



Domateste *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*'ye Karşı *Trichoderma* Türleriyle Tohum Uygulamasının Etkisi

Araştırma Makalesi/Research Article

Auf İçin: Çağlar S., Altınok H. H., Yüceer S. (2025). Domateste *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*'ye Karşı *Trichoderma* Türleriyle Tohum Uygulamasının Etkisi, Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 8(2): 1-13

To Cite: : Çağlar S., Altınok H. H., Yüceer S. (2025). The Effect of Seed Treatment with *Trichoderma* Species Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in Tomato, Journal of Erciyes Agriculture and Animal Science, 8(2):1-13

Süleyman ÇAĞLAR¹, Hacer Handan ALTINOK^{1*}, Semiha YÜCEER²

¹ Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü 38039, Kayseri, TÜRKİYE

² Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü 31321 Adana, Türkiye

*sorumlu yazar: ahandan@gmail.com

Süleyman ÇAĞLAR <https://orcid.org/0009-0005-7873-3647>, Hacer Handan ALTINOK <http://orcid.org/0000-0002-4267-1107>, Semiha YÜCEER <https://orcid.org/0000-0002-6780-7162>

Yayın Bilgisi

Geliş Tarihi: 16.06.2025

Revizyon Tarihi: 28.08.2025

Kabul Tarihi: 19.08.2025

DOI:10.55257/ethabd.1717686

Anahtar Kelimeler

Domates, FORL, Trichoderma harzianum, Antibiyozis, Biyokontrol ajanı

Keywords

Tomato, FORL, Trichoderma harzianum, Antibiosis, Biocontrol agent

Özet

Bu çalışmada, yerel rizosferik *Trichoderma harzianum* izolatlarının, domates rizosfer bölgesinde kök ve kök boğazı çürüklük hastalık etmeni olan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) etmenine karşı etkinliği araştırılmıştır. In vitro ikili kültür testleri, 36 T. harzianum ve bir adet *Trichoderma virens* izolatının FORL patojenine karşı etkilerinin büyük ölçüde antibiyozis mekanizmasına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. T. harzianum izolatları FORL miseliyal gelişimini %35,34-%72,56 oranlarında sınırlandırmıştır. Antibiyozis etki gösteren iki izolat T. harzianum (T23) ve T. harzianum (DybT10-6) sırasıyla %72,56 ve %58,75 inhibisyon oranları ile patojenin miseliyal gelişimini engellediği saptanmıştır. T. harzianum izolatlarının domates tohum çimlenmesini teşvik etme potansiyelleri değerlendirildiğinde, radikula ve hipokotil uzunlukları bakımından kontrol grubuna göre en yüksek etkiyi sırasıyla T23 ve KrmT1 T. harzianum izolatlarının gösterdiği belirlenmiştir. Tohum çimlenme indeksi açısından yapılan değerlendirmede, en yüksek indeks değeri (7493) T. harzianum (T23) izolatında tespit edilmiştir. Krm/T1 ve Urf/T8 T. harzianum izolatları, FORL konidi çimlenmesini %85,00 oranında engellemiştir. Saksı denemelerinde, T. harzianum izolatlarının kontrol grubuna kıyasla bitki gelişimini desteklediği ve hastalık oranını düşürdüğü belirlenmiştir. Bitki uzunluğu, kök gelişimi, bitki ağırlığı ve hastalık belirtileri açısından yapılan değerlendirmelerde, en yüksek başarı sırasıyla T23, KrmT1 ve KnyT1-2 T. harzianum izolatlarından elde edilmiştir.

The Effect of Seed Treatment with *Trichoderma* Species Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in Tomato

Abstract

This study aimed to evaluate the biocontrol potential of local rhizospheric *Trichoderma harzianum* isolates against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL), the causal agent of root and crown rot disease in tomato. In vitro dual culture assays revealed that the antagonistic activity of 36 T. harzianum and one T. virens isolate against FORL was predominantly attributed to antibiosis mechanisms. The T. harzianum isolates inhibited FORL mycelial growth at rates ranging from 35.34% to 72.56%. Two isolates exhibiting antibiosis, T. harzianum (T23) and T. harzianum DybT10-6, were found to inhibit the mycelial growth of the pathogen by 72.56% and 58.75%, respectively. Assessment of the effects of some *Trichoderma* isolates on tomato seed germination revealed that T. harzianum isolates T/23 and Krm/T1 demonstrated the most significant enhancement in radicle and hypocotyl elongation compared to the untreated control. Furthermore, evaluation of the seed germination index revealed that the T. harzianum (T/23) isolate achieved the highest index value (7493) among all tested isolates. Isolates Krm/T1 and Urf/T8 were notably effective in suppressing FORL conidial germination, achieving inhibition rates of approximately 85.00%. In pot experiments, T. harzianum isolates were found to promote plant growth and reduce disease incidence compared to the control group. Based on parameters such as plant height, root development, biomass accumulation, and symptom suppression, T. harzianum isolates T23, Krm/T1, and Kny/T1-2 were identified as the most effective candidates for biological control of FORL in tomato cultivation.

1. GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), yüksek besin değeri ve gıda sektöründe çok çeşitli kullanım alanları ile dünya çapında yaygın olarak tüketilen bir sebze türüdür. Ülkemiz, uygun iklimi ve verimli toprak yapısıyla tarımsal üretim ve ihracatta dünya genelinde önde gelen ülkeler arasında olup, yıllık yaklaşık 13 milyon tonluk domates üretimiyle dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2024). Domates, ülkemizde hem açık tarla koşullarında hem de örtü altı üretimde önemli bir kültür bitkisidir. Domates bitkisinde *Fusarium solgunluğu*, kök ve kök boğazı çürüklüğü, verim ve kalite kayıplarına sebep olan tohum ve toprak kökenli hastalıklardır (Can ve ark., 2004; Çolak ve Bıçıcı, 2013; Mutlu ve ark., 2025; Mutlu ve Üstüner, 2017; Altınok ve Kameroğlu, 2025). *Fusarium oxysporum* tür kompleksi (FOSC), belirli konukçulara adapte olmuş patojenik formları, “özel formlar” ya da “formae speciales (f. sp.)” adı verilen gruplar halinde sınıflandırılmaktadır (Nelson ve ark., 1981; Kistler, 1997; Leslie ve Summerell, 2006). *Fusarium solgunluk* etmeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W. C. Snyder & H. N. Hans (FOL) ve kök-kök boğazı çürüklüğü etmeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Jarvis & Shoemaker (FORL), mikrokonidi, makrokonidi ve klamidospore formunda üç farklı eşeysiz spor oluşturmaktadır. FOL, ksilemde renk değişimi ve genel solgunluk ile karakterize edilirken, FORL enfeksiyonu, erken dönemde bodurlaşma ve sararma; ileri evrelerde ise kök çürümesi, solma, ölüm, kök boğazında incelleme ve karama, vasküler dokuda kahverengileşme ve pembe-beyaz miselyum gelişimi gibi tipik semptomlar sergilemektedir (Jarvis, 1988; Can ve ark., 2004; Çolak ve Bıçıcı, 2013; Altınok ve ark., 2023). FORL, ülkemizde ilk kez Can ve ark. (2004) tarafından rapor edilmiş olup, son yıllarda domatesin en tahripkar hastalıklarından biri olarak kabul edilmektedir (Katan ve ark., 1997; Can ve ark., 2004; Orhan ve Bıçıcı, 2012; Erol, 2007; Kabaş ve ark., 2012; Szczechura ve ark., 2013; Akbulut, 2014; Altınok ve ark., 2023). FORL etmeninin neden olduğu hastalığa karşı tam dayanıklılık gösteren ticari domates çeşitleri henüz bulunmamaktadır. Ayrıca, bu etmenin ırkları ile ilgili olarak günümüzde henüz herhangi bir ırk sınıflandırması rapor edilmemiştir. Bununla birlikte, hastalığa karşı belirli düzeyde dayanıklılık gösteren bazı domates hatları literatürde bildirilmiştir (Jones ve ark., 1991; Pınar ve ark., 2013).

Son yıllarda, özellikle sıcak iklimin hâkim olduğu Akdeniz Bölgesi örtü altı domates yetiştiriciliğinde, üreticilerden gelen şikayetler ve arazi gözlemlerimiz, *Fusarium solgunluk* hastalığına kıyasla FORL etmeninin daha ciddi verim kayıplarına neden olduğunu ortaya koymaktadır (Altınok ve ark., 2018). Bu çalışmada, yerel *Trichoderma* izolatlarının domateste FORL’a karşı *in vitro* ve saksı koşullarındaki etkinlikleri değerlendirilmiş; hastalığın biyolojik mücadelesinde kullanılabilecek potansiyel biyopreparat ve biyo-gübrelerin geliştirilmesine

yönelik uygun *Trichoderma* izolatlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. İkili Kültür Tekniği

T. harzianum'a ait T16 ve T23 izolatları ile FORL hastalık etmeni Erciyes Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Fitopatoloji Anabilim Dalı, Mikoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan *Trichoderma* izolatları ise, Erciyes Üniversitesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji Laboratuvarı'nda yürütülen TÜBİTAK 1210537 numaralı proje kapsamında izole edilmiştir. Fungal organizmalar, lam-lamel sandviç yöntemi (slide culture) ile hazırlanarak, lactophenol cotton blue boya (Difco, USA) ile boyanmış ve mikroskop altında incelenmiştir. *Trichoderma* izolatlarının morfolojik tanısı Prof. Dr. H. Handan ALTINOK tarafından yapılmıştır. *Trichoderma* izolatlarının moleküler teşhisi, genomik DNA'dan elde edilen örnekler üzerinde Internal Transcribed Spacer (ITS) bölgesinin evrensel primerler (ITS1 ve ITS4) kullanılarak Polimeraz Zincir Reaksiyonları (PZR) ile çoğaltılması ve elde edilen PCR ürünlerinin dizilenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Nükleer ribozomal ITS bölgesi, ITS5 ve ITS4 primer çifti (White ve ark. 1990) kullanılarak amplifiye edilmiştir. PCR döngü parametreleri, 25 µl reaksiyon hacmi için 94°C'de 2 dakika başlangıç denatürasyonu ile başlamış; bunu takiben 30 döngü boyunca 93°C'de 30 saniye denatürasyon, 53°C'de 2 dakika bağlanma ve 72°C'de 2 dakika uzama adımları uygulanmıştır. Reaksiyon, 72°C'de 10 dakikalık final uzatma ile tamamlanmıştır (White et al. 1990; Altınok ve ark., 2018). Elde edilen diziler, NCBI GenBank veri tabanı ile karşılaştırılarak tür düzeyinde teşhis yapılmıştır. *Trichoderma* izolatlarının NCBI tarafından erişim numaraları alınmıştır.

Trichoderma izolatları ve FORL, PDA ortamında 9 cm'lik Petri kaplarına inokülasyonu yapılarak 24°C'de karanlıkta bir hafta inkübe edilmiştir. Kültürlerden alınan 5 mm'lik diskler, Petri kaplarının kenarından aralarında 3 cm olacak ve karşılıklı gelecek şekilde PDA ortamına ters şekilde inokule edilmiş ve denemeler 5 tekrarlı olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre sürdürülmüştür. Kontrol grubunda *Trichoderma* yerine steril agar disk kullanılmış, 3. ve 6. günlerde miseliyal gelişim mm cinsinden kaydedilmiştir. Elde edilen verilere one way ANOVA ile varyans analizi uygulanarak Tukey's HSD testi ($p \leq 0,05$) ile uygulamalar arasındaki fark karşılaştırılmıştır (SPSS (versiyon 20.0)). Ayrıca, patojenin gelişiminin engellenme düzeyini belirlemek amacıyla Abbott formülüne göre % inhibisyon oranı hesaplanmıştır. (Kredics ve ark., 2003; Aydın, 2015; Altınok ve Erdoğan, 2015). Hesaplama eşitlikte verilen formül kullanılarak yapılmıştır:

$$\% \text{ inhibisyon} = (R-r)/R \times 100$$

R, kontrol grubunda ölçülen misel gelişim çapını, r ise uygulama grubunda ölçülen misel gelişim çapı

2.2. Tohum Çimlendirme Testi

Domates tohumları (*Solanum lycopersicum* var. H-2274), %2 NaOCl ile yüzey dezenfekte edildikten sonra *Trichoderma* izolatlarını içeren 1×10^8 spor ml^{-1} yoğunluktaki süspansiyonla inokule edilmiştir. Kurutulan tohumlar, 9 cm'lik Petri kaplarında %1 su agarı ekilerek $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 6 gün inkübe edilmiştir. Kontrol grubu ise sadece dezenfekte edilip inokulasyon yapılmadan ekilmiştir. Çimlenme sonrası radikula ve hipokotil uzunlukları ölçülmüş, çimlenen tohumların oranı (%) ve tohum vigor canlılık indeksi hesaplanmıştır (Karimi ve Altınok, 2019). Elde edilen veriler, SPSS programında Tukey's HSD testi ile ($p \leq 0,05$) analiz edilmiştir.

Çimlenme Oran (%) = (Çimlenmiş Tohum Sayısı) / (Tüm Tohum Sayısı) x 100

Tohum Canlılık İndeksi= Fide Uzunluğu (mm) x Çimlenme Oran (%)

Çimlenme Hızı: Günde Çimlenmiş Tohum Sayısı / Ektikten Sonra Geçmiş Gün Sayısı

2.3. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) Miseliyal Gelişiminde *Trichoderma* Kültür Filtratlarının Etkinliği

Trichoderma izolatlarından 5 mm çapında alınan üç adet miseliyal disk, 100 ml steril patates dektroz (PD) içeren erlenlere inokule edilerek $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 100 rpm'de 14 gün süreyle çalkalayıcıda inkübe edilmiştir. Kontrol erlenlerine ise steril PDA diskleri eklenmiştir. Kültürler 0.2 μm membran filtreden geçirilerek steril hale getirilmiş ve elde edilen filtratlar, erimiş PDA ortamına %10 (v/v) oranında eklenerek Petri kaplarına aktarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan PDA ortamının merkezine FORL izolatının 5 mm çapında diski yerleştirilmiş ve $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 7 gün süreyle inkübe edilmiştir (Altınok ve Erdoğan, 2015). Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre her *Trichoderma* izolatı için 10 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Patojenin miseliyal gelişimi ölçülerek, % inhibisyon oranları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, tek yönlü varyans analizi (SPSS-ANOVA) ve anlamlı farklılıkların belirlenmesinde Tukey's HSD testi ($p \leq 0,05$) kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2.4. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) Konidi Çimlenmesi Üzerinde *Trichoderma* Kültür Filtratlarının Etkinliği

Trichoderma izolatlarının kültür filtratları (50 μl) steril edilmiş lam üzerine damlatılmıştır. Kontrol grubu lamlarına ise aynı miktarda steril distile su eklenmiştir. Ekstraktlar $36 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de tamamen buharlaştırıldıktan sonra, lamlar kürdan desteğiyle

Petri kaplarına yerleştirilmiş ve ekstraktın buharlaştığı bölgeye FORL spor süspansiyonundan (1×10^6 konidi ml^{-1}) 50 μl damlatılmıştır. Hazırlanan lamlar $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 9 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda, çimlenen konidilerin çim tüpü uzunlukları stereo mikroskopta 3 farklı görüş alanında toplam 15 çim boru uzunluğu ölçülerek, kaydedilmiştir (Tronsmo ve Dennis, 1978; Altınok ve Erdoğan, 2015).

2.5. Hifsel İnteraksiyonlar (Slide Culture Metod)

Steril lamlar Petri kaplarına yerleştirilerek üzerlerine ince bir film tabakası oluşturacak şekilde steril PDA yayılmıştır. FORL ve *Trichoderma* izolatlarının taze kültürlerinden alınan 5 mm çapındaki diskler, lam üzerindeki PDA tabakasına 3 cm aralıkla karşılıklı yerleştirilmiş ve lamların nemli kalması için üzerine 1-3 ml steril distile su damlatılmıştır. Petri kapları $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 6-7 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda *Trichoderma* ve FORL hiflerinin etkileşim bölgeleri stereo mikroskopta incelenmiş; *Trichoderma* izolatlarının patojen hiflerine sarılma, lizis, boğma ve ayrıştırma gibi antagonist etkilere yetenekleri değerlendirilmiştir (Dennis ve Webster, 1971; Altınok ve Erdoğan, 2015).

2.6. *Trichoderma* İzolatlarının Domateste FORL Hastalık Etmeninin Gelişimine Etkileri

Denemede, *S. lycopersicum* var. H-2274 domates tohumları kullanılmıştır. Tohumlar %2 NaOCl çözeltisinde 3 dakika bekletilerek yüzey dezenfekte edilmiş, ardından iki kez steril distile suda durulanıp oda sıcaklığında steril koşullarda kurutulmuştur. *Trichoderma* spor süspansiyonu (1×10^8 hücre ml^{-1}) tohumlara damlama yöntemiyle uygulanmış, tekrar kurutulan tohumlar steril toprak-kum-torf (1:2:1) karışımı içeren plastik saksılara ekilmiştir. Kotiledon yapraklı dönemde fideler, aynı karışımı içeren 13 cm çaplı saksılara şaşırtılmış ve her saksıya iki fide yerleştirilmiştir. Fidelere 4-6 gerçek yapraklı dönemde, 1×10^6 konidi ml^{-1} yoğunluğundaki FORL patojeni kök daldırma yöntemiyle uygulanmıştır. Pozitif kontrolde *Trichoderma* uygulanmaksızın FORL inokulasyonu yapılmış, negatif kontrolde ise sadece distile su kullanılmıştır. Deneme, her saksıda iki fide olacak şekilde tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlı kurulmuştur (Altınok ve ark., 2023). Fidler, 8 saat karanlık, 16 saat aydınlık fotoperiyotta, gündüz $26 \pm 2^\circ\text{C}$, gece $22 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %80 bağıl nem koşullarında iklim odasında yetiştirilmiştir. Hastalık belirtileri, inokulasyondan sonra 7, 14 ve 21. günlerde değerlendirilmiş; fide boyu (mm) ve toprak üstü kuru ağırlık (g) ölçülmüştür. Yüzde hastalık şiddeti Townsend-Heuberger formülüyle, uygulamaların etki yüzdesi ise Abbott formülüyle hesaplanmıştır. Veriler tek yönlü varyans

analizi (SPSS-ANOVA) ve Tukey's HSD testi ($p \leq 0,05$) ile değerlendirilmiştir.

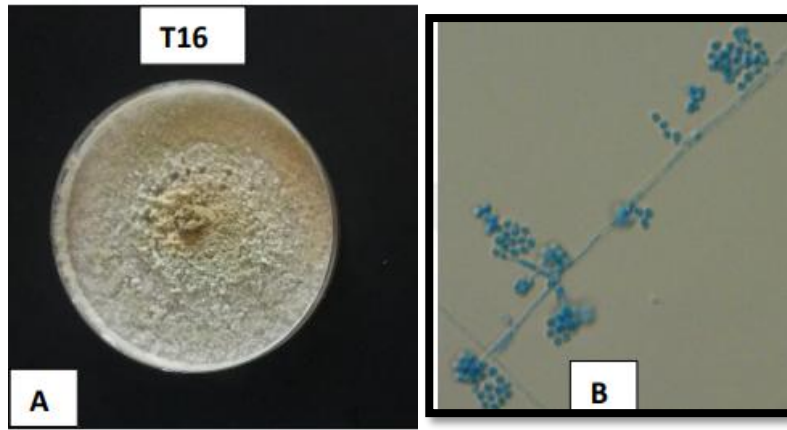
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İkili Kültür Testi

Morfolojik ve moleküler teşhis sonuçlarına göre *Trichoderma* izolatlarından yalnızca KnyT3-1 izolatı *T. virens*, diğer izolatlar ise *T. harzianum* olarak tanımlanmıştır. *Trichoderma* izolatlarına ait GenBank erişim numaraları Çizelge 1'de sunulmuş, *T. harzianum* (T16) izolatının kültür morfolojisi ise Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. *Trichoderma harzianum* izolatlarının GenBank erişim numaraları

<i>T. virens</i>	GenBank Erişim Numarası
KnyT3-1	PQ676322
<i>T. harzianum</i>	
KrmT1	PQ676317
Krm T2-1	PQ676318
DybT10-6	PQ676319
DybT9-1	PQ676320
KnyT1-1	PQ676321
DybT1-2-2	PQ676323
KnyT3-3	PQ676324



Şekil 1. *Trichoderma harzianum* (T16) koloni gelişimi (A) ve hif, fialid ve spor yapıları (B)

Trichoderma izolatlarının FORL'un koloni gelişimine etkileri in vitro koşullarda ikili kültür tekniğiyle araştırılmıştır (Şekil 2). Genel olarak *Trichoderma* izolatları, FORL'un miselyum gelişimini %72,56 ile %35,34 arasında değişen inhibisyon oranlarıyla engellemiştir. *T. harzianum* (T23) izolatı, FORL koloni gelişimini %72,56 oranında inhibe ederek en fazla antagonistik etkisi olan izolat olarak

belirlenmiştir. Diyarbakır'dan elde edilen DybT10-6 ve DybT2-1.1 ile T16 *T. harzianum* izolatları ve Konya kökenli *T. virens* KnyT3-1 izolatı, %55,00 ve %60,00 aralığında inhibisyon oranlarıyla ikinci derecede etkili izolatlar olarak öne çıkmıştır. *T. harzianum* izolatlarının FORL'un miseliyal gelişimine etkileri Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. *Trichoderma* izolatlarının FORL miseliyal gelişimi üzerine etkisi (Soldan sağa: DybT1-3, DybT2-1, DybT10-6, DybT1-2 (üst sıra), DybT1-2.2, DybT2-1.1, KnyT1 ve Kontrol (alt sıra))

Çizelge 2. *Trichoderma harzianum* izolatlarının *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) miseliyal gelişimine etkisi

<i>Trichoderma</i> İzolatları	İnhibisyon (%)	FORL Koloni Çapı (mm)
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T1-3	51,78	34,40 ± 1,5 cd*
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T1-2	50,00	36,00 ± 1,6 cd
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T1-2.2	54,00	32,40 ± 1,8 c
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T1-2k	51,34	34,80 ± 1,7 cd
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T2-1.1	55,00	31,50 ± 0,6 c
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T2-1	47,78	38,00 ± 1,3 d
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T2-1.2	45,89	39,70 ± 1,8 de
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T3-2.2	35,34	49,20 ± 1,4 e
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T3-2	36,34	48,30 ± 1,8 e
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T10-5	54,34	32,70 ± 1,8 c
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T9-1	48,38	37,50 ± 1,7 d
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T10-7	44,78	40,70 ± 1,1 cd
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T10-6	58,78	28,10 ± 2,8 bc
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T10-8	46,00	39,60 ± 0,7 de
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T10-8	46,00	39,60 ± 0,7 de
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T11	47,78	38,00 ± 1,2 d
<i>T. harzianum</i> -Dyb/T11-k	45,34	40,20 ± 1,6 de
<i>T. harzianum</i> -Urf/T1-2	53,34	33,00 ± 1,0 c
<i>T. harzianum</i> -Urf/T1-1	52,12	34,10 ± 1,7 cd
<i>T. harzianum</i> -Urf/T1-b	50,34	35,70 ± 0,6 d
<i>T. harzianum</i> -Urf/T1-a	53,23	33,10 ± 1,6 c
<i>T. harzianum</i> -Urf/T4	38,23	46,60 ± 1,6 e
<i>T. harzianum</i> -Urf/T2	50,78	35,30 ± 1,0 cd
<i>T. harzianum</i> -Urf/T8-1	46,78	38,90 ± 2,0 de
<i>T. harzianum</i> -Urf/T8	48,78	37,10 ± 0,8 d
<i>T. harzianum</i> -Urf/T11	46,89	38,80 ± 2,3 de
<i>T. harzianum</i> -Urf/T8-2	51,45	34,70 ± 0,8 cd
<i>T. harzianum</i> -Kny/T1-1	51,67	34,50 ± 1,7 cd
<i>T. harzianum</i> -Kny/T1	51,89	34,30 ± 0,8 cd
<i>T. harzianum</i> -Kny/T3-2	43,34	42,00 ± 1,0 e
<i>T. virens</i> -Kny/T3-1	55,00	31,50 ± 1,5 bc

<i>T. harzianum</i> -Krm/T1	43,12	42,20 ± 0,9	e
<i>T. harzianum</i> -Kny/T3-3	47,67	38,10 ± 2,3	de
<i>T. harzianum</i> -Krm/T2-3	44,45	41,00 ± 0,8	e
<i>T. harzianum</i> -Krm/T2-1	50,67	35,40 ± 1,2	cd
<i>T. harzianum</i> -T/23	72,56	15,70 ± 1,8	a
<i>T. harzianum</i> -T/16	55,55	31,00 ± 1,1	bc
Kontrol	-	88,00 ± 0,0	

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir (p≤0,05).

3.2. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) konidi çimlenmesi üzerine *Trichoderma* Kültür Filtratlarının Etkinliği

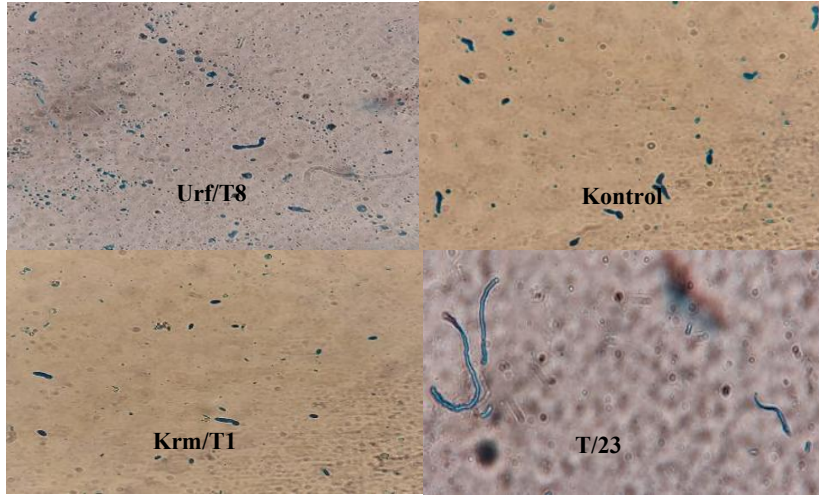
Mikroskopta çim tüpü ölçüm sonuçlarına göre, Şanlıurfa kökenli *T. harzianum* Urf/T8 izolatu 8,12 µm ve Karaman kökenli *T. harzianum* Krm/T1 izolatu 8,19

µm'lik ortalama çim tüpü uzunlukları ile FORL konidi çimlenmesini en yüksek oranda baskılayan izolatlar olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Diğer *Trichoderma* izolatları da kontrol grubuna kıyasla ortalama %70,00 oranında konidi çimlenmesini engelleyerek önemli düzeyde biyolojik aktivite göstermiştir. Tüm izolatların çim tüpü uzunluğu üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) etmeninin çim tüpü uzunlukları

<i>Trichoderma</i> İzolatları	FORL çim tüpü uzunluğu (µm)
<i>T. harzianum</i> -DybT1-2	10,20 ± 1,20 ab*
<i>T. harzianum</i> -DybT3-2.2	19,60 ± 1,90 cd
<i>T. harzianum</i> -DybT9-1	12,60 ± 1,20 b
<i>T. harzianum</i> -DybT10-8	14,0 ± 2,40 c
<i>T. harzianum</i> -DybT11-k	21,20 ± 3,00 cd
<i>T. harzianum</i> -UrfT8	08,10 ± 0,90 a
<i>T. harzianum</i> -UrfT11	15,70 ± 2,4 bc
<i>T. harzianum</i> -KrmT1	08,10 ± 0,60 a
<i>T. harzianum</i> -KrmT2-1	19,30 ± 0,90 cd
<i>T. harzianum</i> -KnyT1-2	19,10 ± 3,40 cd
<i>T. virens</i> -KnyT3-1	13,50 ± 1,50 bc
<i>T. harzianum</i> -KnyT3-3	19,20 ± 3,80 cd
<i>T. harzianum</i> -T16	15,50 ± 1,80 bc
<i>T. harzianum</i> -T23	13,60 ± 1,30 b
Kontrol	53,50 ± 1,50 -

*Aynı sütun içindeki ayrı küçük harfler istatistik farklılıkları göstermektedir (p≤0,05).

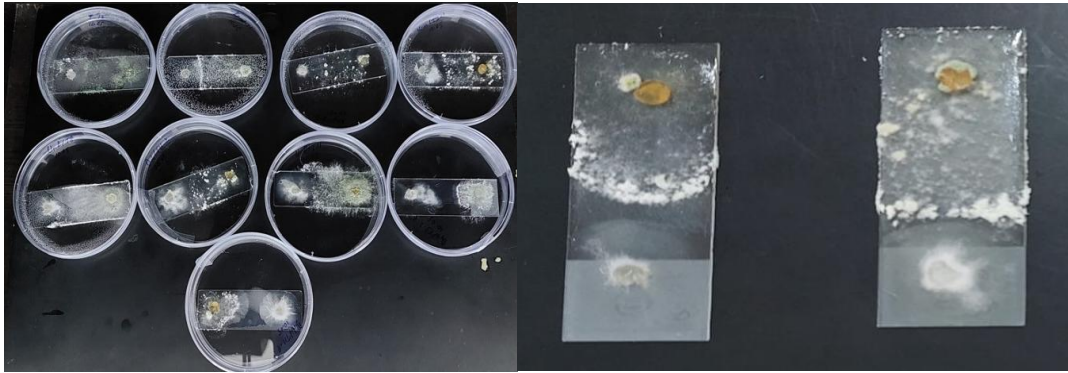


Şekil 3. Krm/T1, T-23 ve Urf/T8 kodlu *Trichoderma* izolatlarının FORL çim tüpü uzunluğuna etkileri, Kontrol (sağ-üst)

3.3. Hifsel İnteraksiyonlar

Trichoderma izolatları ile FORL arasındaki etkileşimler mikroskopik olarak incelendiğinde; hiflerin karşılıklı penetrasyonu, kaynaşması ya da birbiri üzerinde gelişmesi gibi hiperparazitik bir etkiye dair herhangi bir fiziksel temas belirtilerine rastlanmamıştır. FORL hiflerinde, test edilen *Trichoderma* izolatlarıyla etkileşim sonucunda; hiflerin parçalanması, ozmotik bozulmalar, hücre içeriğinin dış ortama sızması, organel dejenerasyonu

ya da hif yapısının erimesi gibi hiperparazitizmi düşündürecek herhangi bir yapısal bozulma da gözlemlenmemiştir. *Trichoderma*-patojen etkileşiminde her iki izolat arasında gözlemlenen inhibisyon zonu oluşumu dikkat çekmiştir (Şekil 4). Bu bulgu, *Trichoderma* izolatlarının FORL üzerindeki baskılayıcı etkisini doğrudan temas yoluyla değil, salgıladıkları antibiyotik bileşikler aracılığıyla gerçekleştirdiğini, yani etkinin antibiyozis mekanizmasına dayandığını göstermektedir.



Şekil 4. *Trichoderma* izolatları ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicle-lycopersici* (FORL) etmeni arasındaki hifsel interaksiyonlar

3.4. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicle-lycopersici* (FORL) Miseliyal Gelişiminde *Trichoderma* Kültür Filtratlarının Etkinliği

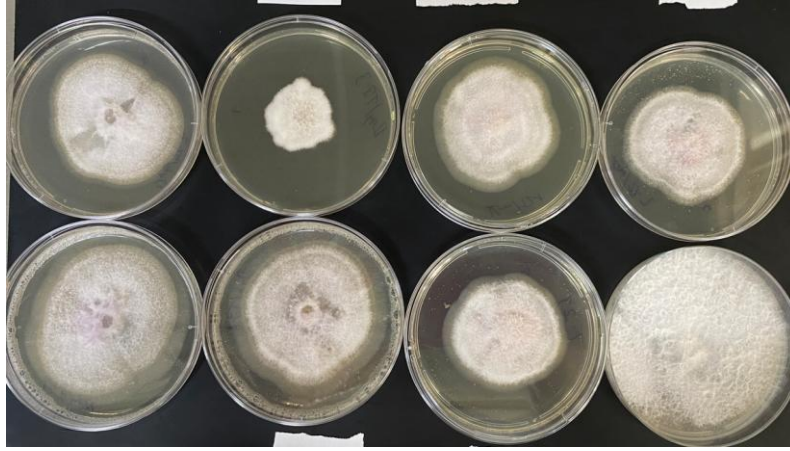
Trichoderma kültür filtratlarının FORL'un miseliyal gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada yer alan tüm *Trichoderma* izolatlarının kültür filtratları, FORL miseliyal gelişimini %2,30 – %45,70 arasında değişen oranlarda inhibe etmiştir. Konya kökenli *T. harzianum* Kny/T3-3 izolatı %45,70

ve T16 (*T. harzianum*) izolatı %41,75 inhibisyon oranıyla FORL miseliyal gelişimini en yüksek oranda baskılayan iki izolat olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Edinilen bulgular Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) Miseliyal Gelişimine *Trichoderma* Kültür Filtratlarının Etkileri

<i>Trichoderma</i> İzolatları	% inhibisyon oranı	FORL çapı (mm)
<i>T. harzianum</i> -T23	25,30	46,60 ± 2,10 bc
<i>T. harzianum</i> -T16	41,80	33,00 ± 2,50 ab
<i>T. harzianum</i> -KnyT3-3	45,70	29,70 ± 1,60 a
<i>T. virens</i> -KnyT3-1	27,40	44,80 ± 1,80 bc
<i>T. harzianum</i> -KnyT1-2	23,50	47,90 ± 1,60 c
<i>T. harzianum</i> -KrmT2-1	16,60	53,60 ± 1,30 c
<i>T. harzianum</i> -KrmT1	21,00	50,00 ± 1,20 c
<i>T. harzianum</i> -UrfT11	7,60	61,00 ± 2,10 d
<i>T. harzianum</i> -UrfT8	28,00	44,30 ± 2,10 bc
<i>T. harzianum</i> -DybT11-k	31,50	43,40 ± 1,10 b
<i>T. harzianum</i> -DybT10-8	7,40	61,20 ± 1,20 d
<i>T. harzianum</i> -DybT9-1	2,30	66,20 ± 1,60 d
<i>T. harzianum</i> -DybT3-2.2	5,20	63,00 ± 1,60 d
<i>T. harzianum</i> -DybT1-2	13,70	56,10 ± 1,30 d*
Kontrol	-	82,00 ± 0,80 -

*Aynı sütun içindeki ayrı küçük harfler istatistik farklılıkları göstermektedir (p≤0,05).



Şekil 5. *Trichoderma* ekstraktlarının *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) miseliyal gelişimine etkisi (Kontrol alt sıra, sağda)

3.5. Tohum Çimlendirme Denemeleri

Trichoderma izolatlarının domates tohumları üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla çimlenme testi gerçekleştirilmiştir. Tohum çimlenme yüzdesi, tohum canlılık indeksi, radikula boy uzunluğu ile radikula+hipokotil uzunluğu gibi morfolojik parametreler değerlendirilmiştir (Şekil 6).

Analizlerde tohumlarda radikula ve hipokotil boylarının ortalamalar arasında farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.05$; $F=1,14$) (Çizelge 5). Radikula uzunluğu bakımından en yüksek değer, *T. harzianum* T23 izolatu uygulanan tohumlarda 37,8 mm, KrmT1 izolatu uygulanan tohumlarda 37 mm ve kontrol grubunda 33 mm olarak saptanmıştır (Şekil 6). Hipokotil uzunluğu ise en fazla T23 uygulamasında 71,24 mm, KrmT1 uygulamasında 69,66 mm ve kontrol grubunda 67,69 mm olarak belirlenmiştir. En

düşük hipokotil uzunluğu ise 12,91 mm ile *T. harzianum* DybT3-2.2 izolatu uygulanan tohumlarda gözlenmiştir. Tohum canlılık indeksi açısından ise en yüksek değer 7593,33 ile KrmT1 izolatu uygulanan

tohumlarda gözlemlenirken, bunu 7493,33 ile T23 izolatu ve 6973,33 ile kontrol grubu izlemiştir. En düşük canlılık indeksi 1310,00 değeriyle DybT3-2.2 izolatında belirlenmiştir.

Çizelge 5. *Trichoderma* inokule edilen tohumlarda radikula-hipokotil uzunluğu, çimlenme oranı ve tohum canlılık indeksi

<i>Trichoderma</i> İzolatları	Hipokotil (mm)	Radikula (mm)	Tohum Vigor Canlılık İndeksi	Çimlenme oranı (%)
<i>T. harzianum</i> -DybT9-1	246 d	218 d	4646 d	100
<i>T. harzianum</i> -T23	371 a	378 a	7493 a	100
<i>T. harzianum</i> -T16	180 e	153 ef	3343 f	100
<i>T. harzianum</i> -KrmT2-3	171 e	196 de	3673 f	100
<i>T. harzianum</i> -KrmT2-1	324 b	305 bc	6300 b	100
<i>T. harzianum</i> -KrmT1	386 a	373 a	7593 a	100
<i>T. harzianum</i> -KnyT3-3	292 bc	283 c	5753 b	100
<i>T. harzianum</i> -KnyT3-2	289 c	272 c	5620 b	100
<i>T. virens</i> -KnyT3-1	258 cd	322 b	5806 b	100
<i>T. harzianum</i> -KnyT1-1	194 de	186 e	3806 f	100
<i>T. harzianum</i> -KnyT1	215 d	180 e	3953 f	100
<i>T. harzianum</i> -KnyT1-2	294 bc	225 d	5200 c	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT11	251 cd	284 c	5353 c	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT8-2	222 d	191 de	4133 e	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT8-1	201 de	210 d	4113 e	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT8	246 cd	300 bc	5466 bc	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT4	126 f	113 f	2400 g	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT2	194 de	206 de	4006 ef	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT1-a	179 e	198 de	3773 f	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT1-b	238 d	152 ef	3913 ef	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT1-2	167 e	159 ef	3266 f	100
<i>T. harzianum</i> -UrfT1-1	176 e	181 e	3580 f	100
<i>T. harzianum</i> -DybT11-k	165 e	181 e	3466 f	100
<i>T. harzianum</i> -DybT11	154 ef	126 f	2806 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT10-8	315 b	275 c	5906 b	100
<i>T. harzianum</i> -DybT10-7	132 f	96 fg	2280 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT10-6	74 g	80 g	1540 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT10-5	95 g	109 fg	2046 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT3-2.2	78 g	53 g	1310 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT3-2	98 fg	66 g	1640 g	100
<i>T. harzianum</i> -DybT2-1.2	215 d	286 c	5013 cd	100
<i>T. harzianum</i> -DybT2-1.1	216 d	213 d	4293 e	100
<i>T. harzianum</i> -DybT2-1	217 d	208 de	4260 e	100
<i>T. harzianum</i> -DybT1-2.2	164 e	166 e	3306 f	100
<i>T. harzianum</i> -DybT1-2k	210 d	212 d	4226 e	100
<i>T. harzianum</i> -DybT1-3	295 bc	163 e	4586 de	100
<i>T. harzianum</i> -DybT1-2	269 c	264 c	5340 c	100
Kontrol	362 a	334 b	6973 ab	100

*Ayrı harfle gösterilen sütunlardaki rakamlar Tukey's HSD testi $p \leq 0,05$ düzeyinde önemlidir.



Şekil 6. *Trichoderma* uygulanmış tohumlar ve kontrol (sağda)

3.6. *Trichoderma* İzolatlarının Domateste *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) Hastalık Etmeninin Gelişimine Etkileri

In vitro denemelerde başarılı bulunan 6 adet *T. harzianum* izolatu (Çizelge 6), saksı denemelerinde değerlendirilmiştir. *Trichoderma* izolatları, 5-6 gerçek yapraklı dönemdeki domates fidelerine kök daldırma yöntemi ile inokülasyon yapılmıştır. FORL inokülasyonundan 11-14 gün içinde, kök boğazında inceltme, fidelerde solgunluk belirtileri, alt yapraklarda renk açılması ve kahverengileşme gibi belirtiler gözlemlenmeye başlanmış, 26. günde fidelerde ölüm belirtileri görüldüğünde deneme sonlandırılmıştır (Şekil 7). Bitki boyu değerlendirildiğinde, bitki boyu en yüksek KnyT1-2 izolatında 432 mm olarak ölçülmüş, bu uzunluğu sırasıyla 428,00 mm ile T23 izolatu ve 385,00 mm ile KrmT1 *T. harzianum* izolatları takip etmiştir. En küçük bitki uzunluğu pozitif kontrolde 285,00 mm olarak belirlenmiştir. Kuru ağırlık değerlendirmelerinde ise, en yüksek kuru

ağırlık 2,68 g ile T23 izolatında ölçülürken, *T. harzianum* Krm/T1 izolatu 2,32 g olarak saptanmıştır. Pozitif kontrolde kuru ağırlık oranı ise 0,81 g olarak kaydedilmiştir (Çizelge 6). FORL inokülasyonundan

sonra domates fideleri tipik kök ve kök boğazı belirtileri sergilemiştir; bu belirtiler kök bölgesinde çürüklük, kök boğazında daralma ve çürümeyle birlikte gözlemlenen yarımalar şeklinde olmuştur. T23 izolatu, %74,00 oranında hastalık engelleme etkisiyle en başarılı *Trichoderma* izolatu olarak belirlenmiştir. *T. harzianum* KrmT1 izolatu %20,00 hastalık şiddeti ve %70,00 etki oranı ile, *T. harzianum* KnyT1-2 izolatu ise %25 hastalık şiddeti ve %65,00 etki oranı ile T23 izolatını takip eden başarılı izolatlar arasında yer almıştır (Çizelge 6). Ayrıca, T23, KrmT1 ve KnyT1-2 *T. harzianum* izolatlarının fide üzerinde uygulanan ruhsatlı fungusit (Maxim® XL; 25 g/L Fludioxonil 10 g/L Metalaxyl-M) ile karşılaştırıldığında, hastalığı engelleme açısından benzer başarıya sahip oldukları belirlenmiştir.

Çizelge 6. *T. harzianum* izolatlarının domateste *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) hastalık etmenine etkileri

<i>T. harzianum</i>	Bitki Uzunluğu (mm)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)	Hastalık Şiddeti (%)	Etki (%)
<i>T. harzianum</i> -DybT10-8	351,00 ± 0,54 bc*	07,90 ± 0,60 c	1,26 ± 0,21 d	40,00 d	50,00
<i>T. harzianum</i> -DybT11-k	348,00 ± 0,45 bc	09,20 ± 0,50 c	1,65 ± 0,18 bc	30,00 c	60,00
<i>T. harzianum</i> -KnyT1-2	432,00 ± 0,50 a	15,50 ± 1,10 ab	1,49 ± 0,25 bc	25,00 b	65,00
<i>T. harzianum</i> -KrmT1	385,00 ± 0,37 b	14,70 ± 0,90 ab	2,32 ± 0,28 ab	20,00 b	70,00
<i>T. harzianum</i> -T23	428,00 ± 0,43 a	15,30 ± 0,60 ab	2,68 ± 0,22 a	16,00 a	74,00
<i>T. harzianum</i> -KnyT3-3	326,00 ± 0,56 c	07,20 ± 0,50 c	1,13 ± 0,23 de	50,00 e	40,00
Maxim® XL	434,00 ± 0,62 a	16,10 ± 0,60 a	2,58 ± 0,2 ab	12,00 a	78,00
Pozitif Kontrol	285,00 ± 0,43 d	05,90 ± 0,40 d	0,81 ± 0,17 e	90,00 f	
Negatif Kontrol	402,00 ± 0,48 ab	15,20 ± 0,80 ab	1,94 ± 0,26 cb		

*Aynı sütundaki aynı küçük harfler istatistiksel farklılıkları göstermektedir (p≤0,05).



Şekil 7. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) etmeni kök ve kök boğazı belirtisi (Solda); T23 inokule edilmiş fide (sağda)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Domates seralarında son yıllarda kök ve kök boğazı çürüklük hastalığı, solgunluk hastalığından daha yaygın görülmektedir. FORL, beyaz-pembe sporlar üreterek hava yoluyla yayılır ve bitkilerin yaşlı yapraklarında başlayarak genç yapraklara doğru ilerler. FORL, özellikle 18-22°C arasındaki sıcaklıklarda, düşük pH'lı topraklarda ve aşırı sulama koşullarında yaygın görülmektedir. Bu hastalığa karşı bitki ıslahı, kültürel mücadele, ürün rotasyonu ve biyolojik kontrol gibi çeşitli yöntemler uygulanmakta ancak çoğu durumda bu yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, rizosferik *Trichoderma* izolatlarının, domates bitkisinde FORL hastalık etmenine karşı biyokontrol potansiyeli değerlendirilmiştir. *Trichoderma*, rizosferde yaşayan bir fungus türü olarak, birçok bitki patojenine karşı antagonistik, hiperparazitik ve rekabetçi etki göstermekte ve patojenlerin hücre duvarını parçalayabilme yeteneğiyle öne çıkmaktadır (Sivan ve ark., 1987). *Trichoderma* türlerinin yalnızca mikoparazit etkileriyle değil, aynı zamanda bitki patojenlerine karşı bitkilerin savunma mekanizmalarını harekete geçirme yetenekleriyle de önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir. Bu savunma yanıtları arasında fenolik bileşiklerin üretimi, PR (pathogenesis-related) proteinlerinin aktivasyonu, lignin birikimi ve çeşitli savunma enzimlerinin devreye girmesi yer almaktadır (Elad, 2000). Ayrıca, *Trichoderma* spp. antibiyotik üretimi açısından da dikkat çekmektedir. Örneğin, *T. viride* türü; viridin, gliotoksin, trichodermin, trichodermycin ve trichodermol gibi çeşitli antibiyotik bileşiklerini sentezleyebilmektedir (Harman ve ark., 2004). *Trichoderma* türleriyle biyokontrol üzerine dünya genelinde kapsamlı araştırmalar yapılmış olup, günümüzde bu türlere ait ticari preparatlar tarım alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kredics ve ark., 2003). Bu çalışmada, domatesta FORL hastalığına karşı rizosferik *Trichoderma* izolatlarının in vitro ve saksı denemelerinde biyokontrol etkinlikleri değerlendirilmiştir. İkili kültür testlerinde,

37 adet *Trichoderma* izolatından T23, DybT10-6 ve T16 izolatları, FORL patojeninin gelişimini önemli oranda engellemiştir. Ayrıca, *Trichoderma* izolatları tohum çimlendirme denemelerinde de olumlu sonuçlar göstermiş, çimlenme oranını artırmış ve kök gelişimini teşvik etmiştir. Saksı denemelerinde *Trichoderma* izolatları, domates fide gelişim parametreleri ve hastalık baskılama açısından da önemli başarı sağlamıştır. Ayrıca, T23, KrmT1 ve KnyT1-2 *T. harzianum* izolatlarının, fide uygulamalarında kullanılan ruhsatlı fungusit (Maxim® XL) ile karşılaştırıldığında, hastalığın önlenmesinde benzer etkinlik düzeylerinde olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada, *T. harzianum*'un T16 izolatı, *F. oxysporum*'un farklı forma specialist'lerine karşı yüksek düzeyde antagonistik etki göstermiştir. T16 izolatının, uçucu ve uçucu olmayan metabolitlerle patojen gelişimini baskıladığı belirlenmiştir (Altınok ve Erdoğan, 2015). *T. harzianum* (Plant shield TM, T22 ve T95) biyopreparatlarının domates fidelerinin tüm büyüme parametrelerinde önemli artışlar sağladığı tespit edilmiştir (Ozbay ve Newman, 2004). Domatesta *Fusarium* solgunluğu etmenine karşı *Trichoderma* sp. ve *T. viride*'nin tek başına ve kombinasyon halinde uygulanmasının, patojenin miselyal gelişimini ortalama %50 oranında engellediği belirlenmiştir. Ayrıca, her iki *Trichoderma* türünün birlikte uygulanması, tek başlarına uygulandıkları duruma kıyasla hastalık kontrolünde ve domates veriminin artırılmasında %34,00 oranında daha etkili bulunmuştur (Verma ve ark., 2017). Diğer bir çalışmada ise, domates rizosferinden izole edilen *Trichoderma* türlerinin, in vitro şartlarda antibiyotik üretimi yoluyla patojen koloni gelişimini baskıladığı rapor edilmiştir. Domates fidelerinde hastalık gelişimini engellemede %78,90 etki oranıyla *T. brevicompactum* en başarılı izolat olarak belirlenmiştir (Tunabaş ve Erkilic, 2022). Bu çalışmada değerlendirilen yerel *T. harzianum* izolatları, FORL etmenine karşı antagonistik etki göstermiştir. Özellikle *T. harzianum*-T23 izolatı, in vitro koşullarda FORL'un miselyum gelişimini inhibe etmiş, aynı zamanda domates tohum çimlenmesi ve fide gelişimi

üzerindeki pozitif etkileriyle öne çıkmıştır. Saksı denemeleri sonucunda da bu izolat, hastalık şiddetini önemli oranda baskılamıştır. T23 izolatının bu çok yönlü biyolojik etkinliği, onun biyolojik mücadele açısından biyo-fungisit özelliğini göstermektedir. Benzer bir çalışmada, *T. harzianum*, *T. asperellum* ve *T. virens* izolatlarının antagonistik etkileri değerlendirilmiş ve bunlar arasında bir *T. harzianum* ile bir *T. asperellum* izolatının hedef patojene karşı en yüksek inhibitör etkiyi gösterdiği belirlenmiştir. Bu iki izolatın indol asetik asit ve siderofor üretimi gerçekleştirdiği, ayrıca in vitro ortamda yüksek düzeyde enzimatik aktivite (selüloz, kitinaz, ligninaz ve proteaz) sergilediği tespit edilmiştir. *T. harzianum* izolatının saksı denemelerinde bitki gelişim parametrelerini %9,00-28,00 oranında artırdığı, biyokütle üretiminde %15,00-21,00 oranında artış sağladığı ve *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*'nin topraktaki popülasyonunu %88,00 oranında azalttığı bildirilmiştir (Haque ve ark., 2023).

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen *Trichoderma* izolatları hem doğrudan patojen inhibisyonu hem de bitki gelişimini teşvik etme potansiyelleriyle, biyolojik mücadele stratejileri açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Özellikle bazı izolatların yüksek miseliyal inhibisyon oranları ve büyümeyi teşvik edici özellikleri, bu türlerin sürdürülebilir tarım uygulamalarında biyolojik kontrol ajanı olarak kullanım potansiyelini güçlendirmektedir. Kimyasal fungusitlerin çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri dikkate alındığında, *Trichoderma* türlerinin doğal ve çevre dostu alternatifler olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, söz konusu izolatların farklı çevresel koşullarda ve çeşitli domates genotiplerinde etkinliklerinin test edilmesi, ticarileştirilebilir biyopreparatların geliştirilmesi açısından da temel veri sağlayacaktır. Gelecekte, bu izolatların bitki ile etkileşim mekanizmalarının moleküler düzeyde araştırılması ve biyokontrol etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP-FYL-2023-12545 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makalenin planlanması ve yazılması sırasında yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

KAYNAKLAR

- Akbulut, İ., 2014. *Domates Fusarium solgunluk ve kök-kök Akbulut, İ., 2014. Domates Fusarium solgunluk ve kök-kök boğazı çürüklüğü hastalıklarına karşı biyolojik mücadele yöntemlerinin araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.*
- Altınok, H. H., & Kamberoğlu, M. A., 2005. Adana ve Mersin illerinde patlıcan üretim alanlarında *Fusarium* ve *Verticillium solgunluk* hastalıklarının yaygınlığı ve şiddeti. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 20(4): 1-8.
- Altınok, H. H., 2009. In vitro production of fumonisin B1 and B2 by *Fusarium moniliforme* and the biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. *Annals of Microbiology* 56(3): 509-516.
- Altınok, H. H., Canan, C., Demirel, Ö., & Yüksel G., 2023. Akdeniz İklimindeki Domates Seralarında *Fusarium Solgunluk* ve *Fusarium Kök & Kök Boğazı Çürüklüğü* Hastalık Etmenlerinin Moleküler Tanısı ve Virülenslikleri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 9(1): 36-49.
- Altınok, H., & Erdoğan, O., 2015. Determination of the in vitro effect of *Trichoderma harzianum* on phytopathogenic strains of *Fusarium oxysporum*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43(2): 494-500.
- Altınok, H. H., Can, C., & Altınok, M. A., 2018. Characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* isolates from Turkey with ISSR markers and DNA sequence analyses. *European Journal of Plant Pathology* 150(3): 609-621.
- Altınok, H.H., & Kamberoğlu, M. A. 2025. Bitki Koruma Ürünleri Bayilik Sınav Kitabı. Bölüm: Fitopatoloji. Editör: Tamer Üstüner, Akademisyen Yayınevi, 482 Sayfa. Ankara, Türkiye.
- Aydın, M. H., 2015. Bitki fungal hastalıklarıyla biyolojik savaşta *Trichoderma*'lar. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2(2): 135-148.
- Can, C., Yücel, S., Korolev, N., & Katan, T., 2004. First report of *Fusarium crown and root rot* of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in Turkey. *Plant Pathology* 53: 814.
- Çolak A., & Biçici, M., 2013. PCR detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and races of *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* of tomato in protected tomato-growing areas of the eastern Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 457-467.
- Dennis, C., & Webster, J., 1971. Antagonistic properties of species group of *Trichoderma* III, hyphae interaction. *Transactions of the British Mycological Society* 57: 363-369.
- Elad, Y., 2000. Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. *Crop Protection* 19: 709-714.
- Erol, F. Y., 2007. Samsun ilinde kök ve kök boğazı çürüklüğü hastalığının yayılışı, şiddeti ve hastalığa neden olan etmenlerin belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- FAO, 2024. Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division (FAO). <http://faostat.fao.org/faostat/en/#data/QCL-> (Erişim tarihi: 23.12.2024).

- Haque, Z., Pandey, K. & Zamir, S., 2023. Bio-management of *Fusarium wilt of tomato (Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici)* with multifacial *Trichoderma species*. *Discover Agriculture* 1(7).
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M., 2004. *Trichoderma species-opportunistic, avirulent plant symbionts*. *Nature reviews microbiology* 2(1): 43-56.
- Jarvis, W. R., 1988. *Fusarium crown and root rot of tomato*. *Phytoprotection*, 69(2): 49-64.
- Jones, J. B., Jones, J. P., Stall, R. E., & Zitter, T. A., 1991. *Compendium of tomato diseases*. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN. 73 p.
- Kabaş, A., İlbi, H., Mutlu, N., & Ünlü, A., 2012. Domateste kök ve kök boğazı çürüklüğüne neden olan *Fusarium oxysporum f. sp. radices lycopersici*'ye dayanıklılığın kalıtımı. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma, Derim Dergisi* 29: 1-8.
- Karimi, A.K., & Altınok H. H., 2019. In vitro antiungal activity of *Trichoderma harzianum* Rifai and pgpr strains as biocontrol agents against gray mold and white mold in eggplant. *Fresenius Environmental Bulletin* 28(8): 6166-6173.
- Katan, T., Shlevin, E., & Katan, J., 1997. Sporulation of *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* on stem surfaces of tomato plants, and aerial dissemination of inoculum. *Phytopathology* 87(7): 712-719.
- Kistler, H. C., 1997. Genetic diversity in the plant-pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 87: 474-479.
- Kredics, L., Antal, Z., Manczinger, L., Szekeres, A., Kevei, F., & Nagy, E., 2003. Influence of environmental parameters on *Trichoderma* strains with biocontrol potential. *Food Technology and Biotechnology* 41(1): 37-42.
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A., 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Ames, Iowa, USA, Blackwell Professional.
- Mutlu, G., & Üstüner, T. 2017. Elazığ ili domates alanlarında fungal hastalıkların yaygınlığı ve şiddetinin saptanması. *Türk Tarım Doğa Bilimleri Dergisi* 4: 416-425.
- Mutlu, G., Kırbağ, S., & Üstüner, T., 2015. Elazığ ili örtüaltı hıyar yetiştiriciliğinde görülen fungal hastalıkların belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni* 55(4): 341-360.
- Nelson, P. E., Horst, R. K., & Woltz, S. S., 1981. *Fusarium diseases of ornamental plants*. In P. E. Nelson, T. A. Toussoun, R. J. Cook (Eds.), *Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy*, The Pennsylvania State University Press, (pp.121-128), University Park PA.
- Orhan, İ., & Biçici M., 2012. İki ticari biyofungisit ve bir mikorizal preparat'ın domateste *Fusarium oxysporum Schl. f. sp. radices lycopersici* Jarvis & Shoomaker kök ve kökboğazı çürüklüğü hastalığına etkinliği. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 27-2: 67-76.
- Ozbay, N., & Newman, S., 2004. *Fusarium crown and root rot of tomato and control methods*. *Plant Pathology Journal* 3: 9-18.
- Pınar, H., Ata, A., Keleş, D., Mutlu, N., Denli, N., & Ünlü, M., 2013. Domates hatlarında *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*'ye dayanıklılığın moleküler markörler yardımıyla belirlenmesi. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma, Derim Dergisi* 30: 15-23.
- Sivan, A., Ucko O., & Chet I., 1987. Biological control of *Fusarium crown rot of tomato by Trichoderma harzianum* under field conditions, *Plant Disease* 71: 587-592.
- Szczeczura, W., Staniaszek, M., & Habledas, H., 2013. *Fusarium oxysporum f. sp. radices lycopersici*-the cause of fusarium crown and root rot in tomato cultivation. *Journal of Plant Protection Research* 53: 172-176.
- Tronsmo, A., & Dennis, C., 1978. Effect of temperature on antagonistic properties of *Trichoderma species*. *Transactions of the British Mycological Society* 71(3): 469-474.
- Tunabaş, E., & Erkiş, A., 2022. Domates rizosferindeki fungusların domatesteki solgunluk etmeni *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*'ye karşı antagonistik etkilerinin araştırılması. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 13(2): 138-153.
- Verma, N. P., Kaur, I., & Masih, H. et al. 2017. Efficacy of *Trichoderma* in controlling *Fusarium wilt* in tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Research in environment and life sciences*, 10(07): 636-639.
- White, T. J., Bruns, T. D., Lee, S. H., & Taylor, J. W., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In M. A. Innis, D. H. Gefland, J. J. Sninsky, & T. J. White (Eds.), *PCR protocols: A guide to methods and application* (pp. 315-322). San Diego: Academic Press.