artış görülmüştür. Bu, hem strigolakton hem de AMF'nin B alımında etkili olduğunu göstermektedir. Cu içeriği 13.0735 ppm ile 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında en yüksek değeri göstermiştir. Kontrol (%5.3258) ve 10  $\mu$ M GR24 uygulaması (%5.3670) en düşük değerleri oluşturmuştur. Bu sonuç, özellikle düşük doz GR24 ile AMF'nin birlikte uygulanmasının Cu alımını en fazla teşvik ettiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, GR24 ve AMF uygulamalarının birlikte kullanımı köklerde hem makro hem de mikro element birikimini önemli düzeyde artırmıştır. Özellikle 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulaması, neredeyse tüm besin elementlerinde en yüksek değerlere ulaşarak optimum kombinasyon olarak öne çıkmıştır.

Buna karşın, 10  $\mu$ M GR24 dozu bazı elementlerde (Ca, S, Cu) azalmaya yol açmıştır; bu da yüksek doz strigolaktonun kök beslenmesi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 5.1 Sürgün Gelişimi

Bu çalışmada GR24 ve AMF uygulamalarının aşılı asma fidanlarında sürgün gelişimi üzerine belirgin etkiler oluşturduğu görülmüştür. Özellikle 1  $\mu\text{M}$  ve 5  $\mu\text{M}$  GR24 uygulamaları, yaprak sayısı, sürgün uzunluğu, sürgün çapı, yaprak alanı ve biyokütle parametrelerinde kontrol grubuna göre anlamlı artışlar sağlamıştır. Bulgular, sentetik SL'lerin (GR24) asma fidanlarının erken dönem gelişimini uyarda etkin olduğunu göstermektedir.

Literatürde SL'lerin AMF'lerle simbiyoz kurulumunda sinyal molekülü olarak rol oynadığı (Steinkellner vd., 2007; García-Garrido vd., 2009), bunun da bitkilerde besin elementi alımı ve büyüme parametrelerini desteklediği bildirilmektedir. Nitekim çalışmamızda da SL uygulamaları, özellikle sürgün uzunluğu ve yaprak sayısı bakımından kayda değer gelişim artışlarına yol açmıştır. Naseer vd. (2024), GR24 gibi sentetik SL analoglarının kök ve sürgün gelişimini P ve N alımını kolaylaştırarak güçlendirdiğini rapor etmiş olup bu sonuçlar bulgularımızla uyum göstermiştir.

Mikoriza uygulaması tek başına kontrol grubuna göre bazı parametrelerde artış sağlamakla birlikte, GR24 ile kombinasyon halinde özellikle sürgün yaş ve kuru ağırlığında daha yüksek değerler oluşturmuştur. Bu durum, AMF'nin kök ve toprak arayüzünde besin elementi alım kapasitesini artırması ve bitki fizyolojisine doğrudan katkısı ile ilişkilendirilmektedir (Mitra vd., 2021; Chaudhary vd., 2025). Ayrıca Boyno vd. (2023), SL-AMF etkileşiminin sinerjik bir mekanizma ile bitki büyümesini teşvik ettiğini ve kök-sürgün koordinasyonunu güçlendirdiğini vurgulamıştır.

Sürgün biyokütlesi açısından en yüksek değerler 10  $\mu\text{M}$  GR24 ve 5  $\mu\text{M}$  GR24 uygulamalarında belirlenmiştir. Bu bulgular, Chaudhary vd. (2025) tarafından bildirilen, AMF'nin karbon-besin takası yoluyla biyokütle üretimini artırdığı bilgisiyle örtüşmektedir. Ayrıca flavonoid ve antosiyanin içeriklerindeki artış, Steinkellner vd. (2007)'nin vurguladığı gibi SL'lerin sekonder metabolit birikiminde sinyal molekülü olarak işlev görmesi ile açıklanabilir. Bu durum, çalışmada özellikle 10  $\mu\text{M}$  GR24 ve 5  $\mu\text{M}$  GR24'te flavonoid ve antosiyanin içeriklerinin artmasıyla desteklenmektedir.

Klorofil içeriğinin en yüksek 1  $\mu\text{M}$  GR24 uygulamasında gözlenmesi ise, düşük dozlarda SL uygulamalarının fotosentetik kapasiteyi artırabileceğine işaret etmektedir.

Benzer şekilde, AMF'nin fotosentez kapasitesini artırıcı etkisi daha önce farklı bitkilerde de rapor edilmiştir (Chaudhary vd., 2025; Naz vd., 2025). Bu bağlamda sonuçlarımız, GR24 ve AMF uygulamalarının asma fidanlarında hem büyüme hem de fizyolojik yanıtları iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, çalışmanın sürgün parametrelerine ait sonuçları, GR24'ün özellikle düşük (1  $\mu$ M) ve orta (5  $\mu$ M) dozlarının büyüme uyarıcı etki gösterdiğini, mikoriza uygulamasıyla kombinasyonun ise bu etkinin bazı fizyolojik özelliklerde daha da güçlendiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, SL-AMF etkileşiminin bağcılıkta fidan gelişimini desteklemek için stratejik bir uygulama olabileceğine işaret etmektedir.

## 5.2 Kök Gelişimi

Çalışmada elde edilen bulgular, GR24 ve mikoriza uygulamalarının aşılı asma fidanlarında kök gelişimini anlamlı şekilde etkilediğini göstermektedir. Özellikle GR24 ile AMF'nin birlikte kullanıldığı 1  $\mu$ M GR24 + AMF, kök sayısı, kök gelişim düzeyi, kök yaş ve kuru ağırlığı ile yan kök sayısı bakımından en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuçlar, SL'lerin düşük doz uygulamalarının, mikorizal simbiyozla birlikte kök sisteminde sinerjik bir etki yarattığını göstermektedir.

SL'lerin kök mimarisi üzerine düzenleyici etkileri daha önce farklı bitkilerde de rapor edilmiştir. Naseer vd. (2024), GR24 uygulamasının AMF kolonizasyonunu artırarak P ve N alımını kolaylaştırdığını, bunun da kök biyokütlesi ve yan kök oluşumunu teşvik ettiğini bildirmiştir. Çalışmamızda 1  $\mu$ M GR24 + AMF'de gözlenen yüksek kök sayısı ve yan kök oluşumu, bu bulgularla paralellik göstermektedir. Ayrıca, García-Garrido vd. (2009) SL'lerin yalnızca AMF kolonizasyonunu uyarmakla kalmayıp, kök sisteminin lateral dallanmasını da artırdığını vurgulamaktadır.

Mikoriza uygulamalarının kök gelişimini destekleyici etkileri uzun süredir bilinmektedir. Mitra vd. (2021) ile Chaudhary vd. (2025), AMF'nin bitki köklerinde su ve besin alımını kolaylaştıran hif ağı oluşturarak kök biyokütlesini artırdığını, bunun da hem yaş hem de kuru ağırlık parametrelerinde kendini gösterdiğini bildirmiştir. Bu çalışmada da AMF'nin tek başına kök gelişiminde sınırlı etki göstermesine karşın, GR24 ile birlikte uygulandığında kök yaş ve kuru ağırlığında belirgin artış sağlaması, AMF-SL etkileşiminin kök sistemine doğrudan yansıdığını ortaya koymaktadır.

Flavonoid ve SL'lerin simbiyotik ilişkilerde kök-fungus iletişimi için önemli sinyal molekülleri olduğu daha önce belirtilmiştir (Steinkellner vd., 2007). SL sinyaliyle aktive edilen AMF kolonizasyonu, kök gelişim düzeyini artırmakta ve köklerin toprakta daha etkin yayılım göstermesine olanak tanımaktadır. Çalışmamızda 5  $\mu\text{M}$  GR24 ve 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF'de yüksek kök gelişim skorlarının kaydedilmesi, bu sinyal ağının etkinliğini desteklemektedir.

Kök kuru madde oranı bakımından düşük konsantrasyonlu GR24 uygulamasının (1  $\mu\text{M}$  GR24) en yüksek değeri vermesi dikkat çekicidir. Bu bulgu, SL'lerin düşük dozlarda kök hücrelerinde yapısal dayanıklılığı artırıcı yönde etki gösterebildiğini düşündürmektedir. Boyno vd. (2023) de AMF-SL etkileşiminin köklerde metabolik yeniden programlamaya yol açarak kök dokusunun hem hacimsel büyümesini hem de dayanıklılığını güçlendirdiğini ifade etmiştir.

Kök yaş ve kuru ağırlık değerlerindeki artış, bitki-fungus simbiyozunun fizyolojik yansımalarıyla da ilişkilidir. Chaudhary vd. (2025) ve Naz vd. (2025)'de vurgulandığı üzere, AMF kolonizasyonu köklerin su tutma kapasitesini ve makro element alımını artırarak biyokütle birikimine katkı sağlamaktadır. Çalışmamızda da özellikle GR24 + AMF kombinasyonlarında bu parametrelerde belirgin artışlar gözlenmiş olup, literatürle tam bir uyum göstermektedir.

Sonuç olarak, kök parametrelerine ait bulgular, SL ve AMF uygulamalarının birbirini tamamlayan bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Tek başına uygulanan GR24 veya AMF belirli gelişim parametrelerinde artış sağlarken, kombinasyon halinde özellikle düşük konsantrasyonlu 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF uygulamasının kök gelişimini en üst düzeye çıkardığı görülmektedir. Bu durum, AMF-SL etkileşiminin bağıcılıkta fidanların kök sisteminin güçlendirilmesi açısından stratejik bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.

### **5.3 Besin Element Alımı**

Bu çalışmada 110R/Narince aşu kombinasyonunda sera koşullarında tüplü asma fidanı üretiminde uygulanan GR24 (sentetik strigolakton analogu) ve Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF) uygulamalarının yaprak, gövde ve kök mineral içerikleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, hem makro hem de mikro element düzeylerinde anlamlı artışlar olduğunu ve özellikle 1  $\mu\text{M}$  GR24 + AMF

kombinasyonunun en yüksek besin element konsantrasyonlarını sağladığını göstermiştir. Bu sonuçlar, GR24'ün strigolakton benzeri sinyal işleviyle AMF kolonizasyonunu artırdığını ve mikorizal simbiyozun köklerden yapraklara kadar uzanan besin taşınımını güçlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Steinkellner vd. (2007), SL'lerin AMF'lerle (özellikle *Glomus* türlerinde) hif dallanmasını ve spor çimlenmesini uyardığını göstermiştir. GR24 uygulamasıyla bitki köklerinden yayılan bu sinyaller, mantarın kök yüzeyine yönelimini hızlandırmakta ve simbiyotik temas olasılığını artırmaktadır. Çalışmamızda 1  $\mu$ M GR24 dozunun AMF ile birlikte uygulandığında en yüksek mineral alımını sağlaması, bu mekanizmanın aktif olduğunu göstermektedir. Lanfranco vd. (2018) de benzer şekilde, SL'lerin mikorizal simbiyozu başlatan ön-simbiyotik sinyaller olarak işlev gördüğünü ve düşük dozların simbiyozu teşvik ederken yüksek dozların inhibitör etki yaratabileceğini belirtmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda 10  $\mu$ M GR24'ün genellikle düşük mineral içerikleriyle sonuçlanmasıyla paraleldir. Kök dokularında en yüksek azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) içerikleri 1  $\mu$ M GR24 + AMF uygulamasında belirlenmiştir. Bu artışlar, GR24'ün mikorizal kolonizasyonu destekleyerek besin taşınımını artırdığı hipotezini güçlendirmektedir. Clark ve Zeto (2000), AMF kolonizasyonunun kök P alımını artırdığını ve bunun bitki büyümesini dolaylı olarak etkilediğini bildirmiştir. Ayrıca Garcia vd. (2017), mikorizal bitkilerde artan kök yüzey alanı ve taşıyıcı gen ekspresyonunun mineral alımını kolaylaştırdığını göstermiştir. Besin elementlerinin gövde ve yapraklara taşınmasında da benzer bir sinerji gözlenmiştir. GR24 + AMF uygulaması, yalnızca köklerde değil, aynı zamanda yaprak ve gövdede de yüksek N, P, K ve mikroelement (özellikle Zn, Fe, Mn) konsantrasyonları ile sonuçlanmıştır. Bu durum, AMF'nin bitki içi besin dağılımında rol oynayan akropetal taşınım yollarını düzenlediğini göstermektedir. Naz vd. (2025), mikorizal simbiyozun yaprakta artan fotosentetik kapasiteyle besin geri dönüşümünü desteklediğini belirtmiş; GR24'ün bu süreçte hidrolaz ve fosfataz enzim aktivitelerini artırarak besin mobilitesini yükselttiğini ileri sürmüştür. Düşük dozlar (1  $\mu$ M) AMF ile sinerjik, yüksek dozlar (10  $\mu$ M) ise antagonistik etki göstermiştir. Bu durum, Steinkellner vd. (2007)'nin SL'lerin yüksek konsantrasyonlarda mikorizal gelişimi baskıladığına dair bulgularını desteklemektedir. Bunun olası açıklaması, yüksek GR24 dozlarının bitkide oksidatif stres yanıtlarını tetiklemesi ve simbiyotik iletişimi baskılamasıdır. Nitekim Buhrman vd.

(2018), GR24 uygulamalarının kök redoks dengesini bozarak hif kolonizasyonunu sınırladığını göstermiştir.

Sonuçlar genel olarak literatürdeki mikorizal simbiyoz ve strigolakton etkileşimlerine dair bilgilerle tutarlıdır. GR24, bitkide strigolakton benzeri bir sinyal görevi görerek AMF kolonizasyonunu artırmakta, bunun sonucunda besin alımı, taşınımı ve birikimi üç düzeyde (kök, gövde, yaprak) artmaktadır. Steinkellner vd. (2007) ve Gomez-Roldan vd. (2007), GR24'ün hif dallanmasını tetikleyerek simbiyozu başlattığını; Lanfranco vd. (2018) ve Naz vd. (2019) ise bu simbiyozun besin kullanım verimliliğini artırdığını göstermiştir. Sonuç olarak, GR24 ve AMF'nin birlikte kullanımı, özellikle düşük doz GR24 koşullarında, hem kök hem de sürgün aksamında makro ve mikro besin alımını belirgin biçimde artırmıştır. Bu durum, asma fidanı üretiminde mikorizal simbiyozun SL bazlı sinyallerle desteklenmesinin fizyolojik dayanıklılığı ve besin dengesini güçlendirebileceğini göstermektedir.

#### ***Öneriler;***

- GR24 uygulamalarında düşük ve orta konsantrasyonların (1 ve 5  $\mu$ M) daha verimli olduğu görülmüş olup, ileride yapılacak çalışmalarda optimum doz aralıklarının farklı çeşit ve anaçlarda test edilmesi önerilmektedir.

- GR24 ile mikoriza kombinasyonlarının farklı çevresel stres koşullarında (kuraklık, tuzluluk, ağır metal stresi vb.) denenmesi, bu simbiyotik etkileşimin sürdürülebilir bağcılık için potansiyelini daha net ortaya koyacaktır.

- Mikorizal çeşitliliğin artırılması, sadece tek bir preparat değil, farklı AMF tür ve izolatlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçların karşılaştırılması faydalı olacaktır.

- Asma fidancılığında sentetik girdi kullanımını azaltmaya yönelik biyolojik temelli stratejiler arasında GR24-AMF uygulamaları önemli bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

- Gelecekte yapılacak çalışmalarda, GR24'ün AMF kolonizasyon dinamikleri üzerindeki etkisinin gen ekspresyon düzeyinde (örneğin PT4, AMT2, PHT1;4 genleri) incelemesi önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aguín, O., Mansilla, J. P., Vilariño, A., Sainz, M. J. (2004). Effects of mycorrhizal inoculation on root morphology and nursery production of three grapevine rootstocks. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(1), 108-111.
- Akiyama, K., Matsuzaki, K. I., Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435(7043), 824-827.
- Akiyama, K., Hayashi, H. (2006). Strigolactones: chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots. *Annals of Botany*, 97(6), 925-931.
- Al-Babili, S., Bouwmeester, H. J. (2015). Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 161-186.
- Alvi, A. F., Sehar, Z., Fatma, M., Masood, A., Khan, N. A. (2022). Strigolactone: an emerging growth regulator for developing resilience in plants. *Plants*, 11(19), 2604.
- Anfang, M., Shani, E. (2021). Transport mechanisms of plant hormones. *Current Opinion in Plant Biology*, 63, 102055.
- Anonim. (1995). TS 3981 Asma Fidanı. TSE, Ankara.
- Anzanello, R., Souza, P. V. D. D., Casamali, B. (2011). Use of arbuscular mycorrhizal (AMF) fungi in micropropagated grape rootstocks. *Bragantia*, 70, 409-415.
- Arık, C. (2020). *Aşılı asma fidanı üretiminde farklı aşı tipi ve esansiyel yağ uygulamalarının aşı kaynaşması üzerine etkilerinin anatomik ve histolojik olarak incelenmesi*, Doktora tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Aguín, O., Mansilla, J. P., Vilariño, A., Sainz, M. J. (2004). Effects of mycorrhizal inoculation on root morphology and nursery production of three grapevine rootstocks. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(1), 108-111.
- Bagyaraj, D. J., Sharma, M. P., Maiti, D. (2015). Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. *Current Science*, 1288-1293.
- Bahar, E., Korkutal, İ., Öner, H. (2018). Bağcılıkta terroir unsurları. *Bahçe*, 47(2), 57-70.
- Balestrini, R., Salvioli, A., Dal Molin, A., Novero, M., Gabelli, G., Paparelli, E., ... Bonfante, P. (2017). Impact of an arbuscular mycorrhizal fungus versus a mixed microbial inoculum on the transcriptome reprogramming of grapevine roots. *Mycorrhiza*, 27(5), 417-430.
- Bavaresco, L., Gatti, M., Zamboni, M., Fogher, C. (2010) Role of artificial mycorrhization on iron uptake in calcareous soil, on stilbene root synthesis and in other physiological processes in grapevine. **Proceedings of 33<sup>rd</sup> World Congress of Vine and Wine**. Tbilisi, Georgia.
- Bayram, A. (2000). *Bazı mikoriza türlerinin Amerikan Asma fidanlarının kök ve sürgün gelişimi üzerine etkileri*, Yüksek lisans tezi. KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Becker, H. (1971). Neure Ergebnisse aus Untersuchungen Überdie Techonologie der Lagerung van Rebenvermehrung. *Probleme der Rebenveredlung, Heft 8*, 29-48.
- Benharrat, H., Boulet, C., Veronesi, C., Thalouarn, P. (2003). L'orobanche rameuse. *Phytoma. La Défense des Végétaux*, 45-47.
- Besserer, A., Puech-Pagès, V., Kiefer, P., Gomez-Roldan, V., Jauneau, A., Roy, S., ... Séjalon-Delmas, N. (2006). Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. *PLoS biology*, 4(7), e226.
- Boyno, G., Rezaee Danesh, Y., Demir, S., Teniz, N., Mulet, J. M., Porcel, R. (2023). The complex interplay between arbuscular mycorrhizal fungi and strigolactone:

- mechanisms, synergies, applications and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(23), 16774.
- Buée, L., Bussiére, T., Buée-Scherrer, V., Delacourte, A., Hof, P. R. (2000). Tau protein isoforms, phosphorylation and role in neurodegenerative disorders. *Brain Research Reviews*, 33(1), 95-130.
- Cangi, R., Kılıç, D. (2020). Kokteyl Mikoriza Uygulamalarının Aşılı Asma Fidanlarının Besin İçeriğine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8, 160-165.
- Catford, J. G., Staehelin, C., Lerat, S., Piché, Y., Vierheilig, H. (2003). Suppression of arbuscular mycorrhizal colonization and nodulation in split-root systems of alfalfa after pre-inoculation and treatment with Nod factors. *Journal of Experimental Botany*, 54(386), 1481-1487.
- Catford, J. G., Staehelin, C., Larose, G., Piché, Y., Vierheilig, H. (2006). Systemically suppressed isoflavonoids and their stimulating effects on nodulation and mycorrhization in alfalfa split-root systems. *Plant and Soil*, 285(1), 257-266.
- Chakraborty, A., Alam, A., Pal, U., Sinha, A., Das, S., Saha-Dasgupta, T., Pachfule, P. (2025). Enhancing photocatalytic hydrogen peroxide generation by tuning hydrazone linkage density in covalent organic frameworks. *Nature Communications*, 16(1), 503.
- Chaudhary, A., Poudyal, S., Kaundal, A. (2025). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in maintaining sustainable agroecosystems. *Applied Microbiology*, 5(1), 6.
- Chen, W., Gao, Y., Xie, W., Gong, L., Lu, K., Wang, W., ... Luo, J. (2014). Genome-wide association analyses provide genetic and biochemical insights into natural variation in rice metabolism. *Nature Genetics*, 46(7), 714-721.
- Chesterfield, R. J., Vickers, C. E., Beveridge, C. A. (2020). Translation of strigolactones from plant hormone to agriculture: achievements, future perspectives, and challenges. *Trends in Plant Science*, 25(11), 1087-1106.
- Clark, R. Á., Zeto, S. K. (2000). Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7), 867-902.
- Cook, C. E., Whichard, L. P., Turner, B., Wall, M. E., Egley, G. H. (1966). Germination of witchweed (*Striga lutea* Lour.): isolation and properties of a potent stimulant. *Science*, 154(3753), 1189-1190.
- Çelik, H. (1983). Sera koşullarında tüplü asma fidanı üretimi. **Türkiye II. Bağcılık ve Şarapçılık Sempozyumu**, Manisa, Türkiye.
- Çelik, H. (2006). **Üzüm Çeşit Kataloğu**. Sunfidan A.Ş. Mesleki Kitaplar Serisi, 3. Ankara, Türkiye.
- Çelik, H. (2019). Asma çeliklerinin ve fidanlarının muhafazası. *TÜRKTÖB Dergisi* 28, 4-9.
- Çelik, H., Uyar, Z. (1992). Serada tüplü asma fidanı üretiminde tüp büyüklüğünün fidan randımanı ve kalitesi üzerine etkileri. **Türkiye I. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi**, 2, 467-471.
- Decker, E. L., Alder, A., Hunn, S., Ferguson, J., Lehtonen, M. T., Scheler, B., ... Al-Babili, S. (2017). Strigolactone biosynthesis is evolutionarily conserved, regulated by phosphate starvation and contributes to resistance against phytopathogenic fungi in a moss, *Physcomitrella patens*. *New Phytologist*, 216(2), 455-468.
- Doğan, A., Uyak, C., Şensoy, R. İ. G., & Keskin, N. (2018). Asma yaprak alanın belirlenmesinde farklı iki yöntemin karşılaştırılması. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 28(3), 289-294.

- Eftekhari, M., Alizadeh, M., Mashayekhi, K., Asghari, H., Kamkar, B. (2010). Integration of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to grapevine (*Vitis vinifera* L.) in nursery stage. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, 1(2), 102111.
- Eroğlu, D. (2014). *Bazı üzüm çeşitlerinin aşılı tüplü fidan üretimlerinde farklı biyolojik preparat uygulamalarının etkileri*, Yüksek lisans tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye.
- Eroğlu, D., Çelik, M. (2015). Bazı üzüm çeşitlerinin aşılı asma fidanı üretiminde mikoriza uygulamalarının etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi A.*, 27 (Türkiye 8. Bağcılık ve Teknolojileri Sempozyumu Özel Sayısı), 48-55.
- Felföldi, Z., Vidican, R., Stoian, V., Roman, I. A., Sestras, A. F., Rusu, T., Sestras, R. E. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization influence yield, growth and root colonization of different tomato genotype. *Plants*, 11(13), 1743.
- Feng, Y., Cui, X., He, S., Dong, G., Chen, M., Wang, J., Lin, X. (2013). The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. *Environmental Science & Technology*, 47(16), 9496-9504.
- Garcia, K., Chasman, D., Roy, S., Ané, J. M. (2017). Physiological responses and gene co-expression network of mycorrhizal roots under K<sup>+</sup> deprivation. *Plant Physiology*, 173(3), 1811-1823.
- García-Garrido, J. M., Lenzemo, V., Castellanos-Morales, V., Steinkellner, S., Vierheilig, H. (2009). Strigolactones, signals for parasitic plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 19(7), 449-459.
- Giovannetti, M., Sbrana, C., Avio, L., Citernesi, A. S., Logi, C. (1993). Differential hyphal morphogenesis in arbuscular mycorrhizal fungi during pre-infection stages. *New Phytologist*, 125(3), 587-593.
- Giovannetti, M., Sbrana, C., Logi, C. (1994). Early processes involved in host recognition by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 127(4), 703-709.
- Giovannetti, M., Sbrana, C. (1998). Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza*, 8(3), 123-130.
- Goldwasser, Y., Yoder, J. I. (2001). Differential induction of Orobanche seed germination by *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science*, 160(5), 951-959.
- Gomez-Roldan, V., Roux, C., Girard, D., Bécard, G., Puech, V. (2007). Strigolactones: promising plant signals. *Plant Signaling & Behavior*, 2(3), 163-164.
- Gomez-Roldan, V., Fermas, S., Brewer, P. B., Puech-Pagès, V., Dun, E. A., Pillot, J. P., ... Rochange, S. F. (2008). Strigolactone inhibition of shoot branching. *Nature*, 455(7210), 189-194.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies Jr., F.T. Geneve, R.L. (2011). ***Plant Propagation: Principles and Practices***. Prentice Hall: New Jersey, USA.
- İnce, G. E. C. (2023). *Melatonin uygulamalarının asma fidan randıman ve kalitesi üzerine etkileri*, Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Jacobsohn R., Levy D. (1986). Glyphosate for Orobanche control in various crops; problems and promises, Israel. *Biology and control of Orobanche*, 171-175.
- Kacar, B. (1984). ***Bitki besleme uygulama kılavuzu***. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Kara, Z., Söylemezođlu, G., Çakır, A., Sabır, A., Shifdar, M. (2011). Aşı asma fidanı üretiminde mikorizal preparasyon (MP, Biovam) uygulamalarının etkileri. **Türkiye 6. Bahçe Bitkileri Kongresi**. Şanlıurfa, Türkiye.

- Kara Z, Bağçevli A (2012). Bazı simbiyotik mikroorganizma karışımı uygulamalarının farklı asma anacı çeliklerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3): 20-28.
- Kara, Z., Özdemir, Ş. (2009). Bazı asma anaçları ve üzüm çeşitleri çeliklerine kokteyl mikoriza (biovam) uygulamalarının fidanın vejetatif gelişmesine etkileri. **Türkiye VII. Bağcılık ve Teknolojileri Sempozyumu**, Manisa, Türkiye.
- Karagiannidis, N., Nikolaou, N., Mattheou, A. (1995). Wirkung dreier VA-mycorrhizapilze auf ertrag und nahrungsaufnahme von drei unterlagen und einer tafeltaubensorte. *Vitis*, 34, 85-89.
- Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K. H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I. M., ... Attia, H. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant-soil interaction. *Sustainability*, 14(13), 7840.
- Kim, B., Westerhuis, J. A., Smilde, A. K., Floková, K., Suleiman, A. K., Kuramae, E. E., ... Zancarani, A. (2022). Effect of strigolactones on recruitment of the rice root-associated microbiome. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(2), fiac010.
- Kiraz, H. (2020). *Asmanın köklenmesi üzerine indol türevi bileşiklerin etkisi*, Yüksek lisans tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye.
- Korkutal, I., Bahar, E., Gunes, N. (2017a). Different doses effects of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* on cv. Syrah I. Young plants performance during growing period in organic viticulture. **2<sup>nd</sup> International Balkan Agriculture Congress**, Tekirdağ, Türkiye.
- Korkutal, I., Bahar, E., Gunes, N. (2017b). Different doses effects of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* on cv. Syrah II. Young plants properties in organic viticulture. **2<sup>nd</sup> International Balkan Agriculture Congress**, Tekirdağ, Türkiye.
- Korkutal, İ., Oçkun, M.A. (2015). Bağcılıkta metil jasmonat (MeJA), jasmonik asit (JA) ve salisilik asitin (SA) aşıda kallus oluşumu üzerine etkileri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi A.*, 27 (Özel sayı), 217-230.
- Lanfranco, L., Fiorilli, V., Gutjahr, C. (2018). Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 220(4), 1031-1046.
- Lee, E. H., Eo, J. K., Ka, K. H., Eom, A. H. (2013). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. *Mycobiology*, 41(3), 121-125.
- Lee, Z. H., Hirakawa, T., Yamaguchi, N., Ito, T. (2019). The roles of plant hormones and their interactions with regulatory genes in determining meristem activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 4065.
- Lee, A., Neuberger, P., Omokanye, A., Hernandez-Ramirez, G., Kim, K., Gorzelak, M. A. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi in oat-pea intercropping. *Scientific Reports*, 13(1), 390.
- Marasco, R., Mosqueira, M. J., Cherif, A., Daffonchio, D. (2022). Diversity and plant growth-promoting properties of microbiomes associated with plants in desert soils. *Microbiology of Hot Deserts*, 205-233.
- Marro, N., Lidoy, J., Chico, M. Á., Rial, C., García, J., Varela, R. M., ... López-Ráez, J. A. (2022). Strigolactones: New players in the nitrogen-phosphorus signalling interplay. *Plant, Cell & Environment*, 45(2), 512-527.
- Marzec, M., Melzer, M. (2018). Regulation of root development and architecture by strigolactones under optimal and nutrient deficiency conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1887.

- Mattheou, A., Karagiannidis, N., Nikolaou, N. (1994). Seasonal changes of leaf nutrient levels of grapevine over two dry years. *Agricultura Mediterranea* 124(2-3), 1871-196.
- Matusova, R., Rani, K., Verstappen, F. W., Franssen, M. C., Beale, M. H., Bouwmeester, H. J. (2005). The strigolactone germination stimulants of the plant-parasitic *Striga* and *Orobancha* spp. are derived from the carotenoid pathway. *Plant Physiology*, 139(2), 920-934.
- Meixner, C., Ludwig-Müller, J., Miersch, O., Gresshoff, P., Staehelin, C., Vierheilig, H. (2005). Lack of mycorrhizal autoregulation and phytohormonal changes in the supernodulating soybean mutant nts1007. *Planta*, 222(4), 709-715.
- Meixner, C., Vegvari, G., Ludwig-Müller, J., Gagnon, H., Steinkellner, S., Staehelin, C., ... Vierheilig, H. (2007). Two defined alleles of the LRR receptor kinase GmNARK in supernodulating soybean govern differing autoregulation of mycorrhization. *Physiologia Plantarum*, 130(2), 261-270.
- Mitra, D., Rad, K. V., Chaudhary, P., Ruparelia, J., Sagarika, M. S., Boutaj, H., ... Panneerselvam, P. (2021). Involvement of strigolactone hormone in root development, influence and interaction with mycorrhizal fungi in plant: Mini-review. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100026.
- Mosse, B. (1988). Some studies relating to "independent" growth of vesicular-arbuscular endophytes. *Canadian Journal of Botany*, 66(12), 2533-2540.
- Mosse, B., Hepper, C. (1975). Vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in root organ cultures. *Physiological plant pathology*, 5(3), 215-223.
- Moukarzel, R., Ridgway, H. J., Liu, J., Guerin-Laguette, A., Jones, E. E. (2022). AMF community diversity promotes grapevine growth parameters under high black foot disease pressure. *Journal of Fungi*, 8(3), 250.
- Nagahashi, G., Douds, D. D., Bécard, G. (1999). Recognition and communication events between arbuscular mycorrhizal fungi and host roots. *Current Topics in Plant Biology*, 1, 63-75.
- Nagahashi, G., Douds, D. D. (2000). Partial separation of root exudate components and their effects upon the growth of germinated spores of AM fungi. *Mycological Research*, 104(12), 1453-1464.
- Nagahashi, G., Douds Jr, D. D. (2003). Action spectrum for the induction of hyphal branches of an arbuscular mycorrhizal fungus: exposure sites versus branching sites. *Mycological Research*, 107(9), 1075-1082.
- Naseer, M. A., Zhang, Z. Q., Mukhtar, A., Asad, M. S., Wu, H. Y., Yang, H., Zhou, X. B. (2024). Strigolactones: A promising tool for nutrient acquisition through arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis and abiotic stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 215, 109057.
- Naz, M., Afzal, M. R., Raza, M. A., Tariq, M., Yan, M., Dai, Z., ... Du, D. (2025). The significant effects of Strigolactones on plant growth and microbe interactions: a review. *Plant Growth Regulation*, 1-21.
- Nicolás, C., Hermosa, R., Rubio, B., Mukherjee, P. K., Monte, E. (2014). Trichoderma genes in plants for stress tolerance-status and prospects. *Plant Science*, 228, 71-78.
- OIV. (2023). International Organisation of Vine and Wine Statistics. Erişim tarihi: 10.11.2023. Erişim adresi: <https://www.oiv.int/what-we-do/datadiscovery-report?oiv>
- Omoarelojie, L. O., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., Van Staden, J. (2019). Strigolactones and their crosstalk with other phytohormones. *Annals of Botany*, 124(5), 749-767.

- Özbilen, A., Sezer, F. (2022). Improving the adventitious rooting ability of hard-to-root olive (*Olea europaea* L.) cultivar cuttings through inhibiting strigolactone biosynthesis. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 3(3), 134-137.
- Özdemir, G., Akpınar, C., Sabir, A., Bilir, H., Tangolar, S., Ortas, I. (2010). Effect of inoculation with mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of grapevine genotypes (*Vitis* spp.). *European Journal of Horticultural Science*, 75, 103-110.
- Patel, D. K., Kim, H. B., Dutta, S. D., Ganguly, K., Lim, K. T. (2020). Carbon nanotubes-based nanomaterials and their agricultural and biotechnological applications. *Materials*, 13(7), 1679.
- Phillips, D. A., Tsai, S. M. (1992). Flavonoids as plant signals to rhizosphere microbes. *Mycorrhiza*, 1(2), 55-58.
- Plantgrape. (2023). Catalogue of grapevines cultivated in France. Erişim tarihi: 1 Nisan 2023. Erişim adresi: <https://plantgrape.plantnet-project.org/en/portegrefe/110%20Richter>
- Polat, M. (2025). *Strigolakton uygulamalarının asma fidan randıman ve kalitesi üzerine etkileri*, Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Polat, M.E., Keskin, N., Yağcı., A. (2023). Yeni fitohormon strigolaktonlar ve asmada (*Vitis vinifera* L.) kök mimarisini düzenlemedeki rolleri. **5. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları Kongresi**, Bakü, Azerbaycan.
- Powell, C. L. (1976). Development of mycorrhizal infection from Endogene spores and infected root fragments. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 66, 439-445.
- Rasheed, A., Barqawi, A. A., Mahmood, A., Nawaz, M., Shah, A. N., Bay, D. H., ... Qari, S. H. (2022). CRISPR/Cas9 is a powerful tool for precise genome editing of legume crops: a review. *Molecular Biology Reports*, 49(6), 5595-5609.
- Saha, I., Hasanuzzaman, M., Adak, M. K. (2021). Abscisic acid priming regulates arsenite toxicity in two contrasting rice (*Oryza sativa* L.) genotypes through differential functioning of sub1A quantitative trait loci. *Environmental Pollution*, 287, 117586.
- Sbrana, C., Giovannetti, M. (2005). Chemotropism in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Mycorrhiza*, 15(7), 539-545.
- Scervino, J. M., Ponce, M. A., Erra-Bassells, R., Vierheilig, H., Ocampo, J. A., Godeas, A. (2005a). Flavonoids exhibit fungal species and genus specific effects on the presymbiotic growth of *Gigaspora* and *Glomus*. *Mycological Research*, 109(7), 789-794.
- Scervino, J. M., Ponce, M. A., Erra-Bassells, R., Vierheilig, H., Ocampo, J. A., Godeas, A. (2005b). Flavonoids exclusively present in mycorrhizal roots of white clover exhibit a different effect on arbuscular mycorrhizal fungi than flavonoids exclusively present in non-mycorrhizal roots of white clover. *Journal of Plant Interactions*, 1(1), 15-22.
- Scervino, J. M., Ponce, M. A., Erra-Bassells, R., Bompadre, M. J., Vierheilig, H., Ocampo, J. A., Godeas, A. (2006). Glycosidation of apigenin results in a loss of its activity on different growth parameters of arbuscular mycorrhizal fungi from the genus *Glomus* and *Gigaspora*. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2919-2922.
- Schreiner, R. P. (2005). Spatial and temporal variation of roots, arbuscular mycorrhizal fungi, and plant and soil nutrients in a mature Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) vineyard in Oregon, USA. *Plant and soil*, 276(1), 219-234.

- Schreiner, R. P., Linderman, R. G. (2005). Mycorrhizal colonization in dryland vineyards of the Willamette Valley, Oregon. *Small Fruits Review*, 4(3), 41-55.
- Screpanti, C., Fonné-Pfister, R., Lumbroso, A., Rendine, S., Lachia, M., De Mesmaeker, A. (2016). Strigolactone derivatives for potential crop enhancement applications. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 26(10), 2392-2400.
- Shafi, A., Hassan, F., Khanday, F. A. (2022). Strigolactones: regulation of biosynthesis, hormonal crosstalk, and its role in abiotic stress adaptation. In Aftab, T., Naaee, M. (Ed.), *Emerging Plant Growth Regulators in Agriculture* (pp. 287-302). Academic press: Oxford, UK.
- Simon, L., Bousquet, J., Lévesque, R. C., Lalonde, M. (1993). Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*, 363(6424), 67-69.
- Smith, S. M. (2014). Q&A: What are strigolactones and why are they important to plants and soil microbes?. *BMC Biology*, 12(1), 1-7.
- Smith, S. E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press: Oxford, UK.
- Steinkellner, S., Lenzemo, V., Langer, I., Schweiger, P., Khaosaad, T., Toussaint, J. P., Vierheilig, H. (2007). Flavonoids and strigolactones in root exudates as signals in symbiotic and pathogenic plant-fungus interactions. *Molecules*, 12(7), 1290-1306.
- Tamasloukht, M. B., Séjalon-Delmas, N., Kluever, A., Jauneau, A., Roux, C., Bécard, G., Franken, P. (2003). Root factors induce mitochondrial-related gene expression and fungal respiration during the developmental switch from asymbiosis to presymbiosis in the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora rosea*. *Plant Physiology*, 131(3), 1468-1478.
- Treseder, K. K., Allen, E. B., Egerton-Warburton, L. M., Hart, M. M., Klironomos, J. N., Maherali, H., Tedersoo, L. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi as mediators of ecosystem responses to nitrogen deposition: A trait-based predictive framework. *Journal of Ecology*, 106(2), 480-489.
- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Van Tuinen, D., Adrian, M., Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1449-1467.
- Tsai, S. M., Phillips, D. A. (1991). Flavonoids released naturally from alfalfa promote development of symbiotic *Glomus* spores in vitro. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(5), 1485-1488.
- TÜİK. (2023). Türkiye İstatistik Kurumu. Erişim tarihi: 19.09.2023. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=BitkiselUretim-Istatistikleri-2022-45504>.
- Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Akiyama, K., Arite, T., Takeda-Kamiya, N., ... Yamaguchi, S. (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature*, 455(7210), 195-200.
- Vierheilig, H., Coughlan, A. P., Wyss, U. R. S., Piché, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12), 5004-5007.
- Vierheilig, H., Bennett, R., Kiddle, G., Kaldorf, M., Ludwig-Müller, J. (2000a). Differences in glucosinolate patterns and arbuscular mycorrhizal status of glucosinolate-containing plant species. *New Phytologist*, 146(2), 343-352.
- Vierheilig, H., Garcia-Garrido, J. M., Wyss, U., Piché, Y. (2000b). Systemic suppression of mycorrhizal colonization of barley roots already colonized by AM fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(5), 589-595.

- Vierheilig, H. (2004). Regulatory mechanisms during the plant arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1166-1176.
- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Sun, Y. (2020). Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*, 254, 126791.
- Westwood, J.H. (2000). Characterization of the Orobanche-Arabidopsis system for studying parasite-host interactions. *Weed Science*, 48,742-748.
- Xu, Y., Wang, J., Wang, R., Wang, L., Zhang, C., Xu, W., ... Jiu, S.(2021). The role of strigolactones in the regulation of root system architecture in grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to root restriction cultivation. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8799.
- Yoneyama, K. (2019). How do strigolactones ameliorate nutrient deficiencies in plants?. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 11(8), a034686.
- Yoneyama, K., Brewer, P. B. (2021). Strigolactones, how are they synthesized to regulate plant growth and development?. *Current Opinion in Plant Biology*, 63, 102072.
- Yoneyama, K., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., Sekimoto, H. (2007). Phosphorus deficiency in red clover promotes exudation of orobanchol, the signal for mycorrhizal symbionts and germination stimulant for root parasites. *Planta*, 225(4), 1031-1038.
- Yu, W., Sun, Q., Xu, H., Zhou, X. (2025). Integrating transcriptomics and metabolomics to comprehensively analyze phytohormone regulatory mechanisms in *Rhododendron Chrysanthum* pall. Under UV-B radiation. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(4), 1545.
- Zhong, L., Lin, L., Yang, L., Liao, M. A., Wang, X., Wang, J., ... Tang, Y. (2020). Exogenous melatonin promotes growth and sucrose metabolism of grape seedlings. *PLoS One*, 15(4), e0232033.

## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Erdal ÖZTÜNÇ

### Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite : Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Fakülte : Ziraat Fakültesi

Bölüm : Tarla Bitkileri

Mezuniyet Yılı : 2019

### Akademik Yayınlar

Öztünç, E., Keskin, N., Yağcı., A. (2024). Strigolakton ve mikoriza uygulamalarının 110R/Narince aşı kombinasyonundaki fidanların azot klorofil flavonol ve antosiyanin içerikleri üzerine etkisi. **International Conference On Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-VIII**, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri.



**VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih 17/08/2025

Tez Başlığı: Strigolakton ve Mikoriza Uygulamalarının 110R/Narince Aşı Kombinasyonundaki Asma Fidanlarının Gelişimi ile Besin Elementi Alımına Etkileri

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 52 (elli iki) sayfalık kısmına ilişkin, 17/08/2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezin benzerlik oranı %5 (yüzde beş) tir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza  
17.08.2025

Adı Soyadı: Erdal ÖZTÜNÇ

Öğrenci No:

Anabilim Dalı: Bahçe Bitkileri

Programı: Bağ Yetiştiriciliği ve Islahı

Statüsü: (X) Yüksek lisans ( ) Doktora

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Nurhan KESKİN  
UYGUNDUR

**ENSTİTÜ ONAYI**

Doç. Dr. Adnan ÇETİN  
UYGUNDUR