

## Abiyotik Stres Faktörleriyle Başa Çıkma: Humik Asitler (HA)

Şener Akıncı<sup>1</sup>

### Özet

Çevresel stres faktörleri, bitkileri buldukları ortamlarında dağılımlarını, çeşitliliğini, ürün nitelik ve niceliğini belirler. Su yetersizliği ve su basması, tuzluluk, ağır metaller, düşük ve yüksek sıcaklıklar, mor ötesi ışınlar, radyoaktif ışınım, mineral besin yetersizlikleri gibi bitkilerin büyüme ve gelişmesi ile ürün verimlilikleri üzerine olumsuz etkide bulunan bu faktörler abiyotik stres nedenleri olarak bilinmektedir. Dünyamızdaki tarım yapılan alanlarının yaklaşık %45 lik bir kısmının kuraklık, %6 sının ise tuzluluk etkisinde olduğu, neredeyse nüfusun üçte birine yakın bir kısmının da bu durumdan etkilendiği öngörülmektedir. Düşük kalitedeki sulama suyu, sık sık ortaya çıkan kuraklık koşulları, öngörülemeyen hava hareketleri ve iklim değişikliği, temel çevresel stres faktörlerinin belirmesine katkıda bulunurlar ve bu stres faktörleri özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarımsal verimliliği etkiler.

Bitkiler maruz kaldıkları strese karşı stresin süresine ve şiddetine göre sinyaller verirler. Bazı bitkiler kendilerini yaralanma veya hasara karşı korumayı başarırken, hassas olanların çoğu bu stres faktörleri ile baş etmede büyük zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır.

Humik asitler (HA), leonardit, turba, linyit, hayvan gübresi, kompost, toprak ve kömür dâhil olmak üzere Dünyanın hemen her yerinde değişen miktarlarda bulunan, yüksek molekül ağırlıklı, kahverengi ile koyu renkli, amorf, organik maddelerdir. Humik maddeler, biyolojik uyarıcı olarak bitki büyümesini, PH<sup>1</sup> ı optimize ederek, besin maddelerinin topraktan daha iyi alınımını sağlayarak, toprak taneciklerinin su tutma kapasitesini arttırarak gerçekleştirir.

Tarımı yapılan bitkileri stres faktörlerine karşı desteklemek yanında tarımda yararlanılan kimyasal gübrelere de olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla kullanılan humik asitler üzerine olumlu sonuçlar veren birçok çalışma bulunmaktadır.

1 Marmara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı 34722 Göztepe, İSTANBUL, akinci@marmara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2304-3500

## 1. Stres faktörleri

### 1.1. Su stresi (su yoksunluğu)

Su veya diğer kaynakların azalması nedeniyle strese maruz kalan bitkiler veya iklim değişiklikleri, türlere ve stresin doğasına ve şiddetine göre farklı tepkiler gösterir. Toprak çözeltilerindeki su eksikliği, yağış miktarına katkıda bulunan yeryüzü ve atmosfer arasındaki doğal buharlaşma döngüsünü etkiler. Kuraklık, topraktaki nem seviyesinin ve havadaki bağıl nemin düşük, sıcaklığın da yüksek olduğu durumlarda ortaya çıkar. Suyun alınamamazlığından/tutulmasından kaynaklanan su stresi, bitki fizyolojisinin yanı sıra bitki büyümesi için fiziksel ortamı da değiştirir (Kramer, 1980).

Neredeyse her bitki doğrudan ya da dolaylı olarak su kaynağından etkilenir (Akıncı, 1997). Bitkiler, temel besin kaynaklarından biri olarak, gerek doğal ortamlarında gerekse de tarımsal faaliyetlerde, çimlenme ve büyüme dönemlerinde suya ihtiyaç duyarlar. Kuşkusuz, çoğu kara bitkisi yaşam döngülerinin bazı zamanlarında kısa veya uzun süreli su stresine maruz kalır ve değişen çevresel koşullara uyum sağlamak için bazı adaptif mekanizmalar geliştirme eğilimindedir.

Su stresi, orta dereceli ve kısa süreli kuraklıktan, bitki yaşamını güçlü bir şekilde etkileyen aşırı şiddetli ve uzun süreli yaz kuraklığına kadar değişebilir (Pereira ve Chaves 1993, 1995; Bottner ve ark. 1995). Dünyanın birçok yerinde ürün verimi su kıtlığı nedeniyle kısıtlanmaktadır (Austin 1989). Birleşmiş Milletler raporları (2006), Dünya nüfusunun üçte birinin su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde yaşadığını belirtmektedir ve potansiyel ekilebilir arazilerin yine yaklaşık üçte biri yetersiz su kaynaklarına sahiptir. Sulama olanakları çok sınırlıdır, geri kalanının çoğunun verimi kuraklık nedeniyle periyodik olarak azalmaktadır (Kramer, 1980). Ayrıca, kurak ve yarı kurak bölgeler dışında bir bitkinin yaşam döngüsü boyunca su eksiklikleri meydana gelebilir (Law ve ark. 2000; Wilson ve ark. 2001).

Toprak kurudukça, köklerin süberizasyonu ve/veya ince köklerin artan kaybı nedeniyle azalan geçirgenlik, su alma kapasitesi ile yapraklardaki transpirasyon oranı arasındaki dengeyi azaltabilir. Sulanmayan bitkilerin kökleri genellikle düzenli olarak sulanan bitkilerin köklerine göre toprağın daha derinlerine doğru büyür. Toprak suyu kısıtlandığında bitki büyüme oranları genellikle azalsa da, sürgün büyümesi genellikle kök büyümesinden daha fazla engellenir ve bazı durumlarda; kuruyan topraktaki bitkilerin mutlak kök biyokütlesi, iyi sulanan kontrollere göre su kullanım verimliliğini artırabilir (Nagarajan ve Nagarajan, 2010; Sharp ve Davies, 1979; Malik ve ark. 1979).

Su stresi altındaki bitkilerin büyümelerinin devamı, hücre bölünmesi ve genişleme oranlarının yanı sıra yeni protoplazma ve hücre çeperleri sentezi için gerekli organik ve inorganik bileşiklerin tedarikiyle sağlanır (Akıncı, 2012). Su stresinin sadece bitkilerin morfolojilerini etkilemediği, aynı zamanda biyo-kütle oranını da değiştirdiği iyi bilinmektedir. Bradford ve Hsiao (1982) ve Sharp ve Davies, (1979) su stresinin kök uzamasını ve yaprak alanı genişlemesini önemli ölçüde azalttığını ancak bu iki sürecin eşit derecede etkilenmediğini belirtmişlerdir. Yaprak büyümesi genellikle kök büyümesinden daha büyük ölçüde azalır (Setter, 1990; Crawford 1989). Timpa ve ark. (1986); Akıncı ve Lösel (2009, 2010) sırasıyla, su stresinin pamuk bitkisi ve bazı *Cucurbitaceae* üyelerinin boy, yaprak sayısı, yaprak alanı indeksi, taze ve kuru ağırlığında önemli azalmalara neden olduğunu bildirmiştir.

Larcher (1995), ayrıca su eksikliği koşulları altında büyüyen yaprakların daha küçük, ancak daha yoğun dağılımlı stomalar geliştirdiğini ve bunun da stomatal düzenlemenin daha hızlı gerçekleşmesiyle yaprağın transpirasyonu düşürdüğünü belirtmiştir. Buna ek olarak, genotipik olarak adapte olmuş bitkilerin yaprakları, daha kalın mumsu katmanlarla kaplanarak daha yoğun kütinleşmiş epidermal yüzeylere sahip olma eğilimindedir. Bu durumun CO<sub>2</sub> alımını azalttığı ancak epidermal hücrelerin fotosentetik olmamasından dolayı fotosentez verimliliğinin şiddetli olarak düşmediği rapor edilmiştir (Taiz ve Zeiger, 1991). Bununla beraber, su stresi hem yaprak alanını hem de yaprak başına fotosentez oranını azaltarak fotosentezi düşürür (McCree, 1986). Su stresi sırasında fotosentezin engellenmesinin en basit açıklaması, stomaların kapanması ve iç CO<sub>2</sub> oranının azalması olacaktır (Farquhar ve Sharkey, 1982; Schulze, 1986).

Fotosentez, bitkilerin türüne ve suya duyduğu gereksinimlerine göre, su stresi şiddetlendiğinde düşer hatta bazı taksonlarda tamamen durabilir. Su, turgorun devamının sağlanmasıyla hücre genişlemesinde ve büyümesinde, otsu bitkilerin şekillerinin korunmasında gereklidir. Turgor ayrıca stomaların açılmasında ve yaprakların, çiçek parçalarının ve çeşitli özelleşmiş bitki yapılarının hareketlerinde de önemlidir (Kramer ve Boyer, 1995). Turgorun dokularda sürdürülmesiyle, birçok bitkideki kuraklığa adaptasyon mekanizması olan ozmotik ayarlama, düşük su otansiyelinde büyümenin devamına izin verebilir (Ludlow, 1987).

Su stresi altındaki bitkilerin yapraklarındaki çözünebilir şekerler ve diğer karbonhidratlar miktar ve kalite olarak değişirler ve strese tepki vererek metabolik sinyal olarak rol oynarlar (Koch, 1886; Jang ve Sheen, 1997; Chaves ve ark. 2003).

Barlow (1986), su stresi altındaki buğdayın yaprak uzamasındaki baskılanmanın, şekerlerin çoğunun birikmesiyle (glukoz, fruktoz ve sukroz) ilk belirtisinin başladığını göstermiştir. Su stresi koşulları altında bitkiler molekül ağırlıkları düşük olan alkoller, şekerler, prolin, glisin, betain sentezler ve putresin biriktirirler (Chopra ve Sinha, 1998; Galston ve Sawhney, 1990). Bitki hücre zarının bileşenlerinden biri olan lipitlerin su stresinden etkilenmesi muhtemeldir. Bitki hücresindeki polar açıl lipitler, zarlardan oluşmuş yapılarla ilişkili ana lipitlerdir (Harwood, 1979; Bishop, 1983).

## 1.2 Tuz stresi (Tuzluluk/tuzlanma)

Dünyanın tarım yapılan alanları dikkate alındığında tuzluluğun özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olduğu görülmektedir. Tuz stresi ya da tuzluluk olarak adlandırılan stres faktörü, bitki büyüme ve gelişmesini özellikle tuza hassas bitkilerde etkilidir (Grattan ve Grieve, 1999; Pessaraki ve Szabolcs, 1999; Pitman ve Lauchli, 2002; Allbed ve Kumar, 2003; Aşık ve ark. 2009; Amirjani, 2010). Dünya Tarım Örgütü (FAO, 2005) verilerine göre 800 milyon hektardan daha geniş bir alanın tuzlanma ile karşı karşıya kaldığı ve bütün kıtalarda %10 luk bir orana karşılık yüzden fazla ülkenin tarıma uygun alanlarında tuzluluğun söz konusu olduğu belirtilmektedir (Szabolcs, 1989). En yaygın olarak  $\text{Na}^+$  ve/veya  $\text{Cl}^-$  fazlalığında beliren ve bitkiler üzerinde olumsuz etki yapan tuz stresine aşırı sulama yapılan tarım alanlarında da yaygın olarak rastlanılmaktadır (Zhu, 2001; Munns 2005). Toprakta tuzlanmaya yalnızca bu iki iyon değil  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  tuzları da neden olur (Taiz ve Zeiger, 1991). Tuzluluk kavramının ortaya çıkmasında iki ana faktör etkilidir ve bu yüzden birincil ve ikincil tuzlanma terimleri kullanılır.

Birincil tuzluluk, doğal süreçler olarak tanımladığımız hava koşulları sonunda kayaçlarda bulunan tuz kaynaklarının başta en yüksek çözünebilirlik özelliğine sahip sodyum klorür sonrasında sodyum, kalsiyum ve magnezyum klorürler ile daha sınırlı çözünen sülfatlar ve karbonatlar açığa çıkar. Rüzgâr ve yağmur ile karasal alanlara taşınıp biriken okyanus tuzları döngüsel olarak ağırlıklı olarak sodyum klorürü biriktirir.

İnsan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmış veya ikincil olarak bilinen tuzlanma, toprağın tarımsal amaçlarla sulanması ile transpirasyon arasındaki su dengesinin insan eliyle bozulması sonucu ortaya çıkar. Burada tek yıllık bitkilerle yapılan tarım ya da toprağın bitki örtülerinden temizlenmesi, tuz içeriği yüksek sularla yapılan sulama, drenajı düşük toprak özelliği nedeniyle yüzeye yakın seviyelerde tuz yoğunlaşmasıdır (Parihar ve ark. 2015). Sulama ile tuzluluk kültür bitkilerinde en sık rastlanılan problemlerden biri olup en

iyi sulama suyu dahi 200-500 mg/kg çözünebilir tuz içerirken, normal sulama suyu 500 mg/kg yani 1000 m<sup>3</sup> başına 0,5 ton tuz bulundurmaktadır. Bir hektarlık arazi yılda 6.000 ila 10.000 m<sup>3</sup> su gereksinimi duyduğundan 3-5 ton tuz ile karşı karşıya kalacaktır. Bitkiler tarafından alınacak tuz miktarı çok düşük düzeylerde olduğundan alınamayan hareketli tuzlar rizosfer civarında birikecektir. Buradaki fazla tuzun, bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarından fazlasının verilmesiyle alt tabakalara doğru süzülmesi gerekecektir. Ancak bu topraklarda yetersiz drenaj da söz konusu olduğunda bitkiler bütün suyu kullanamadıkları için su basması denilen olayla karşılaşılır (Parihar ve ark. 2015).

Bitkilerin tuzluluğa verdiği tepkiler iki aşamada gerçekleşir: Alınan tuz iyonları, tuzlanma ile karşı karşıya gelen bitkilerde çok kısa sürelerde (saat ya da günler) Na<sup>+</sup> iyonunun algılanması ile ortaya çıkar (Gilroy ve ark. 2014; Roy ve ark. 2014). Bu aşama bitki su ilişkilerinde tuzluluk etkisi olarak stomaların kapanması ile yaprak genişlemesindeki engellemelere neden olabilir (Munns ve Termaat, 1986). Takip eden aşamada ise daha uzun süreli (gün ve haftalar) bir tuzluluk iyonu tepkisi olarak gövde üzerinde yaşlı yapraklarda toksik oranda iyonların birikmesiyle senesense yol açar ve yaprakların fotosentetik verimi düşer hatta bitki ölür (Munns ve Tester, 2008).

Tuzluluk stresinin en belirgin göstergelerinden biri, sürgünlerin büyümesindeki azalmalardır ve sürgünler ve köklerin biyokütelleri arasındaki oranları değiştirir. Bu değişim kök kütle oranı (KKO) şeklinde tanımlanabilir. Köklerdeki göreceli düşüş, tuz stresinin biyokütle miktarını kontrol koşullarına göre azalttığını ispatlamaktadır. Tuzluluk stresi aynı zamanda genç yapraklarda hücre genişlemesini de etkileyerek yaprak alanının küçülmesine neden olur (Munns ve Tester, 2008).

Tavakkoli (2010), çoğu bitkinin hem Na<sup>+</sup> hem de Cl<sup>-</sup> biriktirdiğinin düşünüldüğünü belirtmesine rağmen, Neumann ve ark. (1988), çeşitli bitkilerde tuz (özellikle Na<sup>+</sup>) toksisitesinin özellikle tuza duyarlı bitkilerde yaprak yanığı, yapraklarda nekrotik lekeler ve yaprak hücrelerinin sınırlı genişlemesi gibi gözle görülür belirtilere sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Tohum çimlenmesi, bir bitkinin büyüme döngüsünde verimi belirleyen en temel ve hayati aşamalardan biridir. Tuzluluk çimlenme sürecini birçok yönden etkiler. Belirli bir zamanda çimlenen tohumların yüzdesi türler ve çeşitler arasında önemli ölçüde farklılık gösterir. Çimlenme ortamındaki düşük osmotik potansiyel tohumların su emilimini değiştirir (Khan ve Weber 2008), tuz birikimi tohum rezervlerinin kullanımını azaltır (Othman ve ark. 2006), protein metabolizması (Dantas ve ark. 2007) ile hormonal

denge (Khan ve Rizvi, 1994) olumsuz etkilenir. Tuzluluğun *Oryza sativa* (Xu ve ark. 2011), *Triticum aestivum* (Akbarimoghaddam ve ark. 2011), *Zea mays* (Çarpıcı ve ark. 2009; Khodarahmpour ve ark. 2012) ve *Brassica* spp. (Ibrar ve ark. 2003; Ulfat ve ark. 2007) gibi çeşitli kültürlerin çimlenme süreçlerini birçok yönden etkilediği gösterilmiştir.

Çimrin ve ark. (2010), biber fideleri üzerinde yaptığı bir çalışmada, HA hem büyüme parametreleri hem de besleyici olarak N, P, K, Ca, Mg, S, Mn ve Cu miktarlarının istatistiksel olarak anlamlı olarak arttığını rapor etmişlerdir. Biberin köklerinde N, P, K, Ca, S, Fe, Mn, Zn ve Cu elementlerin artarken sodyumun sürgünler ve köklerde HA artışıyla beraber düştüğü görülmüştür. Tuz stresi uygulanmış üç keten (*Linum usitatissimum* L.) varyetesine ait fideleri üzerinde yapılan bir çalışmada, HA'nın tuzlu ortamda yetiştirilen varyetelerin, Fe ve P ve diğer besleyici elementlerin emilimlerini ve bitkinin beslenme düzeyini artırarak gerçekleştirdiği belirtilmiştir (Bakry ve ark. 2014). Buğdayda (Botella ve ark. 1994) mısırdaki (Turan ve Aydın, 2005) ve fasulye fidelerinde yapılan çalışmalarda, artan tuz miktarlarına bağlı olarak hem nitrat hem de yaprak alanlarında görülen azalış, ortama ilave edilen ve dozu arttırılan HA ile yeniden yükselmektedir (Aydın ve ark. 2012).

### 1.3. Toksik Elementler ve Ağır Metal Stresi

Kimyasal stres olarak da bilinir, mikro besin eksikliği veya toksisitesini, ağır metal ve hava kirleticilerini ifade etmektedir. Besleyici elementlerin ve bileşiklerinin eksikliğinden veya toksisitesinden kaynaklanan bitki stresi, beslenme stresi olarak bilinir ve klorosis ve bodur büyüme gibi gözle görülür belirtiler şeklinde ortaya çıkar. Mikro besin maddelerinin eksikliği veya toksisitesi, ilgili olduğu fizyolojik aktiviteyi etkiler ve böylece bitki bozukluklarına veya strese yol açar. Bu nedenle, mikro besin maddelerinin eksikliği veya toksisitesi, bitki stresinin ve düşük ürün ve verimliliğin nedeni olan önemli fizyolojik süreçleri engelleyebilir (Dubey ve ark. 2020).

Ağır metal stresi, mahsul verimliliği ve büyümesi üzerinde kayda değer olumsuz etkileri olan büyük bir öneme sahiptir. Tarım toprağının ağır metal kirliliğindeki artış, katkı maddelerinin element miktarı ile uygulama oranına ve uygulandığı toprak özelliklerine bağlıdır (Gill, 2014). Bakır (Cu), çinko (Zn), molibden (Mo), kobalt (Co), demir (Fe) ve mangan (Mn) gibi ağır metaller, enzim veya kofaktör formunda veya belirli rolleri olan yapısal moleküllerde, bitkilerin normal metabolik işleyişi için gerekli besin maddeleridir (Arif ve ark. 2016). Bununla beraber, kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb), arsenik (As) ve cıva (Hg) gibi bitkiler üzerinde toksik etki gösteren ve metabolik işleyişlerini ciddi şekilde etkileyen bazı ağır metaller de vardır (Sidhu, 2016).

Bazı toksik ve ağır metaller toprak pH'ını ve topraktaki besin maddelerinin alımını etkileyerek bitki büyümesini ve gelişimini etkilediği bilinmektedir (Matsumoto, 2000; Neil ve Gregory, 2001; Nocito ve ark. 2002; Vitorello ve ark. 2005).

Alüminyum (Al), yer kabuğunda en bol bulunan metaldir ve toprağın en önemli bileşenlerinden biridir (%7), ayrıca üç değerlikli iyonik formda çözünür, asit topraklarda (< pH 5.0) oldukça aktiftir ve bitki büyümesi için toksiktir (2-3 ppm) ve bitkisel üretimde azalmalara neden olur (Thornton ve ark. 1986; Kochian, 1995; Matsumoto, 2000; Vardar ve ark. 2006). Al'un yaygın etkileri arasında, toplam yaprak sayısı ve boyutunda, sürgünlerin biyokütlesinde düşüşler, kök uzamasının engellenmesi, yapraklarda sararma ve ölü dokuların ortaya çıkması fotosentetik aktivitenin azalmasına yol açması bulunmaktadır (Thornton ve ark. 1986; Kochian, 1995). Al ayrıca yapraklarda ultrastrüktürel ve hücrel değişikliklere neden olur, hücre bölünmesi ve uzaması engellenir ve stomaların kısmen kapanmasına yol açar (Rengel, 1992; Kochian, 1995; Delhaize ve Ryan, 1995; Vardar ve Ünal, 2007). Alüminyumun bakla (*Vicia faba* L.) fideleri üzerine etkisini görmek üzere yapılan araştırmalarda, humik asidin  $Al^{3+}$  gibi çok değerlikli metallerle yaptığı bağlar nedeniyle HA tarafından Alüminyum alımının engellendiği bildirilmiştir (Büyükkeskin, 2008, Akıncı ve ark. 2009, Büyükkeskin ve Akıncı, 2011).

Bir eser element olarak kadmiyum (Cd) çoğunlukla madencilik ve rafinasyon gibi endüstriyel süreçler gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan doğal ve tarımsal ortamlarda görülen ağır metallerden biridir (Wagner, 1993; Sandalio ve ark. 2001; Akgüç ve ark. 2008). Kadmiyum toksisitesi bitkileri morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde etkiler (Hussain ve ark. 2012; Rizwan ve ark. 2017). Çok sayıda çalışma, bu metalin tohum çimlenmesini engelleyebileceğini, toplam bitki uzunluğunu düşürebileceğini ve bitki başına düşen yaprak sayısını azaltarak bitkinin ölümüne yol açabileceğini göstermiştir (Bae ve ark. 2016; Mani ve ark. 2012; Soudek ve ark. 2014).

Kadmiyum, vejetatif bitki büyümesini engelleyen ve hatta bitki ölümüne neden olan güçlü bir fitotoksik elementtir (Sandalio ve ark. 2001). Cd'un yaygın etkileri arasında; kök büyümesini azaltarak bitkilerin su dengesini etkilemesi, iletim demetlerinin çaplarında düşüşler nedeniyle su alımını sınırlandırması ve kısmi stoma kapanmasına neden olması yer almaktadır (Barcelo ve Poschenrieder, 1990; Prasad, 1995). Ayrıca doku biyokütlesinde azalmaya, kloroza ve ksilem taşınımı gibi belirli fizyolojik veya azot fiksasyonu gibi biyokimyasal gibi süreçler üzerinde değişimlere neden olur (Kosma ve ark. 2004).

## 2. Humik asitler (HA)

Tarım alanlarında aşırı miktarda kimyasal gübrelerin kullanımı sonucu toprak doğallığını kaybederek sağlıklı bir yapıya dönüşmektedir (Selim ve Mosa, 2012, Akıncı, 2017, Tiwari ve ark. 2023). Kültür bitkilerinin yetiştirilmesinde, aşırı gübrelemenin besin zincirindeki rolü bilim insanları tarafından yoğun olarak araştırılmakta ve tarımsal ekosistemlerde humik benzeri düzenleyiciler ile ilgili arayış sürmektedir (Akıncı, 2023).

Humik asit şu anda organik gübrenin değerli, yüksek moleküler ağırlıklı bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Tiwari ve ark. 2023, Akıncı, 2023). Ticari bir ürün olarak HA %44-58 karbon (C), %42-46 oksijen (O), %6-8 hidrojen (H) ve %0,5-4 azot (N) ile birçok mineral element içerir (Lee ve Bartlette, 1976; Larcher, 2003).

Humik asitler toprakta kation değişim kapasitesini arttırmırlar. Rizosfer çevresinde var olan mineral besleyicileri bitkilerin köklerden zarları vasıtası ile alabileceği ve iletebileceği formlara dönüştürerek toprağı verimli hale getirirler (Stevenson, 1994; Yılmaz, 2007; Tipping, 2002; Kulikova ve ark. 2005). Humik maddeler bu yüzden toprak kalitesini de etkileyen tarımsal araştırmalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Humik asitler pH ayarlamasından, tuzluluk, kuraklık ve topraktaki toksik ve ağır metal elementlerin zararlı etkileri gibi stres koşulları altında yetişen bitkilerin hayatta kalma mekanizmasını genişletmekten sorumludur (Fagbenro ve Agboda, 1993; David ve ark, 1994; Stevenson, 1994; Dursun ve ark. 1999; Pılanali ve Kaplan, 2003; Sharrif ve ark. 2002; Kolsarıcı ve ark. 2005; Fong ve Mohamed, 2007; Büyükkeskin ve Akıncı, 2011; Khaled ve Fawy, 2011). Humik asitler geniş pH ölçüm aralığında tampon olarak ve pH 1 nötrale ederek özellikle eser/iz elementlerin bitki tarafından alınabilmesine olanak sağlarlar (Yılmaz, 2007). Humik maddelerin, asidik topraklarda fosfat ve demir iyonları arasındaki, alkali topraklarda ise kalsiyum ve demir iyonları arasındaki bağları kırabildiğı bilinmektedir (Stevenson, 1994). Mevcut çalışmalar, kök büyümesi ve gelişimi ile bazı besin maddelerinin alımı arasında bağlantılar olduğunu ortaya koymuştur. Örneğın, humik asit mısır bitkisi köklerinin uzunluğunda ve kuru ağırlığında artışa neden olmuş ve azot, fosfor,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  alımını artırmıştır (Eyheraguibel ve ark. 2008). Humik asitler *Helianthus annuus* L. (Ayçiçeğı) kök uzunluğunu (Kolsarıcı ve ark. 2005), mısır köklerinde  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  ve  $Cu^{2+}$  gibi mikro besin maddelerinin alımını (Sharif ve ark. 2002), domates ve salatalıkta kök kuru ağırlığını (Atiyeh ve ark. 2002); *Lolium perenne* (ryegrass-delice) bitkisinde kök gelişimini uyarılmış ve N,  $K^+$ ,  $Cu^{2+}$  ve  $Mn^{2+}$  içeriğini arttırmıştır (Bidegain ve ark. 2000).



Bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddelerine sahip olduğu için topraktaki çözünmeyen metal iyonlarını, oksitleri ve hidroksitleri çözünebilir formlarda bağlayarak bitkiye sağlar (Pettit, 2004; Akıncı, 2011). Humik asitler, Fe gibi elementlerin kristalleşmesini önler. Metalleri şelatlayabilir ve bitkinin bunları kolayca kullanabilmesi için kök çevresinde tutabilirler. Humik asitlerin bitki çimlenmesi ve büyümesi üzerinde uyarıcı bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Dell'Amico ve ark. 1994; Garcia-Mina ve ark. 2004; Garcia ve ark. 2012).

### 3. Humik Asitler ve stres faktörleri

Abiyotik stres faktörleri bitkilerin bulunduğu her yerde etkisini gösterir ancak doğal taksonlardan ziyade tarımı yapılan bitkiler üzerindeki rolleri insanı daha çok ilgilendirir. Tarımsal ekosistemlerde humik asitlerle yapılan çok sayıda çalışmada kültür bitkilerinin abiyotik koşullara tepkileri araştırılmıştır. Bunlardan bazıları su stresi, tuzluluk ve ağır metaller gibi bitkiler için uygun olmayan koşullara sahip topraklarda yetiştirilen kültür bitkileridir (Akıncı, 2023). Humik asitlerin ekinliği özellikle kökler bölgesinde dikkat çekicidir. Kök sistemi de humik asitler gibi negatif yüke sahiptir, ancak kök sisteminin bu negatif yükü humik asitlerinkinden daha fazladır. Böylece humik asitlere bağlı mikro elementler ayrılır ve kökteki hücrelerin zarından bitkiye geçer (Kulikova ve ark. 2005; Tipping, 2002). Humik maddeler toprak pH'ını düzenleyebildikleri için pH uygun hale getirdiklerinde, bağlı olan ve bitki kökleri tarafından alınamayan birçok eser element rahatlıkla kullanılabilir hale gelir (Akıncı ve ark. 2009; Akıncı, 2011).

Tuzlu topraklarda yapılan humik asit uygulamaları tuzluluğun olumsuz etkisini hafifletmektedir. Bu organik madde, rizosferdeki N kaynakları, Ca, Mg ve K gibi farklı besin maddelerini takviye eder ve  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ve  $K^+$  vb. katyonlar toprak tanecikleri üzerinde katyon değişim bölgeleri sağlar, böylece yağış olayları sırasında sızıntı yoluyla  $Na^+$  kayıplarını artırır (Türkmen ve ark. 2000; Frechilla ve ark. 2001; Tuna ve ark. 2007).

Khaled ve Fawy (2011), yüksek tuzluluk koşullarında farklı dozlarda ve oranlarda HA uygulamasının besin içeriği, bitki gelişimi ve toprak özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve humus uygulamasının mısır bitkisinin azot alımını artırdığını gözlemlemiştir.

HA ilavesinden sonra tuzluluk stresine maruz kalan arpanın metabolik tepkisi üzerine yapılan çalışmada (Jarošová ve ark. 2016), HA'lerin sodyum alımını sınırlayarak ve metabolitlerin miktarını olumlu yönde etkileyerek arpayı tuzluluk (NaCl) stresine karşı koruyabilecek potansiyel bir organik bileşik olduğunu rapor etmişlerdir.

Su stresi bitkilerin büyüme-gelişme ile ürün kalitesi ve miktarını en fazla etkisini hissettiren faktör olarak HA ile yapılan çok sayıda çalışmaya sahiptir. HA, çeşitli bitki organlarında protein ve enzim sentezini ve/veya aktivitelerini teşvik edebilir (Muscolo ve ark. 2007), doğal HA kuraklık stresine karşı bitki toleransını artırmak için etkili bir ekolojik araç olarak düşünülebilir. Humik asitlerin, bitkilerde  $H^+$ -ATPaz'ı önemli ölçüde uyarabildiği, fitohormonlara benzer bir mekanizma aracılığıyla kuraklık koşulları altında reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı bitki toleransını artırır (Canellas ve ark. 2009; Dobbs ve ark. 2010). HA lerin varlığı ayrıca kuraklık stresi altındaki buğdayın net fotosentetik oranını (Pn) artırmış ve transpirasyon oranını azaltmıştır (Liu ve ark. 2014).

Shen ve ark. (2020), HA'in kuraklık stresi altındaki darı fidelerinin fizyolojik ve fotosentetik davranışları üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve HA' in fidelerin ozmotik düzenlemesini, antioksidan kapasitesini ve fotosentez oranını iyileştirerek fide büyümesini desteklediğini gözlemlemiştir.

Humik asitler ve ağırmetaller arasındaki bağlantıların anlaşılması amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde, HA lerin toprağın morfolojisini değiştirebildiği ve ağır metallerin topraktaki hareketini kısıtlayabildiği belirtilmiştir (Yu ve ark. 2002). Aynı zamanda rizosferde bulunan mikroorganizmaları organize ederek ağır metallerin hareketini ve biyotransformasyonunu dolaylı olarak kontrol edebilmektedir (Halim ve ark. 2003).

Inaba ve Takenaka (2005), HA'nın Cu toksisitesi üzerindeki etkilerini incelemiş ve HA ilavesinin marul fidelerindeki Cu içeriğini azalttığını ve böylece bu bitki için Cu toksisitesini önemli ölçüde azalttığını gözlemlemiştir (Duan ve ark. 2020). Humik asit, çoğu ağır metalin (Örn. Cd, Zn ve Mn) biyojeokimyasal döngülerinde ve bu molekülün güçlü negatif yükü nedeniyle bitkilerin bunları tutmalarında (fitoakümülatör) önemli bir rol oynar (Ondrasek ve ark. 2018).

Genel olarak, HA'lerin bitki yetiştirme ortamı (toprak) üzerindeki tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri (yani, toprak gözenekliliğinde, su geçirgenliğinde, gaz değişiminde, besin biyoyararlanımında ve toprak mikrobiyota aktivitesinde iyileşme), HA'lerin  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  ve diğer katyonlar gibi çok değerli metallerle kararlı bileşikler oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır.

Alüminyum stresi ( $Al^{3+}$ ) altındaki *Vicia faba* L. fidelerinde humik asit,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mn^{2+}$  ve  $Zn^{2+}$  içeriklerini kontrollere kıyasla önemli ölçüde artırmıştır (Büyükköskün ve ark. 2015). Tuzlu ortamda yetiştirilen Maş fasulyesi (*Vigna*

*radiata* (L.) Wilczek) ile yapılan bir çalışmada, humik asitin maş fasulyesi kökünde biyo-kütle artışına neden olduğu, bu da potasyum gibi minerallerin daha fazla alınmasına yol açtığını göstermiştir. Sonuçlar, humik asidin orta dereceli tuz stresinin (50 mM NaCl) maş fasulyesi büyümesi üzerindeki etkilerini hafiflettiğini, başka bir deyişle sodyumun olumsuz etkisini azaltarak tuzluluğa karşı direnci artırdığını göstermiştir (Kalyoncu ve ark. 2017).

#### 4. Sonuç ve tartışma

Stres (baskılanma), bitkinin yaşam döngüsü boyunca en az bir defa karşılaştığı ve canlılardan kaynaklanan (biyotik); çevre ve fiziksel ortamları ifade eden (abiyotik) bir kavramdır. Stres yapıcı bütün bu nedenler, stres faktörü olarak tanımlanır ve susuzluk (su stresi, su yoksunluğu), su basması, tuzluluk, yüksek ve düşük sıcaklıklar, elementlerin azlığı/fazlalığı gibi nedenler, bitkinin uyum sağlama, tolerans (dayanma), hayatta kalabilme gibi mekanizmalarının ortaya çıkmasına yol açarlar. Stresin, süresi, şiddeti ve etkilediği bitki türleri bitki varlığının, yayılımının ve çeşitliliğinin belirleyicisi durumundadır.

Doğadaki birçok maddeden bitkilerin bu zorluklar karşısında destekleyici olarak yararlanmışlardır. Bunların arasında önemli bir yere sahip humik maddeler/özler/asitler organik maddelerin yapısında az veya çok sayıda bulunmaktadır. Leonardit kökenli humik asitler diğer kaynaklardan çok daha fazla humik maddeler içermekte ve tercih edilmektedir. Dünyanın her yerinde, humik asitlerle yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Tarımsal üreticiler, gıdaya olan yüksek talep nedeniyle, kalitenin yanı sıra verim miktarını da artırmak için aşırı miktarda gübre kullanmaktadırlar. Humik asit ile yapılan çok sayıda araştırma, uygun dozlarda/oranlarda kullanılan humik asidin özellikle bahçecilik ve tarımda faydalı olduğunu göstermiştir. Doğal maddelerin kullanımına yönelik özellikle de humik asitlerle yapılan çalışmaların tarımsal uygulamalarda yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A. and Panjehkeh., N. (2011).** Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia J Sci* 9:43–50.
- Akgüç, N., Özyiğit, İ. İ. and Yarcı, C. (2008).** *Pyracantha coccinea* Roem. (Rosaceae) as a biomonitor for Cd, Pb and Zn in Mugla Province (Turkey). *Pakistan Journal of Botany*. 40(4):1767-1776.
- Akıncı, S. (1997).** Physiological responses to water stress by *Cucumis sativus* L. and related species. Ph. D. Thesis, University of Sheffield. U. K.
- Akıncı, S. and Lösel, D. M. (2009).** The soluble sugars determination in Cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. *Adv. Environ. Biol.*, 3(2): 175-183.
- Akıncı, S. and Lösel, D. M. (2010).** The effects of water stress and recovery periods on soluble sugars and starch content in cucumber cultivars. *Fresen. Environ. Bull.*, 19(2): 164-171.
- Akıncı, S., Lösel, D. M. (2012).** Plant water-stress response mechanisms. In *Water Stress*; Rahman, I.M., Hasegawa, H., Eds.; InTech: Rijeka, Croatia, 2012. pp.15–42.
- Akıncı, Ş. (2023).** Contribution from Nature to Agricultural Ecosystems: Humic Substances. *Ecol Conserv Sci.*, 3(1): 555602.
- Akıncı, Ş., (2011).** Humik Asitler, Bitki Büyümesi ve Besleyici Alımı. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 23(1): 46-56, İstanbul.
- Akıncı, Ş., Büyükkeskin, T., Eroglu, A., Erdogan, B. E. (2009).** The effect of humic acid on nutrient composition in broad bean (*Vicia faba* L.) roots. *Not. Sci. Biol.* 1, 81–87.
- Allbed, A. and Kumar, L. (2013).** Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. *Adv. Remote Sens.* 2(4):373-385.
- Amirjani, M. R. (2010).** Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *Plant Physiol.* 5(6):350-360.
- Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Singh, S., Ahmad, P., Mishra, R. K., Sharma, S., Tripathi, D. K., Dubey, N. K., and Chauhan, D. K. (2016).** Influence of high and low levels of plant-beneficial heavy metal ions on plant growth and development. *Front. Environ. Sci.*,4, 69.
- Aşık, B. B., Turan, M. A, Çelik, H., Katkat, A. V. (2009).** Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. *Asian J. Crop Sci.* 1(2):87-95.

- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., and Metzger, J. D. (2002).** The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth, *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- Austin, R. B. (1989).** Prospect for improving crop production in stressful environments. *Plants under stress. Biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement.* (ed. by Hamlyn G. Jones, T.J. Flowers, M.B. Jones). pp. 235-248. Cambridge University Press, Cambridge
- Aydın, A., Kant, C., Turan, M. (2012).** Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 1073-1086.
- Bae, J., Benoit, D. L., & Watson, A. K. (2016).** Effect of heavy metals on seed germination and seedling growth of common ragweed and roadside ground cover legumes. *Environmental Pollution*, 213, 112-118.
- Bakry, B. A., Taha, M. H., Abdelgawad, Z. A., and Abdallah, M. M. S. (2014).** The Role of humic acid and proline on growth, chemical constituents and yield quantity and quality of three flax cultivars grown under saline soil conditions. *Agricultural Sciences*, 5, 1566-1575.
- Barcelo, J., and Poschenrieder, C. (1990).** Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*. 13(1):1-37.
- Barlow, E. W. R. (1986).** Water relations of expanding leaves. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 45-58.
- Bidegain, R. A., Kaemmerer, M., Guiresse, M., Hafidi, M., Rey, F., Morard, P., and Revel, J. C. (2000).** Effects of humic substances from composted or chemically decomposed poplar sawdust on mineral nutrition of ryegrass, *Journal of Agricultural Science*. 134: 259-267.
- Bishop, D. G. (1983).** Functional role of plant membrane lipids. In: *Proceeding of the 6th Annual Symposium in Botany (January 13-15)*. Riverside, CA: University of California:81-103.
- Botella, M. A., Cerda, A., and Lips, S. H. (1994).** Kinetics of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  uptake by wheat seedlings: effect of salinity and nitrogen source. *Journal of Plant Physiology*, 144, 53-57.
- Bottner, P., Couteaux, M. M., and Vallejo, V. R. (1995).** Soil organic matter in mediterranean-type ecosystems and global climatic changes: A case study-the soils of the mediterranean basin. *Global change and Mediterranean-type ecosystems. Ecological studies*, Vol. 117. (ed. by Jose M. Moreno, Walter C. Oechel), pp. 306-325. Springer-Verlag, New York
- Bradford, K. J. and Hsiao, T. C. (1982).** Physiological responses to moderate water stress. In: *Encyclopedia of plant physiology, new series*, vol. 12B, *Physiological plant ecology II, Water relations and carbon assimilation*

- (ed. by O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler), pp. 263-324. Springer-Verlag, Berlin.
- Büyükkeskin, T. (2008).** Humik Asitin *Vicia faba* L. (Bakla) da Fide Gelişimine ve Alüminyum Toksisitesine Etkisinin Belirlenmesi, Doktora tezi, M.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Büyükkeskin, T. ve Akıncı, Ş. (2011).** The effects of humic acid on above-ground parts of broad bean (*Vicia faba* L.) seedlings under Al<sup>3+</sup> toxicity. *Fresenius Env. Bull.*, 20(3): 539-548.
- Büyükkeskin, T., Akıncı, Ş., and Eroğlu, A. E. (2015).** The effects of humic acid on root development and nutrient uptake of *Vicia faba* L. (Broad Bean) seedlings grown under aluminum toxicity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46, 277–292.
- Canellas, L. P., Spaccini, R., Piccolo, A., Dobbss, L. B., Okorokova-Facanha, A. L., Santos, G. D .A., Olivares, F. L., Façanha, A. R. (2009).** Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian Oxisols. *Soil Sci.* 174: 611–620.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. (2003).** Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264
- Chopra, R. K., and Sinha, S. K. (1998).** Prospects of success of biotechnological approaches for improving tolerance to drought stress in crop plants. *Curr. Sci.*, 74 (1): 25-34.
- Crawford, R. M. M. (1989).** Studies in plant survival. Ecological case histories of plantadaptation to adversity. *Studies in Ecology*, Vol. 11. pp.177-202. Blackwell Scientific publications, Oxford.
- Çarpıcı, E. B., Çelik, N., Bayram, G. (2009).** Effects of salt stress on germination of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Afr J Biotechnol* 8:4918– 4922.
- Çimrin, K. M., ve Yılmaz, I. (2005).** Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Sci*, 55, 58-63.
- Dantas, B. F., De Sa, R. L., Aragao, C. A. (2007).** Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. *Rev Bras de Sementes* 29:106–110.
- David, P. P., Nelson, P. V., and Sanders, D. C. (1994).** A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture, *Journal of Plant Nutrition*, 17: 173- 184.
- Delhaize, E., and Ryan, P. R. (1995).** Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*. 107:315-321.
- Dell'Amico, C., Masciandaro, G., Ganni, A., Ceccanti, B., Garcia, C., Hernandez, T. ve Costa, F. (1994).** Effects of specific humic fractions

- on plant growth. In *Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health*; Senesi, N., Miano, T.M., Eds.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, pp. 563-566.
- Dobbs, L. B., Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Peres, L. E. P., Azevedo, M., Spaccini, R., Piccolo, A., Façanha, A. R. (2010).** Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *J Agric Food Chem.* 58: 3681–3688.
- Duan, D. C., Tong, J. H., Xu, Q., Dai, L. Y., Ye, J. E., Wu, H. X., Xu, C., Shi, J. Y. (2020).** Regulation mechanisms of humic acid on Pb stress in tea plant (*Camellia sinensis* L.). *Environ Poll.* 267: 115546.
- Dubey, R. Gupta, D. K., and Sharma, G. K. (2020).** Chemical stress on plants. In *New Frontiers in Stress Management for Durable Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 101–128.
- Dursun, A., Güvenç, İ., and Turan, M. (1999).** Macro and micro nutrient contents of tomato and eggplant seedlings and their effects on seedling growth in relation to humic acid application, *Improved Crop Quality by Nutrient Management*, Anaç, D.; Martin-Prevel, P. Editors.; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., and Morard, P. (2008).** Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize, *Bioresource Technology.* 99: 4206-4212.
- Fagbenro, J. A. and Agboda, A. A. (1993).** Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 1465-1483.
- FAO (2005).** Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Rome, Italy: FAO Land and Plant Nutrition Management Service.
- Farquhar, G. D. and Sharkey, T. D. (1982).** Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 33: 317-345.
- Fong, S. S., Mohamed, M. (2007).** Chemical characterization of humic substances occurring in the peats of Sarawak, Malaysia. *Org. Geochem.* 38, 967–976.
- Frechilla, S., Lasa, B., Ibarretxe, L., Lamsfus, C., Aparicio-Tejo, P. (2001).** Pea responses to saline stress is affected by the source of nitrogen nutrition (ammonium or nitrate). *Plant Growth Regul.* 35: 171–179.
- Galston, A. W., and Sawhney, R. K. (1990).** Polyamines in plant physiology. *Plant Physiol.*, 94: 406-410.
- García, A. C., Berbara, R. L. L., Fariás, L. P., Izquierdo, F. G., Hernández, O. L., Campos, R. H., Castro, R. N. (2012).** Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *Afr J Biotechnol.* 11: 3125–3134.

- García-Mina, J. M., Antolín, M. C., Sanchez-Diaz, M. (2004).** Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant Soil*. 258: 57–68.
- Gill, M. (2014).** Heavy metal stress in plants: A review. *International Journal of Advanced Research*, 2(6), 1043–1055.
- Gilroy, S., Suzuki, N., Miller, G., et al. (2014).** A tidal wave of signals: calcium and ROS at the forefront of rapid systemic signaling. *Trends in Plant Science* 19: 623–630.
- Grattan, S. R. And Grieve, C. M. (1999).** Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki M. (ed.): *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York: 203-229.
- Halim, M., Conte, P., Piccolo, A. (2003).** Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. *Chemosphere*. 52: 265–275.
- Harwood, J. L. (1979).** The synthesis of acyl lipids in plant tissues. *Prog Lipid Res.*, 18: 55-86.
- Hussain, I., Iqbal, M., Qurat-Ul-Ain, S., Rasheed, R., Mahmood, S., Perveen, A., and Wahid, A. (2012).** Cadmium dose and exposure-time dependent alterations in growth and physiology of maize (*Zea mays*). *International Journal of Agriculture & Biology*, 16(4), 959–964.
- Ibrar, M., Jabeen, M., Tabassum, J., Hussain, F and Ilahi, I. (2003).** Salt tolerance potential of *Brassica juncea* Linn. *J Sci Tech Univ Peshawar* 27:79– 84.
- Inaba, S., Takenaka, C. (2005).** Effects of dissolved organic matter on toxicity and bioavailability of copper for lettuce sprouts. *Environ Int*. 31: 603– 608.
- Jang, J. C. and Sheen, J. (1997).** Sugar sensing in higher plants. *Trends Plant Sci.*, 2: 208-214.
- Jarošová, M., Klejdus, B., Kováčik, J., Babula, P., and Hedbavny, J. (2016).** Humic acid protects barley against salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 161.
- Kalyoncu, O., Akıncı, Ş. ve Bozkurt, E. (2017).** The effects of humic acid on growth and ion uptake of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) grown under salt stress. *African Journal of Agricultural Research*, 12 (49): 3447-3460
- Khaled, H. ve Fawy, H. A. (2011).** Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6, 21-29.
- Khan, M. A, Weber. D. J. (2008).** *Ecophysiology of high salinity tolerant plants (tasks for vegetation science)*, 1st edn. Springer, Amsterdam



- Khan, M. A., and Weber, D. J. (2008).** Ecophysiology of high salinity tolerant plants (tasks for vegetation science), 1st edn. Springer, Amsterdam
- Khodarahmpour, Z., Ifar, M., Motamedi, M. (2012).** Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *Afr J Biotechnol* 11:298–304.
- Koch, K. E. (1996)** Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47: 509-540.
- Kochian, L. V. (1995).** Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 46:237-260
- Kolsarıcı, Ö., Kaya, M. D., Day, S., İpek, A., Uranbey, S. (2005).** Farklı hümik asit dozlarının ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) çıkış ve fide gelişimi üzerine etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 18: 151-155
- Kosma, D. K., Long, J. A., and Ebbs, S. D. (2004).** Cadmium Bioaccumulation in Yellow Foxtail (*Setaria glauca* L. P. Beauv): Impact on Seed Head Morphology. *American Journal of Undergraduate Research*. 3:9-14.
- Kramer, P. J. (1980).** Drought, stress, and the origin of adaptations. Adaptations of plants to water and high temperature stress. (ed. by Neil C. Turner, Paul J. Kramer) pp. 7-20. John-Wiley & Sons, New York
- Kramer, P. J. and Boyer, J. S. (1995).** Water relations of plants and soils. Academic Press. San Diego.
- Kulikova, N. A., Stepanova, E. V., and Koroleva, O. V. (2005).** Mitigating activity of humic substances direct influence on biota, Use of humic substances to remediate polluted environments: From theory to practice, Perminova, I.V.; Hatfield, K. and Hertkorn, N.; Springer, Netherlands, pp. 285-310.
- Larcher, W. (1995).** Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer, Berlin.
- Larcher, W. (2003).** “Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups”, 4th. Edition, Springer, New York (2003)
- Law, B. E., Williams, M, Anthoni P. M., Baldochi, D. D. and Unsworth, M. H. (2000).** Measuring and modelling seasonal variation of carbon dioxide and water vapour exchange of a *Pinus ponderosa* forest subject to soil water deficit. *Global Change Biology*, 6: 613-630.
- Lee, Y. S., Bartlett, R. J. (1976).** Stimulation of plant growth by humic substances, *Soil Science Society of America Journal*. 40: 876-879.
- Liu, W., Liu, J. H., Rula, S., Hou, G. N. (2014).** Effect of humic acid water-soluble fertilizer on wheat photosynthetic characteristics and yield under water stress. *Chin Agric Sci Bull* (in Chinese). 3: 196–200.

- Ludlow, M. M. (1987).** Contribution of osmotic adjustment to the maintenance of photosynthesis during water stress.-In: Biggins, J. (ed.): Progress in Photosynthesis Research. Vol. 4. Pp. 161-168. Mertinus Nijhoff Publ., Dordrecht-Boston-Lancaster.
- Ludlow, M. M. and Muchow, R. C. (1990).** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.*, 43: 107-153.
- Malik, R. S., Dhankar, J. S. and Turner, N. C. (1979).** Influence of soil water deficits on root growth of cotton seedlings. *Plant and Soil* 53: 109-115.
- Mani, D., Sharma, B., Kumar, C., and Balak, S. (2012).** Cadmium and lead bioaccumulation during growth stages alters sugar and Vitamin C content in dietary vegetables. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 82 (4) 477-488.
- Matsumoto, H. (2000).** Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. *International Review of Cytology*, 200: 1- 46.
- McCree, K. J. (1986).** Whole-plant carbon balance during osmotic adjustment to drought and salinity stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 33-43.
- Munns, R., Termaat, A. (1986).** Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160.
- Munns, R. (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol* 167: 645-663.
- Munns, R., Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Muscolo, A., Sidari, M., Attinà, E., Francioso, O., Tugnoli, V., Nardi, S. (2007).** Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil Sci Soc Am J.* 71: 75-85.
- Nagarajan, S. and Nagarajan, S. (2010).** Abiotic stress adaptation in plants. *Physiological, molecular and genomic foundation* (Eds. Pareek, A., Sopory, S. K., Bohnert, H. I, Govindjee). pp. 1-11. Springer, The Netherlands.
- Neil, S. H., and Gregory, J. T. (2001).** Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. *Journal of Experimental Botany.* 52:1473-1481
- Neumann, P. M., Van Volkenburgh, E., and Cleland, R. E. (1988).** Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. *Plant Physiol.*, 88: 233- 237.
- Nocito, F. F., Pirovano, L., Cocucci, M., and Sacchi, G. A. (2002).** Cadmium-induced sulfate uptake in maize roots. *Plant Physiology.* 129(4):1872-1879.

- Ondrasek, G., Rengel, Z., Romic, D. (2018).** Humic acids decrease uptake and distribution of trace metals, but not the growth of radish exposed to cadmium toxicity. *Ecotoxicol Environ Saf.* 151: 55–61.
- Othman, Y., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R., and Al-Horani, A. (2006).** Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World J Agric Sci* 2:11–15.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. And Prasad, S. M. (2015).** Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environ Sci Pollut Res* 22(6):4056–4075.
- Pereira, J. S. and Chaves, M. M. (1995).** Plant responses to drought under climate change in mediterranean-type ecosystems. *Global change and Mediterranean-type ecosystems. Ecological studies*, Vol. 117. (ed. by Jose M. Moreno, Walter C. Oechel), pp. 140-160. Springer-Verlag, New York.
- Pereira, J. S., and Chaves, M. M. (1993).** Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. *Water Deficits plant responses from cell to community.* (ed. by J. A. . Smith, H. Griffiths). pp. 237-251. BIOS Sci. Ltd. Oxford
- Pessaraki, M., Szabolcs, I. (1999).** Soil Salinity and Sodcity as Particular Plant/Crop Stress Factors. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, 2nd Edition, Revised and Expanded (M. Pessaraki, Ed.), Marcel Dekker, Inc. New York pp. 1-15.
- Pettit, R. E. (2004).** Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health. *CTI Res.*
- Pilanalı, N., ve Kaplan, M. (2003).** Investigation of effect on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 835-843.
- Pitman, M. G. and Läuchli, A. (2002).** Global impact of salinity and agricultural ecosystem. In *Salinity: Environment-Plants-Molecules.* A. Läuchli and U. Lüttge. Eds. Kluwer Academic. Dordrecht. Netherlands pp. 3-20.
- Prasad, M. N. V. (1995).** Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany.* 35:525-54
- Rengel, Z. (1992).** Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytologist.* 121:499-513.
- Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Ibrahim, M., Tsang, D. C. W., Zia-Ur-Rehman, M., Zahir, Z. A., Rinklebe, J., Tack, F. M. G., and Ok, Y. S. (2017).** A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables. *Chemosphere*, 90–105.
- Roy, S. J., Negrao, S., Tester, M. (2014).** Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology* 26: 115–124.
- Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M. and del Rio, M. C., Romero-Puertas, L. A. (2001).** Cadmium-induced changes in the growth

- and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany*. 52(364):2115-2126.
- Schulze, E. D. (1986).** Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 37: 247-274.
- Selim, E. M. ve Mosa, A. A. (2012).** Fertigation of humic substances improves yield and quality of broccoli and nutrient retention in a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 273-281.
- Setter, T.L. (1990).** Transport/harvest index: Photosynthate partitioning in stressed plants. *Plant Biology*. Vol. 12. Stress responses in plants: Adaptation and acclimation mechanisms. (ed. by Ruth G. Alscher, Jonathan R. Cumming). pp. 17- 36. Wiley-Liss, U.S.A.
- Sharif, M., Khattak, R. A., and Sarir, M. S. (2002).** Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants, *Soil Science and Plant Analysis*. 33: 3567-3580.
- Sharif, M., Khattak, R.A. ve Sarir, M. S. (2002).** Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33, 3567-3580.
- Sharp, R. E. and Davies, W. J. (1979).** Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta*, 147: 43-49.
- Shen, J., Guo, M. J., Wang, Y. G., Yuan, X. Y., Wen, Y. Y., Song, X. E., Dong, S. Q., Guo, P. Y. (2020).** Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signal Behav*. 15: 1774212.
- Sidhu, G. P. S. (2016).** Heavy metal toxicity in soils: sources, remediation technologies and challenges. *Adv Plants Agric Res* 5(1):445-446
- Soudek, P., Petrova, S., Vankova, R., Song, J., & Vanek, T. (2014).** Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere*, 104, 15-24.
- Soudek, P., Petrová, Š., Vaňková, R., Song, J., and Vaněk, T. (2014).** Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere*, 104, 15-24.
- Stevenson, F. J. (1994).** *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons, New York.
- Szabolcs, I. (1989).** *Salt Affected Soils*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. P. 274.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (1991).** *Plant Physiology*. pp. 265-291. The Benjamin/Cummings Publishing Company, California
- Tavakkoli, E, Fatehi, F, Coventry, S., Rengasamy, P., McDonald, G. K. (2011).** Additive effects of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions on barley growth under salinity stress. *J Exp Bot* 62:2189-2203.

- Thornton, F. C., Schaedle, M., and Raynal, D. L. (1986). Effect of aluminum on the growth of sugar maple in solution culture. *Canadian Journal of Forest Research*, 16:892-896.
- Thornton, F. C., Schaedle, M., and Raynal, D. J. (1986). Effects of aluminum on growth, development, and nutrient composition of honeylocust (*Gleditsia triacanthos* L.) seedlings. *Tree Physiology*, 2:307-316.
- Timpa, J. D., Burke, J. B., Quisenberry, J. E. and Wendt, C. W. (1986) Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. *Plant Physiol.*, 82: 724-728.
- Tipping, E. (2002). Cation binding by humic substances, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Tiwari, J.; Ramanathan, A.; Baudh, K.; Korstad, J. (2023). Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems-A review. *Pedosphere* 2023, 33, 237-249.
- Tuna, L. A., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I. ve Yağmur, B. (2007). The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environ Exp Bot* 59:173-178.
- Turan, M. ve Aydın, A. (2005). Effects of different salt sources on growth, inorganic ions and proline accumulation in corn (*Zea mays* L.). *European Journal of Horticultural Science*, 70, 149-155.
- Türkmen, Ö., Sensoy, S., Erdal, I. (2000). Effect of potassium on emergence and seedling growth of cucumber grown in salty conditions. *J Agric Sci*. 10: 113-117.
- Ulfat, M., Athar, H., Ashraf, M., Akram, N. A. and Jamil, A. (2007). Appraisal of physiological and biochemical selection criteria for evaluation of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Pak J Bot* 39:1593- 1608.
- UN Human Development Report (2006). Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. Accessed: 8 August 2011.
- Vardar, F., and Ünal, M. (2007). Aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Advances in Molecular Biology* y. 1:1-12.
- Vardar, F., Arıcan, E., and Gözükrımı, N. (2006). Effects of aluminum on in vitro root growth and seed germination of tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Advances in Food Sciences*. 28(2):85-88.
- Vitorello, V. A., Capaldi, F. R. C. and Stefanuto, V. A. (2005). Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 129-143.
- Wagner, G. J. (1993). Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advances in Agronomy*. 51:173-212.

- Wilson, K. B., Baldocchi, D. D. and Hanson, P. J. (2001).** Leaf age affects the seasonal pattern of photosynthetic capacity and net ecosystem exchange of carbon in a deciduous forest. *Plant Cell and Environment*, 24: 571-583.
- Xu, M. A., and Rizvi, Y. (1994).** Effect of salinity, temperature and growth regulators on the germination and early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. *stocksii*. *Can J Bot* 72:475–479.
- Xu, S., Hu, B., He, Z., Ma, F., Feng, J., Shen, W. and Yan, J. (2011).** Enhancement of salinity tolerance during rice seed germination by presoaking with hemoglobin. *Int J Mol Sci* 12:2488–2501.
- Yılmaz, C. (2007).** Hüyük ve fulvik asit, *Hasad Bitkisel Üretim*, Ocak, 260: 74.
- Yu, G. F., Jiang, X., He, W. X., He, Z. G. (2002).** Effect of humic acids on species and activity of cadmium and lead in red soil. *Acta Sci Circum.* 22: 508–513.
- Zhu, J. K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci* 6:66–71.