



BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM

E-ISSN : 2757-6140

Sayı | Issue : 1

Yıl | Year : 2026



REVIEW ARTICLE

Meraların Görünmeyen Yüzü: Kökler

The Invisible Face of Rangelands: Roots

Ahmet Gökkuş¹ , Ece Coşkun²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makalesi

Geliş: 22.12.2025
Kabul: 22.04.2026
Yayın: 11.06.2026

Anahtar Kelimeler:

Kazık kök
Köklerin işlevi
Otlama
Saçak kök

Akademik Editör:

Dr. Duygu Algan

Mizanpaj Editörü:

Habibe Doğan

ARTICLE INFO

Review Article

Received: 22.12.2025
Accepted: 22.04.2026
Published: 11.06.2026

Keywords:

Fibrous root
Functions of the roots
Grazing
Taproot

© 2026 Gökkuş & Coşkun

ÖZ

Bitkiyi toprağa bağlayan kökler, bitki ile toprak arasındaki ilişkiyi kurarlar ve bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli su ve besin elementlerinin alımında aracı olurlar. Toprak altında bulundukları için fotosentez yapamazlar, bu nedenle ihtiyaç duydukları besin maddelerini (örneğin şeker) toprak üstü organlarından (fotosentez organları) temin ederler. Böylelikle toprak üstü ve toprak altı organları bitki mimarisinin birbirini destekleyen yapıtaşlarıdır. Bitkiler yaygın olarak saçak ve kazık sistemine sahiptirler. Saçak kökler meraların egemen türleri olan buğdaygillerin kök sistemidir. Bu kökler yoğun ve yüzeysel olarak dallanırlar ve yenilenme hızları yüksektir. Kazık kökler ise geniş yapraklı otlar ve odunsu bitkilerin kökleridir. Daha seyrek dağılırlar, ancak daha derine inerler. Kök sisteminin gelişimi çok sayıda faktör (toprak sıcaklığı, toprağın su ve besin elementi varlığı, pH, toprak canlıları, bitkinin fizyolojisi, otlama, vb.) tarafından kontrol edilir. Otlama bitkilerin fotosentez dokularını uzaklaştırdığı için kökler üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle devamlı ve ağır otlama, köklerin büyüme, uzama, derinlik, çap, yüzey alanı gibi özellikleri üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Bunun için dinlendirerek ya da klasik münavebeli otlama (otlat – dinlendir) ile bitkilerin kendilerini toparlamalarına izin verecek yeterli dinlenme süresi bırakılmalı, bitkilerin yeniden büyümesinde önemli olan yedek besin maddeleri korunmalı, üretilen otun yarısı merada bırakılmalı ve bitki örtülerinin yapısına göre merada otlamadan sonra en az 5-10 cm anız kalmasına dikkat edilmelidir. Zira kök sistemleri sürgünlere kıyasla çevre ve kullanım kaynaklı streslere karşı daha duyarlıdır.

ABSTRACT

Roots, which anchor plants to the soil, establish a connection between the plant and the soil and serve as intermediaries in the uptake of water and nutrients necessary for photosynthesis. Because they are underground, they cannot photosynthesize, so they obtain the nutrients they need (e.g. sugar) from above-ground organs (photosynthetic organs). Thus, above and below-ground organs are mutually supportive building blocks of plant architecture. Plants commonly have a fibrous and taproot system. Fibrous roots are the root system of grasses, the dominant species in grasslands. These roots are densely and superficially branched and have a high regeneration rate. Taproots are the roots of forbs and woody plants. They are less widely distributed but penetrate deeper. Root system development is controlled by numerous factors (soil temperature, soil water and nutrient availability, pH, soil organisms, plant physiology, grazing, etc.). Grazing has a direct impact on roots because it removes photosynthetic tissues from plants. Continuous and heavy grazing, in particular, has negative effects on root characteristics such as growth, extension, depth, diameter, and surface area. Therefore, sufficient rest periods should be allowed for plant recovery through resting or traditional rotational grazing (graze-rest), reserves crucial for plant regrowth should be preserved, half of the biomass produced should be left in the rangeland, care should be taken to leave at least 5-10 cm of stubble after grazing, depending on the structure of the vegetation. Because root systems are more sensitive to environmental and usage-related stresses than shoots.

✉ Correspondence: agokkus@yahoo.com (Ahmet Gökkuş)

Citation: Gökkuş, A., & Coşkun, E. (2026). Meraların görünmeyen yüzü: Kökler. *Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi*, (1): 71-83.



Giriş

Bitkinin toprak altında kalan organı olan kökler, ışık görmediği ve gerekli donanımına sahip olmadığı için fotosentez yapamaz, ancak fotosentez için gerekli su ve minerallerin ana tedarikçisidir. Dolayısıyla bitkilerde sağlıklı bir büyüme ve gelişme, bir yönüyle toplam bitki kütlesinin yalnızca %10-20'sini oluşturan köklerin işlevlerini etkin biçimde yerine getirebilme gücüne bağlıdır (Sathiyavani ve ark., 2017).

Sağlıklı ve işlevsel kök sistemleri bitkilerin hayatta kalması ve üretkenliği için kritik öneme sahiptir. Büyüme sırasında karşılaşılan çevre şartları, metabolizma ürünlerinin temini ve otlanma gibi fotosentez dokularının tüketilmesi köklerin büyüme ve gelişmesi ile işlevinde belirleyicidir (Davis & Potter, 1981; McMichael & Quisenberry, 1993; Dawson ve ark., 2000; Rogers ve ark., 2006). Bunun yanında genetik bilgi de kökün büyüme ve gelişmesini büyük ölçüde tayin eder (Wraith & Wright, 1998).

Kökler işlevleri ile fotosentez ve madde üretimini belirlerken, aynı zamanda bu ürünlerin de en önemli alıcılarıdır. Zira kökler tohumdaki yedek besin maddelerinin tükenmesini takiben tamamen bitkinin toprak üstü kısımlarından sağlanan fotosentez enerjisine bağımlı hale gelirler (Hennion ve ark., 2019). Yapraklarda üretilen çözünabilir şekerler (genelde sakaroz) soymuk boruları ile köklere taşınarak solunum faaliyetini artırır (Street ve ark., 1978). Dolayısıyla bitkilerin fotosentez alanını etkileyen her faktör, aynı zamanda kök gelişimini de etkileyecektir. Bunun yanında otlayan hayvan için en değerli besin kaynağı da bitkilerin fotosentez dokuları olup (Lyons & Hanselka, 2001; Altın ve ark., 2025), öncelikle bu kısımlar tüketilir. Bu sebeple otlatma yönetimi, köklerin büyüme ve gelişmesi ile işlevleri üzerinde belirgin bir etki yaratır. Bu makalede de bitkilerin görünmeyen organlarının yapı ve özellikleri ile otlanma karşısındaki tepkileri ve bunun bitkilerin yeniden büyüme ve gelişmelerine etkileri hakkında bilgiler sunulmuştur.

Köklerin Yapısı

Bitkilerde yaygın olarak iki tip kök bulunur: saçak kök ve kazık kök. Bunların dışında daha seyrek olarak depo kökleri (yumru, soğan) görülür. Saçak kökler tek çenekli bitkilerin kökleri olup, meraların yaygın türlerinden olan buğdaygiller bu kök sistemine sahiptir. Bu kök yapısında kök tacından çok sayıda yaklaşık aynı uzunluklarda ince kökler çıkar. Bunlar yanal olarak da dallanır ve çok derine gitmezler, ancak daha fazla kök kütlesine (Roumet ve ark., 2008; Akman, 2020) ve yüzey alanına sahiptirler (Jiang ve ark., 2023). Saçak köklerin ince dallarının önemli bir kısmı her sene ölüp, yerlerine yenileri üretilir ve yıllık yenileme miktarı toplam kök sisteminin %20-50'si arasında değişir. (Rouse ve ark., 1994). Buğdaygil yem bitkisi kökleri ortalama 15-50 hafta yaşar, ancak kökler inceldikçe bu yaşam süresi kısalmır (van der Krift & Berendse, 2002). Köklerdeki bu değişim toprakta kolay parçalanabilen daha çok organik madde birikmesine ve toprak yapısının iyileşmesine vesile olur.

Saçak kökler meralarda yaygın olup, çoğunlukla toprağın 10-20 cm'lik kısmında yoğunlaşmıştır (Klepper, 1992). Bu sığ kökler yağış sularını toprağın üst kısmından daha kolay, hızlı ve fazla emerler (Nippert & Holdo, 2014). Genellikle kurak iklimlerde yayılma gösteren meraların (Altın ve ark., 2025) çok yıllık buğdaygilleri bu iklimlerde yaşayabilirler, ancak aldıkları suyu depolama yetenekleri olmadığı için çoğunlukla çok kurak ortamlarda hayatta kalmakta zorlanırlar. Çok kurak iklimlerde yabani yulaf (*Avena fatua*), pisipisi arpası (*Hordeum murinum*) ve kır bromu (*Bromus tectorum*) gibi bir yıllık (terofit) buğdaygiller hayatta kalabilirler. Bunlar da kurak dönemleri köklerini canlı tutarak değil, tohumları ile geçirdikleri için yaşama başarısı gösterirler (Li ve ark., 2008; Yüceol & Göktürk, 2023). Diğer taraftan çok yıllık buğdaygiller daha nemli iklimlere daha iyi uyum sağlamışlardır. Bu yüzden çayırların yaygın türleridirler. Örneğin Doğu Anadolu çayırlarında

çayır salkımotu (*Poa pratensis*), çayır yumağı (*Festuca pratensis*), çayır arpası (*Hordeum violaceum*) ve kamışsı tilkikuyruğu (*Alopecurus arundinaceus*) gibi çok yıllık buğdaygiller dominant konumdadır (Andiç, 1985; Gökkuş, 1990). Yine domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*) ve yumrulu salkımotu (*Poa bulbosa*) yarı kurak-yarı nemli alanlara iyi uyum sağlamış türlerdir.

Kazık kök sistemi, kalınlaşmış ve genelde derine giden bir ana kök ile ondan dallanmış yan kökler ve daha ince köklerden meydana gelmiştir. Ana kökten dallanan yan kökler geçici olarak işlev görürler, zaman içerisinde kurur ve dökülürler (Scott, 1978). Bu kök sistemine geniş yapraklı otlar ile odunsu bitkiler sahiptir. Geniş yapraklı otların içinde azot bağlayan baklagillerin ayrı ve önemli bir yeri vardır. Geniş yapraklı otlar buğdaygillerden daha az toplam kök uzunluğu ve yoğunluğuna sahiptir, ancak kökleri daha derine gider. Bu kök sistemi genelde çevresel streslere karşı daha dayanıklıdır (Bakker ve ark., 2019). Kazık kök, saçak köke göre daha fazla yedek besin maddesi depolama kapasitesine sahiptir (Srinivas ve ark., 2017). Bu yeniden büyümede bitkilere avantaj sağlar. Ancak buna rağmen otlanmadan sonra buğdaygiller kendilerini daha iyi yenileyebilirler. Zira buğdaygillerde yeniden büyümenin gerçekleştiği yedek tomurcuklar toprak altında bulunan kök tacında yer alır ve bu kısım hayvanlar tarafından otlanamaz (Trlica, 2006).

Otsu türlere göre toprağın daha derinlerine inen odunsu bitkilerin (çalı, ağaç) kazık kökleri hem depo organıdır hem de derinlerdeki su ve mineralleri alabilme yeteneğine sahiptir. Bu sebeple kurak iklimlerde ve Akdeniz'in uzun kurak yazlarında yeşil halde kalarak hayvanlara kıymetli yem sunabilirler (Papanastasis, 1996). Ülkemizde meşe (*Quercus*), ardıç (*Juniperus*), laden (*Cistus*) türleri ve akçakesme (*Phillyrea latifolia*) otsu türlerin kuruduğu dönemde bilhassa keçiler için önemli kaba yem kaynaklarıdır (Bıçakçı ve ark., 2022; Bıçakçı & Türk, 2024).

Depo kökler, bitkilerde fotosentez ürünlerinin bir bölümünün depolandığı soğan ve yumru oluşturan köklerdir. Bu kök sistemine sahip bitkiler (örnek, *Allium*, *Iris*, *Ornithogalum*, *Anemone*, *Muscari* türleri) meralarda daha seyrek bulunurlar ve genelde hayvanlar için kıymetli yem bitkileri değildir.

Köklerin İşlevi

Bitkiyi toprağa sabitleyen kökler, bitkiler ile toprak arasındaki en önemli bağlantıdır. Su ve suda erimiş maddeleri (iyonları) almak, besin maddelerini depolamak ve çeşitli organik bileşikler (ana depolama ürünleri, çözünebilir metabolizma ürünlerini, büyüme düzenleyicileri) sentezlemek gibi önemli işlevleri bulunmaktadır. Kökler bu işlevlerini yerine getirmek için toprak içerisinde çok yoğun bir şekilde dallanıp yayılarak toprak ile sıkı bir bağ kurarlar. Örneğin, kurağa dayanıklı kışlık bir çavdarın (*Secale cereale*) 14,5 milyar emici tüyü olan toplam 10.626 km kök uzunluğuna sahip olduğu ve kök yüzey alanının toprak üstündeki kısımların yüzey alanının yaklaşık 130 katı olduğu tahmin edilmiştir (Scott, 1978).

Kökler toprakta karmaşık bir gözenek ağı oluşturmak suretiyle su hareketini ve mineral taşınmasını düzenlerler. Özellikle üst kök sistemi suyun toprağa nüfuzunu artıran kararlı ve sürekli gözenekler sağlamada etkilidir (Gimenez & Hirmas, 2017). Ayrıca kökler salgıladıkları organik bileşikler, ilişkili mantar iplikçikleri ve ince dalları ile toprak parçacıklarını birbirine bağlayarak küme oluşumunu temin eder (Islam & Wright, 2017; Ortaş, 2017) ve böylelikle toprak yapısını iyileştirirler (Ortaş, 2017).

Köklerin Büyüme ve Gelişmesinde Etkili Faktörler

Köklerin büyüme ve gelişmesi, toprak suyu, toprak sıcaklığı, alınabilir besin elementleri ve fotosentez ürünlerinin temini gibi birçok dış ve iç faktör tarafından kontrol edilir. Kök sistemlerinin kapsamı ve işlevi de doğrudan ya da dolaylı olarak toprağın yapısı ve şartlarını değiştirir (iyileştirir) (Parlak ve ark., 2012; Logsdon, 2013; Hakeem ve ark., 2015).

Toprak suyu: Büyüyen kök sistemlerinin kapsamını ve morfolojisini etkileyen toprak özellikleri arasında su önemli bir yere sahiptir. Bitkiler normal yaşamını ve üretimini sürdürebilmek için yeterli ve düzenli olarak su almak zorundadırlar. Ancak toprağın su potansiyeli saatlik, günlük ve mevsimlik olarak sürekli değişir. Bitkiler de değişen bu ortamdan gerekli olan suyu alabilmek için toprak parçacıklarının aralarında yana ve derine doğru uzanmaya gayret ederler. Ayrıca özellikle kurak ve yarı kurak topraklarda ölen köklerin yerini sürekli olarak yenileri alır. Bunun için büyüme şarttır. Bilhassa serin iklimlerde kış uykusundan uyanan köklerin ilkbahar başında yeniden büyümesi çok önemlidir (Street ve ark., 1978). Ancak bu mevsimde kök büyümesinde genelde su eksikliğinden çok sıcaklık daha belirleyicidir.

Kökler toprak suyunu kolay alabilmek için çok sayıda emici tüy üretmek suretiyle yüzey alanını olabildiğince artırır. Bu nedenle toplam kök yüzey alanının yaklaşık %70'ini emici tüyler oluşturur (Jungk, 2001) ve buğdaygillerde kökün her mm'sinde 19 ila 98 emici tüy bulunur (Glinski & Lipiec, 2018). Emici tüyler özellikle su alımında önemli olmakla birlikte, mineral alımında da etkilidir (Lew, 2009). Örneğin P alımının aşağı yukarı %50'si emici tüyler yoluyla gerçekleşmektedir (Ruiz ve ark., 2020).

Toprak sıcaklığı: Toprak sıcaklığı bitki kök sisteminin toprağa nüfuz etme hızını ve derinliğini etkiler. Kök sisteminin genişlemesi, büyüme ve gelişme olmak üzere sıcaklığa bağlı iki sürecin fonksiyonudur. Hücre uzaması gibi büyüme süreçleri kök uzunluğunu ve çapını artırır. Gelişme ise, büyüme süresini ve yeni köklerin ve üreme organlarının oluşmasını kontrol eder. Toprak sıcaklığı kök sisteminin büyümesini, dallanmayı, yönelimini ve yönünü etkiler. Toprak profillerinde kök sisteminin genişlemesi toprak sıcaklığının mevsimsel değişiminden de etkilenir. Toprağın ısınması alt katmanlara doğru ilerledikçe, derinlerdeki toprak tabakaları kök büyümesi için daha uygun hale gelir (Kaspar & Bland, 1992). Bitki köklerinin düşük sıcaklıklara verdikleri en belirgin morfolojik tepki, daha küçük kök sistemleri ve daha ince köklerin üretilmesidir (Faget ve ark., 2013; Koç & Acar, 2015). Örneğin, mısır kökleri 25°C'ye kıyasla 16°C'lik kök bölgesi sıcaklıklarında %40 daha az büyüme oranına sahip olmuştur (Nagel ve ark., 2009). Düşük sıcaklıklar dolaylı olarak toprakta suyun iletimi ile köklerin su ve besin elementi alımını azaltmak suretiyle de kök büyümesinde etkili olmaktadır (Stamp ve ark., 1997; McMichael & Burke, 1998).

Topraklar yeterince ısınıp kök faaliyeti artana kadar, hava sıcaklığının bitkilerin büyüme hızı üzerindeki etkisi sınırlı kalır. Örneğin, toprak sıcaklıkları 15-16°C'yi geçene kadar artan sıcaklıklarla birlikte mısırın kök büyümesinde doğrusal bir artış görülmemiştir (Zobel, 1992). Bu yüzden meralarda otlatmaya başlama zamanı (otlatma olgunluğu), toprakların yeterince ısınıp bitkilerin büyümenin ikinci (hızlı büyüme) aşamasına geldikleri dönemdir.

Besin elementleri: Bitkilerin ihtiyaç duydukları inorganik mineraller (iyonlar) kökler tarafından alınır. Kökün yayıldığı hacim, yüzey alanı ve kütlesi besin elementlerinin alımında etkili olduğu gibi, topraktaki besin elementlerinin elverişliliği de kökün büyüme, gelişme ve faaliyetini etkiler (Sattelmacher ve ark., 1993; Lo'pez-Bucio ve ark., 2003). Topraktaki besin kaynaklarının artması kök uzunluğunu azaltabilir, ancak kök ağırlığını artırır. Yeterli besin elementi alabilen kökler, besin eksikliği duyan köklerden daha çok emici tüye sahiptir (Fageria & Moreira, 2011). Bu durum besin elementi eksikliği olan topraklardaki köklere göre, yeterli besin elementi tedarik edilen köklerin daha fazla su ve besin almasını sağlar (Sathiyavani ve ark., 2017).

Tüm besin elementleri arasında azot, kök gelişimi üzerinde en büyük etkiye sahip olanıdır. Ancak çevre şartları azotun etkisiyle önemli ölçüde etkileşime girer (Sattelmacher ve ark., 1993). Kök büyümesi azot ve fosfor eksikliklerinde artar ve bu artış hem fotosentez ürünlerinin hem de mineral besin maddelerinin ithal edilmesine dayanır (Marschner ve ark., 1996). Genelde azot ve

fosforun kök üzerindeki etkileri farklılık göstermektedir. Örneğin, artan azot (nitrat) birincil kök uzamasını azaltırken, fosfordaki (fosfat) artışın tam tersi bir etkisi söz konusudur (Lo'pez-Bucio ve ark., 2003).

Fotosentez ürünleri: Kök büyümesi aktif olarak fotosentez yapan yapraklar tarafından kontrol edilir (Rayburn & Sharpe, 2019). Zira kök sistemi fotosentez ürünlerinin taşındığı en önemli havuzlardan biridir (Humphries, 1963). Yapraklarda üretilen ürünlerin (şekerler) miktarı ve taşınma yolunun uygunluğuna bağlı olarak bir bölümü köklere aktarılır. Vejetatif gelişmenin başlangıcında özümlenen karbonun yaklaşık %50'si köklere taşınır. Büyümenin ileri dönemlerinde (generatif döneme geçiş) ise köklere tahsis edilen asimilat miktarı önemli ölçüde azalır (Fageria, 2013). Köklere taşınan özümleme ürünlerinin büyük bir kısmı kök solunumunda (büyüme ve gelişmede) kullanılırken, bir kısmı kök salgısı olarak salınır ve bir bölümü de daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Bu bakımdan mera bitkilerinin yeşil dokularında sentezlenen ürünlerin köklere taşınabilmesi, bitkilerin yeniden gelişmesi için hayati önemdedir. Ancak otlanma sonucu yeşil dokularını önemli ölçüde kaybeden mera bitkileri yaprak alanını geri kazanmak için tercihen sürgünlere daha fazla karbon ayırırlar (Moot ve ark., 2021). Bu durumda kökler küçülür ve kök gelişimi durur ve sonucunda ister istemez bitkilerin üretim gücü düşer (Lyons & Hanselka, 2001).

Otlanmanın Köklere Etkileri

Otlatma meraların en temel ve ekonomik değerlendirme biçimidir. Ancak otlatmanın zamanı, yoğunluğu ve sistemine bağlı olarak bitki örtüsünün yapısı, toprak özellikleri ve ekosistem işleyişi üzerinde olumlu ya da olumsuz etkileri söz konusudur. Doğru yönetilen meralarda olumlu etkiler görülürken, hatalı yönetimde (özellikle erken ve ağır otlatmada) bitkiler ve toprak zarar görmekte ve ekosistem işlevleri bozulmaktadır (Altın ve ark., 2025). Ağır otlatma ot üretimini azaltmak ve toprağın fizikokimyasal özelliklerinde olumsuz değişimlere yol açmak suretiyle kök sistemini etkilemektedir (Wang & Ding, 2024).

Esasen meralar kuraklık, yangın, otlatma vb. gibi olumsuzluklara dayanacak şekilde uyum sağlamış ekosistemlerdir. Genellikle bitki örtüsünde tür çeşitliliğinin fazlalığı da meraların bu rahatsızlıklara ne denli iyi dayanabileceğinin bir göstergesidir (Lyons & Hanselka, 2001). Bu olumsuzlukların zamanlama, yoğunluk ve sıklığına bağlı olarak bitkiler bir dereceye kadar doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenirler.

Otlayan hayvanlar bitkilerin üretim yapan fotosentez dokularını tüketmek suretiyle doğrudan kök sistemini etkilediği gibi, toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine tesir etmek suretiyle dolaylı etkiler de yaratır.

Doğrudan etkiler: Mera – hayvan ilişkisinde bitkiler besin maddeleri üretirler, hayvanlar da yaşamak için bunları tüketirler. Hayvanlar tüketim işini yaparken seçici otlarlar (Kothmann, 2009; Erkovan ve ark., 2016) ve bu seçimlerinde besleme değerinin yüksek olması önceliklidir (Noelle ve ark., 2020). Bitkilerin en besleyici kısımları yeşil yaprakları, yani fotosentez dokularıdır (Lyons & Machen, 2000). Fotosentez dokularında üretilen ürünler ise hem bitkiler hem de hayvanlar için en değerli besin kaynaklarıdır. Üretim bu dokularda gerçekleşir ve talep önceliklerine göre bu ürünler bitkinin toprak altı ya da toprak üstü organlarına veya her ikisine birden ihraç edilir (Taiz & Zeiger, 2008). Otlanma bu ihracatın yönünü değiştirir.

Kök ve sürgün büyümesi genellikle dönüşümlüdür (Huang, 2016) ve kışın dinlenme döneminden çıkışta (kış sonu-ilkbahar başı) kökler sürgünlerden önce büyümeye başlar. Zira yeterli nem varlığında kökler sürgünlere göre biraz daha düşük sıcaklıklarda büyüebilirler (Fransen ve ark., 2017). Köklerin topraktan aldıkları su ve mineralleri üst organlara taşımaya başlamalarından ve havaların biraz daha ısınmasından sonra sürgün büyümesi başlar. Daha sonraki dönemde kök ve

toprak üstü sürgünleri büyümelerini birlikte sürdürürler. Ancak gelişmenin ileri dönemlerinde kök büyümesi yavaşlar, fakat sürgün büyümesi devam eder. Örneğin yazlık arpada ekimden 6 hafta sonra kök sistemi en yüksek kütle seviyesine çıkarken, sürgün ağırlığı olgunluktaki değerin sadece yarısına ulaşmıştır (Glinski & Lipiec, 2018). Bitkiler büyüme başlangıcında yeterli fotosentez dokusuna sahip olamadıklarından, bu dönemde kök büyümesinde çoğunlukla yedek besin maddeleri kullanılır (Altın ve ark., 2025). Büyümenin sonraki evresinde, bitkinin büyüme ve gelişmesi için gerekli ana maddeyi fotosentez ürünleri oluşturur. Mera bitkilerinin otlanma olgunluğuna ulaştığı hızlı büyüme evresinde (2. Evre), sürgünler fotosentez ürünlerine köklerden daha çok ihtiyaç duyduklarından, taşınma da ağırlıklı olarak yapraklardan sürgünlere doğru gerçekleşir. Bu dönemde sürgün büyümesi köklerin önüne geçer.

Otlanmadan sonra bitkinin önceliği yeni fotosentez dokusu üretmek olduğundan, kalan yapraklarda üretilen şekerler ve yedek besin maddelerinin bir bölümü çoğunlukla toprak üstü sürgünlerine gönderilir ve sonucunda köklerdeki çözünür karbonhidratlar (yedek besin maddeleri) azalır (Evans, 1972). Bu durum köklere olan taşınmayı azaltır, bu da kök büyümesi ve faaliyetini belirli bir süre durdurur. Bu sebeple otlanmaya karşı kök ve köksapların (rizom) ilk tepkisi, uzamanın durması şeklindedir (Schuster, 1964). Bu süre otlatmanın yoğunluğuna göre değişir. Otlanma ne kadar yoğunsa, kökler üzerindeki olumsuz etkiler de o denli yüksektir (Piñeiro ve ark., 2010). Örneğin, buğdaygillerde yaprakların %80'i uzaklaştırıldığında kök büyümesi 12 gün, %90'ı otlandığında ise 18 gün durmaktadır. Yaprakların %60'ının koparılması halinde ise kök büyümesi yarı yarıya azalmaktadır (Lyons & Hanselka, 2001). Kök büyümesindeki azalma, otlanan bitkilerde köklerin karbon talebini azaltır, bu da daha fazla karbonun sürgünlere tahsis edilmesine imkân tanır (Richards, 1984).

Otlanmadan hemen sonra kök ve sürgün büyümesi durur, kök kütlesi ve derinliği azalır, kök dağılımı değişir, kökün uzunluğu ve uzama oranı düşer ve çapı daralır (Svejcar & Christiansen, 1987; van der Maarel & Titlyanova, 1989; Dawson ve ark., 2000; Gao ve ark., 2008; Kirkegaard ve ark., 2015; Yavuz & Karadağ, 2015; Tian ve ark., 2024). Kök kütlesindeki azalma toplam kök uzunluğundaki azalma ile ilişkilidir (Matches, 1992) ve bu daha çok derine inen köklerde ortaya çıkar (Schuster, 1964). Örneğin ağır otlanmayı taklit eden sık biçimlerden sonra buğdaygillerde toplam kök kütlesinin %65'i toprağın ilk 15 cm'lik kısmında biriktirilir (Chaieb ve ark., 1996).

Otlatma aynı zamanda kök ömrünü kısaltan en önemli engelleyici faktörlerden biridir. Sığır ve koyunların karışık otlatılması kurak bozkır merada kök ömrünü ciddi ölçüde azaltmış, ortalama 120 günlük bir yaşam süresinde köklerin yalnızca %30'u hayatta kalabilmiştir (Zhang ve ark., 2022). Esasen hem otçullar ve patojenler gibi canlı faktörler (Smithwick ve ark., 2013) hem de cansız stresler (kuraklık, aşırı sıcaklıklar, besin elementi eksikliği vb.) köklerin ömrünü ve yapısını etkilemektedir (McCormack & Guo, 2014; Kul ve ark., 2020). Köklerin morfolojik özellikleri (kökün çapı, derinliği, dallanma biçimi) de kökün ömrünü etkileyen temel faktörlerdendir. Daha büyük kök çapları, daha yoğun kök dokusu, daha az kök azot içeriği ve yavaş bitki büyümesi kökün ömrünü uzatmakta ve yenilenmesini sınırlamaktadır (McCormack & Guo, 2014).

Otlatmanın kök gelişmesine etkisi, yoğunluğu ve sıklığına bağlı olduğu gibi, otlatılan hayvan cinsi de önemlidir. Wang ve ark. (2019) tarafından yürütülen araştırmada, koyun otlatılan merada toprak altı üretimi ve kök devir oranının en yüksek, sığır otlatıldığında ise en az olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında otlatılmayan parsellerde toprak altı üretimi ve kök devir oranının karışık (koyun + sığır) otlatılan parsellerle benzer sonuçlar verdiği kaydedilmiştir. Başka bir çalışmada (Zhang ve ark., 2022), otlatmanın 0-30 cm derinlikteki canlı kök sayısını azalttığı, bu azalmanın koyun ve sığırın

karışık otlatılması halinde daha da arttığı vurgulanmıştır. Aynı şekilde ince kök sayısı, karışık otlatmaya göre koyun ve sığırın ayrı otlatılmaları halinde daha çok yükselmiştir.

Özellikle ağır otlatma sonucunda kök gelişimi ve derinliği azaldığından, bitkilerin su için rekabet gücü de düşer. Kökler yeterli nemin bulunduğu derinlere nüfuz edemediği için kuraklığa karşı savunmasız hale gelirler (Trlica, 2006). Uzun süre tercihen ve sürekli olarak otlanan bitkiler, otlanmayanlara göre daha sık kök sistemlerine sahip olurlar. Bu durum otlanmayan bitkilere kök derinliğinde bir avantaj sağlar ve zamanla meranın tür bileşimini değiştirebilir (Hancock & Andrea, 2017).

Kök/sürgün oranı: Bitkinin toprak altı (kök) ve toprak üstü (sürgün) organları bir bütünün parçaları olup, birbirlerini desteklerler. Bitkiler üretim (fotosentez) faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için toprak üstü organları ile havadan CO₂ ve toprak altı organları ile su ve mineral besin elementi alırlar. Dolayısıyla bu iki organ belirli bir oranda denge içerisinde olmalıdır. Bitkilerin gelişme aşamaları, otlanma veya biçim ve çevre faktörleri kök ve sürgün büyümesi ve oranlarını değiştirir. Fotosentez ürünlerinin kökler ve sürgünler arasında paylaşılması çoğunlukla kök ve sürgün aktivitesi arasındaki dengeye bağlıdır. Büyüme ve gelişme için sürgün ve kök arasında karşılıklı bir bağımlılık vardır. Sürgünler su ve besin elementi için köklere, kökler de karbonhidrat için sürgünlere muhtaçtır. Kök büyümesi tüm bitki büyümesiyle yakından ilişkilidir (Fageria & Moreira, 2011) ve bitkinin zor şartlarda hayatta kalmasının garantisidir. Fide aşamasında kökler sürgünlere göre daha fazla büyür, ancak bitki gelişmesi ilerledikçe kök büyümesi sürekli olarak azalır. Bu sebeple kök/sürgün oranı gelişme sırasında değişir ve genellikle bitki çiçeklenmeye yaklaştıkça düşer (Zobel, 1986).

Çevre stresleri (besin elementi eksikliği, yetersiz su, vb.) köklerin ağırlığını sürgünlere kıyasla göreceli olarak artırır (Eghball & Maranville, 1993; Lopez ve ark., 2023; Seidel ve ark., 2024). Bitkilerde stres oluşturabilen otlatma da kök/sürgün oranının önemli düzeyde arttırmasına sebep olur (Yan ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2023). Wang ve Ding (2024) uzun süreli ağır otlatmanın kök/sürgün oranını arttırdığını ve kök sisteminin toprağın sık katmanlarına hareket etmesine neden olduğunu kaydetmişlerdir. Benzer şekilde, van der Maarel ve Titlyanova (1989) da farklı bozkır meralarda korunan alanlarda kök/sürgün oranı 1,6-7,9 arasında iken, ağır otlatılanlarda 3,8-30,9 arasında değiştiğini, otlatma yoğunluğu arttıkça kök/sürgün oranının yükseldiğini, kök ve sürgün kütlesinin azaldığını, ancak sürgünlerdeki azalmanın köklerden daha çok olduğunu ve ölü materyal miktarının çoğaldığını tespit etmişlerdir.

Dolaylı etkiler: Otlatmanın bitkilerin toprak üstü kütlesini tüketerek köklere doğrudan etkileri yanında, kökler de yayıldığı alana saldırgan bileşikler ve hayvanların çiğneme ve atıkları yoluyla toprak ortamında yarattığı değişiklikler de kök faaliyetini etkilemektedir.

Kökler tarafından salınan organik bileşikler (şekerler, amino asitler, organik asitler, enzimler, metaloforlar, lizatlar ve dökülen hücreler), kök bölgesi (rizosfer) mikroorganizma faaliyeti ve topluluk yapısının temel belirleyicisidir (Paterson ve ark., 2005). Otlatma toprağa karbon girişini ve dolayısıyla mikroorganizma faaliyeti ve toprak besin döngüsü ile bağlantılı bitki verimliliğini etkiler (Dawson ve ark., 2000). Sürgünlerin bir kısmının koparılması, köklerden organik bileşiklerin daha çok salınmasına yol açar (Paterson ve ark., 2005; Hamilton ve ark., 2008). Buna karşılık ağır otlatma kök salgı oranını önemli ölçüde azaltır (Sun ve ark., 2017).

Köklerle ortak yaşayan mantarlar (mikoriza), mera ekosistemlerinin verimliliği ve kararlılığını korumada hayati rol oynayan toprak mikroorganizmalarıdır (Asmelash ve ark., 2016). Tüm iletim demetli bitki türlerinin yaklaşık %72'si arbüsküler mikoriza mantarları ile ilişkilidir (Brundrett & Tedersoo, 2018). Bu mantarlar bitki çeşitliliğini korumada, verimliliği artırmada ve topraktaki karbon depolamasının geliştirilmesinde önemli rol oynarlar (Faghihinia ve ark., 2020). Ayrıca bitkilerin

otlanmaya tolerans göstermesine de yardımcı olurlar (van der Heyde ve ark., 2017). Yoğunluğuna bağlı olarak otlatmanın kök mantarları üzerinde uyarıcı ve engelleyici etkileri olduğu gibi hiçbir etkisi de olmayabilir (van der Heyde ve ark., 2017). Otlatma yoğunluğundaki artışla birlikte mantar hif uzunluğu (Faghihinia ve ark., 2020) ve kolonileşmesi azalmaktadır (Bethlenfalvay & Dakessian, 1984; Yang ve ark., 2020). Buna karşılık Eom ve ark. (2001), orta ve yoğun otlatmanın mikoriza mantarlarının kök kolonileşmesini artırıp, çeşitliliğini azalttığını bildirmişlerdir.

Meraların mikroorganizma topluluğu ile organik karbon içeriği arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğu için toprak verimliliğinin sürdürülebilmesi bakımından önemlidir. Otlatma yoğunluğu ve süresindeki artış ile toprak mikroorganizma kütlesi, enzim aktivitesi ve organik karbon içeriği azalmaktadır. Ayrıca otlatmanın toprak nemini azaltıp erozyonu hızlandırması da mikroorganizma çeşitliliği ve faaliyetini azaltır, bu da meralardaki karbon stoklarının azalmasına katkıda bulunur (Xu ve ark., 2023). Bu şartlarda topraklar verimsizleşir ve bitki (kök) gelişmesi zayıflar. Buna karşılık hafif ve orta otlatma mikroorganizma çeşitliliği ve faaliyetini artırıp, kök büyümesini teşvik eder (Hamilton ve ark., 2008). Dünya meralarında da otlatma toprak bakteri ve mantar çeşitliliğini ve zenginliğini önemli ölçüde artırmıştır (Xu ve ark., 2023). Uygun hayvan seçimi (örneğin sığır) ile kısa süreli ve orta otlatma, mikroorganizma topluluklarının ve ekosistem işlevlerinin istikrarını korumaya yardımcı olabilmektedir (Jing ve ark., 2025).

Otlatma (çiğneme) sonucu toprağın sıkışması, toprak mukavemetini artırmak ve büyük gözeneklerin kaybıyla havalandırmayı azaltmak suretiyle kök büyümesini etkileyen ve sonucunda köklenme derinliğini azaltan diğer bir etkidir (Greenwood & McKenzie, 2001; Sharrow, 2007; Crush & Thom, 2011). Fakat toprak sıkışmasının kök derinliğine etkisi genelde otlatmanın etkisinden daha azdır ve çoğunlukla toprağın üst 5-15 cm'si ile sınırlıdır (Greenwood & McKenzie, 2001).

Otlayan hayvanların çıkardıkları dışkı ve idrar, besin elementi (özellikle azot ve fosfor) birikimini, toprak verimliliğini ve sonucunda da bitki verimini artırır (Altın ve ark., 2025). Bu da kök sisteminin gelişmesini olumlu etkiler.

Sonuç

Mera ekosistemi birbirleriyle etkileşime giren ve birbirlerini kısıtlayan bitki-toprak-hayvanlardan oluşan organik bir bütündür. Kökler toprak ve bitkilerin ana taşıyıcısı ve bitkiler ile toprak arasında önemli bir bağlantıdır. İyi kök özellikleri, toprak besinlerinin ve suyun kullanım verimliliğini ve bitki topluluklarının üretkenliğini artırır. Kökler toprağa karışır, toprağı sarar ve sağlamlaştırır, salgıları ayrışarak toprak parçacıkları arasındaki boşlukları doldurur, toprak organik maddesini ve canlı faaliyetini artırmak suretiyle toprak yapısını iyileştirir (Tian ve ark., 2024). Hayvanların bitkilerin toprak üstü kısımlarını koparmaları sonucunda fotosentez kapasitesi düşer ve bitki örtüsü zayıflar. Buna köklerin zayıflaması eşlik eder. Toprağın çiğnenerek sıkışması da kök gelişimini sınırlar, su ve besin elementi alımını zorlaştırır ve sonuçta bitki örtüsünün bileşimi değişir. Buna mukabil iyi kök yapısı, köklerin besin elementi ve su kullanımını artırır.

Farklı seviyelerde otlatma değişik etkilerle kök büyümesi ve üretimine tesir eder. Otlatma yoğunluğu ne kadar yükselirse, kökler üzerindeki olumsuz etkileri de o kadar büyük olur. Bu koparıma sonrasında bitkinin yeniden üretim yapacak yeterli fotosentez dokusuna sahip olup olamaması ile alakalıdır. Otlama sonrasında yeniden büyümede depo organlarındaki yedek besin maddeleri (YBM) kullanılsa da bu maddeler ile büyüme fotosentez ile büyümeye göre oldukça sınırlı kalır. Buna rağmen YBM bitkinin sigortasıdır. Bu sebeple YBM otlamadan sonra bitkilerin kendilerini yenilemeleri, köklerin yeniden ve daha çabuk toparlanması için önemlidir. Bu yüzden ağır

otlanan bitkilerde sürgünler hafif otlananlardan daha az yapısal olmayan karbonhidrata (YBM) sahip olurlar (Christiansen & Svejcar, 1988).

Bitkisel üretimin korunması ve hayvanların meradan uzun süre yararlanabilmesi için mera bitkileri sürekli ve yoğun olarak tüketilmemelidir. Yoğun kullanılan bitkilerde kök sistemleri ciddi boyutta zarar gördüğü için bitkinin yeterli su ve besin elementi alımı kısıtlanır, bu da stres şartlarında hayatta kalmalarını zorlaştırır. Mera hayvancıları bu kötü kullanımdan vazgeçmeli ve bitkilerin yıpranması halinde de yeniden toparlanmaları için yeterli zaman tanınmalıdır. Bu yüzden sürekli otlatma yerine “otlat-dinlendir” şeklinde bir yönetim benimsenmelidir. Dinlendirme süresi otlatma yoğunluğu ve çevre faktörlerine göre değişir ve bu süre bitkilerin aktif büyüdüğü dönemi kapsar (Bakır, 1987).

Otlatılacak hayvan seçimi de kalan anız yüksekliğini belirler. Sığır yüksekten, koyun ve keçi daha dipten otlar (Kosinski ve ark., 2013; Altın ve ark, 2025). Dolayısıyla küçükbaş otlatıldığında, otlatma sıklığı ve yoğunluğuna daha da dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak, meranın görünmeyen yüzü olan kök sisteminin korunması, mera yöneticilerinin gözden ırak tutmamaları gereken bir gerçektir. Zira kökler sürdürülebilir bir üretim ve sürdürülebilir bir toprak ekosisteminin temel belirleyicileridir.

Ek Bilgiler ve Beyanlar

Araştırmacıların Katkı Oranı: Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olup araştırmanın tüm aşamalarına birlikte katılmışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazarlar, bu çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederler.

Kaynakça

- Akman, H. (2020). Comparison of field crops with tap and fibrous root system at early and late growth stages. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(5), 1181-1187.
- Altın, M., Gökkuş, A., & Koç, A. (2025). Çayır Mera Yönetimi (2. Baskı). Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Ankara, 667s.
- Andiç, C. (1985). Erzurum yöresi doğal çayır mera ve yayla vejetasyonlarında mevcut bitki türleri, bunların hayat formları ve çiçeklenme periyodları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1-4), 85-104.
- Asmelash, F., Bekele, T., & Birhane, E. (2016). The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in the restoration of degraded lands. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1095, doi.10.3389/fmicb.2016.01095
- Bakır, Ö. (1987). Çayır-Mera Amenajmanı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yay. No: 992, Ders Kitabı No: 292, Ankara, 362s.
- Bakker, L. M., Mommer, L., & van Ruijven, J. (2019). Using root traits to understand temporal changes in biodiversity effects in grassland mixtures. *Oikos*, 128(2), 208-220.
- Bethlenfalvay, G. J., & Dakessian, S. (1984). Grazing effects on mycorrhizal colonization and floristic composition of vegetation on a semi-arid range in northern Nevada. *Journal of Range Management*, 37(4), 312-316.
- Bıçakçı, E., & Türk, M. (2024). Determination of seasonal changes of feed value of common grazable species Aşağı Gökdere macquis shrublands. *Turkish Journal of Range and Forage Sciences*, 5(1), 56-66.
- Bıçakçı, E., Türk, M., & Karatepe, Y. (2022). Kovada Gölü çevresindeki yaygın çalı türlerinin yem değerlerindeki mevsimsel değişiminin belirlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 23(3), 178-186.
- Brundrett, M. C., & Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220, 1108-1115.
- Chaieb, M., Hendri, B., & Boukhris, M. (1996). Impact of clipping on root systems of 3 grass species in Tunisia. *Journal of Range Management*, 49(4), 336-339.
- Christiansen, S., & Svejcar, T. (1988). Grazing effects on shoot and root dynamics and above- and below-ground non-structural carbohydrate in Caucasian bluestem. *Grass and Forage Sciences*, 43(2), 111-119.
- Crush, J. R., & Thom, E. R. (2011). The effects of soil compaction on root penetration, pasture growth and persistence. *Pasture Persistence – Grassland Research and Practice Series*, 15, 73-78.

- Davis, T. D., & Potter, J. R. (1981). Current photosynthate as a limiting factor in adventitious root formation on leafy pea cuttings. *J. American Society Horticultural Sci.*, 106(3), 278-282.
- Dawson, L. A., Grayston, S. J., & Paterson, E. (2000). Effects of Grazing on the Roots and Rhizosphere of Grasses, 61-84. In: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology* (Eds. G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, P.C. de F. Carvalho), CABI Publishing, pp. 422.
- Eghball, B., & Maranville, J. W. (1993). Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agronomy Journal*, 85(1), 147-152.
- Eom, A. H., Wilson, G. W. T., & Hartnett, D. C. (2001). Effects of ungulate grazers on arbuscular mycorrhizal symbiosis and fungal community structure in tallgrass prairie. *Mycologia*, 93(2), 233-242.
- Erkovan, Ş., Güllap, M. K., Erkovan, H. İ., & Koç, A. (2016). Farklı cins hayvan ile otlatılan meraların sağlık ve ekolojik alan sınıflaması. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel sayı-2), 174-178.
- Evans, P. S. (1972). Root growth of *Lolium perenne* L. III. Investigation of the mechanism of defoliation-induced suppression of elongation. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 15(2), 347-355.
- Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants, 251-331. In: *Advances in Agronomy* (Ed. D. L. Sparks), Vol. 110, Burlington: Academic Press.
- Fageria, N. K. (2013). *The Role of Plant Roots in Crop Production*. CRC Press, pp. 442.
- Faget, M., Blossfeld, S., Jahnke, S., Huber, G., Schurr, U., & Nagel, K. A. (2013). Temperature Effects on Root Growth, 31.1-31.11. In: *Plant Roots – The Hidden Half* (Forth Ed.) (Eds. T. Beeckman, A. Eshel), Taylor & Francis Group, LLC, pp. 813.
- Faghihinia, M., Zou, Y., Chen, Z., Bai, Y., Li, W., Marrs, R., & Staddon, P. L. (2020). The response of grassland mycorrhizal fungal abundance to a range of long-term grazing intensities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 27-33.
- Fransen, S., Pirelli, G., Chaney, M., Brewer, L., & Robbins, S. (2017). *The Western Oregon and Washington Pasture Calendar*. A Pacific Northwest Ext. Publication, PNW 699, pp. 50.
- Gao, Y. Z., Giese, M., Lin, S., Sattelmacher, B., Zhao, Y., & Brueck, H. (2008). Belowground net primary productivity and biomass allocation of a grassland in Inner Mongolia is affected by grazing intensity. *Plant and Soil*, 307, 41-50.
- Gimenez, D., & Hirmas, D. (2017). Macroporosity, 1388-1391. In: *Encyclopedia of Soil Science* (3rd Ed.) (Ed. R. Lal), CRC Press, pp. 2795.
- Glinski, J., & Lipiec, J. (2018). *Soil Physical Conditions and Plant Roots* (2nd Ed.). CRC Press, New York, pp. 250.
- Gökkuş, A. (1990). Gübreleme sulama ve otlatma uygulamalarının Erzurum ovasındaki çayır ların kimyasal ve botanik kompozisyonlarına etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 7-24.
- Greenwood, K. L., & McKenzie, B. M. (2001). Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(8), 1231-1250.
- Hakeem, K. R., Sabir, M., Öztürk, M., & Mermut, A. R. (2015). *Soil Remediation and Plants Prospects and Challenges*. Academic Press, pp. 741.
- Hamilton, E. W., Frank, D. A., Hinchey, P. M., & Murray, T. R. (2008). Defoliation induces root exudation and triggers positive rhizospheric feedbacks in temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(11), 2865-2873.
- Hancock, D., & Andrea, J. (2017). *Grazing Impacts on Pasture Composition*. UGA Coop. Extension, Bull.: 1241, pp. 4.
- Hennion, N., Durand, M., Vriet, C., Doidy, J., Maurousset, L., Lemoine, R., & Pourtau, N. (2019). Sugars en route to the roots. Transport, metabolism and storage within plant roots and towards microorganisms of the rhizosphere. *Physiologia Plantarum*, 165(1), 44-57.
- Huang, H. (2016). Biology, Genetic Improvement, and Cultivar Development, 211-237. In: *Kiwifruit: The Genus ACTINIDIA* (Ed. H. Huang), Academic Press, pp. 334.
- Humphries, E. C. (1963). Dependence of net assimilation rate on root growth of isolated leaves. *Annals of Botany*, 27(105), 175-183.
- Islam, K. R., & Wright, S. R. (2017). Microbial communities, 1433-1438. In: *Encyclopedia of Soil Science* (3rd ed.) (Ed. R. Lal), CRC Press, pp. 2795.
- Jiang, X., Zhong, X., Yu, G., Zhang, X., & Liu, J. (2023). Different effects of taproot and fibrous root crops on pore structure and microbial network in reclaimed soil. *Science of The Total Environment*, 901, 165996, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165996
- Jing, L., Li, T., Mipam, T. D., Jiang, A., Liu, J., Hu, Q., & Tian, L. (2025). Effects of grazing intensity on soil bacterial and fungal community structure in grasslands. *Land Degradation & Development*, doi.10.1002/ldr.5601

- Jungk, A. (2001). Root hairs and the acquisition of plant nutrients from soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(2), 121-129.
- Kaspar, T. C., & Bland, W. L. (1992). Soil temperature and root growth. *Soil Science*, 154(4), 290-299.
- Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Hunt, J. R., Sprague, S. J., Ytting, N. K., Rasmussen, I. S., & Graham, J. M. (2015). Effect of defoliation by grazing or shoot removal on the root growth of field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop and Pasture Sciences*, 66, 249-259.
- Klepper, B. (1992). Development and Growth of Crop Root Systems, 1-25. In: *Advances in Soil Science* (Vol. 19) - Limitations to Plant Root Growth (Eds. J.L. Hatfield, B.A. Stewart), Springer-Verlag, New York.
- Koç, N., & Acar, R. (2015). The soil factors which effect on root growth in forage plants. 2nd Int. Conference on Sustainable Agriculture and Environment (2nd ICSAE), September 30 – October 3, 2015, Konya, Türkiye, pp. 636-642.
- Kosinski, S., Hosford, S., & Lane, W. (2013). An Introduction to Managed Grazing for Sheep and Goat Producers. Alberta Lamb Producers, pp. 93.
- Kothmann, M. M. (2009). Grazing methods: A viewpoint. *Rangelands*, 31(5), 5-10.
- Kul, R., Ekinçi, M., Turan, M., Ors, S., & Yıldırım, E. (2020). How abiotic stress conditions affects plant roots. In: *Plant Roots* (Eds. E. Yıldırım, M. Turan, M. Ekinçi), IntechOpen, doi:10.5772/intechopen.95286
- Lew, R. R. (2009). Root Hair Electrophysiology, 123-144. In: *Root Hairs* (Eds. A.M.C. Emons, T. Ketelaar), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 345.
- Li, X., Li, X., Jiang, D., Liu, Z., & Yu, Q. (2008). Annual plants in arid and semi-arid desert regions. *Frontiers of Biology in China*, 3(3), 259-264.
- Logsdon, S. D. (2013). Root effects on soil properties and processes: Synthesis and future research needs, 173-196. In: *Enhancing Understanding and Quantification of Soil-Root Growth Interactions* (Eds. D. Timlin, L.R. Ahuja), ASA, CSSA, SSSA, pp. 312.
- Lopez, G., Ahmadi, S. H., Amelung, W., Athmann, M., Ewert, F., Gaiser, T., Gocke, M. I., Kautz, T., Postma, J., Rachmilevitch, S., Schaaf, G., Schnepf, A., Stoschus, A., Watt, M., Yu, P., & Seidel, S. J. (2023). Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers Plant Sciences*, 13, 1067498, doi:10.3389/fpls.2022.1067498
- Lo'pez-Bucio, J., Cruz-Ramirez, A., & Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 280-287.
- Lyons, R. K., & Machen, R. V. (2000). Interpreting Grazing Behavior. The Texas A&M Univ. Sys., Texas Agric. Ext. Serv., L-5385, 6p.
- Lyons, R. K., & Hanselka, C. W. (2001). Grazing and Browsing: How Plants are Affected. Texas AgriLife Ext. Serv., B-6114, pp. 9.
- Marschner, M., Kirkby, E. A., & Cakmak, I. (1996). Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, 47(Special Issue), 1255-1263.
- Matches, A. G. (1992). Plant response to grazing: A review. *Journal of Production Agriculture*, 5(1), 1-7.
- McCormack, M. L., & Guo, D. (2014). Impacts of environmental factors on fine root lifespan. *Frontiers in Plant Science*, 5, doi.org/10.3389/fpls.2014.00205
- McMichael, B. L., & Quisenberry, J. E. (1993). The impact of the soil environment on the growth of root systems. *Environmental and Experimental Botany*, 33(1), 53-61.
- McMichael, B. L., & Burke, J. J. (1998). Soil temperature and root growth. *Horticulture Science*, 33(6), 947-951.
- Moot, D. J., Black, A., Lyons, E., Egan, L. M., & Hofmann, R. (2021). Pasture resilience reflects differences in root and shoot responses to defoliation, and water and nitrogen deficits. Resilient Pastures Symposium: Grassland Research and Practice Series No.17, pp. 71-80.
- Nagel, K. A., Kastenholz, B., Jahnke, S., van Dusschoten, D., Aach, T., Mühlich, M., Truhn, D., Scharr, H., Terjung, S., Walter, A., & Schurr, U. (2009). Temperature responses of roots: Impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping. *Functional Plant Biology*, 36, 947-959.
- Nippert, J. B., & Holdo, R. M. (2014). Challenging the maximum rooting depth paradigm in grasslands and savannas. *Functional Ecology*, 29(6), 739-745.
- Noelle, S., Lyons, T., Gorlier, A., McClaran, M. P., Nichols, M., & Ruyle, G. (2020). How long before a second defoliation of actively growing grass plants in the desert grassland? *Frontiers in Veterinary Sciences*, 7, 600734, doi:10.3389/fvets.2020.600734

- Ortaş, I. (2017). Mycorrhizae: Soil quality. In: Encyclopedia of Soil Science (3rd Ed.) (Ed. R. Lal), 1505-1510. CRC Press, pp. 2795.
- Papanastasis, V. P. (1996). Shrubland management and shrub plantations in Southern Europe. In: Fodder Shrub Development in Arid and Semi-arid Zones, Vol. I (Eds. G. Gintzburger, M. Bounejmate, A. Nefzaoui), 54-66. Proc. Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 Oct.-2 Nov., 1996, Hammamet, Tunisia.
- Parlak, M., Gökkuş, A., & Özaslan Parlak, A. (2012). Çanakale meralarında bazı çalıların toprak özelliklerine etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 1(2), 88-98.
- Paterson, E., Thornton, B., Midwood, A. J., & Sim, A. (2005). Defoliation alters the relative contributions of recent and non-recent assimilate to root exudation from *Festuca rubra*. *Plant, Cell & Environment*, 28(12), 1525-1533.
- Piñeiro, G., Paruelo, J. M., Oesterheld, M., & Jobbágy, E. G. (2010). Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. *Rangeland Ecology & Management*, 63(1), 109-119.
- Rayburn, E. B., & Sharpe, P. (2019). Introduction to Pasture Ecology, 81-91. In: Horse Pasture Management (Ed. P. Sharpe), Academic Press, pp. 417.
- Richards, J. H. (1984). Root growth response to defoliation in two *Agropyron* bunchgrasses: field observations with an improved root periscope. *Oecologia*, 64, 21-25.
- Rogers, H. H., Peterson, C. M., McCrimmon, J. N., & Cure, J. D. (2006). Response of plant roots to elevated atmospheric carbon dioxide. *Plant Cell & Environment*, 15(6), 749-752.
- Roumet, C., Lafont, F., Sari, M., Warembourg, F., & Garnier, E. (2008). Root traits and taxonomic affiliation of nine herbaceous species grown in glasshouse conditions. *Plant and Soil*, 312(1-2), 69-83.
- Rouse, G., Guinn, K., & Madsen, C. (1994). How Cool Season Grasses Grow and Plant Needs. USDA Soil Cons. Serv., Technical Notes, Washington, Range: 35, pp. 16.
- Ruiz, S., Koebernick, N., Duncan, S., McKay Fletcher, D., Scotson, C., Boghi, A., Marin, M., Bengough, A. G., George, T. S., Brown, L. K., Hallett, P. D., & Roose, T. (2020). Significance of root hairs at the field scale – modelling root water and phosphorus uptake under different field conditions. *Plant and Soil*, 447, 281-304.
- Sathiyavani, E., Prabakaran, N. K., & Surendar, K. K. (2017). Role of mineral nutrition on root growth of crop plants – A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 2810-2837.
- Sattelmacher, B., Gerendas, J., Thoms, K., Brock, H., & Bagdady, H. N. (1993). Interaction between root growth and mineral nutrition. *Environmental and Experimental Botany*, 33(1), 63-73.
- Schuster, J. L. (1964). Root development of native plants under three grazing intensities. *Ecology*, 45(1), 63-70.
- Scott, F. M. (1978). Growth and Structure of Roots, 39-67. In: Interactions between Non-Pathogenic Soil Microorganisms and Plants (Eds. Y.R. Dommergues, S.V. Krupa), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 475.
- Seidel, S. J., Ahmadi, S. H., Weihermüller, L., Couëdel, A., Lopez, G., Behrend, D., Kamali, B., Gaiser, T., & Hernández-Ochoa, I. M. (2024). The overlooked effects of environmental impacts on root: shoot ratio in experiments and soil-crop models. *Science of The Total Environment*, 955, 176738, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176738
- Sharrow, S. H. (2007). Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agroforest Systems*, 71, 215-223.
- Smithwick, E. A. H., Eissenstat, D. M., Lovett, G. M., Bowden, R. D., Rustad, L. E., & Driscoll, C. T. (2013). Root stress and nitrogen deposition: Consequences and research priorities. *New Phytologist*, 197(3), 712-719.
- Srinivas, K., Maruthi, V., Ramana, D. B. V., Vimala, B., Nataraja, K. C., Sharma, K. L., Rao, M. S., Maheswari, M., Prabhakar, M., & Reddy, K. S. (2017). Roots of Rainfed Crops: Biomass, Composition and Carbon Mineralization. Research Bulletin 01/2017, ICAR - Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, India, pp. 68.
- Stamp, P., Feil, B., Schortemeyer, M., & Richner, W. (1997). Responses of roots to low temperatures and nitrogen forms, 143-154. In: Plant Roots - From Cells to Systems (Eds. H.M. Anderson, P.W. Barlow, D.T. Clarkson, M.B. Jackson, P.R. Shewry), Proc. of the 14th Long Ashton Int. Symposium Plant Roots from Cells to Systems, 13-15 September 1995, Bristol, UK, pp. 157.
- Street, H. E., Elliott, M. C., & Fowler, M. W. (1978). The Physiology of Roots, 69-130. In: Interactions between Non-Pathogenic Soil Microorganisms and Plants (Eds. Y.R. Dommergues, S.V. Krupa), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, pp. 475.
- Sun, G., Zhu-Barker, X., Chen, D., Liu, L., Zhang, N., Shi, C., He, L., & Lei, Y. (2017). Responses of root exudation and nutrient cycling to grazing intensities and recovery practices in an alpine meadow: An implication for pasture management. *Plant and Soil*, 416(1-2), 1-11.

- Svejcar, T., & Christiansen, S. (1987). The influence of grazing pressure on rooting dynamics of Caucasian bluestem. *Journal of Range Management*, 40(3), 224-227.
- Taiz, Z., & Zeiger, E. (2008). Bitki Fizyolojisi (Çeviri Editörü: İ. Türkan). Palme Yayıncılık, Ankara, 690s.
- Tian, T., Guo, J., Yang, Z., Yao, Z., Liu, X., & Wang, Z. (2024). Effects of different grazing treatments on the root system of *Stipa krylovii* steppe. *Sustainability*, 16(10), 3975, doi.org/10.3390/su16103975
- Trlica, M. J. (2006). Grass Growth and Response to Grazing. Colorado State Univ., Extension Serv., pp. 6.
- van der Heyde, M., Bennett, J. A., Pither, J., & Hart, M. (2017). Longterm effects of grazing on arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 27-33.
- van der Krift, T. A. J., & Berendse, F. (2002). Root life spans of four grass species from habitats differing in nutrient availability. *Functional Ecology*, 16(2), 198-203.
- van der Maarel, E., & Titlyanova, A. (1989). Aboveground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions. *Oikos*, 56, 364-370.
- Wang, D., & Ding, W. (2024). Grazing led to an increase in the root: shoot ratio and a shallow root system in an alpine meadow of the Tibetan plateau. *Frontiers in Environmental Sciences*, 12, doi.org/10.3389/fenvs.2024.1348220
- Wang, Z., Jin, J., Zhang, Y., Liu, X., Jin, Y., Wang, C., & Han, G. (2019). Impacts of mixed-grazing on root biomass and belowground net primary production in a temperate desert steppe. *Royal Society Open Science*, 6, 180890, doi.org/10.1098/rsos.180890
- Wraith, J. M., & Wright, C. K. (1998). Soil water and root growth. *Horticultural Science*, 33(6), 951-959.
- Xu, H., You, C., Tan, B., Xu, L., Liu, Y., Wang, M., Xu, Z., Sardans, J., & Peñuelas, J. (2023). Effects of livestock grazing on the relationships between soil microbial community and soil carbon in grassland ecosystems. *The Science of The Total Environment*, 881, 163416; doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163416
- Yan, L., Li, Y., Wang, L., Zhang, X., Wang, J., Wu, H., Yan, Z., Zhang, K., & Kang, X. (2020). Grazing significantly increases root shoot ratio but decreases soil organic carbon in Qinghai-Tibetan plateau grasslands: A hierarchical meta-analysis. *Land Degradation & Development*, 31(16), 2369-2378.
- Yang, X., Chen, J., Shen, Y., Dong, F., & Chen, J. (2020). Global negative effects of livestock grazing on arbuscular mycorrhizas: A meta-analysis. *The Science of The Total Environment*, 15, 708:134553, doi.10.1016/j.scitotenv.2019.134553.
- Yavuz, T., & Karadağ, Y. (2015). The effect of fertilization and grazing applications on root length and root biomass of some rangeland grasses. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 38-42.
- Yüceol, F., & Göktürk, R. S. (2023). The vascular plants diversity of the Batı Akdeniz Agricultural Research Institute Aksu Campus. *Türler ve Habitatlar*, 4(1), 13-28.
- Zhang, Y., Wang, Z., Liu, P., & Wang, C. (2022). Mixed cattle and sheep grazing reduces the root lifespan of the community in a desert steppe. *Ecological Indicators*, 143, 109422, doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109422
- Zhang, Z., Zhao, Y., Lin, H., Li, Y., Fu, J., Wang, Y., Sun, J., & Zhao, Y. (2023). Comprehensive analysis of grazing intensity impacts alpine grasslands across the Qinghai-Tibetan Plateau: A meta-analysis. *Frontiers of Plant Sciences*, 13, 1083709, doi.10.3389/fpls.2022.1083709
- Zobel, R. W. (1986). Rhizogenetics (root genetics) of vegetable crops. *Horticultural Science*, 21(4), 956-959.
- Zobel, R. W. (1992). Soil Environment Constraints to Root Growth, 27-51. In: *Advances in Soil Science* (Vol. 19) - Limitations to Plant Root Growth (Eds. J. L. Hatfield, B. A. Stewart), Springer-Verlag, New York, pp. 226.