



Su Taşkıma Maruz Kalan Bitkilerde Kök Gelişimi ve Hormonal Değişiklikler

İlkay YAVAŞ^{1*}, Aydın ÜNAY²

¹Adnan Menderes Üniversitesi, Koçanlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, TÜRKİYE

²Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Aydın, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 19.10.2015

Kabul Tarihi/Accepted: 26.01.2016

*Sorumlu yazar/Corresponding author: iyavas@adu.edu.tr

Özet: Su taşkını meydana gelen topraklarda havanın yerini su almaktadır. Su taşkını, toprağın suya doymuş olduğu koşullarda bitki köklerinin toprakta yeterli oksijen olmaması nedeniyle normal bir solunum yapmadığı ciddi bir problemdir. Kökler, su taşkınlarından kaynaklı oksijen eksikliğinde doğrudan ve ilk olarak etkilenen organlardır. Su taşkını süresince, bitki kök gelişimi engellenebilmekte ve kök ölümlerine neden olabilmektedir. Su taşkınlarına bitkilerin tepkisi su taşkının meydana gelme zamanı, toprağın su altında kalma süresi ve bitkinin cinsi, türü ve tür içerisindeki farklılıklarına bağlı olarak değişmektedir. Aerenkima oluşumu ve adventif kökler uzun süreli su taşkınlarında hipoksi ve anoksi koşullara bitkilerin verdiği en yaygın tepkiler arasında yer almaktadır. Oksijenden yoksun kök sistemleri ile hem kök hem sürgün gelişimi için yetersiz besin maddesi alımı gerçekleşir. Toprak üstü aksamda su taşkına duyarlı ya da daha az toleranslı bitkiler fotosentez kapasitesinde meydana gelen önemli azalmalar nedeniyle zarar görebilmektedir. Fotosentez kapasitesindeki düşüşün en önemli nedeni ise stomatal açıklıktaki azalmadır. Su taşkınının diğer bir etkisi ise, büyüme ve yaprak genişlemesini sağlayan bazı bitki hormonlarının engellenmesidir. Ayrıca etilen hormonu kök bölgesindeki oksijensizliğe karşı bitkilerin hayatta kalabilmesi için artış göstermektedir. Bu makalede, su taşkınlarının bitkilerin köklerinde oluşturduğu değişimler ve hormonal tepkiler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aerenkima, anoksi, hipoksi, etilen, su taşkını

Hormonal Changes and Root Growth in Crops Subjected to Waterlogging

Abstract: In waterlogged soils, water replaces air in the soil. Waterlogging is a serious problem which occurs whenever the soil is so wet that there is insufficient oxygen in the soil for crop roots to be unable to normal respiration. Roots are directly and firstly influenced oxygen deprivation caused by waterlogging. Upon waterlogging, plant root growth can be inhibited and caused root death. Responses of crops to waterlogging vary depending on the occurring time, length of time the soil remains saturated and the genotype of the crop, species and variability within species. Formation of aerenchyma and adventitious roots are the most common reactions of the crops to hypoxia and anoxia conditions under longer periods of waterlogging. Root systems deprived of oxygen are poor reserves of mineral nutrients for both root and shoot systems. The reduction in stomatal aperture is a major cause of the initial decline in photosynthetic capacity of waterlogged crops. Another effect of waterlogging is to inhibit the production of certain plant hormones which enable to growth and leaf expansion. Besides, ethylene can increase plant survival when the level of oxygen diminished in the root zone. In this article, the changes and hormonal responses that occur in the roots of field crops under waterlogging conditions were investigated.

Keywords: Aerenchyma, anoxia, hypoxia, ethylene, waterlogging

1. Giriş

Bitkilerin gelişimleri için suya gereksinimi olduğu ve bu suyun seviyesinin eksik ya da fazlalığında bitki gelişimini etkileyen kuraklık ve su taşkını gibi çevresel streslerin ortaya çıktığı belirtilmiştir (Nishiuchi ve ark., 2012). Dünyada su taşkını, özellikle kurak bölgelerde önemli bir sorundur. Su baskını, su altında kalma, anoksi, hipoksi ya da toprak doygunluğu olarak bilinen su taşkını koşulları şiddetli ürün kayıplarına (Drew ve Lynch, 1980; Nishiuchi ve ark., 2012), hatta bitki ölümlerine neden olmaktadır. Toprakta tam oksijen yoksunluğu olarak bilinen anoksi, toprakta birkaç saat içinde suyun birikmesi anlamına gelirken, hipoksi koşullar ise köklerde meydana gelen kısmi oksijen yoksunluğudur. Bitki kökleri hipoksi ve anoksi koşullardan zarar görmekte (Drew ve Lynch, 1980) ve köklerdeki hipoksi nedeniyle su taşkınlarına morfolojik ve fizyolojik tepkiler vermektedir. Birçok bitki türü su taşkınlarına karşı duyarlıdır ve bazı bitki türleri su taşkını koşullarına adventif kök ve aerenkima oluşumu gibi yapılarla adapte olabilmektedir (Zhou ve ark., 2012; Akhtar ve Nazir, 2013). Buna rağmen adaptasyon yeteneği bitki türlerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Zhou ve ark., 2012).

Su taşkını; arpada klorofil içeriği, azot, fosfor, metal iyonları ve mineral içeriğini azaltmaktadır. Su taşkını ile yaprakta klorofil kayıpları oluşmakta, kök ve sürgün gelişimi de etkilenmektedir. Ayrıca kuru madde birikimi ve son verim de düşmektedir. Soyada su taşkını koşullarında kloroz, nekroz, bodurluk, yaprak dökümü, düşük azot fiksasyonu hatta bitki ölümleri gözlemlenmekte, bu belirtiler verim kayıplarına neden olmaktadır. Erken generatif dönemde meydana gelen su taşkınları geç vejetatif dönemde meydana gelen taşkınlarla göre verimde daha büyük kayıplarına yol açabilmektedir (Ahmed ve ark., 2013).

Su taşkını koşullarında; ayçiçeği bitkisinin yapraklarında biriken nişastanın floemde taşınmanın azaldığı, bu durumun köklerde fotosentez ürünlerinin birikimine ve karbohidratların tüketilmesine yol açtığı belirtilmektedir (Ashraf, 2012).

Bitkilerde büyüme ve fizyolojik süreçler su taşkınlarından zarar görmektedir. Bu çalışmada, su taşkını koşullarında bitkilerin köklerinde oluşabilecek değişimler ve hormonal tepkiler ortaya konulmuş; ayrıca, su altında kalmaya dayanım özellikleri ve tolerans mekanizmalarına da değinilmiştir.

2. Kök Gelişimi

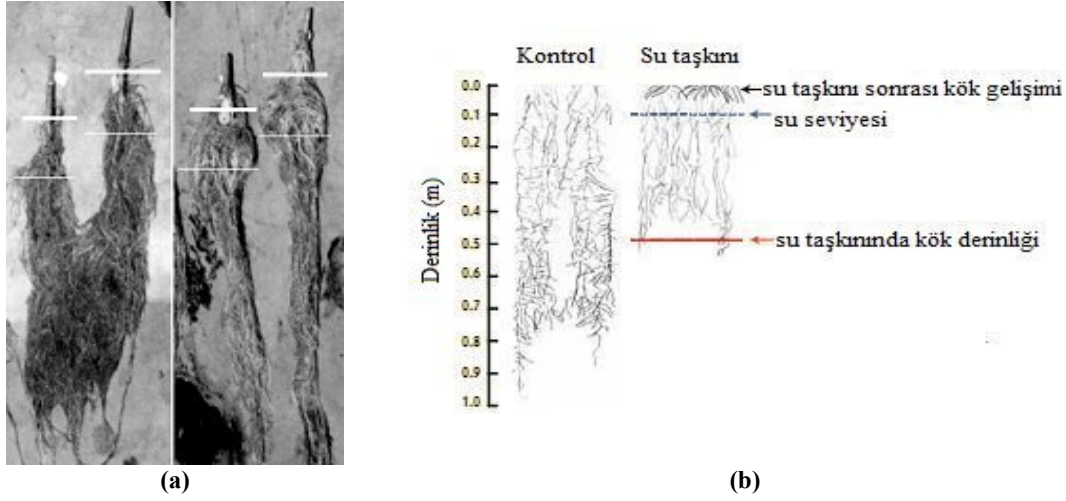
Kök bölgesinin oksijensiz kalmasının en önemli sebeplerinden birisi de su taşkınlarıdır. Kökler oksijenli solunum yapan organlardır ve bu nedenle oksijen eksikliğine duyarlı olup, bu durumdan olumsuz etkilenmektedirler (Dias-Filho ve Dos Santos Lopes, 2011).

Yoğun bir şekilde sulanan ve gübrelenen bitkilerde, köklerde uzamanın devamlılığının sağlanması, vejetatif gelişim dönemi boyunca oldukça önemlidir. Bu nedenle su taşkını gibi çevresel faktörler kök gelişimini etkilemekte ve yüksek verim elde etmek için önem taşımaktadır (Najeeb ve ark., 2015).

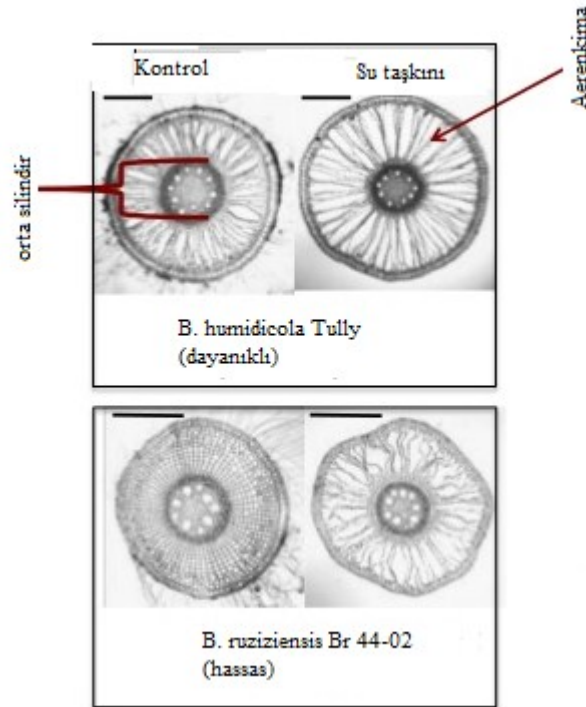
Su taşkınına maruz kalan bitkiler kök bölgesinde meydana gelen oksijen azalmasına karşı kısa sürede protein sentezini artırarak oksijensizliğe tepki vermektedirler. Bu durumda bitkiler oksijensiz solunum yapma yoluna giderek az da olsa enerji temin etme yoluna gitmektedirler (Tiryakioğlu ve ark., 2014). Su taşkını koşullarında bitki kök gelişimi ve işlevlerinde önemli değişiklikler gözlenmektedir (Visser ve ark., 1996). Taşkın koşullarında yan kökler genellikle daha az dallanma göstermekte ve bitkiler daha yüzeysel kök derinliğine sahip olmaktadır. Soya bitkisi su taşkını koşullarına fazla sayıda adventif kök oluşturarak diğer bitkilere oranla daha iyi adapte olabilmektedir (Şekil 1).

Su taşkını meydana gelen topraklarda gaz difüzyon oranı da son derece düşüktür. Oksijen eksikliğine bitkilerin en erken tepkilerinden birisi kök solunumunun azalmasıdır (Rajhi, 2011; Akhtar ve Nazir, 2013). Bu tip oksijen eksiklikleri, sekonder metabolizma ve kök gelişiminin durmasına neden olan iyon alımı gibi enerjiye bağımlı oluşumlara ve zayıf kök gelişimine neden olmaktadır. Bu koşullarda toprakta Fe^{+2} , Mn^{+} , sülfid ve amonyak gibi toksik bileşikler birikmektedir (Visser ve ark., 1996).

Bitkiler uzun süre su taşkınlarına maruz kaldığında aerenkima oluşumu gibi morfolojik değişiklikler meydana gelmektedir. Aerenkima hücreleri kökte oksijenli solunumu sağlayabilmek için sürgünlerden köklere oksijen geçişini gerçekleştirmektedir. *Brachiaria çimi* de su taşkınlarına köklerde geliştirdikleri aerenkima dokuları ile adapte olabilmektedir. Dayanıklı olan genotiplerin daha kalın kök, iyi gelişmiş aerenkima ve daha küçük orta silindire sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 2). Ayrıca, genotiplerin köklerde temel aerenkima oluşumu olmadan su taşkınına adaptasyonda yeni kökler oluşturduğu saptanmıştır (Juan De La Cruz Jiménez ve ark., 2012) (Şekil 3).



Şekil 1. (a) Su taşkını (sağda) ve kontrol (solda) koşullarında soya bitkisinde adventif kök gelişimi [Morita ve ark. (2004)'dan değiştirilerek]. (b) Kardeşlenme dönemi meydana gelen su taşkını koşullarında buğday kök gelişimi [Paterson (2007)'dan değiştirilerek]

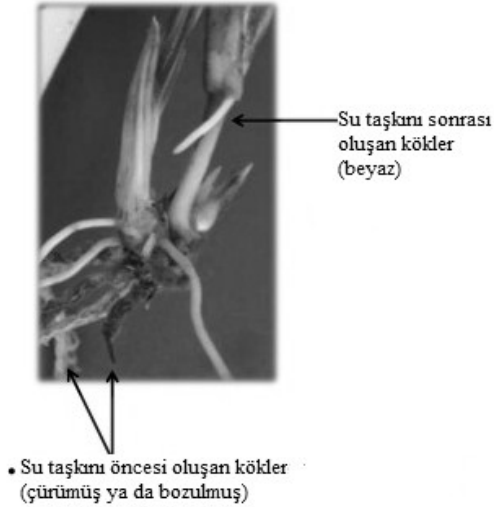


Şekil 2. Su taşkını koşullarında *Brachiaria* çiminde aerenkima oluşumu [Juan De La Cruz Jiménez ve ark. (2012)'dan değiştirilerek]

Buğday, arpa ve italyan çimi gibi buğdaygil türlerinde su taşkını süresince adventif kök oluşumu gözlenmektedir (Ezin ve ark., 2010). Ayrıca buğdayda su taşkını koşulları altında bitki büyümesi ve aerenkima gelişimi arasında pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir (Broughton ve ark., 2015). Taşkın koşullarında bitkilerin metabolik aktivitesi engellenmekte ve adenosin trifosfat

(ATP) üretimi azalmaktadır (Mustroph ve Albrecht, 2003). Azalan ATP üretimi kök gelişimi için gerekli enerjiyi sınırlamaktadır. Bu nedenle vejetatif gelişim olumsuz olarak etkilenmektedir (Mustroph ve ark., 2006 ; Mustroph ve ark., 2013). Gibberd ve ark. (2001), su taşkınına toleranslı türlerin hassas türlere oranla daha yüksek kök gözenekliliğine sahip olduğunu ifade

etmektedirler. Su taşkınına dayanıklı arpa genotiplerinde daha hızlı aerenkima gelişimi nedeniyle kök gözenekliliğinde hızlı bir artış gözlenmektedir (Zhang ve ark., 2015).



Şekil 3. Su taşkını koşullarında *Brachiaria* çiminde köklerin durumu [Juan De La Cruz Jiménez ve ark. (2012)'dan değiştirilerek]

Yavaş ve ark. (2012), su taşkını koşullarında buğday çeşitlerinin kök ağırlığının önemli bir şekilde azaldığını ortaya koymuşlardır. Hipoksi koşullar altında mısır bitkileri etilen biyosentezini arttırmakta ve bu nedenle köklerde aerenkima oluşumu meydana gelmektedir (He ve ark., 1996). Mısır bitkisi aşırı toprak neminde adventif kök ve aerenkima oluşturmasından dolayı su taşkınına toleranslı bir tür olarak düşünülmektedir (Zubairi ve ark., 2012).

Su taşkını, baklagillerin köklerinde de nodül oluşumuna şiddetli bir şekilde zarar vermekte ve dolayısıyla azot fiksasyonuna engel olmaktadır (Jackson, 1985). Soya gibi dikotiledon bitkiler kazık kök sistemi oluşturmakta, fakat su taşkını koşullarında adventif kökler gelişmektedir (Ezin ve ark., 2010). Bazı araştırmacılar, buğday ve arpada kök ve sürgün gelişiminin su taşkını boyunca oksijensiz solunum nedeniyle önemli bir şekilde engellendiğini ortaya koymuşlardır (Steffens ve ark., 2005). Su taşkını periyodunun sonuna doğru, yulafta toplam kök uzunluğu ve sürgün kuru ağırlığının azaldığı ve kardeşlenmenin sınırlandığı gözlenmiştir (Cannell ve ark., 1985). Zhou ve ark. (2012), su taşkınının adventif kök oluşumunu engellediğini, ortalama adventif kök uzunluğunun su taşkınının başında ve ortalarında önemli bir şekilde arttığını bildirmişlerdir. Hatta taşkın döneminin uzaması ile birlikte buğday ve mısır

gibi bitkilerde bile fizyolojik aktivitelerinde önemli bir şekilde azalma gözlendiği, kısa bir sürede ölüme sonuçlandığı ortaya çıkmıştır. Toleranslı bitkilerin ise adventif kök ve aerenkima oluşumları ile su taşkınlarından daha az etkilendiği gözlenmiştir.

3. Bitki Hormonları

Oksijen eksikliğinde bitkilerin hayatta kalması bir dizi morfolojik ve metabolik adaptasyonlara bağlıdır. Bu adaptasyonların büyük bir çoğunluğu bitki hormon sistemleri ile doğrudan ilişkilidir. Etilen, hipoksi koşullarda önemli rol oynayan bir bitki hormonudur. Büyüme tepkilerinin birçoğu su altında kalan dokularda biriken etilene tepki olarak meydana gelmektedir (Rajhi, 2011). Etilenin daha az bilinen görevi ise adventif kök oluşumudur (Visser ve ark., 1996). Su taşkını koşullarına toleranslı bitkilerde etilen ve gibberellin büyüme kontrol etmekte ve sürgünlerin çıkışına destek olmaktadır. Ayrıca etilen parankima hücrelerinin ölümüne neden olmakta ve aerenkima oluşumunda rol oynamaktadır (Liao ve Lin, 2001). Mısır bitkisinde su taşkınına en büyük tepki, lizigen aerenkima oluşumu, stomatal kapanma ve epinastik yaprak eğikliğidir. Bu tepkilerin her biri etilen ve absisik asit (ABA) gibi bitki hormonlarının etkisi ile karşımıza çıkmaktadır (Vartapetian ve Jackson, 1997).

Oksin hormonu ise adventif kök oluşumu ve yaprak sapının uzamasını düzenlemektedir. ABA, büyüme engelleyen fakat metabolik adaptasyonları teşvik etmektedir. ABA, oksin ve bazı diğer büyüme düzenleyiciler, bitkilerin oksijen eksikliği durumunda hayatta kalmasını sağlamaktadır (Yemelyanov ve Shishova, 2012).

Lemon (2013), pamuk bitkisinde su taşkını koşullarının gibberellik asit (GA) ve sitokinin üretimini engellediğini vurgulamıştır. Diğer yandan, su taşkınından iki gün sonra fasulye yapraklarında absisik asit içeriğinde küçük artışlar gözlenmiştir. Hipokotil üzerinde adventif köklerin oluşumundan sonra ABA seviyesinin kontrol değerlerine ulaştığı ortaya çıkmıştır (Schravendijk ve Van Andel, 1985). Su taşkını koşullarında, baklanın etilen içeriğinin arttığı, bu artışın azalan difüzyon ve artan sentezden kaynaklandığı saptanmıştır (El-Beltagy ve Hall, 1974).

4. Su Altında Kalmaya Dayanım Özellikleri ve Tolerans Mekanizmaları

Bitkilerin su taşkını stresi koşullarında karşı göstermiş oldukları belirtiler ve tolerans mekanizmaları değerlendirildiğinde; aerenkima ile birlikte çok sayıda adventif kök oluşumu ve

seminal köklerin gelişimi dikkati çekmektedir. Kök korteks bölgesinde hücrelerarası boşluk oluşumu ve süberinleşme/ligninleşme artmakta; bununla birlikte, oldukça duyarlı bitkilerde kök çürüklüğü gibi etmenlere karşı duyarlılık da artmaktadır. Toprakta besin maddesi alımı sınırlı hale gelmekte ve bunu tolere etmek için kök hücrelerinde membran yıkımları görülebilmektedir. Sürgünlerde boğum sayısı ve boğum arası mesafede artış (epinasti) meydana gelmekte; büyüme gerilemekte ve beraberinde etilen birikiminin tetiklenmesi ile erken yaşlanma sonucunda yaprak, çiçek ve meyve kayıpları gerçekleşmektedir (Ekanayake, 1998).

Son yapılan çalışmalarda; kanolada mixtalol (C24-C32 uzun zincirli alifatik alkol) (Zhou ve ark., 1997), uniconazole (absisik asit engelleyicisi) (Qiu ve ark., 2005) ile tohumda film kaplama ve 2:1:1 oranında NPK gübre uygulamasının (Ye ve ark., 2009) su taşkınlarının olumsuz etkisini azaltmada etkili olduğu bildirilmiştir. Domateste ise benzyladenine (BA) ve GA uygulamalarının su taşkınının sürgün uzaması ve solunum üzerine olumsuz etkisini azalttığını ve hem kök hem de sürgün kuru madde miktarını arttırdığı saptanmıştır (Jackson ve Campbell, 1979). Benzer şekilde mısırdaki BA uygulamasının su taşkınının olumsuz etkilerini iyileştirdiği ve dane veriminin kontrole göre artış gösterdiği belirlenmiştir (Ren ve ark., 2016).

5. Sonuçlar

Bitkilerin büyümesi için gerekli olan suyun aşırı miktarda olması su taşkınlarına neden olmakta, bitkiye zarar vermekte veya bitkinin ölümüne yol açabilmektedir. Su taşkını kök gelişimini negatif etkilemekte, bitki hormon konsantrasyonunu değiştirmekte dolayısıyla bitki gelişimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Kültürü yapılan bitkiler su taşkınına maruz kaldığında ya da toprakta oksijensiz koşullar altında, kök ve sürgün sistemleri farklı reaksiyonlar göstermektedir. Kök sisteminde oksijenin olmaması köklere mineral madde taşınmasını azaltmaktadır. Oksijensiz koşullar bitki metabolizmasını etkilemekte, su taşkınına duyarlı genotiplerde şiddetli fizyolojik zarara yol açmaktadır. Adventif kök oluşumu ve aerenkima gelişimi su taşkınına en önemli tolerans mekanizmalarıdır. Amaç su taşkınından etkilenen dokulara oksijenin sağlanmasıdır. Aerenkima oluşumu su taşkını koşullarında oksijenli solunumu ve bitki büyümesini olumlu yönde etkileyerek, oksijensiz koşullarda köklerin hayatta kalmasını sağlamakta ve uzun süreli önemli etkiye sahip olmaktadır.

Taşkın koşullarında bitki hormonları da değişim göstermektedir. Özellikle oksin ve gibberellin su taşkını koşullarında önemli rol oynamaktadır. Taşkın koşullarında bitki hormonlarındaki değişiklikler ilgili enzimlere etki ederek dolaylı olarak tanede protein ve nişasta birikimini etkilemektedir. Uygun kültürel uygulamaların yapılması ve özellikle su taşkınlarına karşı toleranslı bitki tür ve çeşitlerinin seçilmesi bu durumda önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Ahmed, F., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Juraimi, A.S., Rahim, H.A., Asfaliza, R., Latif, M.A., 2013. Waterlogging tolerance of crops: Breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. *BioMed Research International*, 2013: 1-10, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/963525>.
- Akhtar, I., Nazir, N., 2013. Effect of waterlogging and drought stress in plants. *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*, 2(2): 34-40.
- Ashraf, M.A., 2012. Waterlogging stress in plants. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13): 1976-1981.
- Broughton, S., Zhou, G., Teakle, N.L., Matsuda, R., Zhou, M., O'Leary, R.A., Colmer, T.D., Li, C., 2015. Waterlogging tolerance is associated with root porosity in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Mol Breeding*, 35: 27, <http://dx.doi.org/10.1007/s11032-015-0243-3>.
- Cannell, R.Q., Belford, R.K., Blackwell, P.S., Govi, G., Thomson, R.J., 1985. Effects of waterlogging on soil aeration and on root and shoot growth and yield of winter oats (*Avena sativa* L.). *Plant and Soil*, 85(3): 361-373.
- Dias-Filho, M.B., Dos Santos Lopes, M.J., 2011. Screening for tolerance to waterlogging in forage plants. *Proceedings of the III International Symposium on Forage Breeding*, November 7th to 11th, Bonito, MS/Brazil, pp: 333-346.
- Drew, M.C., Lynch, J.M., 1980. Soil anaerobiosis, microorganisms, and root function. *Annual Review Phytopathology*, 18: 37-66.
- Ekanayake, I.J., 1998. Screening for abiotic stress resistance in root and tuber crops. IITA Research Guide 68. Training Program, International Institute Tropical Agriculture (IITA), Ibadani, Nigeria.
- El-Beltagy, A.S., Hall, M.A., 1974. Effects of water stress upon endogenous ethylene levels. *New Phytologist*, 73: 47-60.
- Ezin, V., De La Pena, R., Ahanchede, A., 2010. Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 22(2): 131-142.
- Gibberd, M.R., Gray, J.D., Cocks, P.S., Colmer, T.D., 2001. Waterlogging tolerance among a diverse range of *Trifolium* accessions is related to root

- porosity, lateral root formation and "aerotropic rooting". *Annals of Botany*, 88(4): 579-589.
- He, C.J., Finlayson, S.A., Drew, M.C., Jordan, W.R., Morgan, P.W., 1996. Ethylene biosynthesis during aerenchyma formation in roots of maize subjected to mechanical impedance and hypoxia. *Plant Physiology*, 112(4): 1679-1685.
- Jackson, M.B., 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Annual Review Plant Physiology*, 36: 145-174.
- Jackson, M.B., Campbell, D.J., 1979. Effects of benzyladenine and gibberellic acid on the responses of tomato plants to anaerobic root environments and to ethylene. *New Phytologist*, 82(2): 331-340.
- Juan De La Cruz Jiménez, S., Liz Patricia Moreno, F., Stanislav, M., 2012. Plant responses to stress due to flooding. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1): 96-109.
- Lemon, R., 2013. Effects of waterlogged soils and reduced heat unit accumulation in cotton. http://agrilifecdn.tamu.edu/coastalbend/files/2011/09/NEWS04_6web_13.pdf (Erişim tarihi: 13.11.2014).
- Liao, C., Lin, C., 2001. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proceedings of the National Science Council*, 25(3): 148-157.
- Morita, S., Abe, J., Furubayashi, S., Lux, A., Tajima, R., 2004. Effects of waterlogging on root system of soybean. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, September 26-October 1, Brisbane, Australia.
- Mustroph, A., Albrecht, G., 2003. Tolerance of crop plants to oxygen deficiency stress: Fermentative activity and photosynthetic capacity of entire seedlings under hypoxia and anoxia. *Physiologia Plantarum*, 117(4): 508-520.
- Mustroph, A., Boamfa, E.I., Laarhoven, L.J.J., Harren, F.J.M., Albrecht, G., Grimm, B., 2006. Organ specific analysis of the anaerobic primary metabolism in rice and wheat seedlings. I: Dark ethanol production is dominated by the shoots. *Planta*, 225(1): 103-114.
- Mustroph, A., Stock, J., Hess, N., Aldous, S., Dreilich, A., Grimm, B., 2013. Characterization of the phosphofructokinase gene family in rice and its expression under oxygen deficiency stress. *Functional Plant Biology*, 4(125): 1-16, <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00125>.
- Najeeb, U., Bange, M.P., Tan, D.K.Y., Atwell, B.J., 2015. Special Issue: Plant Responses to Low-Oxygen Environments. Consequences of waterlogging in cotton and opportunities for mitigation of yield losses. *AoB Plants*, 7: 1-17, <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/plv080>.
- Nishiuchi, S., Yamauchi, T., Takahashi, H., Kotula, L., Nakazono, M., 2012. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice*, 5(2): 1-14.
- Paterson, J., 2007. Unravelling the roots of waterlogged wheat. *Farming Ahead*, January 2007, 180: 44-45, <http://www.kondinin.com.au> (Erişim tarihi: 10.10.2014).
- Qui, J., Wang, R., Yan, J., Hu, J., 2005. Seed film coating with uniconazole improves rape seedling growth in relation to physiological changes under waterlogging stress. *Plant Growth Regulation*, 47(1): 75-81.
- Rajhi, I., 2011. Study of aerenchyma formation in maize roots under waterlogged conditions. PhD Thesis, Tokyo University Agriculture and Environmental Biology Department, Tokyo, Japan.
- Ren, B., Zhu, Y., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., 2016. Effects of spraying exogenous hormone 6-benzyladenine (6-BA) after waterlogging on grain yield and growth of summer maize. *Field Crops Research*, (In Press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.016>.
- Schravendijk, H.W., Van Andel, O.M., 1985. Interdependence of growth, water relations and abscisic acid level in *Phaseolus vulgaris* during waterlogging. *Physiologia Plantarum*, 63(2): 215-220.
- Steffens, D., Hütsch, B.W., Eschholz, T., Lošák, T., Schuberts, S., 2005. Waterlogging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. *Plant Soil Environment*, 51(12): 545-552.
- Tiryakioğlu, M., Karanlık, S., Aslanyürek, D., 2014. Farklı su baskını sürelerinin ekmeleklik buğday fidelelerinde yaprak alanı, kuru madde ve klorofil içeriğine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(2): 281-288.
- Vartapetian, B.B., Jackson, M.B., 1997. Plant adaptations to anaerobic stress: A review. *Annals of Botany*, 79(suppl. A): 3-20.
- Visser, E.J.W., Bögemann, G.M., Blom, C.W.P.M., Voeseek, L.A.C.J., 1996. Ethylene accumulation in waterlogged *Rumex* plants promotes formation of adventitious roots. *Journal of Experimental Botany*, 47(296): 403-410.
- Yavaş, İ., Ünay, A., Aydın, M., 2012. The waterlogging tolerance of wheat varieties in western of Turkey. *The Scientific World Journal*, 2012: 1-7, <http://dx.doi.org/10.1100/2012/529128>.
- Ye, C., Yan-Jun, L., Can-Jin, Z., Chong-Shun, Z., Xue-Kun, Z., Xing, L., Chun-Lei, Z., 2009. Effect of application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) under the waterlogging stress. *Acta Metallurgica Sinica*, 15(5): 1122-1129.
- Yemelyanov, V.V., Shishova, M.F., 2012. The role of phytohormones in the control of plant adaptation to oxygen depletion. In: Nafees A. Khan, Rahat Nazar, Noushina Iqbal, Naser A. Anjum (Eds), *Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants*, pp. 229-248, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25829-9_10.
- Zhang, X., Shabala, S., Koutoulis, A., Shabala, L., Johnson, P., Hayes, D., Nichols, D.S., Zhou, M., 2015. Waterlogging tolerance in barley is associated

- with faster aerenchyma formation in adventitious roots. *Plant and Soil*, 394(1): 355-372.
- Zhou, W., Zhao, D., Lin, X., 1997. Effects of waterlogging on nitrogen accumulation and alleviation of waterlogging damage by application of nitrogen fertilizer and mixtalol in winter rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 16(1): 47-53.
- Zhou, J., Qi, A., Zhang, Y., Wan, S., Qin, P., 2012. Adventitious root growth and relative physiological responses to waterlogging in the seedlings of seashore mallow (*Kosteletzkya virginica*), a biodiesel plant. *Australian Journal of Crop Science*, 6(1): 73-80.
- Zubairi, Z., Saeed, Z., Nazir, A., Saddique, S., Chaudhary, F., Saeed, S., 2012. Water Logging a serious problem for the growth of maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*, 1(4): 109-112.