



Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Tarım Bilimleri Dergisi  
(YYU Journal of Agricultural Science)



<http://dergipark.gov.tr/yyutbd>

Araştırma Makalesi (Research Article)

***Capsicum* Türlerinin Kök Yapılarının İncelenmesi ve Kök Özellikleri Yönünden Karşılaştırılması**

**Onur KARAĞAÇ<sup>\*1</sup>, Kübra TAŞ<sup>2</sup>, Rüveyda ÖZGEN<sup>3</sup>, Aslı KANAL<sup>4</sup>, Ahmet BALKAYA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Tohum Sertifikasyon Test Müdürlüğü, Samsun, Türkiye

<sup>2,3,4,5</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8794-2556> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2859-1212> <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-7641-8751>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-0425-9581> <sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-9114-615X>

\*Sorumlu yazar e-posta: [onur.karaagac@tarimorman.gov.tr](mailto:onur.karaagac@tarimorman.gov.tr)

**Makale Bilgileri**

Geliş: 02.04.2020  
Kabul: 27.05.2020  
Online Yayınlanma 30.06.2020  
DOI: 10.29133/yyutbd.713437

**Anahtar kelimeler**

Anaç,  
Capsicum,  
Kök mimarisi,  
Seleksiyon

**Öz:** Biber anaç ıslahında güçlü kök sisteminin oluşturulmasına yönelik çeşit ıslah çalışmaları oldukça düşük düzeydedir. Bu çalışmada, aşılı biber anaç ıslahında türler arası melez programında yer alan *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense* ve *Capsicum baccatum* türlerine ait biber genotiplerinin kök yapılarının incelenmesi ve köklenme özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Araştırmada, üç farklı türde toplam 21 genotip (4 genotip *C. annuum*, 9 genotip *C. chinense* ve 8 genotip *C. baccatum*) incelenmiştir. Biber genotiplerinin kök mimarilerinin incelenmesi ve köklenme düzeylerinin ayrıntılı olarak tespit edilmesi amacıyla WinRhizo kök analiz programı kullanılmıştır. Kök analizi sonucunda, biber genotiplerinin kök mimarilerini oluşturan toplam kök uzunluğu (cm), kök yüzey alanı (cm<sup>2</sup>), kök hacmi (cm<sup>3</sup>), kök kuru ağırlığı (g), ortalama kök çapı (mm) özellikleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda; *C. baccatum* ve *C. chinense* türünün kök özelliklerinin, genel olarak *C. annuum* türüne göre daha güçlü ve üstün olduğu bulunmuştur. Kök uzunluğu ve kök yüzey alanı yönünden *C. chinense*, kök hacmi ve kök kuru ağırlığı yönünden ise *C. baccatum* türü ön plana çıkmıştır. Kök mimarisini oluşturan tüm özellikler birlikte değerlendirildiğinde; *C. baccatum* türünde CB73 ve CB4 genotipleri ve *C. chinense* türünde ise CC47, CC61 ve CC76 genotipleri üstün performans göstermişlerdir.

**Investigation of Root Structures and Comparison Rooting Traits of *Capsicum* Species**

**Article Info**

Received: 02.04.2020  
Accepted: 27.05.2020  
Online Published 30.06.2020  
DOI: 10.29133/yyutbd.713437

**Keywords**

Capsicum,  
Rootstock,  
Root system architecture,  
Selection

**Abstract:** Pepper rootstock breeding studies based on strong root improvement are limited. In this study, it is aimed to investigate and compare the root structures of *Capsicum annuum*, *Capsicum chinense* and *Capsicum baccatum* species in interspecific *Capsicum* spp. rootstock breeding program for pepper. Total of 21 genotypes (4 genotypes *C. annuum*, 9 genotypes *C. chinense* and 8 genotypes *C. baccatum*) in three different species were examined. WinRhizo root analysis program was used to examine root architectures of pepper genotypes and to determine rooting levels in detail. The total root length (cm), root surface area (cm<sup>2</sup>), root volume (cm<sup>3</sup>), root dry weight (g), average root diameter (mm) that constitute the root system architectures of pepper genotypes were determined. The root characteristics of the *C. baccatum* and *C. chinense* species were found to be stronger and superior than the *C. annuum* species. *C. chinense* in terms of root length and root surface area and *C. baccatum* in terms of root volume and dry weight were prominent. According to the properties of root system architecture; CB73 and CB4 genotypes in *C. baccatum* and CC47, CC61 and CC76 genotypes in *C. chinense* showed superior performance.

## 1. Giriş

Aşılı sebze yetiştiriciliğinde; doğru anaç ve kalem seçimi, ekolojik koşulların iyi olması, kültürel uygulamaların istenilen düzeyde gerçekleştirilmesi ve hasat olgunluk zamanının doğru bir şekilde belirlenmesi sonucunda bitkisel üretimde yüksek başarıya ulaşılmaktadır (Balkaya, 2013; Yıldız ve ark., 2013). Aşılama ile özellikle patlıcangiller ve kabakgiller familyasına ait sebze türlerinde yüksek verim ve kaliteli meyve elde edilmektedir. Biberde aşılama sonucunda anaç ve kalem uyumu ile meyve verimi ve meyve kalitesi arasında yakın bir ilişkinin olduğu yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur (Colla ve ark., 2008; Doñas-Uclés ve ark., 2014).

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de biber yetiştiriciliğini etkileyen toprak kökenli hastalıklar ve nematod gibi zararlılar mevcuttur. Bu sorunların çözümünde en önemli yaklaşımlardan bazıları dayanıklı çeşit veya aşılı fide kullanılmasıdır. Ülkemizde ticari olarak aşılı fide üretimi 1998 yılında domates yetiştiriciliği (70 000 adet) ile başlamıştır (Balkaya, 2013). Türkiye’de 2017 yılı sonu itibari ile aşılı fide üretimi yapan firma sayısı 34 ve üretim miktarı ise 146.299.441 adete yükselmiştir (Tüzel ve ark., 2020). Bu üretimde karpuz ilk sırayı (%46.42) alırken, bunu sırasıyla domates (%37.33), patlıcan (%8.55) ve hıyar (%7.12) izlemiştir. Aşılı biber fidesi üretimi ise 54.732 adet ile oldukça düşük bir paya (%0.04) sahiptir. Ülkemizde biber yetiştiriciliğinde aşılı fide kullanımının yaygınlaşmamasının sebepleri olarak; aşılama için uygun nitelikli anaçların bulunmaması, aşılama başarı oranının düşük olması, aşılı fide kullanımının diğer sebze türlerinde olduğu gibi ekonomik olmaması ve aşı sonrası bitki gelişiminde istenilen ilerlemenin elde edilmemesi gibi birçok faktör sıralanabilir (Aydın, 2006; Aydoğan, 2017).

Aşılı fide sektörü için geliştirilen anaçların; kullanım amacına uygun olarak biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu amaçla sebze anaç ıslahında genellikle yabancı türler ve türler arası melezler kullanılmaktadır (Balkaya, 2014). Morra ve Bilotto (2006), biberlerde toprak kökenli hastalıklara ve nematodlara karşı tür içerisinde yapılan aşılama da kullanıldığını bildirmişlerdir. Anaç ıslah programlarında, *C. baccatum*, *C. chinense* ve *C. frutescens* arasında yapılan türler arası melezler aşılı biber fidesi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (Lee ve ark., 2010). *C. annuum* x *C. chinense* melezleri, düşük sıcaklığa ve virüslere dayanıklı olması nedeniyle hibrit biber çeşit ıslahı ve anaç ıslah programlarında değerlendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada, *C. chinense* türüne ait PI 152225 nolu aksesyonunda Tütün yanıklık virüsü (TEV=Tobacco Etch Virus)’üne karşı dayanıklılık geninin bulunduğu ve bu genin *pvr1* geni olarak adlandırıldığı bildirilmiştir (Kang ve ark., 2005). Ayrıca bu türe ait aksesyonlar, *P. capsici*, bakteriyel solgunluk ve kök ur nematoduna dayanıklı anaçların geliştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Gisbert ve ark., 2010; Abebe ve ark., 2016). Oka ve ark., (2004), *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. chacoense* ve *C. frutescens* türlerine ait genetik materyallerin kök ur nematoduna (*Meloidogyne incognita* ırk 2 ve *M. javanica*) dayanıklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Literatürde, *C. chinense* ve *C. baccatum* L. var. *pendulum* türüne ait genotiplerin tuzluluğa karşı da toleranlık gösterdiği bildirilmiştir (Penella ve ark., 2015). Birçok ülkede özellikle son yirmi yılda aşılı biber fidesi üretiminde kullanılmak üzere biber anaç ıslah programları yürütülmeye başlamıştır (Morra ve Biletto, 2006; Gisbert ve ark., 2010; Penella ve ark., 2015). Ülkemizde ise kabakgiller (karpuz ve hıyar) ve patlıcangiller (domates, patlıcan) familyasındaki sebze türlerinde anaç ıslah programları yürütülmeye başlanmış ve bu konuda önemli düzeyde gelişmeler sağlanmıştır (Karaağaç, 2013; Karaağaç ve Balkaya, 2013, Göçmen ve ark., 2014; Sarıbaş, 2019; Sarıbaş ve ark., 2019; Aslan ve ark., 2019; Seçim ve ark., 2019). Biber anaç ıslah programları ise yok denecek kadar azdır. Bu alanda geleceğe yönelik olarak ülkemizde biber anaç ıslah programlarının başlatılması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesinde 2017 yılında aşılı biber anaç ıslah programı başlatılmış ve farklı hastalık dayanımlarına sahip türlere ait melezler elde edilmiştir.

Biberde anaç performansını etkileyen en önemli kriterlerden birisi kök yapısı ve stres koşulları altında topraktaki kök gelişim kabiliyetidir. Kök kısmının su ve besin alabilme yeteneği, toprak üstü kısımların performansını olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir. Jung ve McCouch (2013), kök sisteminin bitkide büyüme hızı, besin alımı ve çevresel değişimlere adaptasyon, abiyotik stres dayanıklılığı ve yüksek verim için önemli bir unsur olduğunu bildirmişlerdir. Bitkinin gelişme aşamasında, abiyotik ve biyotik stres faktörleri nedeniyle kök gelişiminde önemli ölçüde azalışlar meydana gelmektedir (Biles ve ark., 1989). Aşılı sebzelerde çok yıllık bitkilerde olduğu gibi anacın topraktaki bitki besin maddelerini alması ve sudan yararlanabilme özelliklerine bağlı olarak gübreleme

ve sulama gibi kültürel işlemler değişkenlikler göstermektedir. Sebzelerde aşılama uygulaması sonucunda anaçların güçlü kök kanopileri ile fosfor, azot, magnezyum ve kalsiyum gibi elementlerin alımı ve taşınımı artmaktadır (Balkaya, 2013; Sarıbaş ve ark., 2019). Kök gelişiminin değerlendirilebilmesi için kök parametrelerinin belirlenmesi gereklidir. Genellikle, kök parametreleri olarak kuru kök ağırlığı, kök sayısı, kök yüzey alanı, kök çapı ve kök uzunluğu gibi özellikler belirtilmektedir (Böhm, 1979; Kramer, 1988; Kaspar ve Bland, 1992). Pereira Dias ve ark. (2018), biberde düşük fosfor koşullarında toplam kök uzunluğu ve kök hacmini değiştirerek farklı kök adaptasyonları gösterdiğini belirlemişlerdir. Anaçların, düşük hacimdeki fosfor içeren besin solüsyonlarında toplam kök uzunluklarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Biber (*C. annuum*) orta derinlikte kök sistemine sahip bir bitkidir. Kazık kök 10-15 cm kadar geliştikten sonra üzerinde yan köklerin oluşumu meydana gelir. Yan köklerin hızlı bir şekilde gelişim göstermesi kazık kökü bastırmaktadır. Ayrıca yan köklerin üzerinde çok sayıda, narin yapıda kılcal kökler oluşmaktadır. Saçak köklerin büyük kısmı toprağın ilk 10-30 cm derinliğinde bulunurken, bazı kökler hafif ve kumlu topraklarda 80-100 cm derinliğe kadar inebilmektedir (Şalk ve ark., 2008). Yabani türlerde genel olarak kök yapıları daha güçlüdür. Bu nedenle poligenik varyasyona sahip kök yapılarının, anaç ıslah programlarında daha iyi incelenmesi ve buna göre seleksiyonlarının yapılması gerekmektedir (Schiefebein ve Benfey, 1991; Koevoets ve ark., 2016, Sarıbaş ve ark., 2019). Ancak, toprak altında olan kök yapısının incelenmesi, toprak üstü organlarına göre oldukça zordur. Bu nedenle, kökün fenotipik özelliklerine göre yapılan seleksiyon çalışmalarının sayıları oldukça azdır (Schwarz ve ark., 2010; Sarıbaş ve ark., 2019). Son yıllarda, gelişen dijital görüntüleme sistemlerinin kullanılması ile bitkilerin kök yapıları üzerinde detaylı incelemeler yapılabilmektedir (Paez-Garcia ve ark., 2015).

Bu çalışma ile dijital görüntüleme sistemlerinden yararlanarak biber anaç ıslahı türler arası melez programında yer alan *C. annuum*, *C. chinense* ve *C. baccatum* türlerine ait biber genotiplerinin fenotipik kök yapılarının incelenmesi ve köklenme mimarilerini oluşturan unsurların ayrıntılı olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma, 2019 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama sitesinde yer alan sıcaklık kontrollü serada yürütülmüştür. Araştırmada; dört generasyon kendilenmiş S4 ıslah kademesinde 9 adet *C. baccatum* hattı ve 8 adet *C. chinense* hattı ile hibrit biber çeşit ıslah programında yer alan nitelikli 4 adet *C. annuum* hattı olmak üzere toplam 21 genotip deneme materyali olarak kullanılmıştır (Çizelge 1).

*Capsicum* türlerine ait biber hatlarının ait tohumları, torf: perlit (2:1, v:v) karışımının konulduğu viyollere ekilmiştir. *C. baccatum* ve *C. chinense* tohumları 30.09.2019 tarihinde, *C. annuum* tohumları ise 07.10.2019 tarihinde ekilmiştir. *C. baccatum* ve *C. chinense* türlerinde genotipler yavaş çimlendiklerinden bir hafta daha erken ekilmiştir. Dört gerçek yaprağa ulaşan *Capsicum* spp. türlerine ait fideler; sera ünitesi içerisinde steril torf: perlit (2:1, v:v) karışımının bulunduğu 3 litrelik plastik saksılara, tesadüf parselleri deneme desenine uygun olarak dört tekerrürlü ve her tekerrürde altı bitki olacak şekilde 14.11.2019 tarihinde aynı zamanda dikilmiştir. Biber fideleri sıcaklık kontrollü sera yetiştirme odasında (25°C±1) 40 gün süreyle yetiştirilmiştir. Fidenin ihtiyaç duyduğu makro ve mikro elementler fide yetiştirme periyodu süresince düzenli olarak verilmiştir.

Biber fidelerinin kök mimarisinin incelenmesi ve köklenme potansiyelinin belirlenmesi amacıyla WinRhizo kök analiz programı (ver. 2013, Regent Instruments, QC, Canada) kullanılmıştır (Sarıbaş ve ark., 2019). Çalışmada, saksılara fide dikiminden itibaren 10, 20, 30 ve 40. gün olmak üzere yetiştirme ortamından kantitatif analizler için alınan biber bitkilerinin kökleri dikkatli bir şekilde yıkanmış ve köklere zarar vermeden dikkatli bir şekilde kağıt havlu ile kurutulmuştur. Daha sonra kökler, A3 boyutundaki asetat üzerine yerleştirilerek cihaz tarafından detaylı olarak algılanacak şekilde köklerde ayırma işlemi yapılmıştır. Tarama (scan) işlemine hazır hale getirilmiş olan kökler, cihazın tarayıcı (scanner) (Epson Expression 10 000XL, Epson America Inc., Long Beach, CA, USA) kısmına konularak üç boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Çizelge 1. Biber anaç ıslah programında yer alan ve kök yapıları incelenen *Capsicum* türlerine ait genetik kaynakların orijini ve temin edildiği yerler

Tür	Genotip no	Kod no/Ürün segmenti	Orijini	Temin edilen yer
<i>Capsicum baccatum</i>	CB-2	PI 585242 02 SD	Ekvator	USDA tohum gen bankası/ABD
	CB-4	PI 238061 01 SD	Bolivya	
	CB-11	PI 439528 01 SD	Brezilya	
	CB-20	PI 281309 01 SD	Peru	
	CB-27	PI 260545 01 SD	Brezilya	
	CB-46	PI 439411 01 SD	Uruguay	
	CB-55	PI 266042 01 SD	Meksika	
	CB-73	PI 590506 01 SD	Bolivya	
<i>Capsicum chinense</i>	CC-33	PI 439467 01 SD	Hindistan	USDA tohum gen bankası/ABD
	CC-37	PI 485593 01 SD	Peru	
	CC-38	PI 209028 01 SD	Bolivya	
	CC-47	PI 238053 01 SD	Meksika	
	CC-55	PI 653676 02 SD	Peru	
	CC-59	PI 639655 02 SD	Belize	
	CC-61	PI 593925 02 SD	Bolivya	
	CC-72	PI 441635 01 SD	Brezilya	
CC-76	PI 260465 02 SD	Arjantin		
<i>Capsicum annuum</i>	SB	Sivri biber	Türkiye	Prof. Dr. Ahmet Balkaya biber ıslahı gen havuzu
	ÇB	Çarliston biber	Türkiye	
	KB	Kapya biber	Türkiye	
	WB	Kaliforniya Wonder	Amerika	

Biber türlerinin fenotipik kök yapısı ve köklenme düzeylerini ayrıntılı olarak ortaya koyan aşağıdaki parametreler WinRhizo programı ile incelenmiştir:

- Toplam kök uzunluğu (cm): Kılcal formda bulunan saçak kökler dahil olmak üzere tüm çap sınıflarındaki köklerin toplam uzunlukları belirlenmiştir.
- Kök yüzey alanı (cm<sup>2</sup>): Taraması üç boyutlu olarak yapılan tüm köklerin dış çeperlerinin yüzey alanı kök yüzey alanı olarak hesaplanmıştır.
- Toplam kök hacmi (cm<sup>3</sup>): Kantitatif olarak analiz edilen köklerde, WinRhizo programı ile net kök hacmi değerleri tespit edilmiştir.
- Ortalama kök çapı (mm): Tüm kök uzantıları bireysel olarak incelenerek ortalama kök çapları hesaplanmıştır.
- Kök uzunluklarının oransal çap sınıf değerleri (%): Tüm kökler çaplarına göre saçak (1 mm >), orta (1 mm ≤ Ç ≤ 2 mm) ve kalın (2 mm <) kök olarak sınıflandırılmış ve buna göre her sınıftaki toplam kök uzunluğu değerleri yüzde olarak belirlenmiştir.
- Kök yüzey alanı artış hızı (cm<sup>2</sup>/gün): Kantitatif olarak 40. günde ölçülen kök yüzey alanı – kantitatif olarak 10. günde ölçülen kök yüzey alanı / 30 formülüne göre hesaplanmıştır.
- Kök hacmi artış hızı (cm<sup>3</sup>/gün): Kantitatif olarak 40. günde alınan kök hacmi – kantitatif olarak 10. günde alınan kök hacmi / 30 formülüne göre saptanmıştır.
- Kök kuru ağırlıkları (g): Taraması tamamlanan bitki kökleri, 80 ° C’de 72 saat süreyle etüvde kurutulmuştur. Daha sonra hassas terazide (0.001 g) tartılarak kök kuru ağırlıkları (g) belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen verilere, öncelikle varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Daha sonra % olarak elde edilen değerlere, varyans analizi yapılmadan önce Arcsin transformasyonu uygulanmıştır. İstatistiksel olarak önemli bulunan parametrelerde, Tukey testine göre gruplandırılmalar yapılmıştır. Ayrıca fenotipik kök mimarisini oluşturan kök parametrelerinin zamana bağlı değişimlerinin modellenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Buna ilave olarak korelasyon analizi yapılarak kök mimari özellikleri arasındaki istatistiksel ilişki durumları da ayrıntılı olarak incelenmiştir.

### 3. Bulgular

Çalışmada, üç farklı *Capsicum* türünde toplam 21 genotipte incelenen kök mimarisi parametreleri (kök uzunluğu, kök hacmi, ortalama kök çapı, kök yüzey alanı ve kök kuru madde ağırlığı) yönünden biber genotipleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinde toplam kök uzunluğu değerlerinin 519.9 cm - 1109.5 cm arasında dağılım gösterdiği saptanmıştır. *C. annuum* türünde KB (882.0 cm), *C. baccatum* türünde CB27 (1081.8 cm) ve *C. chinense* türünde CC37 (1109.5 cm) genotipleri, toplam kök uzunluğu değerleri yönünden kendi türleri içerisinde en yüksek performansı sergilemişlerdir (Çizelge 2.). En yüksek değerler sırasıyla; CC37 (1109.5 cm), CB27 (1081.8 cm), CC59 (1032.5 cm) ve CC55 (1013.8 cm), CB73 (961.6 cm), CC47 (939.3 cm), CC61 (913.5 cm), CC76 (902.2 cm), CB55 (893.0 cm), KB (882.0 cm) ve ÇB (875.1 cm) genotiplerinde belirlenmiştir. Tür bazında ortalama kök uzunluğu değerleri karşılaştırıldığında *C. annuum*' da 810 cm, *C. baccatum*' da 778 cm ve *C. chinense*' de 922 cm olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.). Tür bazında toplam kök uzunluğu değerleri yönünden en iyi performansı *C. chinense* genotiplerinin gösterdiği saptanmıştır. Bu türde incelenen toplam dokuz genotipin altı tanesinin kök uzunlukları yönünden diğer genotiplere göre üstün oldukları belirlenmiştir. *C. annuum* türünde incelenen dört genotipin iki tanesi (ÇB ve KB) kök uzunluğu değerleri yönünden öne çıkmıştır. *C. baccatum* türünde ise ortalama kök uzunluğu değerleri yönünden diğer türlerin gerisinde kalmıştır. Ancak bu türde standart sapma değeri oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 1.). Bu durum, *C. baccatum* türü içerisindeki genotiplerin kök uzunluğu değerleri yönünden birbirinden belirgin olarak farklı yapıda olduklarını göstermektedir. Buna karşın, *C. baccatum* türü içerisinde özellikle CB27, CB73 ve CB55 genotipleri kök uzunlukları bakımından öne çıkmıştır.

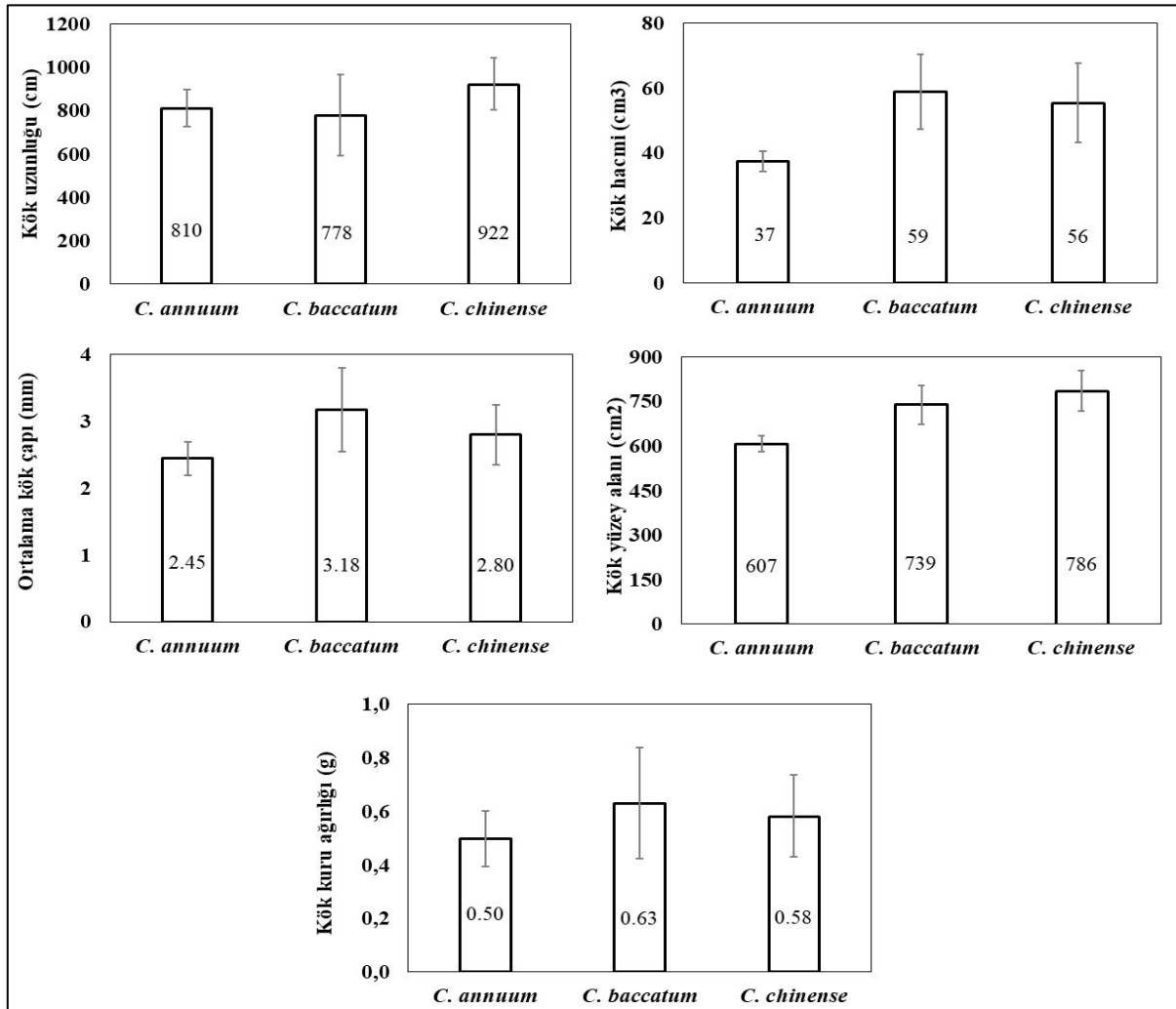
Çizelge 2. *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinde dikimden 40 gün sonra belirlenen bazı kök parametrelerine ait değerler

Tür/Genotip	Kök uzunluğu (cm)	Kök hacmi (cm <sup>3</sup> )	Ortalama kök çapı (mm)	Kök yüzey alanı (cm <sup>2</sup> )	Kök kuru ağırlığı (g)
<i>C. annuum</i>					
ÇB	875.1±104.8 <sup>ae*</sup>	33.2±7.7 <sup>g</sup>	2.19±0.25 <sup>h</sup>	601.1±92.3 <sup>hi</sup>	0.35±0.13 <sup>f</sup>
KB	882.0±93.2 <sup>ae</sup>	38.0±9.5 <sup>fg</sup>	2.34±0.33 <sup>fh</sup>	644.7±78.6 <sup>gi</sup>	0.59±0.06 <sup>ce</sup>
SB	706.2±190.7 <sup>dg</sup>	40.6±14.2 <sup>dg</sup>	2.78±0.91 <sup>ch</sup>	581.3±36.4 <sup>i</sup>	0.54±0.11 <sup>cf</sup>
WB	776.9±79.5 <sup>cf</sup>	38.0±14.3 <sup>fg</sup>	2.48±0.53 <sup>eh</sup>	600.5±100.1 <sup>hi</sup>	0.52±0.09 <sup>cf</sup>
<i>C. baccatum</i>					
CB2	626.3±112.1 <sup>fg</sup>	57.9±13.4 <sup>ad</sup>	3.45±0.54 <sup>ac</sup>	669.9±103.7 <sup>ei</sup>	0.57±0.09 <sup>ce</sup>
CB4	707.3±93.3 <sup>dg</sup>	73.9±18.3 <sup>a</sup>	3.67±0.71 <sup>ab</sup>	800.9±42.0 <sup>ae</sup>	0.70±0.15 <sup>bc</sup>
CB11	741.5±81.6 <sup>cg</sup>	62.4±17.4 <sup>ac</sup>	3.25±0.31 <sup>be</sup>	760.0±141.8 <sup>ag</sup>	0.54±0.31 <sup>cf</sup>
CB20	694.1±182.7 <sup>eg</sup>	61.8±6.0 <sup>ac</sup>	3.42±0.40 <sup>ac</sup>	731.0±119.7 <sup>bh</sup>	0.48±0.17 <sup>df</sup>
CB27	1081.8±121.3 <sup>a</sup>	39.0±13.2 <sup>eg</sup>	2.14±0.49 <sup>h</sup>	716.7±76.2 <sup>ch</sup>	1.10±0.25 <sup>a</sup>
CB46	519.9±28.2 <sup>g</sup>	68.1±9.0 <sup>ab</sup>	4.08±0.37 <sup>a</sup>	665.2±29.0 <sup>fi</sup>	0.43±0.03 <sup>df</sup>
CB55	893.0±66.1 <sup>ae</sup>	45.2±9.2 <sup>cg</sup>	2.53±0.31 <sup>dh</sup>	708.5±65.6 <sup>di</sup>	0.63±0.05 <sup>cd</sup>
CB73	961.6±172.0 <sup>ac</sup>	61.7±5.5 <sup>ac</sup>	2.89±0.35 <sup>bh</sup>	859.8±77.1 <sup>ab</sup>	0.59±0.19 <sup>ce</sup>
<i>C. chinense</i>					
CC33	715.9±71.8 <sup>dg</sup>	54.9±6.1 <sup>bf</sup>	3.14±0.33 <sup>be</sup>	700.2±11.3 <sup>di</sup>	0.40±0.07 <sup>ef</sup>
CC37	1109.5±51.0 <sup>a</sup>	41.4±7.8 <sup>dg</sup>	2.18±0.26 <sup>h</sup>	755.8±54.9 <sup>bg</sup>	0.88±0.14 <sup>ab</sup>
CC38	832.3±111.3 <sup>bf</sup>	59.1±6.5 <sup>ad</sup>	3.02±0.36 <sup>bf</sup>	782.6±23.9 <sup>af</sup>	0.64±0.06 <sup>cd</sup>
CC47	939.3±194.1 <sup>ad</sup>	57.1±9.6 <sup>ae</sup>	2.80±0.29 <sup>ch</sup>	818.2±127.9 <sup>ad</sup>	0.51±0.16 <sup>cf</sup>
CC55	1013.8±79.2 <sup>ab</sup>	42.7±6.8 <sup>dg</sup>	2.32±0.27 <sup>fh</sup>	734.4±41.1 <sup>bg</sup>	0.53±0.18 <sup>cf</sup>
CC59	1032.5±234.8 <sup>ab</sup>	39.1±10.6 <sup>eg</sup>	2.23±0.56 <sup>gh</sup>	696.8±39.7 <sup>di</sup>	0.70±0.09 <sup>cd</sup>
CC61	913.5±225.7 <sup>ae</sup>	63.5±3.8 <sup>ac</sup>	3.02±0.37 <sup>bg</sup>	849.8±112.4 <sup>ab</sup>	0.62±0.08 <sup>cd</sup>
CC72	840.4±192.0 <sup>bf</sup>	70.4±17.7 <sup>ab</sup>	3.31±0.69 <sup>ad</sup>	848.3±71.8 <sup>ac</sup>	0.38±0.06 <sup>ef</sup>
CC76	902.2±225.9 <sup>ae</sup>	71.4±7.2 <sup>ab</sup>	3.23±0.52 <sup>be</sup>	890.7±60.5 <sup>a</sup>	0.57±0.21 <sup>ce</sup>
P	0.0004	0.001	0.0007	0.0002	0.001
CV (%)	16.9	20.6	15.8	10.9	22.0

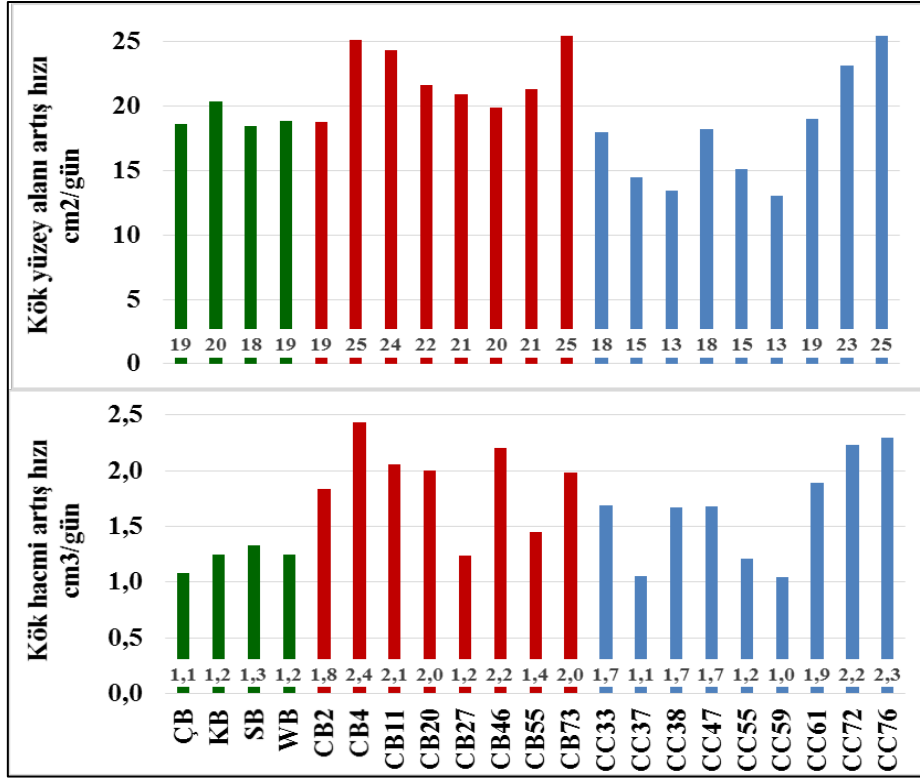
\*Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar önemlidir.

Kök hacmi değerleri; *C. annuum* türünde 33.2 cm<sup>3</sup> (ÇB) ile 40.6 cm<sup>3</sup> (SB) arasında, *C. baccatum* türünde 39.03 cm<sup>3</sup> (CB27) ile 73.9 cm<sup>3</sup> (CB4) arasında ve *C. chinense* türünde ise 39.1 cm<sup>3</sup> (CC59) ile 71.4 cm<sup>3</sup> (CC76) arasında dağılım göstermiştir (Çizelge 2.). *C. annuum* türü, ortalama 37.0 cm<sup>3</sup> değeri ile diğer türlere göre ortalama % 35 oranında daha düşük kök hacim kapasitesine sahip olmuştur (Şekil 1.). *C. baccatum* ve *C. chinense* türleri ise benzer kök hacmi özelliği göstermişlerdir. *C. baccatum* türüne ait CB4 ve CB46 genotipleri ile *C. chinense* türüne ait CC76 ve CC72 genotiplerinin en yüksek kök hacmine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Araştırmada en düşük ortalama kök çapı değerlerinin *C. annuum* türüne ait genotiplerin tümünde, *C. baccatum* türüne ait CB27, CB55, CB73 genotipleri ve *C. chinense* türüne ait, CC37, CC47, CC55 ve CC59 olduğu bulunmuştur. Araştırmada en yüksek ortalama kök çapı değerlerinin *C. baccatum* türüne ait CB46 (4.08 mm), CB4 (3.67 mm), CB2 (3.45 mm), CB20 (3.42 mm) ve *C. chinense* türüne ait CC72 (3.31 mm) biber genotiplerinde tespit edilmiştir (Çizelge 2.). Tür bazında karşılaştırma yapıldığında; *C. annuum* türünde ortalama kök çapı 2.45 mm, *C. baccatum* türünde 3.18 mm ve *C. chinense* türünde ise 2.80 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 1.). *Capsicum* türlerinde biber genotiplerinde ortalama kök yüzey alanı değerleri, 581.3 cm<sup>2</sup> - 890.7 cm<sup>2</sup> arasında dağılım göstermiştir. En fazla kök yüzey alanı *C. chinense* türünde sırasıyla CC76 (890.7 cm<sup>2</sup>), CC61 (849.8 cm<sup>2</sup>), CC72 (848.3 cm<sup>2</sup>) genotipleri ile *C. baccatum* türünde CB73 (859.8 cm<sup>2</sup>) genotipinde ölçülmüştür. En düşük değerler ise *C. annuum* türünde SB (581.3 cm<sup>2</sup>), WB (600.5 cm<sup>2</sup>), ÇB (601.1 cm<sup>2</sup>) ve KB (644.7 cm<sup>2</sup>) genotiplerinde tespit edilmiştir (Çizelge 2.). Tür bazında genotiplerin kök yüzey alanı performansları karşılaştırıldığında; *C. chinense* (786 cm<sup>2</sup>), *C. baccatum* (739 cm<sup>2</sup>), ve *C. annuum* (607 cm<sup>2</sup>) şeklinde sıralanmıştır (Şekil 1.).



Şekil 1. *Capsicum* türlerinin ortalama fenotipik kök mimarileri yönünden karşılaştırılması.



Şekil 2. *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinde kök yüzey alanı ve hacmindeki artış hızları (■: *C. annuum*; ■: *C. baccatum*; ■: *C. chinense*).

Çalışmada kök kuru ağırlık değerleri yönünden, CB27 (1.10 g) ve CC37 (0.88 g) genotipleri üst grupta yer almışlardır. *C. annuum* türünde ÇB, SB ve WB, *C. baccatum*' da CB46, CB20 ve CB11 ve *C. chinense* türünde ise CC72, CC33, CC47 ve CC55 genotiplerinin son grubu oluşturdukları belirlenmiştir (Çizelge 2.). İncelenen üç türde de tür içerisindeki biber genotipleri arasında kök kuru ağırlığı yönünden farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, *C. baccatum* türü ortalama 0.63 g kök kuru ağırlığı ile en yüksek performansı gösteren tür olarak belirlenmiştir (Şekil 1.).

Araştırmada farklı dönemlerde yapılan kantitatif analizler yardımı ile biber türlerinin kök hacmi ve kök yüzey alanındaki artış miktarları oransal olarak hesaplanmıştır. Buna göre; kök hacmi değerlerinin 30 günlük artış hızı en yüksek olan genotiplerin; sırasıyla CB4 (2.43 cm<sup>3</sup>/gün), CC76 (2.30 cm<sup>3</sup>/gün), CC72 (2.24 cm<sup>3</sup>/gün) ve CB46 (2.21 cm<sup>3</sup>/gün) olduğu saptanmıştır. *C. annuum* türüne ait genotiplerde bu artış hızı 1.08-1.33 cm<sup>3</sup>/gün arasında dağılım göstermiştir. Genel olarak *C. annuum* türünde (1.23 cm<sup>3</sup>/gün); *C. baccatum*'dan (1.90 cm<sup>3</sup>/gün) % 35 ve *C. chinense*'den (1.64 cm<sup>3</sup>/gün) ise % 25 oranında daha yavaş hacim artışı hızının olduğu saptanmıştır. Hem kök hacmi değerleri ve hem de kök hacmi artış hızı değerleri yönünden benzer şekilde *C. baccatum* genotiplerinin ön sıralarda yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 2.).

En yüksek kök yüzey alanı artış hızı değerleri; CC76 (25.47 cm<sup>2</sup>/gün), CB73 (25.45 cm<sup>2</sup>/gün), CB11 (24.32 cm<sup>2</sup>/gün) ve CC72 (23.13 cm<sup>2</sup>/gün) genotiplerinde belirlenmiştir. *C. annuum* türüne ait genotiplerde ise bu artış hızı, 18.65-20.40 cm<sup>2</sup>/gün arasında değişim göstermiştir (Şekil 2.). Dikimden 40 gün sonraki kök yüzey alanı değerleri yönünden *C. chinense* genotiplerinin ve kök yüzey alanı artış hızı değerleri yönünden ise *C. baccatum* genotiplerine göre daha fazla ön plana çıktığı belirlenmiştir.

Çalışmada yer alan *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerine ait kök uzunluklarının ortalama çap skalasına göre oransal dağılımları incelendiğinde, istatistiksel olarak çok önemli düzeyde farklılık olduğu ( $P < 0.01$ ) belirlenmiştir. Çapı 1 mm'den az olan kök oranı değerlerinin, %56.4-%69.0 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek saçak kök oranları CC37 (% 69.0), CC59 (%68.6), CB27 (%68.4), CC38 (%68.0), CC55 (%67.3), CC47 (%66.8), WB (%66.5), ÇB (%66.4) CC33 (%66.0), SB (%65.4) ve KB (%65.3) genotiplerinde tespit edilmiştir (Çizelge 3.). *C. chinense* genotipleri, *C. annuum* genotiplerine göre saçak kök oranı yönünden daha iyi performans göstermişlerdir. Araştırma sonucunda 1-2 mm aralığındaki kök çapı oranları, %16.0 - 21.3 ve çapı 2 mm'den büyük kök oranları

%14.2 - 22.4 arasında değişim göstermiştir. Çapı 1 mm'den fazla olan kök oranı değerlerinin düşük olduğu CC37, CC59, CB27 ve CC38 genotipleri, diğer biber genotiplerine göre ön plana çıkmıştır. Kök uzunluklarının ortalama çap skalasına göre oransal dağılımları genel olarak incelendiğinde en yüksek performansı *C. chinense* ve en düşük performansı ise *C. baccatum* genotipleri göstermiştir.

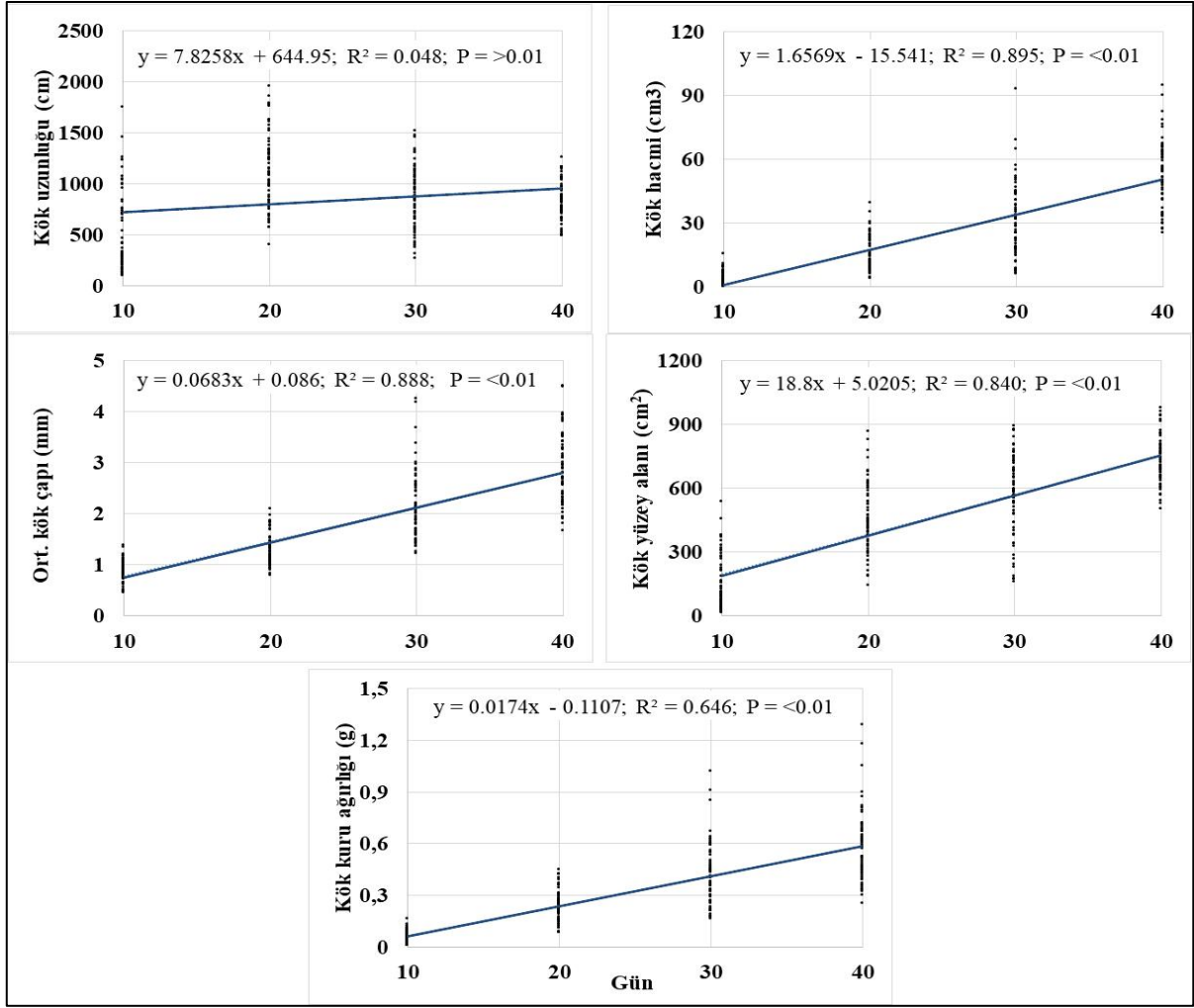
Kök mimarisi parametreleri bağımlı değişken ve dikim sonrası gün sayıları ise bağımsız değişken olarak kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Kök uzunluğu hariç diğer tüm parametreler ile gün sayısı arasında, istatistiksel olarak önemli lineer ilişkinin olduğu bulunmuştur (Şekil 3.). Araştırma sonucunda farklı türlerde yer alan biber genotiplerinin köklenme kapasitelerinin zamana bağlı olarak aşağıdaki formüllerle tahmin edilebileceği tespit edilmiştir. Kök hacmi, %90 regresyon katsayısı ile en iyi tahmin edilebilir kök parametresi olarak belirlenmiştir. Ortalama kök çapı ve kök yüzey alanı kriterleri ise sırasıyla %89 ve %84 oranında R<sup>2</sup> katsayısına sahip olmuştur. Kök kuru ağırlığı kriterinin istatistiksel olarak önemli olmasına rağmen, R<sup>2</sup> katsayısının diğer parametrelere kıyasla daha düşük (% 65) olduğu bulunmuştur (Şekil 3.).

Çizelge 3. Biber genotiplerine ait kök uzunluklarının ortalama çap skalasına göre oransal dağılımı (%)

Tür/Genotip	Ç<1 mm	1 mm≤ Ç ≤2 mm	Ç>2 mm
<i>C. annuum</i>			
ÇB	66.4±3.5 <sup>ae</sup>	17.2±2.2 <sup>be</sup>	16.4±2.5 <sup>bd</sup>
KB	65.3±2.5 <sup>af</sup>	17.3±0.3 <sup>be</sup>	17.4±2.2 <sup>bd</sup>
SB	65.4±2.9 <sup>af</sup>	18.1±2.6 <sup>be</sup>	16.5±0.4 <sup>bd</sup>
WB	66.5±2.3 <sup>ae</sup>	17.0±1.9 <sup>ce</sup>	16.6±1.0 <sup>bd</sup>
<i>C. baccatum</i>			
CB2	63.8±3.4 <sup>cg</sup>	19.0±1.8 <sup>ad</sup>	17.2±2.8 <sup>bd</sup>
CB4	60.4±1.9 <sup>gh</sup>	19.8±1.0 <sup>ab</sup>	19.8±2.4 <sup>ab</sup>
CB11	61.8±3.8 <sup>fg</sup>	18.6±1.0 <sup>ae</sup>	19.6±2.8 <sup>ab</sup>
CB20	56.4±1.5 <sup>h</sup>	21.3±1.1 <sup>a</sup>	22.4±0.3 <sup>a</sup>
CB27	68.4±1.3 <sup>ab</sup>	16.6±1.9 <sup>de</sup>	15.1±0.6 <sup>cd</sup>
CB46	62.7±3.8 <sup>eg</sup>	19.0±2.1 <sup>ad</sup>	18.3±4.3 <sup>bc</sup>
CB55	64.8±2.0 <sup>af</sup>	17.3±1.1 <sup>be</sup>	17.9±1.3 <sup>bd</sup>
CB73	62.1±2.0 <sup>fg</sup>	19.7±1.5 <sup>ac</sup>	18.2±1.1 <sup>bc</sup>
<i>C. chinense</i>			
CC33	66.0±1.6 <sup>af</sup>	19.0±3.6 <sup>ad</sup>	15.0±3.7 <sup>cd</sup>
CC37	69.0±1.0 <sup>a</sup>	16.0±0.7 <sup>e</sup>	15.1±1.7 <sup>cd</sup>
CC38	68.0±2.5 <sup>ac</sup>	16.8±1.5 <sup>de</sup>	15.2±1.9 <sup>cd</sup>
CC47	66.8±4.0 <sup>ae</sup>	17.6±0.3 <sup>be</sup>	15.6±3.8 <sup>cd</sup>
CC55	67.3±2.3 <sup>ad</sup>	17.3±1.0 <sup>be</sup>	15.4±1.7 <sup>cd</sup>
CC59	68.6±3.6 <sup>ab</sup>	17.1±1.4 <sup>be</sup>	14.2±2.3 <sup>d</sup>
CC61	64.3±1.0 <sup>bg</sup>	17.3±2.1 <sup>be</sup>	18.4±1.5 <sup>bc</sup>
CC72	62.9±1.4 <sup>eg</sup>	18.5±0.3 <sup>ae</sup>	18.6±1.3 <sup>ac</sup>
CC76	63.3±1.8 <sup>dg</sup>	17.9±0.9 <sup>be</sup>	18.8±2.7 <sup>ac</sup>
P	0.001	0.045	0.012
CV (%)	4.0	9.3	13.3

\*Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki farklar önemlidir.





Şekil 3. *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinin kök parametrelerinin regresyon modellenmesi ile zamana bağlı ortaya çıkan lineer artışlar

Çalışmada incelenen anaçların kök özellikleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Toplam kök uzunluğu ile ortalama kök çapı arasında negatif ilişki ( $r: -0.79$ ) olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 4.). Kök hacmi ile; ortalama kök çapı ( $r: 0.87$ ), kök yüzey alanı ( $r: 0.69$ ), yüzey alanı artış hızı ( $r: 0.53$ ) ve hacim artış hızı ( $r: 0.98$ ) arasında pozitif ilişki saptanmıştır. Bununla birlikte saçak kök oranı ile ( $< 1$  mm); kök hacmi ( $r: -0.45$ ), ortalama kök çapı ( $r: -0.52$ ), yüzey alanı artış hızı ( $r: -0.42$ ) ve hacim artış hızı ( $r: -0.51$ ) arasında ise negatif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde biberde anaç ıslahı çalışmaları özellikle; kök boğazı çürüklüğü (*Phytophthora capsici*) (Gisbert ve ark., 2010; Jang ve ark., 2012; Arpacı ve ark., 2016), bakteriyel solgunluk hastalığı (*Ralstonia solanacearum*) (Palada ve Wu, 2009) ve kök ur nematodları (Oka ve ark., 2004; Kokalis-Burelle ve ark., 2009) gibi biyotik stres etmenlerine tolerantlık ya da dayanıklılık üzerine yoğunlaşmıştır. Biberde çok sayıda anaç çeşit geliştirilmesine rağmen, aşılı biber fidesi kullanımı henüz istenen düzeyde değildir. Bu durumun en önemli sebebi, farklı araştırmacılar tarafından biberde anaç kullanımının verimi istenilen seviyelerde arttıramamış olması olarak açıklanmıştır (Gisbert ve ark., 2010; Saporta ve Gisbert, 2013; Leal-Fernández ve ark., 2013; Penella ve ark., 2014; Aidoo ve ark., 2018; Soltan ve ark., 2017; Sae-Tang ve Nawata, 2019). Bununla birlikte son yıllarda, dünyada aşılı sebze üretiminde verimi pozitif yönde artıran biber anaçları geliştirilmeye başlanmıştır (Bie ve ark., 2017). Gelecekte nitelikli biber anaçlarının sayısının artmasının aşılı biber fidesi kullanımını olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

Çizelge 4. *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinde köklenme parametreleri arasındaki ilişki

	Ç<1	1≤Ç≤2	Ç>2	KH	OKÇ	KYA	KKA	YAAH	HAH
KU <sup>a</sup>	0.45**	-0.38	-0.36	-0.32	-0.79**	0.35	0.45**	-0.02	-0.47**
Ç<1		-0.71**	-0.88**	-0.45**	-0.52**	-0.14	0.33	-0.42*	-0.51**
1≤Ç≤2			0.28	0.35	0.45**	0.07	-0.35	0.25	0.39
Ç>2				0.38	0.40	0.15	-0.21	0.40*	0.43*
KH					0.87**	0.69**	-0.07	0.53**	0.98**
OKÇ						0.26	-0.26	0.33	0.88**
KYA							0.22	0.55**	0.62**
KKA								0.02	-0.11
YAAH									0.66**

\*\**P*<0.01, \**P*<0.05; <sup>a</sup>KU: Kök uzunluğu (cm), KH: Kök hacmi (cm<sup>3</sup>), OKÇ: Ortalama kök çapı (mm), KYA: Kök yüzey alanı (cm<sup>2</sup>), KKA: Kök kuru ağırlığı (g), YAAH: Yüzey alanı artış hızı (cm<sup>2</sup>/gün), HAH: Hacim artış hızı (cm<sup>3</sup>/gün)

Biber anaç ıslahında güçlü kök sisteminin oluşturulmasına yönelik ıslah çalışmaları oldukça az sayıdadır. Halbuki fotosentez ve kök aktivitesi arasındaki fonksiyonel dengeden dolayı kök ve sürgün biyoması arasında lineer bir ilişki bulunmaktadır (Atkinson, 2000). Anaçların güçlü kök sistemi, daha fazla sitokinin üretimini, sürgünlere daha kolay su ve iyon alınımını sağlamaktadır. Böylelikle kök gelişimi güçlü olan anaçların, bitkinin büyüme ve verimine pozitif katkı yaptığına yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Colla ve ark., 2010; Koevoets ve ark., 2016). Karpuz (Bertucci ve ark., 2018), kavun (Guan ve Zhao, 2015), hıyar (Karaağaç, 2020), domates (Öztekin, 2009; Suchoff ve ark., 2018) ve patlıcanda (Sarıbaş ve ark., 2019) yapılan çalışmalarda, anaçların aşısız bitkilere göre daha iyi kök mimarisine sahip oldukları ortaya konulmuştur. Bu çalışmada; güçlü bir kök sistemine sahip biber anaçlarının geliştirilmesine yönelik olarak türler arası melez programında ebeveyn olarak kullanılan genotiplerin mimari kök özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Genel olarak *C. baccatum* ve *C. chinense* türlerinin kök mimarisi (root arthitecture) özelliklerinin, *C. annuum* türüne göre daha üstün olduğu bulunmuştur. Kök uzunluğu ve kök yüzey alanı yönünden *C. chinense*, kök hacmi ve kök kuru ağırlığı değerleri yönünden ise *C. baccatum* türünün ön plana çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca *C. baccatum* genotiplerinin kök yüzey alanı ve kök hacmindeki artış hızlarının da daha yüksek olduğu bulunmuştur. Mohd Nor ve ark., (2014), *C. annuum* çeşidi ile *C. chinense* anaçlarının kök mimari özelliklerini incelemişler ve birçok *C. chinense* genotipinin daha iyi kök özelliklerine sahip olduklarını belirlemişlerdir. Benzer şekilde Fita ve ark., (2013) dört farklı *Capsicum* cinsine ait türdeki genotiplerin kök mimarisini incelemişlerdir. Bol37r genotipi (*C. baccatum*) kök özellikleri yönünden ön plana çıkmıştır. Buna karşılık Peláez-Anderica ve ark., (2011) ise *C. frutescens*, *C. baccatum* ve *C. pubescens* türlerine ait kök özelliklerinin *C. annuum* türüne göre daha yetersiz düzeyde olduklarını bildirmiştir. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, her ne kadar *C. chinense* ve *C. baccatum* türlerinin köklenme kapasitesinin *C. annuum* türüne göre daha üstün olduğu bulunsu da genotiplere göre bu performansların değişebildiği ortaya çıkmıştır. Yaptığımız çalışmada da kök mimari özellikler yönünden *Capsicum* türleri içerisinde standart sapmanın yüksek olduğu ve köklenme kapasitesi yönünden genotipler arasında tekrar bir seleksiyon yapılmasının önemli olduğu saptanmıştır.

*Capsicum* türleri fenotipik kök mimarisi özellikleri birlikte değerlendirildiğinde; *C. baccatum* türü içerisinde CB73 ve CB4 hatları ve *C. chinense* türü içerisindeki CC47, CC61 ve CC76 kodlu hatların daha üstün köklenme performansı gösterdikleri bulunmuştur. Yapılan birçok çalışmada, araştırma sonuçlarımıza benzer şekilde *C. baccatum* anaçları (Palada ve Wu, 2009;) ve *C. chinense* anaçları (Penella ve ark., 2013; Penella ve ark., 2014) ön plana çıkmıştır. Yaptığımız çalışmada öne çıkan genotiplerin önümüzdeki dönemde aşı uyusumu ve biber verimi üzerine olan etkilerinin incelenmesi planlanmaktadır. Bununla birlikte, günümüzde ticari biber anaç çeşitlerinin tamamına yakınının *C. annuum* x *C. annuum* olmasından dolayı bu türün de anaç potansiyeli göz ardı edilmemelidir. Çalışmamızda kök özellikleri yönünden incelenen *C. annuum* genotipleri özellikle saçak kök oranı yönünden ön plana çıkmıştır. Özellikle KB genotipinin, diğer *C. annuum* genotiplerinden daha üstün kök yapısına sahip olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda da *C. annuum* anaçlarının aşısız biber genotiplerine göre daha iyi kök yapısına sahip oldukları belirlenmiştir (Duan ve ark., 2017; López-Marín ve ark., 2017; Pereira-Dias ve ark., 2018). Ancak *C. annuum*

anaçlarındaki söz konusu köklenme performansı, birçok aşılı biber çeşidinde yeterli düzeylerde verim artışını henüz sağlayamamaktadır (Hennart, 2017). Bu nedenle, son yıllarda türler arası biber anaçlarının geliştirilmesine yönelik anaç ıslah çalışmalarına daha fazla hız verilmiştir. Naresh ve ark., (2017), *C. annuum* x *C. chinense* melezlerinin açılım generasyonlarında kök özelliklerinin kalıtımını incelemiştir. Kök özelliklerinin hem eklemeli hem de eklemeli olmayan gen etkisine sahip kompleks bir kalıtıma sahip olduğunu belirlemiştir. Buna rağmen, birçok kök özelliğinde yüksek kalıtım derecesinin tespit edilmesi nedeniyle seleksiyonla kök özelliklerinin iyileştirebileceğini bildirmiştir. Son yıllarda, *C. annuum* x *C. chinense* (Timár ve ark., 2016) ve *C. baccatum* x *C. annuum* (Hennart, 2017) türler arası melez biber anaçları geliştirilmeye başlanmıştır. Yaptığımız çalışmada kök mimarisi yönünden ön plana çıkan genotipler (CB73, CB4, CC47, CC61, CC76 ve KB) arasında türler arası melezleme kombinasyonlarının (*C. annuum* x *C. chinense* ve *C. baccatum* x *C. annuum*) oluşturulması hedeflenmektedir.

Son yıllarda, çevre şartlarının etkisi ile bitki büyümesinde meydana gelen değişiklikler, bitki büyüme model çalışmaları ile ortaya konulmuş ve bu modellerle bitki büyümesi ile verim arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Kandemir ve Uzun, 2019; Özkaplan ve Balkaya, 2019). Bu çalışmada ise farklı *Capsicum* türlerine ait biber genotiplerinin köklenme kapasitesinin zamana bağlı olarak değişimleri tespit edilmiştir. Zamana bağlı olarak en kuvvetli lineer artış gösteren mimari kök özelliğinin, kök hacmi olduğu belirlenmiştir ( $R^2: 0.895, P<0.01$ ). Kök kuru ağırlığının zamana bağlı lineer artışın ise daha az güvenilir köklenme unsuru olduğu saptanmıştır. Elde edilen regresyon modellerinin biber anaç ıslahı programlarında zamana bağlı olarak köklenme kapasitelerinin tahmin edilmesinde kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir. Korelasyon analizinde de biber genotiplerinde kök hacmi özelliği ile ortalama kök çapı, kök yüzey alanı, yüzey alanı artış hızı ve hacim artış hızı arasında pozitif bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Ancak kök hacmi ile saçak kök oranı arasında negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla biber anaç ıslahına yönelik kök inceleme çalışmalarında kök hacmine ek olarak saçak kök oranı kriterinin de göz ardı edilmemesi gerektiği düşünülmektedir. Bu araştırma sonucunda; elde etmiş olduğumuz kazanımla birlikte biber anaç ıslah programında saçak kök oranı yüksek olarak bulunan *C. annuum* türü ile kök hacmi fazla olduğu tespit edilen *C. baccatum* ve *C. chinense* türüne ait genotiplerde türler arası melezleme çalışmalarının yapılması ve geriye melez açılım generasyonlarında saçak kök oranı fazla ve yüksek kök hacmine sahip genotiplerin seleksiyonu planlanmaktadır.

## Kaynakça

- Abebe, A.M., Wai, K.P.P., Siddique, M.I., Mo, H.S., Yoo, H.J., Jegal, Y., Byeon, S., Jang, K., Jeon, S., Hwang, J., & Kim, B.S. (2016). Evaluation of Phytophthora root rot-and bacterial wilt-resistant inbred lines and their crosses for use as rootstocks in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(6), 598-605.
- Aidoo, M.K., Sherman, T., Ephrath, J.E., Fait, A., Rachmilevitch, S., & Lazarovitch, N. (2018). Grafting as a method to increase the tolerance response of bell pepper to extreme temperatures. *Vadose Zone Journal*, 17(1), 1-8.
- Arpacı, B., Ak, A., & Abak, K. (2016). Kök boğazı yanıklığı hastalığına dayanıklı biber (*Capsicum annuum* L.) melezlerinin anaç performansları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(1), 7-16.
- Aslan, İ., Balkaya, A., Karaağaç, O., Sarıbaş, Ş., & Kurtar, E.S. (2019). Yerel kestane kabağı (*Cucurbita maxima* Duch.) çeşit adaylarının Samsun İlinde farklı lokasyonlarda verim unsurları ve meyve kalite özellikleri yönünden performanslarının incelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 318-329.
- Atkinson, D. (2000). *Root Characteristics: Why and What to Measure*. In A.L. Smit, A.G. Bengough, C. Engels, M. van Noordwijk, S. Pellerin, and S.C. van de Geijn, (eds.), *Root Methods: A Handbook* (pp.1–32). New York, USA: Springer.
- Aydın, O. (2006). *Biberde farklı aşılama yöntemleri ve anaçların büyüme ve gelişme üzerine etkisi*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 68 s, Tokat.
- Aydoğan, A. (2017). *Örtüaltı biber (Capsicum annuum L.var. longum cvs "Asi F1" ve "Görkem F1" yetiştiriciliğinde aşılı fide kullanımının bitki gelişimi, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri*.

- Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 101 s, Aydın.
- Balkaya, A. (2013). Aşılı karpuz yetiştiriciliğinde meyve kalitesini etkileyen faktörler. *TÜRKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 2(6), 6-9.
- Balkaya, A. (2014). Aşılı sebze üretiminde kullanılan anaçlar. *TÜRKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 3(10), 4-7.
- Bertucci, M.B., Suchoff, D.H., Jennings, K.M., Monks, D.W., Gunter, C.C., Schultheis, J.R., & Louws, F.J. (2018). Comparison of root system morphology of cucurbit rootstocks for use in watermelon grafting. *HortTechnology*, 28(5), 629-636.
- Bie, Z., Nawaz, M.A., Huang, Y., Lee, J.M., & Colla, G. (2017). Introduction of vegetable grafting. In: G. Colla, F. Pérez-Alfocea, D. Schwarz (Eds.), *Vegetable Grafting: Principles and Practices* (pp: 1-21). Wallingford, UK: CABI.
- Biles, C.I., Martyn, R.D., & Wilson, H.D. (1989). Isozymes and general proteins from various watermelon cultivars and tissue types. *HortScience*, 24(5), 810-812.
- Böhm, W. (1979). *Methods of Studying Root Systems*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., Temperini, O., Rea, E., Salerno, A. & Pierandrei, F. (2008). Influence of grafting on yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum L.*) grown under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 782, 359-363.
- Colla, G., Roupshael, Y., Leonardi, C., & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127, 147-155.
- Duan, X., Bi, H.G., Li, T., Wu, G.X., Li, Q.M., & Ai, X.Z. (2017). Root characteristics of grafted peppers and their resistance to *Fusarium solani*. *Biologia Plantarum*, 61(3), 579-586.
- Doñas-Uclés, F., Jiménez-Luna, M., Góngora-Corral, J.A., Pérez-Madrid, D., Verde-Fernández, D., & Camacho-Ferre, F. (2014). Influence of three rootstock on yield and commercial quality of Italian sweet pepper. *Ciência e Agrotechnologia*, 38 (6), 538-545.
- Fita, A., Alonso-Valero, I., Andrés, J., Mateu, M.C., & Rodríguez Burruezo, A. (2013). *Evaluating Capsicum spp. root architecture under field conditions*. Paper presented at the XV<sup>th</sup> EUCARPIA Capsicum and Eggplant Working Group Meeting, Hungary, pp. 373-376.
- Gisbert Domenech, M.C., Sánchez-Torres, P., Raigón Jiménez, M., & Nuez Viñals, F. (2010). *Phytophthora capsici* resistance evaluation in pepper hybrids. Agronomic performance and fruit quality of pepper grafted plants. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8(1), 116-121.
- Göçmen, M., Balkaya, A. Kurtar, E.S. Şimşek, İ., & Karaağaç, O. (2014). Kabak (*Cucurbita spp.*) genetik kaynaklarının hıyar (*Cucumis sativus L.*) anaç ıslah programında değerlendirilmesi ve yerli hibrit anaçlarının geliştirilmesi. TÜBİTAK-TEYDEB, Proje Sonuç Raporu (3110194), 140s.
- Guan, W., & Zhao, X. (2015). Effects of grafting methods and root excision on growth characteristics of grafted muskmelon plants. *HortTechnology*, 25(6), 706-713.
- Hennart, J.W. (2017). *Capsicum* Rootstock. U.S. Patent No. 9,683,243. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Jang, Y., Yang, E., Cho, M., Um, Y., Ko, K., & Chun, C. (2012). Effect of grafting on growth and incidence of *Phytophthora* blight and bacterial wilt of pepper (*Capsicum annuum L.*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53(1), 9-19.
- Jung, J.K.H.M., & McCouch, S.R.M. (2013). Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in plant science*, 186(4), 1-32.
- Kandemir, D., & Uzun, S. (2019). Farklı ışık ve sıcaklık şartlarının sera biber yetiştiriciliğinde büyüme parametreleri üzerine kantitatif etkilerinin modellenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(1), 1-11.
- Kang, B.C., Yeam, I., Frantz, J.D., Murphy, J.F., & Jahn, M.M. (2005). The pvr1 locus in *Capsicum* encodes a translation initiation factor eIF4E that interacts with Tobacco etch virus VPg. *The Plant Journal*, 42(3), 392-405.
- Karaağaç, O. (2013). *Karadeniz bölgesinden toplanan kestane kabağı ve bal kabağı genotiplerinin karpuz anaçlık potansiyellerinin belirlenmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 258 s, Samsun.

- Karaağaç, O., & Balkaya, A. (2013). Interspecific hybridization and hybrid seed yield of winter squash (*Cucurbita maxima* Duch.) and pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) lines for rootstock breeding. *Scientia Horticulturae*, 149, 9-12.
- Karaağaç, O. (2020). Hybrid Cucurbita rootstocks improve root architecture, yield, quality, and antioxidant defense systems of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under low temperature stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 23, 613-622.
- Kaspar, T.C. & Bland, W.L. (1992). Soil temperature and root growth. *Soil Science* 154(4), 290-300.
- Kokalis-Burelle, N., Bausher, M.G., & Roskopf, E.N. (2009). Greenhouse evaluation of *Capsicum* rootstocks for management of *Meloidogyne incognita* on grafted bell pepper. *Nematropica* 39,121-132.
- Koevoets, I.T., Venema, J.H., Elzenga, J.T., & Testerink, C. (2016). Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 7(1335), 1-19.
- Kramer, P.J. (1988). Changing concepts regarding plant water relations. *Plant Cell Environment*. 11, 565-568.
- Leal-Fernández, C., Godoy-Hernández, H., Núñez-Colín, C.A., Anaya-López, J.L., Villalobos-Reyes, S., & Castellanos, J.Z. (2013). Morphological response and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. *Biological Agriculture & Horticulture*, 29(1), 1-11.
- Lee, J.M., Kubota, C., Tsao, S.J., Bie, Z., Echevarria, P.H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae* 127, 93-105.
- López-Marín, J., Gálvez, A., del Amor, F.M., Albacete, A., Fernández, J.A., Egea-Gilabert, C., & Pérez-Alfocea, F. (2017). Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *Scientia Horticulturae*, 214, 9-17.
- Mohd Nor, N.H., Fujinuma, R., Menzies, N.W., Harper, S., & McGrath, D. (2014). *Selection for root morphological traits improves the growth of grafted bell pepper*. Paper presented at the XXIX. International Horticultural Congress, Australia (pp. 211-216).
- Morra, L., & Bilotto, M. (2006). Evaluation of new rootstocks for resistance to soil-borne pathogens and productive behaviour of pepper (*Capsicum annuum* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81.3, 518-524.
- Naresh, P., Bhatt, R.M., Venkatachalapathi, V., Gangadhararao, P., & Reddy, K.M. (2017). Inheritance of root traits in an interspecific cross of *Capsicum annuum* × *C. chinense* in the presence of low moisture. *International Journal of Vegetable Science*, 23(6), 575-583.
- Oka, Y., Offebach, R., & Pivonia, S. (2004). Pepper rootstock graft compatibility and response to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. *Journal of Nematology*, 36(2), 137-141.
- Özkaplan, M., & Balkaya, A. (2019). Işık ve sıcaklığın topraksız tarım koşullarında salkım domatesin meyve kalitesine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 227-238.
- Öztekin, G.B. (2009). *Aşılı domates bitkilerinde tuz stresine karşı anaçların etkisi*. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktor Tezi, 375 s, İzmir.
- Paez-Garcia A., Motes, C.M., Scheible, W.R., Chen, R., Blancaflor, E.B., & Monteros, M.J. (2015). Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. *Plants*, 4, 334-355.
- Palada, M.C., & Wu, D.L. (2009). Grafting sweet peppers for production in the hot-wet season. International Cooperator's Guide, AVRDC Publication Number: 09-722-e.
- Peláez-Anderica, E., Rodríguez-Burruezo, A., Prohens, J., & Fita, A. (2011). Root seedling morphology diversity in *Capsicum* spp. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 68(1), 535-536.
- Penella, C., González Nebauer, S., López Galarza, S.V., San Bautista Primo, A., Gorbe, E., & Calatayud, A. (2013). Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 11(3), 1101-1107.
- Penella, C., González Nebauer, S., López Galarza, S.V., San Bautista Primo, A., Rodríguez Burruezo, A., & Calatayud, Á. (2014). Evaluation of some pepper genotypes as rootstocks in water stress conditions. *Horticultural Science*, 41, 192-200.

- Penella, C., González Nebauer, S., Quinones, A., San Bautista, A., Lopez-Galarza, S., & Calatayud, A. (2015). Some rootstocks improve pepper tolerance to mild salinity through ionic regulation. *Plant Science*, 230, 12-22.
- Pereira-Dias, L., Lopez-Serrano, L., Castell-Zeising, V., Lopez-Galarza, S., San Bautista, A., Calatayud, A., & Fita, A. (2018). Different root morphological responses to phosphorus supplies in grafted pepper. *Bulletin UASVM Horticulture*, 75(1), 59-61.
- Sae-Tang, W., & Nawata, E. (2019). Effect of water stress on the growth, physiological response and antioxidative gene expression of grafted sweet pepper plants. *Agriculture and Natural Resources*, 53(6), 581-589.
- Saporta, R., & Gisbert, C. (2013). *Growth and fruit production in pepper grafted on C. annuum, C. baccatum and C. pubescens genotypes*. Paper presented at the XV EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of *Capsicum* and *Eggplant*, Italy, 641.
- Sarıbaşı, Ş. (2019). *Aşılı patlıcan üretiminde genetik kaynakların anaç ıslah programlarında değerlendirilmesi ve yerli hibrit anaçlarının geliştirilmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Samsun.
- Sarıbaşı, Ş., Balkaya, A., Kandemir, D., & Karaağaç, O. (2019). Yerli patlıcan anaçlarının (*Solanum melongena* x *Solanum aethiopicum*) köklenme potansiyeli ve fenotipik kök mimarisi. *Black Sea Journal of Agriculture* 2(3), 138-146.
- Schiefebein, J., & Benfey, P. (1991). The development of plant roots: new approaches to underground problems. *The Plant Cell*, 3, 1147-1154.
- Schwarz, D., Roupael, Y., Colla, G., & Venema, J.H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171.
- Seçim, A., Balkaya, A., Özgen, T., & Üngör, R. (2019). Aşılı domates fidesi için türler arası (*Solanum* spp.) yerli domates anaç adaylarının geliştirilmesi. TÜBİTAK TEYDEB, 7180745 nolu proje.
- Soltan, M.M., ElAidy, F.A., Scheerens, J.C., & Kleinhenz, M.D. (2017). Grafting, scion and rootstock effects on survival rate, vegetative growth and fruit yield of high tunnel-grown grafted pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Advances in Crop Science and Technology*, 312(5), 2.
- Suchoff, D.H., Gunter, C.C., Schultheis, J.R., Kleinhenz, M.D., & Louws, F.J. (2018). Rootstock effect on grafted tomato transplant shoot and root responses to drying soils. *HortScience*, 53(11), 1586-1592.
- Şalk, A., Arın, L., Devenci, M., & Polat, S. (2008). *Özel sebzeçilik*, 448 s., Tekirdağ.
- Timár, Z., Palotás, G., Szarka, J., Ágoston, B., & Csilléry, G. (2016). *New hot interspecific hybrid variety between Capsicum annuum L. and Capsicum chinense Jacq.* Paper presented at the XVI<sup>th</sup> EUCARPIA Capsicum and Eggplant Working Group, 12-14 September 2016, Hungary (pp. 42-45).
- Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G.B., Engindeniz, S., Boyacı, F., Duyar, H., Cebeci, E., & Durdu, T. (2020). *Türkiye’de örtüaltı yetiştiriciliği ve yeni gelişmeler*. Paper presented at the Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, Ankara (pp. 725-750).
- Yıldız, S., Karaağaç, O., & Balkaya, A. (2013). *Aşılı sebze fidesi üretiminde kullanılan anaçların organik tarımda değerlendirilmesi*. Paper presented at the Türkiye V. Organik Tarım Sempozyumu, Samsun, 25-27 Eylül 2013, (pp. 55-63).