

Atasoy, S., G. T. Sahin, and A. Balkaya, Lahanagil Sebze Türlerinin Kök Sistemi Mimarileri Yönünden Karşılaştırılması. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2023. 6(2): p. 193-207.
DOI: 10.38001/ijlsb.1291203

Lahanagil Sebze Türlerinin Kök Sistemi Mimarileri Yönünden Karşılaştırılması

Seda Atasoy^{1*}, G. Tuğba Şahin², Ahmet Balkaya¹

ÖZET

Kışlık sebzeler içerisinde lahanagil sebze türleri en önemli ürün segment grubunu oluşturmaktadır. Bu sebze türlerinde abiyotik stres faktörleri sonucunda büyüme ve gelişme olumsuz düzeyde etkilenmektedir. Bu nedenle bitkilerde, topraktan suyu ve besin maddelerini etkin bir şekilde kullanabilen kök sistemi mimarilerinin belirlenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada, WinRhizo kök görüntüleme sistemlerinden yararlanılarak yaprak lahanası, beyaz baş lahanası, kırmızı baş lahanası, karnabahar, Brüksel lahanası ve brokoli türlerinde kök sistemi mimarisini oluşturan fenotipik kök özelliklerinin (toplam kök uzunluğu (cm), kök yüzey alanı (cm²), kök hacmi (cm³), kök çapı (mm), kök çatallanma ve kesişme sayısı) ayrıntılı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda dikimden itibaren 45. gün sonunda bitkilerde toplam kök uzunluğu, 856-1588 cm arasında değişim göstermiştir. En yüksek toplam kök yüzey alanı değerleri, yaprak lahanası ve brokoli çeşitlerinde 786 cm² ve 727 cm² olarak ölçülmüştür. Korelasyon analizinde tüm kök parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, kök uzunluğu ile kök yüzey alanı arasında pozitif yönde ve çok önemli düzeyde ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kök uzunluğunun hem kök dallanması hem de kök kesişimi ile pozitif korelasyon gösterdiği ve ilişki düzeylerinin önemli olduğu tespit edilmiştir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş

2 Mayıs 2023

Kabul

15 Haziran 2023

ANAHTAR

KELİMELELER

Brassica,

kök,

fenotipik çeşitlilik,

korelasyon

Comparison of *Brassica* Vegetables in terms of Root System Architectures

ABSTRACT

Among winter vegetables, *Brassica* vegetable crops constitute the most important product segment group. The growth and development of these vegetable species are adversely affected due to abiotic stress factors. For this reason, it is of great importance to determine the root system architectures in plants that can effectively use water and nutrients from the soil. In this study, it was aimed to examine in detail the phenotypic root characteristics (total root length (cm), root surface area (cm²), root volume (cm³), root diameter (mm), root tip and fork number) that form the root system architecture of kale, white head cabbage, red head cabbage, cauliflower, Brussels sprout and broccoli by using WinRhizo root imaging systems. As a result of the research, at the end of the 45th day from planting, the total root length of the plants varied between 856-1588 cm. The highest total root surface area were measured as 786 cm² in leaf cabbage and 727 cm² in broccoli. When all root parameters were evaluated together in the correlation analysis, it was determined that there was a positive and very significant relationship between root length and root surface area. In addition, it was determined that the root length was positively correlated with both root branching and root intersection, and the relationship levels were significant.

ARTICLE HISTORY

Received

2 May 2023

Accepted

15 June 2023

KEYWORDS

Brassica,

root,

phenotypic diversity,

correlation

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun / Türkiye

² Targen Tohum Tarım San. Tic. Ltd. Şti. Samsun / Türkiye

*Corresponding Author: Seda Atasoy, e-mail: bensedaatasoy@gmail.com

Giriş

Tarımın en karlı dallarından birisi olan sebze yetiştiriciliğinde son yıllarda kışlık sebze türlerine ve özellikle lahanagil grubu sebzelere olan ilgi ve talep her geçen gün giderek artmaktadır [1]. Bunun sonucu olarak bu türlerin, tarımsal üretimde ekiliş alanları ve üretim miktarları hızlı bir şekilde yükseliş göstermektedir. Geleneksel sebze yetiştiriciliğinde yüksek verim ve ürün kalitesinin artırılması; kaliteli tohum ve fide kullanımı ile kültürel uygulamaların (gübreleme, sulama vb.) ve tarımsal mücadelenin zamanında yeterli, düzenli ve kontrollü bir şekilde yapılması ile mümkün olur [2]. Lahana yetiştiriciliğinde yüksek verimli ve kaliteli ürün için toprağın derin, organik maddece zengin, pH'sının 6.0-6.5 arasında, nemli ve tınlı topraklar olması tercih edilmelidir [3]. Lahanalarda kalın, etli ve oldukça derine giden ana kazık kök ile bol miktarda saçak kök bulunmaktadır. Kazık kökler, 30-35 cm derinliğinde gelişirler. Brüksel lahanası bitkisinin kök yapısı, diğer lahanalara benzemektedir [4]. Kazık kök ile etrafından gelişen saçak köklere sahiptir. Karnabaharlarda, lahanalardaki gibi köklenme çabuk oluşur ve kazık köklüdür. Kökün diğer özellikleri lahanalara benzer. Brokolinin kök yapısı, karnabahara benzemektedir. Kazık kök yaklaşık 25-30 cm derinliğe ulaşır. Toprak yüzeyine yakın bölgede bol miktarda saçak kök oluşur [5].

İklimlerde meydana gelen değişimler ve sürekli yükselen kuraklık riski bitkilerde kök yapısı ve mimarisi üzerine yürütülen çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Kök gelişimi ve toprak üstü aksamaların gelişimi üç boyutlu ve kompleks yapıları itibariyle benzerlik gösterir [6, 7]. Lahanagiller genellikle yüzlek köklü bitkilerdir ve kuraklığa oldukça hassastırlar. Bu tip bitkilerde düzenli sulama ve toprak neminin muhafazası yüksek verim ve ürün kalitesi için çok önemlidir [2]. Sulamada istenen sulama sıklığı; toprak yapısı, bitki kök yapısı, topoğrafya, evapotranspirasyon, yağış, bitki türü ve bitkinin gelişme aşaması gibi faktörlere bağlıdır [8]. Lahana, su stresine orta derecede duyarlı olarak sınıflandırılmıştır [9]. Kuraklığa dayanıklı bitkiler stoma direncini artırarak su kaybını azaltması, büyük ve derin kök sistemleri geliştirerek su alımını artırma ve ozmolitleri biriktirme gibi su stresine uyum sağlamak için çeşitli mekanizmalar geliştirirler [10]. Lahanagil sebzelerinde türler arasında kuraklık stres toleransı ve oluşturdukları mekanizmalar açısından belirgin farklılıklar görülmektedir [2]. Lahana bitkisinde fidenin 6-7 yapraklı olduğu ve baş oluşumunun başladığı dönem

sulama açısından en riskli dönemlerdir [11]. Bu dönemde bitkilerin güçlü bir kök yapısına sahip olmaları büyük önem taşır.

Lahanagil grubu sebze türlerinin yetiştiriciliğinde bitki gelişimi üzerine etkili başlıca kriterler kök yapısı ve stres koşulları altında topraktaki kök gelişimi ve köklenme yeteneğidir. Bitkinin toprak üstü aksamının büyümesine etki eden en önemli etmenlerden bir tanesi de köklerin elde ettiği su ve besin maddesi miktarlarıdır. Jung ve McCouch [12], kök yapısının bitkilerde gelişim, besin iletimi, çevresel koşullara uyum yeteneği ile abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık ve verim artışı açısından mutlak bir öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca bitkilerde kök sisteminin yapısı, çevresel ve hormonal uyartılarla etkilenmektedir [13, 7]. Bitkilerde kök mimarisinin değerlendirilmesi için bitki kök kanopisini oluşturan temel parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Kök parametreleri olarak kuru kök ağırlığı, kök sayısı, kök yüzey alanı, kök çapı ve kök uzunluğu gibi özelliklerin incelenmesi gereklidir [14, 15, 16]. Günümüzde kök mimarisinin belirlenmesinde, bitkilerde lateral kök gelişiminin düzenlenmesi önemli bir çözüm yolu olarak kabul edilmektedir [17]. Yapılan bir araştırmada, Çin lahanasında kök morfolojisini oluşturan parametrelerden primer kök uzunluğu, toplam kök uzunluğu, kök hacmi, kök yüzey alanı ve kök uç sayılarının $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ oranı ve ışık yoğunluğundan etkilendiği belirlenmiştir [18].

Gelişen teknoloji yardımı ile dijital görüntüleme yöntemleri bitkilerin kök mimarilerini bütünsel şekilde inceleyebilme olanağı sağlamıştır. Lahanagil grubu sebze türlerinde, köklenme özellikleri ve kök mimarilerinin belirlenmesine yönelik çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışma ile dijital görüntüleme sistemlerinden yararlanarak lahanagil grubu sebze türlerinin (yaprak lahana, beyaz baş lahana, kırmızı baş lahana, Brüksel lahanası, karnabahar ve brokoli) kök mimarilerini oluşturan temel kök parametreleri yönünden karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu araştırmanın yetiştiricilik kısmı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama sitesinde yer alan sıcaklık kontrollü sebze çoğaltma serasında ($24^\circ\text{C} \pm 2$) gerçekleştirilmiştir. Bitki kök analizleri ise Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada; ülkemizde lahanagil familyasında yaygın olarak yetiştirilen beyaz baş lahana (BBL), kırmızı baş lahana (KBL), yaprak lahana

(YL), Brüksel lahanası (BL), karnabahar (K) ve brokoli (B) türlerine ait ticari çeşitler kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1 Araştırmada kullanılan lahanagil türlerine ait çeşitler
Table 1 Varieties of *Brassica* vegetables included in this study

Tür	Çeşit	Firma
Brokoli	Atlantis	Arzuman Tohumculuk
Karnabahar	Igloo	Arzuman Tohumculuk
Brüksel lahanası	Brüksel	Agrokar Tohumculuk
Yaprak lahana	Karadere	Arzuman Tohumculuk
Beyaz baş lahana	BT-Bafra	Bursa Tohumculuk
Kırmızı baş lahana	Zencibaş	Paşa Tohumculuk

Lahanagil türlerine ait çeşitlerin, torf ve perlit karışımından (3:1 v:v) elde edilen harcın viyollere doldurulması ve tohum ekimi 01.11.2022 tarihinde yapılmıştır. Dört gerçek yaprağa ulaşan lahanagil fideleri; sıcaklık kontrollü sebze çoğaltma serasında 3 litrelik (19 x 17.5 cm) plastik saksılara harç (torf ve perlit) ile doldurulmuş ve 05.12.2022 tarihinde dikilmiştir. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine uygun olarak üç tekerrürlü ve her tekerrürde on iki bitki bulunacak biçimde düzenlenmiştir. Lahanagil türlerine ait fideler, dikiminden itibaren sıcaklık kontrollü sera bölümünde ($24^{\circ}\text{C} \pm 2$) 45 gün süreyle yetiştirilmiştir.

Bitkilerde kök sistemi yapısı, bitki köklerinde bulunan toplam kök uzunluğu, ana kök sayıları, yan kök dallanma sayısı, kök hacmi, kesişen kök sayıları ve kök yüzey kısımlarının sayısal yönden izdüşümleri tespit edilebilmektedir [7, 14]. Araştırmada, lahanagil türlerine ait bitkilerin kök sistemi mimarilerinin incelenmesinde WinRhizo kök analiz programı (ver. 2013) kullanılmıştır [19]. Çalışmada fide dikiminden itibaren tüm çeşitlerde 15, 30 ve 45. gün olmak üzere üç kez kantitatif kök analizleri yapılmıştır. Her bir dönemde bitki kökleri özenle yıkanarak torf ve perlit ortam materyallerinden arındırılmış ve kurutma kağıtları ile kurutulmuştur. Kurutulan kökler daha sonra asetat üzerine (A3 boyutu) konulmuş daha sonra cihazın algılayacağı şekilde ince uçlu pensler yardımıyla dikkatli bir şekilde ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kök tarama işlemine hazır hale getirilen kökler cihazın tarayıcı kısmına konularak 400 dpi çözünürlükte taranmış ve üç boyutlu bir şekilde görüntü bilgisayara kaydedilmiştir. Araştırmada, lahanagil grubunda yer alan sebze türlerine ait bitkilerde, kök mimarisini

oluşturan tüm çap sınıfındaki köklerin kılcal formda var olan saçak kökler de dahil olmak üzere toplam kök uzunlukları tespit edilmiştir. Yine üç boyutlu olarak taraması yapılmış olan tüm köklerin dış çeperleri, bitki kök yüzey alanı olarak hesaplanmıştır. Ayrıca lahanagil türlerine ait bitkilerde mevcut kök uzantıları WinRhizo programı vasıtasıyla ortalama kök çapları belirlenmiştir. Kantitatif analiz sonrasında ayrılan köklerde net kök hacim değerleri de belirlenmiştir. Lahanagil grubu bitki türlerine ait köklerde dallanma sayısı (ana kök ile birincil lateral köklerden gelişen yan dalların sayısı) ve lateral köklerin oluşumu ve uzaması sonucunda birbirleriyle kesiştiği kök kesişim sayıları da tespit edilmiştir. Deneme sonucunda incelenen tüm lahanagil türlerinde köklenme unsurlarını oluşturan verilere, varyans analizi (ANOVA) belirlenmiş ve sonrasında istatistiksel açıdan önem düzeyi yüksek bulunan parametreler Tukey testine yardımı ile gruplara ayrılmıştır. Ayrıca lahanagil grubu sebze türlerinde kök mimarisini oluşturan tüm parametreler arasında korelasyon analizi yapılarak istatistiksel ilişki durumları da incelenmiştir.

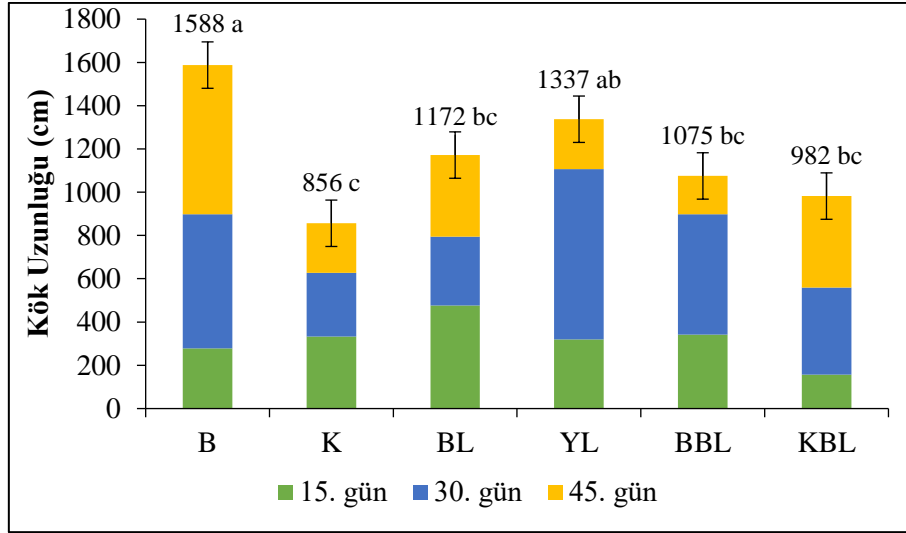
Bulgular ve Tartışma

Araştırmada lahanagil grubu sebze türlerine ait çeşitlerde, kantitatif analizler ve dijital kök tarama sonucunda kök yapısı ve mimarisini oluşturan parametrelerde üç farklı dönemde ortaya çıkan sonuçlar ve oluşan değişikliklerin sebepleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

Toplam kök uzunluğu değerlerinin değişimi

Lahanagil grubu sebze türlerinde fide dikiminden itibaren 15'er gün aralıklarla 3 kez elde edilen kök tarama analizi verilerine göre ölçülen toplam kök uzunluğu sonuçları ve kantitatif oransal dağılımları Şekil 1'de sunulmuştur.

Lahanagil türlerinde toplam kök uzunluğu değerlerinin istatistiksel açıdan önemli seviyede farklılık ($p < 0.05$) gösterdikleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda 45. gün sonunda bitkilerde toplam kök uzunluğu değerleri, 856-1588 cm arasında dağılım göstermiştir. En yüksek değer, brokolide (1588 cm) ölçülmüştür. Bunu yaprak lahana (1337 cm) ve Brüksel lahanası (1172 cm) takip etmiştir. En düşük değerler ise karnabahar (856 cm) ve kırmızı baş lahanada (982 cm) tespit edilmiştir. Kantitatif kök analizlerinde 15. gün sonuçlarına göre karşılaştırma yapıldığında; 45. gün sonunda, kırmızı baş lahana (6.25 kat) ve brokolide (5.71 kat) toplam kök uzunluğu değişiminin diğer türlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1 Lahanagil türlerinde dikimden sonra 15 gün periyotlar ile kaydedilen toplam kök uzunluğu (cm) değerlerinin değişimleri

Fig 1 Changes in total root length (cm) values saved at 15-day periods after planting in *Brassica* vegetables

Karnabaharda ise toplam kök uzunluğu değerlerinin en düşük artışı gösterdiği bulunmuştur. Marulda yapılan bir çalışmada; dikimden itibaren 60. gün sonunda toplam kök uzunluğu değerlerinin, kıvrıcık tip marullarda 2705.4-3086.4 cm ve Yedikule tipi marullarda 1902.6-2838.4 cm arasında farklılaşma görüldüğü belirlenmiştir [7]. Araştırmacılar, toplam kök uzunluğu değerleri yönünden Yedikule tipi marul çeşitleri arasında istatistiksel açıdan önemli seviyede değişimlerin olduğunu saptamışlardır. Benzer durum lahanagil türlerine ait çeşitler arasında da tespit edilmiştir.

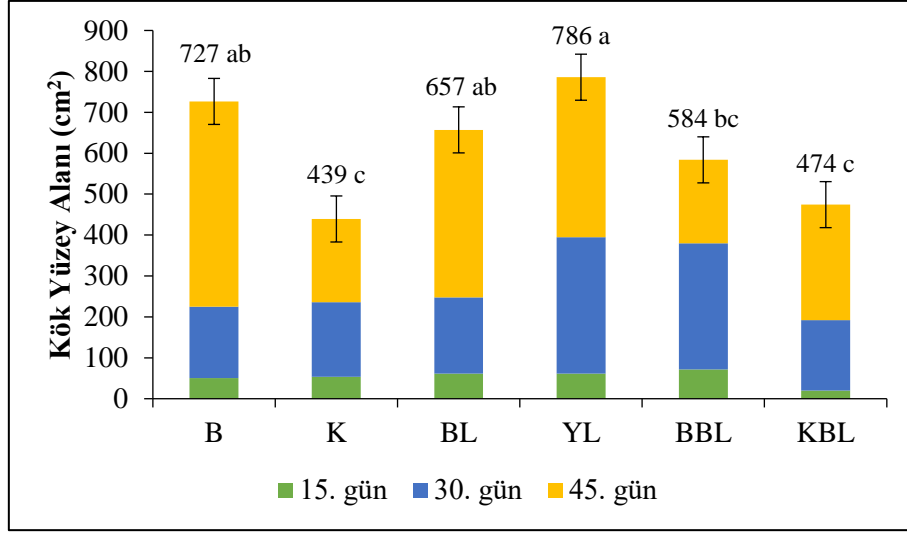
Bitkisel üretimde çeşit performansını, kalite ve verim üzerine etki eden en önemli faktörlerden bir tanesi kök yapılarından kaynaklanmaktadır. Değişik kök derinliğine sahip olan bitkilerin su ve besin maddesi teminindeki farklılıklar verim unsurları üzerinde belirgin olarak etkisini göstermektedir [20]. Bu nedenle bitkisel üretimde, besin noksanlığı ve su kısıntısı gibi stres şartları altında köklerin toprağın derinliklerine inerek su ve bitki besin maddesini elde etmesinin daha kolay bir hale gelmesi açısından toplam kök uzunluğunun yüksek olması gerekmektedir [21, 16]. Özgen [22], bitki besin elementlerinin azlığı veya fazlalığı toplam kök uzunluğu vasıtasıyla direkt olarak ilgili olduğunu belirtmiştir. Zhu ve ark. [23], karnabahar çeşitlerinde farklı düzeylerde tuzluluğa maruz kalan bitkilerde kök uzunluğunun etkilendiğini belirtmişlerdir. Johnson ve ark. [24], bitkilerde artan kök uzunluğunun, daha derin toprak strüktüründe kullanımını teşvik ettiğini ve daha uzun bir kök sistemine sahip olan çeşitlerin daha

derin toprak bölgelerine rahat bir şekilde erişebildiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle bitkisel üretimde özellikle stres koşullarında toplam kök uzunlukları yönünden yüksek değerlere sahip olan çeşitlerin seçilmesi daha büyük bir önem kazanmaktadır.

Toplam kök yüzey alanı yönünden değerlendirme

Bitkilerde topraktan su ve besin alımını etkileyen önemli kök mimarisi unsurlarından bir tanesi de toplam kök yüzey alanıdır. Kök yüzey alanı değerlerinin yüksek olması, bitkilerin özellikle kuraklık veya yüksek sıcaklık stresinde topraktan su ve besin alım düzeyini olumlu yönde artırmaktadır [14, 16]. Johnson ve ark. [24], toprak içerisinde yüksek kök dağılımının, topraktan verilen gübrelerin etkin bir şekilde kullanımı yönünden önemli bir fayda olabileceğini belirtmişlerdir. Araştırma verileri istatistiksel açıdan analiz edildiğinde lahanagil grubu türleri arasında kök yüzey alanı değerleri açısından çok önemli seviyede farklılıklar belirlenmiştir. En yüksek toplam kök yüzey alanı değerleri sırasıyla yaprak lahana ve brokolide 786 cm^2 ve 727 cm^2 olarak ölçülmüştür (Şekil 2). En düşük değer ise karnabaharda 439 cm^2 olarak belirlenmiştir.

Araştırmada 15'er gün aralıklarla yapılan kök analizleri sonucunda tespit edilen lahanagil çeşitlerinin kök yüzey alanı verileri açısından farklılıkları, Şekil 2'de ele alınmıştır. Kök yüzey alanı değerleri, bütün çeşitlerde 15. günden 30. güne kadar hafif düzeyde bir yükseliş takip etmiş, 30. günden itibaren hızlı bir artış eğilimi belirlenmiştir. Kantitatif analizlerde çeşitlere göre 45. gün sonunda kök yüzey alanı değerlerindeki artış miktarları oldukça yüksek değişkenlikler göstermiştir. En yüksek artış miktarı, kırmızı baş lahanada 23.7 kat ve brokolide 14.5 kat olarak hesaplanmıştır. En düşük artış miktarı ise karnabahar (8.1 kat) ve beyaz baş lahana (8.2 kat) çeşitlerinde tespit edilmiştir. Kandemir ve ark. [7], marul çeşitlerinde ürün tipine göre kök yüzey alanı değerlerinde farklı düzeylerde artışların meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırma sonuçları, belirtilen literatür ile uyumluluk göstermiştir. Bu araştırma sonucunda yaprak lahana ve brokoli türlerinde hem toplam kök uzunluğu ve hem de kök yüzey alanı değerlerinin diğer türlere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Johnson ve ark. [24], bitki çeşitlerinde köklerin yüzey alanı ve kök uzunluğunun yüksek bir değere sahip olmasının, daha derin ve geniş toprak yüzey alanından faydalanmaları açısından önemli olduğunu saptamışlardır.



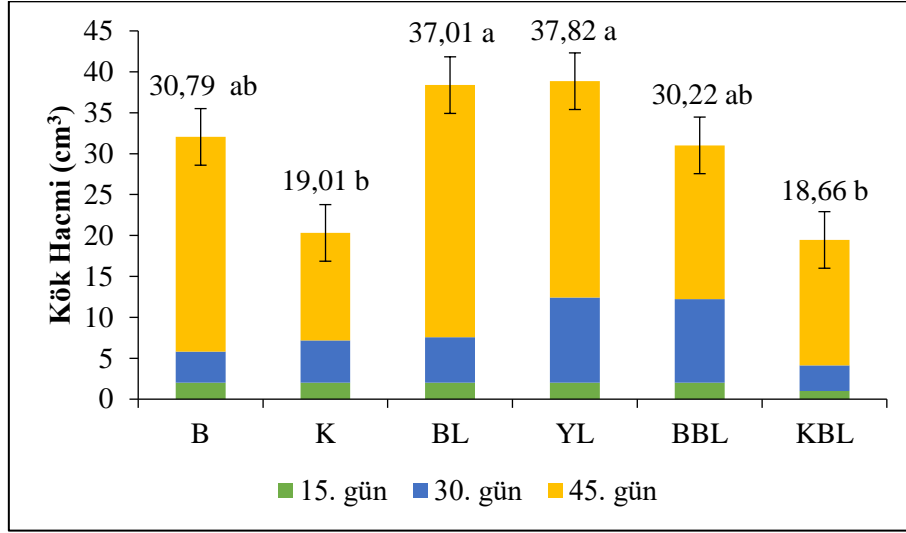
Şekil 2 Lahanagil türlerinde 15 gün aralıklarla ölçülen toplam kök yüzey alanı (cm²) değerlerinin değişimleri

Fig 2 Changes in total root surface area values (cm²) measured at 15-day intervals from planting in *Brassica* vegetables

Toplam kök hacmi değerlerinin değişimi

Üretimde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer hususta kök hacmi miktarı olarak ön plana çıkmaktadır [16]. Karaağaç ve ark. [15], bitkilerin farklı stres koşullarında toplam kök uzunluğu ve kök hacminde değişiklikler yaparak farklı kök adaptasyonları gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırma sonucunda lahanagil grubu sebze türlerine ait çeşitler arasında kök hacmi değerleri yönünden istatistiksel açıdan önemli düzeyde değişimin olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Ortalama kök hacmi değerleri, türlere göre 18.66 cm³ (kırmızı baş lahana) ile 37.82 cm³ (yaprak lahana) arasında değişim göstermiştir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan farklı çalışmalarda sebze türlerinde toplam kök hacmi değerlerinin türlere ve genotiplere göre farklılıklar gösterdiği bulunmuştur. Li ve ark. [25], marulda genotipin, kök hacmi kriteri açısından çok önemli olabileceğini ve 45 günlük marul bitkilerinde kök hacminin 1.64-7.24 cm³ arasında farklılaştığını belirtmişlerdir. Sarıbaş ve ark. [19], patlıcan anaç adaylarında 50. gün sonunda kök hacmi değerlerini 40.5-96.8 cm³ olarak ölçmüşlerdir. Karaağaç ve ark. [15], *C. annuum* türüne ait biber genotiplerinde kök hacmi değerlerinin 33.15 cm³ ile 40.55 cm³, *C. baccatum* türünde 39.03 cm³ ile 73.91 cm³ ve *C. chinense* türüne ait biber genotiplerinde ise 39.05 cm³ ile 71.38 cm³ arasında dağılım meydana geldiğini

belirtmişlerdir. Çalışma sonuçları ile belirtilen bu literatürler arasındaki farklılıklar, kantitatif analizlerin yapıldığı gün sayısı ve tür farklılığından kaynaklanmaktadır.



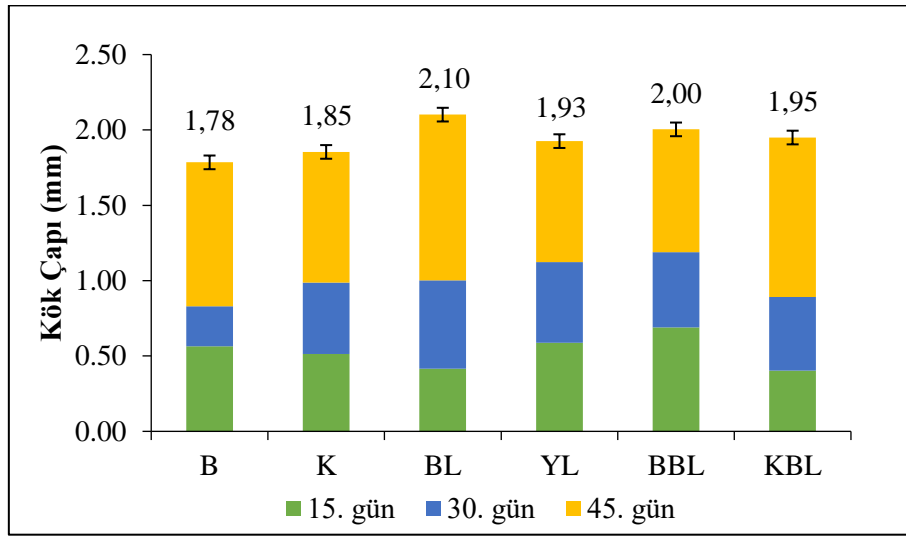
Şekil 3 Lahanağil türlerinde dikimden sonra 15 gün periyotlar ile ölçülen toplam kök hacmi (cm³) değerleri

Fig 3 Changes in total root volume values (cm³) measured at 15-day periods after planting in *Brassica* vegetables

Kök çapı değerlerinin değişimi

Saçak köke yatkınlığın önemli bir yansıması olan kök çapı değerinin düşük olması, kökün emme kabiliyetini arttırmaktadır [26, 19]. Araştırmada lahanagruhu sebzelerinde 45. gün sonunda, ortalama kök çapının 1.78 mm (brokoli)- 2.10 mm (Brüksel lahanası) arasında dağılım gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4). İncelenen türler arasında ortalama kök çapı değerleri bakımından istatistiksel olarak önemli düzeyde bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Diğer sebze türlerinde de kök çapı değerleri yönünden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Peláez-Anderica ve ark. [27], *Capsicum* türlerine ait yabani, yerel ve ticari çeşitlerden meydana gelen 17 genotipte, yaklaşık kök çapı verilerinin 0.48 mm ile 0.75 mm aralığında belirlendiği saptanmıştır. Kandemir ve ark. [7], Yedikule tipi ve kıvrıkcık marul çeşitleri arasında kök çapı değerlerinin, 0.65-0.83 mm arasında dağılım gösterdiğini ve kök çapı değeri bakımından Yedikule marul çeşitleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p < 0.01$) farklılık olduğunu, fakat Kıvrıkcık marul çeşitleri arasında ise belirgin düzeyde bir farklılığın olmadığını tespit etmişlerdir. Kantitatif kök analizlerinde dikimden itibaren ilk 15 günde lahanagil türlerinin kök çaplarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu kaydedilmiştir. Araştırmada 45. gün

sonunda kök çapı artış hızı yönünden en yüksek artışlar; 5.0 kat artışla Brüksel lahanası ve 4.9 kat artışla kırmızı baş lahanada gerçekleşmiştir (Şekil 4). En düşük artış hızı 2.9 kat ile beyaz baş lahanada belirlenmiştir. Bu sonuç, lahanagil grubu türleri arasında kök çapları gelişimleri yönünden oluşan değişimlerin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Lovelli ve ark. [28] ise kök uzunluk miktarının yükselmesi ile kök çapının düştüğünü dolayısıyla su tüketim verimliliğini yükselttiğini belirlemişlerdir.

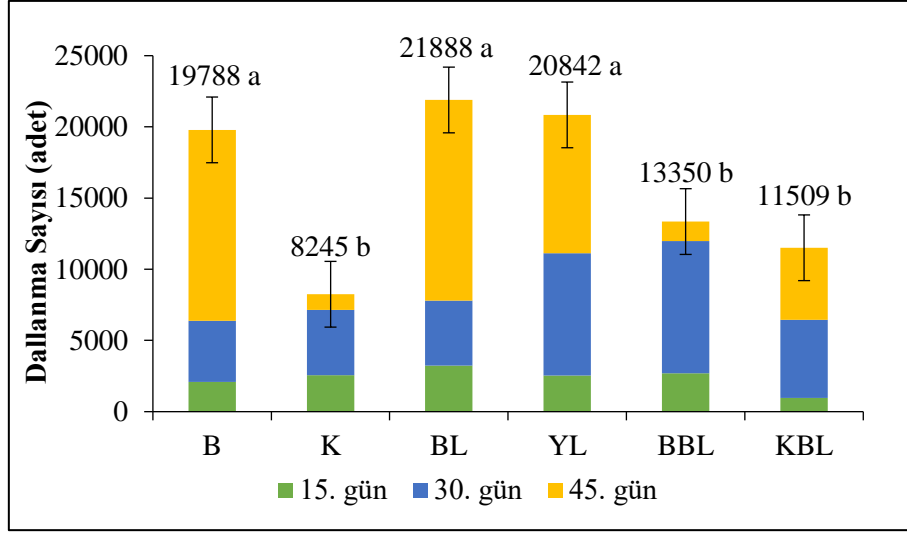


Şekil 4 Lahanagil türlerinde dikimden sonra 15 günlük periyotlarla belirlenen kök çapı (mm) değerleri

Fig 4 Changes in root diameter values (mm) measured at 15-day periods after planting in *Brassica* vegetables

Kök dallanma ve kök kesişim sayıları yönünden incelenmesi

Bitkilerde köklerde meydana gelen uç sayısı, dallanma ve kesişme oranları yükseldikçe bitki besin absorbe edebilme oranlarında önemli miktarda yükselmeler meydana gelmektedir [29, 19]. Lahanagil grubu sebze türlerinde, kök dal sayısı bakımından değerlendirme yapıldığında; çok önemli ($p < 0.05$) düzeyde farklılıkların ortaya çıktığı saptanmıştır (Şekil 5). Araştırmada en yüksek kök dallanma sayısı; sırasıyla Brüksel lahanası (21888 adet), yaprak lahana (20842 adet) ve brokoli (19788 adet) türlerinde belirlenmiştir. En düşük kök dal sayısı ise karnabahar (8245 adet) ve kırmızı baş lahanada (11509 adet) tespit edilmiştir.



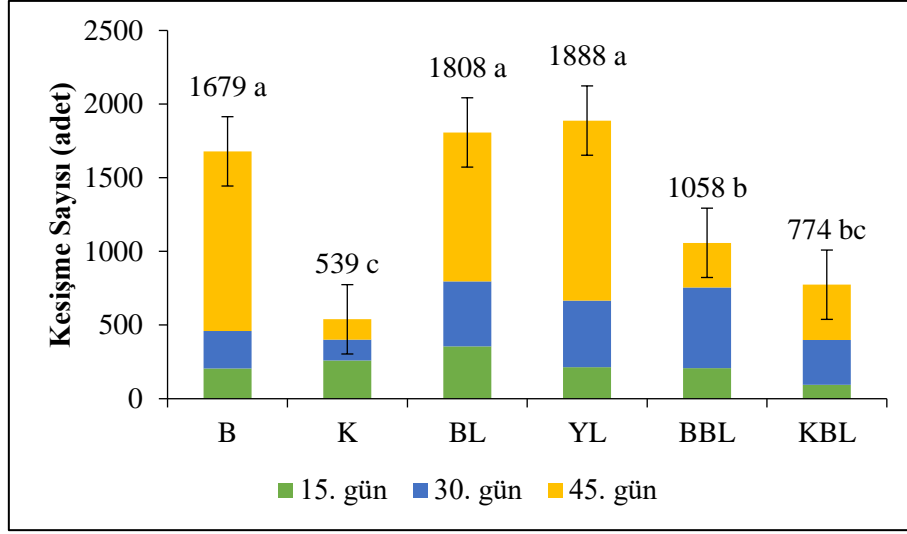
Şekil 5 Lahanagil türlerinde dikimden 15 gün aralıklarla kök dallanma sayısı (adet) değişimi

Fig 5 Changes in root forks (unit) measured at 15-day intervals from planting in *Brassica* vegetables

Araştırma sonucunda lahanagil grubu sebze türlerinde köklerde oluşan kesişim sayısı bakımından; türlerin kesişme sayısına önemli katkısının olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). En yüksek kök kesişim değerleri sırasıyla yaprak lahana (1888 adet), Brüksel lahanası (1808 adet) ve brokoli (1679 adet) türlerine ait olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. En düşük kök kesişme sayısı ise karnabaharda (539 adet) belirlenmiştir. Araştırma sonucunda; genel olarak Brüksel lahanası, yaprak lahana ve brokoli köklerinin; dallanma ve kesişim sayıları yönünden diğer lahanagil türlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Köklenme parametreleri arasındaki korelasyon ilişkisinin incelenmesi

Çalışmanın son kısmında lahanagil türlerinde incelenen çeşitlerde fenotipik köklenme parametreleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Kök uzunluğu ile kök yüzey alanı arasında pozitif yönde ve çok önemli düzeyde ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda kök uzunluğu parametresinin hem dallanma hem de kök kesişimi ile pozitif korelasyon gösterdiği ve ilişki düzeylerinin önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Lahanagil bitkilerinde kök uzunluğu artıp, kök çapı azaldıkça; kök çeperleri artmakta buna rağmen, kök hacim değerleri azalış göstermiştir. Benzer ilişki, Sarıbaş ve ark. [19] tarafından patlıcan anaçlarında yapılan kök analiz çalışmasında ortaya konulmuştur.



Şekil 6 Lahanagil türlerinde dikimden 15 gün aralıklarla kök kesişim sayısı (adet) değişimi

Fig 6 Changes in crossing roots (unit) measured at 15-day intervals from planting in *Brassica* vegetables

Araştırma sonucunda kök yüzey alanı arttıkça, kök hacmi, dallanma ve kök kesişimi arasında pozitif yönde çok önemli düzeyde bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Kök çapı ile diğer kök özellikleri arasında istatistiki açıdan dikkate değer bir korelasyon ilişkisi tespit edilmemiştir. Ayrıca kök kesişimi parametresinin kök çapı ile negatif korelasyon gösterirken, kök hacmi unsuru ile istatistiki olarak az düzeyde önemli ilişkili olduğu bulunmuştur. Bütün kök verileri beraber incelendiğinde lahanagillerde kök uzunluğu ve kök yüzey alanı kriterlerinin diğer köklenme unsurları üzerine istatistiksel olarak çok önemli düzeylerde etkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2 Lahanagil türlerinde kök mimarisi parametreleri arasındaki korelasyon ilişkisi

Table 2 Correlation relationship between root architecture parameters in *Brassica* vegetables

	Kök çapı (mm)	Kök yüzey alanı (cm ²)	Kök hacmi (cm ³)	Dallanma sayısı (adet)	Kök kesişme sayısı (adet)
Kök uzunluğu (cm)	-0.38	0.73**	0.51	0.78**	0.79**
Kök çapı (mm)		0.04	0.42	-0.05	-0.16
Kök yüzey alanı (cm ²)			0.85**	0.78**	0.75**
Kök hacmi (cm ³)				0.71**	0.64*
Dallanma sayısı					0.95**

**p<0.01

Sonuç

Bitkilerde var olan kök mimarisi yapısı, su ve besin alımı gibi farklı fizyolojik görevlere önemli miktarlarda tesir ederek, özellikle stres etmenleri altında bitki büyümesi, gelişmesi, verimliliği ve ürün kalitesi açısından önemli düzeyde etkili olmaktadır. *Brassicaceae* familyasında yer alan sebze türleri, suya orta derece duyarlı veya hassas olarak nitelendirilmektedir. Lahana grubu sebze türlerinin su ihtiyacı yüksektir, bu nedenle kuraklıktan önemli ölçüde etkilenmektedir. Toprakta nem seviyeleri düştüğünde büyüme fonksiyonunu durdururlar. Özellikle fide dönemindeki kuraklık stresi, bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bitkilerin strese girmesini önlemek için toprak analiz sonuçlarına göre sulama ve gübreleme uygulamalarının dikkatli bir şekilde uygulanması gereklidir. Ayrıca lahanagil sebze türlerinin yetiştiriciliğinde yüksek sıcaklık stresi, su kısıtı veya kuraklık durumunda bitkilerde topraktan suyu ve besin maddelerini etkin ve etkili bir düzeyde olabilen kök mimarilerinin belirlenmesi problemleri minimum seviyeye düşürecektir.

Araştırma sonucunda lahanagil sebzelerde türler arasında toplam kök uzunluğu, kök yüzey alanı, kök hacmi değerleri ile kökte dallanma ve kök kesişim sayıları yönünden fenotipik çeşitliliğin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, lahanagil grubu sebze türlerinin yetiştiriciliğinde toplam kök uzunluğu ve kök yüzey alanının diğer kök mimarisi parametrelerine göre daha önemli düzeyde etkili kök mimarisi unsurları olduğunu göstermiştir. Araştırma sonucunda elde edilen köklenme mimarisi sonuçlarının, gelecekte lahanagil grubu türlerin yetiştiriciliğinde su ve gübre kullanımının etkinlik durumuna ilişkin yapılacak bilimsel çalışmalarda önemli temel bilgiler ve kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Abbreviations/Kısaltmalar

cm: Centimeter/Santimetre, cm²: Square centimeter/Santimetre kare, cm³: Cubic centimeter/Santimetre küp, mm: Millimetre/Milimetre, vb.: Et cetera/Ve benzeri, NH₄⁺: Ammonium/Amonyum, NO₃⁻: Nitrate/Nitrat, °C: Centigrade degrees/Santigrat derece, ver.: Version/Versiyon, dpi: Dot per inch/İnç başına nokta, ark.: Et al/Arkadaşları, *C. annuum*: *Capsicum annuum*, *C. baccatum*: *Capsicum baccatum*, *C. chinense*: *Capsicum chinense*.

Acknowledgments / Teşekkürler

We gratefully acknowledge the support of the Faculty of Agriculture at Ondokuz Mayıs University. Desteklerinden dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesine teşekkürlerimizi sunarız.

Funding / Fon desteği

The author did not receive support from any organization for the submitted work.

Yazar, gönderilen çalışma için herhangi bir kuruluştan destek almamıştır.

Data Availability statement / Veri Kullanılabilirliği bildirimi

The author confirms that the data supporting this study are cited in the article.

Yazar, bu çalışmayı destekleyen verilere makalede atıfta bulunulduğunu onaylamaktadır.

Compliance with ethical standards / Etik standartlara uyum

Conflict of interest / Çıkar çatışması

The author declare no conflict of interest.

Yazar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Ethical standards / Etik standartlar

The study is proper with ethical standards.

Çalışma etik standartlara uygundur.

Authors' contributions / Yazar katkıları

The authors declare that they have contributed equally to the article.

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

1. Balkaya, A., O. Karaağaç, and S. Atasoy, Geçmişten Geleceğe Türkiye'de Lahanagil Sebzelelerinin Üretimi, Sorunları ve Çözüm Önerileri, in Farklı Yönleriyle Lahanagiller Üzerine Bilimsel Çalışmalar, F. Yaşar and Ö. Üzal, Editors. 2023, İksad Publishing House. Türkiye. p. 3-36.
2. Ekinci, M., S. Örs and E. Yıldırım, Lahanagil Sebze Türlerinde Sulama ve Su Stresi, in Farklı Yönleriyle Lahanagiller Üzerine Bilimsel Çalışmalar, F. Yaşar and Ö. Üzal, Editors. 2023, İksad Publishing House. Türkiye. p. 181-214.
3. Balkaya, A., “Bahçe Tarımı-II. Ünite 7. Lahana, Karnabahar, Brokoli, Yetiştiriciliği”. II. Basım, 2016. Anadolu Üniversitesi Yayını No:2358. Açık Öğretim Fakültesi Yayını No:1355.
4. Kasım, M.U., and N. Sürmeli. Brüksel lahanası yetiştiriciliği. Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, 2003. Yayın No: 87, Yalova p. 19.
5. Murat Doğru, Ş., and A. Çilingir, A. Balkaya, Brokoli yetiştiriciliği. Tarım Gündem, 2016. 6 (34): p. 20-24.
6. Bektaş, H., The effect of salt stress on root development and architecture in common grass pea (*Lathyrus sativus* L.). Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021. 23: p. 793-799.
7. Kandemir, D., et al., Kıvrıkcık ve yedikule tipi marul çeşitlerinin kök gelişimi ve kök sistemi mimarisi yönünden incelenmesi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 2021. 11(2): p. 120-130.
8. Hanson, B.R., D.M. May, and L.J. Schwankl, Effect of irrigation frequency on subsurface drip irrigated vegetables, 2003. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, CA.
9. Adeniran, K.A., et al., Water requirements of some selected crops in kampe dam irrigation project. Australian Journal of Agricultural Engineering, 2010. p. 119-125.
10. Bahadur, A., et al., Physiological and biochemical basis of drought tolerance in vegetables. Vegetable Science, 2011. 38 (1): p. 1-16.
11. Bute, A., et al., The most suitable irrigation methods in cabbage crops (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*): A review. Scientific Papers. Series B. Horticulture, 2021. 65(1): p. 399-405.
12. Jung, J. K., and S. McCouch, Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. Frontiers in Plant Science, 2013. 186(4): p. 1-32.
13. Lopez-Bucio, J., and A. Cruz-Ramirez, L. Herrera-Estella, The role of nutrient availability in regulating root architecture. Current Opinion in Plant Biology, 2003. 6: p. 280-287.

14. Sarıbaş, H.Ş., Aşılı patlıcan üretiminde genetik kaynakların anaç ıslah programında değerlendirilmesi ve yerli hibrit anaçların geliştirilmesi. 2019, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi.
15. Karaağaç, O., et al., *Capsicum* türlerinin kök yapılarının incelenmesi ve kök özellikleri yönünden karşılaştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 2020. 30 (2): p. 266-279.
16. Özgen, R., and A. Balkaya, Düşük sıcaklığa tolerant hibrit biber çeşit adaylarının kök mimarileri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2022. 12(3): p. 1213-1223.
17. Villordon, A.Q., and C.A. Clark, Variation in virus symptom development and root architecture attributes at the onset of storage root initiation in 'Beauregard' sweet potato plants grown with or without nitrogen. PLoS One, 2014. 9: e107384.
18. Hu, L., et al., Moderate ammonium: nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. Scientia Horticulturae, 2015. 186: p. 143-153.
19. Sarıbaş, H.Ş., et al., Yerli patlıcan anaçlarının (*Solanum melongena* x *Solanum aethiopicum*) köklenme potansiyeli ve fenotipik kök mimarisi. Black Sea Journal of Agriculture, 2019. 2 (3): p. 138-146.
20. Wiesler, F., and W.J. Horst, Root growth of maize cultivars under field conditions as studied by the core and method and relationships to shoot growth. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1994. 157 (5): p. 351-358.
21. Comas, L., et al., Root traits contributing to plant productivity under drought. Frontiers in Plant Science, 2013. 4: p. 442.
22. Özgen, T., Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Genotiplerinin *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*'ya dayanıklılık düzeylerinin ve kök yapılarının incelenmesi. 2019. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
23. Zhu, S., et al., Effects of NaCl stress on seed germination, early seedling growth and physiological characteristics of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.). African Journal of Biotechnology, 2011. 10(78), p. 17940- 17947.
24. Johnson, W.C., et al., Lettuce, a shallow rooted crop, and *Lactuca serriola*, its wild progenitor, differ at QTL determining root architecture and deep soil water exploitation. Theoretical and Applied Genetics, 2000. 101(7): p. 1066-1073.
25. Li, Q., et al., Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. Horticulturae, 2018. 4(4): p. 35.
26. Eissenstat, D.M., Costs and benefits of constructing roots of small diameter. Journal of Plant Nutrition, 1992. 15(6-7): p. 763- 782.
27. Peláez-Anderica, E., et al., Root seedling morphology diversity in *Capsicum* spp. bulletin of university of agricultural sciences and veterinary medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2011. 68 (1): p. 535-536.
28. Lovelli, S., et al., Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. Journal of Agronomy, 2012. 11: p. 101-106.
29. Craine, J.M., Competition for nutrients and optimal root allocation. Plant and Soil, 2006. 285: p. 171-185.