**Çilek Yetiştiriciliğinde Abiyotik Stres Faktörlerine Karşı Bitki Dayanıklılığını Artırmada Kullanılan Materyaller**

**Sevinç ŞENER1\***

*1Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü*

*\*ssener@akdeniz.edu.tr*

***Özet***

*Çilek, Dünya’da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan, büyük bir pazar avantajına sahip olan, insan sağlığı ve beslenmesi açısından önemli meyve türlerinden birisidir. Son yıllarda tarım alanlarının giderek azalması, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi nedenlerle bitkisel üretimde önümüzdeki yıllar için endişe yaratan önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Küresel ısınmanın sebep olduğu su kaynaklarının miktar olarak azalması ve niteliklerinin bozulması, tarım arazilerinin yoğun kullanımı gibi sorunlar tarımsal verimliliğin düşmesine, ürün kalitesinde azalmalara ve dolayısı ile gıda ihtiyacının karşılanmasında sorunlara sebep olacaktır. Kuraklık, tuzluluk, yüksek ve düşük sıcaklık gibi abiyotik stres faktörlerinin önümüzdeki yıllarda iklim değişikliğine bağlı olarak önemli düzeyde artış gösterebileceği ileri sürülmektedir. Kısıtlı su kaynaklarının küresel iklim değişikliğinin etkisi ile daha da azalması ve yoğun tarım sebebiyle hızla tuzlulaşan toprakların bitkisel üretimdeki etkilerini minimize edebilmek amacıyla en kısa zamanda önlemler alınması gerekmektedir. Kuraklık ve tuzluluk bitkilerin anatomik, fizyolojik ve enzimatik özelliklerini etkileyen, dünya çapında çilek üretimini sınırlayan en önemli faktörlerin başında gelmektedir. İklim değişikliği ve günden güne azalan kısıtlı su kaynaklarının daha etkin kullanılması ve artan dünya nüfusunun dengeli beslenmesi açısından abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklı bitki yetiştiriciliği ve bitkilerin strese karşı toleransını arttırabilecek materyal ve yöntemlerin kullanımı hakkında bilgi edinilmesi elzemdir. Çilek, iklim ve toprak özellikleri bakımından çok seçici olmayan ancak tuzluluk ve kuraklık gibi stres faktörlerine karşı duyarlı olan bir türdür. Çilek yetiştiriciliğinde modern tarım teknikleri kapsamında verim ve kaliteyi arttırmak amacıyla bitki büyüme stimülatörleri, mikro ve makro besinler, nanomateryal gibi alternatif materyal kullanımı ve yetiştirme teknikleri uygulanabilmektedir. Bu çalışmada kuraklık, tuz ve sıcaklık gibi stres faktörlerine karşı kullanılabilecek alternatif materyaller, bu materyallerin uygulamaları ve stres toleransını artırmadaki rolleri irdelenmiş ve tartışılmıştır.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Stres, Kuraklık, Tuzluluk, Çilek, Üzümsü*

**Materials Used to Increase Plant Resistance Against Abiotic Stress Factors in Strawberry Cultivation**

***Abstract***

*Strawberry is one of the fruit species that is widely grown in the world, has a great market advantage, and is important in terms of human health and nutrition In recent years, due to reasons such as the gradual reduction of agricultural lands, climate change and global warming, important problems have arisen in crop production that cause concern for the coming years. Problems such as the decrease in the amount of water resources caused by global warming and deterioration of their qualities, intensive use of agricultural lands will cause a decrease in agricultural productivity, decrease in product quality and consequently problems in meeting the food need. It is suggested that abiotic stress factors such as drought, salinity, high and low temperatures will increase significantly in the coming years due to climate change. Limited water resources have been further reduced by the impact of global climate change, and soils have rapidly become salty due to intensive agriculture. It is necessary to minimize the effects of these factors on crop production and to take measures as soon as possible. Drought and salinity are among the most important factors affecting the anatomical, physiological and enzymatic properties of plants and also limiting the production of strawberries worldwide. It is necessary to grow resistant plants to abiotic stress factors in order to feed the increasing world population more effectively, to use the limited water resources that are decreasing day by day, and to reduce the effects of climate change. For this reason, it is essential to obtain information about the use of materials and methods that can increase the stress tolerance of plants. Strawberry is a species that is not very selective in terms of climate and soil characteristics, but is sensitive to stress factors such as salinity and drought. Strawberry, which is not very selective in terms of climate and soil properties, is sensitive to stress factors such as salinity and drought. In strawberry cultivation, alternative materials and growing techniques such as plant growth stimulators, micro and macronutrients, nanomaterials application can be used to increase yield and quality within the scope of modern agricultural techniques. In this study, alternative materials that can be used against stress factors such as drought, salt and heat, their applications and their roles in increasing stress tolerance were examined and discussed.*

***Keywords:*** *Stress, Drought, Salinity, Strawberry, Berry*

1. **GİRİŞ**

Kültürel olarak yetiştiriciliğine 1800’lerde başlanan çilek (*Fragaria × ananassa* Duch.) günümüzde modern çilek yetiştiriciliği tekniklerinin gelişmesi, bu türün genotipik çeşitliliği ve geniş bir çevresel adaptasyon yelpazesine sahip olması gibi sebeplerle, dünya çapında en yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen meyve türlerinden birisi olmuştur. Çilek meyvesi, lezzetinin beğenilmesi, zengin vitamin, mineral içeriği ve kullanım alanlarının çeşitliliği nedeni ile fazla miktarda talep edilen bir üründür. Bu türün meyveleri taze veya işlenmiş olarak çok farklı şekillerde (meyve suyu, konsantre, marmelat, reçel, jöle, yoğurt, dondurma, pasta, alkollü içecek, kurutulmuş meyve, unlu mamuller vs.) tüketilmektedir.

Çilek Türkiye’de hemen hemen her bölgede, her mevsimde yetiştirilebilmektedir. 2019 yılı itibarı ile Türkiye’de yıllık 160 090 da alanda 486 705 ton çilek üretilmektedir (FAO, 2021). Türkiye’nin ortalama verimi ise 3.02 ton/da’dır. Bu rakamlar Türkiye’nin dünyanın önde gelen çilek üreticileri arasında olduğunu göstermektedir. 8 885 028 ton olan dünya çilek üretiminin yaklaşık olarak %5’lik bir kısmı ülkemizde gerçekleşmektedir. Dünya genelinde yetiştiriciliği yapılan çileğin toplam üretim değeri 2004 yılında 7 756 720 bin dolar iken 15 yıl içerisinde üç katından fazla artarak 23 644 731 bin dolara ulaşmıştır. Çilek meyvesinin üretim ve tüketim miktarı, üretim alanı ve market değeri her yıl artmaya devam ederken, ortaya çıkan üretimi kısıtlayıcı çevresel ve diğer faktörler sürdürülebilir karlı üretimi engelleyebilir.

Son yıllarda tarım alanlarının giderek azalması, iklim değişikliği, küresel ısınma nedeniyle çilek üretim alanlarında sıkıntılar ortaya çıkmakta, verim ve kalitede düşüşler yaşanmaktadır (Bordonoba ve Terry, 2010). Çeşitli araştırma kuruluşları ve araştırmacılar tarafından önümüzdeki yıllarda iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklık olaylarında önemli düzeyde artış olabileceği ileri sürülmektedir. Bitkisel verimi kısıtlayan en önemli abiyotik stres unsurlarının ise kuraklık, tuzluluk ve soğuk olduğu bildirilmektedir. Kurak ve yarı kurak alanlarda, düşük yağış, yüksek buharlaşma, sıcaklık ve su kaynaklarının kötü yönetimi gibi sorunlar çilek yetiştiriciliğini daha da sınırlandırmaktadır (de Ribou ve ark. 2013). Çilek iklim ve toprak özellikleri bakımından çok fazla seçici bir tür olmasa da yüksek verim ve kalite elde edebilmek amacıyla gerekli kültürel işlemlerin tam olarak yerine getirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde verim ve kalitede düşüşler meydana gelecek ve bu durum ekonomik kayıplara neden olacaktır. Dünya’da modern tarım teknikleri kapsamında verim ve kaliteyi arttırmak amacıyla modern teknikler uygulanabilmektedir. Bu tekniklerin kullanımı sürdürülebilir tarıma ulaşmak için etkili bir adım olarak düşünülebilir.

1. **ÇİLEK**

Üzümsü meyveler grubunda yer alan çilek botanik olarak sınıflandırıldığında *Rosales* takımının *Rosaceae* familyası, *Rosoideae* alt familyası ve *Fragaria* cinsine girer. *Rosaceae* familyası, içerisinde fındık, badem, süs bitkileri (örneğin, güller), sert çekirdekli meyveler (örneğin şeftali, erik, kayısı), yumuşak çekirdekli meyveler (örneğin elma, armut) ve üzümsü meyvelerin (örneğin çilek) yer aldığı bahçe bitkileri açısından önemli bir familyadır. Bu familya içerisinde yer alan çilek ise genellikle yüksek aroma ve sevilen lezzetleri nedeniyle tüketiciler tarafından fazlaca tercih edilen, dört mevsim, küçük büyük herkes tarafından tüketilen bir meyve türüdür. *Rosaceae* familyası içerisinde yer alan *Fragaria* cinsi botanikçi Carl Linnaeus tarafından adlandırılmıştır. Bu sözcük ismini tatlı, aromatik ve hoş kokulu anlamına gelen Latince kökenli "*fragrans*" sözcüğünden almaktadır (Staudt, 1962). Çilekler çok yıllık, otsu, az boylanan bitkiler olarak tanımlanmaktadırlar. Bu bitkiler klonal yavru bitkiler oluşturmak için kök salabilen toprak üstü gövdeler olan stolonlar yoluyla vejetatif çoğalma yeteneğine sahiptirler. Yaprakları ise genellikle 3 parçalıdır ancak, pentafoliat yapraklar diploid tür *F. pentaphylla*'da meydana gelir ve bazen diğer türlerde de görülebilir (Davis ve diğ., 2007).

Çilek özellikle yüksek seviyelerde C vitamini, folat ve fenolik bileşenleri içeren ve yüksek antioksidan kapasitesine sahip olan dikkate değer bir beslenme kalitesine sahip olan fonksiyonel bir gıda ürünüdür. Çilek meyveleri polifenolik içeriği ile pozitif ilişkili olarak yüksek antioksidan aktiviteye sahiptirler. Meyvelerde bulunan antioksidanların ve polifenol bileşiklerin kombinasyonunun, insan sağlığının korunmasında ve birçok hastalığın önlenmesinde sinerjik ve kümülatif bir rol oynadığına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Çilek meyvesinde özellikle antosiyaninlerin kantitatif olarak önemli polifenoller olarak tanımlandığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çilekteki antosiyaninler, pelargonidin (Pg) ve siyanidin (Cy) aglikonlarından gelmektedir. Meyvelerdeki başlıca antosiyanin, Pg 3-glukoziddir (Pg 3-glukoz), daha küçük oranlarda Cy 3-glukozit (Cy 3-gluk) varlığı da tüm çeşitlerde belirlenmiş ve Pg 3-rutinosid (Pg 3-rut) da yaygın olarak bulunmaktadır. Ayrıca, Pg 3-arabinoside ve Cy 3-rutinoside varlığı bazı çilek çeşitlerinde bildirilmektedir. Özellikle, Pg 3- (6-malonilglukozid) kesin olarak tanımlanmış ve toplam antosiyanin içeriğinin% 5-30'unu oluşturan birkaç Japon kültivarında ana pigmentlerden biri olarak belirtilmiştir (da Silva ve diğ., 2007).

Sağlık açısından çeşitli faydalara sahip olan çileğin aynı zamanda düşük kaloriye sahip olması günlük diyette bir tercih sebebidir. 100 g çilekte sadece 32 kcal bulunmaktadır. Bunun yanı sıra sulu, tatlı ve aromatik tadı ve içerdiği biyoaktif bileşikler sebebiyle de önemli bir diyet kaynağıdır. Tüm bunların yanında çileklerin de mükemmel bir manganez kaynağı olduğu bulunmuştur. Günlük tüketilen 100 g çilekle günlük manganez ihtiyacının %20’si, potasyum ihtiyacının ise yaklaşık %5’i karşılanabilmektedir. Çilek meyveleri ayrıca iyi bir iyot, magnezyum, bakır, demir ve fosfor kaynağı olarak nitelendirilmiştir (Giampieri ve diğ., 2013).

1. **ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SORUN OLAN ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ**

Çilek yetiştiriciliğinde abiyotik faktörler ve bu faktörlerin sebep olduğu stres koşulları bitki büyümesini ve gelişimini kontrol etmede önemli bir rol oynarlar. Bu faktörler ayrıca çiçek oluşumuna ve farklılaşmasına yol açan fizyolojik süreçler üzerinde de önemli etkiye sahiptirler. Çilek büyüme ve gelişmesini etkileyen abiyotik koşullar, sıcaklık, fotoperyot, ışık yoğunluğu ve kalitesi, yükseklik, iklim ve toprak koşulları olarak sıralanabilir. Genellikle vejetatif olarak çoğaltılan çilekte geniş bir genetik çeşitlilik söz konusudur ve çeşitler arasında çevresel faktörlere olan tepkiler sıklıkla değişiklik göstermektedir. Bitkilerde strese neden olan önde gelen koşullar ise kuraklık, tuzluluk, yüksek ve düşük sıcaklıklar olarak belirtilmektedir. Farklı çilek çeşitleri genellikle fotoperyodik tepkimelere, sıcaklığa ve dolayısıyla kuraklığa karşı duyarlıdırlar (Larson, 2018). Bu stresler, hücre zarlarının stabilitesini ve proteinlerin yapısını etkileyen, bitki veriminin hatta bitkinin ölümüne yol açan reaktif oksijen türleri (ROS) gibi bazı zararlı kimyasalların artan birikimi ile ilişkilidir. Bitkiler, stresin olumsuz etkilerini azaltmak için, prolin birikimi, glisin betain, ROS'a karşı antioksidan sentezi gibi bazı fizyolojik ve biyokimyasal tepkimeler ortaya koymaktadır.

Kuraklık, verim ve kalite üzerine olumsuz etkisi olan tüm dünyada tarımsal üretim açısından önemli bir problem olarak dikkat çekmektedir. Su kısıtı bitkisel verimlilik için önemli çevresel etmenlerden bir tanesidir. Birçok çevresel faktöre göre, kuraklığın verim üzerine olan etkisinin daha yüksek oranda önem taşıdığı, bitkinin yaşamı için kritik bir etken olduğu bilinmektedir. Ancak bu etki öncelikle stresin şiddeti ve süresi ile yakından ilgilidir. Kuraklık genel anlamda bitkilerde vejetatif büyüme ve gelişme, fenolojik gelişim, bitkinin su besin ilişkisi, fotosentez ve solunum oranı üzerine etki etmektedir (Farooq ve diğ., 2009). Kuraklık bitkilerde normal büyümeyi bozar, su ilişkilerini bozar ve su kullanım verimini düşürür. Bitkilerde, su kullanım verimliliğini ve bitki su ilişkilerini bozan kuraklık stresi, hücre büyümelerinde yavaşlamaya ve bitki büyüme gelişiminde gerilemeye sebep olmakta ve dolayısı ile verim önemli ölçüde azalmaktadır (Natsheh ve ark. 2015). Çünkü bitki büyümesini, yaprakların genişlemesini ve stoma kapanmasını etkileyen kuraklık stresi ayrıca toprağın düşük su potansiyelinden gelen ozmotik stresin sonucu olarak fotosentezi de azaltmaktadır. Fotosentez hızı, esas olarak stomal kapanma, membran hasarı ve özellikle ATP sentezinde rol alan çeşitli enzimlerin ve aktivitelerinin bozulması sonucunda azalmaktadır. Artan kuraklık ile baş edebilmek amacıyla bitkiler kimi zaman, derin kök sistemi geliştirme, yaprak boyutlarının küçülmesi gibi bazı mekanizmalar sergilemektedir. Glisinbetain, prolin ve diğer amino asitler, organik asitler ve polioller dahil olmak üzere düşük moleküler ağırlıklı osmolitler de kuraklık altında hücresel işlevlerin sürdürülmesinde hayati rol oynarlar (Farooq ve diğ., 2012).

Bitki büyümesini ve gelişmesini ve verimliliğini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biri de yüksek sıcaklıktır. Açık arazide yetiştirilen bitkiler, genellikle bitki metabolizması üzerinde ciddi bir etkiye sahip olan dalgalı sıcaklıklara maruz kalırlar. Bitkilerin çevresel strese tepkileri, hidrojen peroksit (H2O2), tekli oksijen, süperoksit ve hidroksil radikali dahil olmak üzere aktive edilmiş oksijen formlarıyla ilişkilendirilmiştir. Sıcaklık stresi, süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz (PRX) ve çeşitli antioksidanlar gibi aktif oksijen türlerini temizleyen enzimleri indükler veya arttırır. Yüksek sıcaklık stresi, bitki metabolizmasında protein denatürasyonu, yağların erimesi veya zar bütünlüğünün bozulması gibi bazı fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişikliklere neden olur. Isı stresine alışma sırasında ortaya çıkan değişikliklerin çoğu zaman geri dönüşü olan değişikliklerdir ancak stres çok fazlaysa geri dönüşü olmayan değişiklikler meydana gelebilir ve bunlar bitkinin ölümüne yol açabilir. Küresel ısınmanın artan etkisi sebebiyle yüksek sıcaklığın çilek yetiştiriciliği ve birçok bitki türü için sınırlayıcı bir faktör olması beklenmektedir (Gülen ve Eriş, 2004).

Tuz stresinin bitkiler üzerinde etkileri kuraklık stresinin yaratmış olduğu etkilere benzemektedir. Toprak tuzluluğu, bitkide biyokütle üretiminin azalmasına neden olan çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkiler. Tuz stresinin bu olumsuz etkisi, çimlenme, fide, vejetatif ve olgunluk aşamaları dahil olmak üzere hemen hemen tüm büyüme aşamalarında tüm bitki düzeyinde ortaya çıkar. Bitkinin tuz stresine tepkisi hem hücresel hiperozmolariteyi hem de iyon dengesizliğini hafifletmek için koordinasyon içinde çalışması gereken çok sayıda işlemden oluşur. Bitki hücrelerinde tuz stresi sırasında, potasyum (K +) alımında bir azalma ve Na + girişinde ise artış gözlenmektedir. Tuz stresinin iyonik yönü, kalsiyuma duyarlı bir SOS3-SOS2 protein kinaz kompleksinin SOS1 gibi iyon taşıyıcılarının ekspresyonunu ve aktivitesini kontrol ettiği SOS yolu aracılığıyla sinyallenir. Ozmotik stres, ozmotik homeostaza veya detoksifikasyon tepkilerine aracılık edebilen mitojenle aktive edilmiş kinazlar dahil olmak üzere birkaç protein kinazı aktive etmektedir (Zhu, 2002; Serrano ve Rodriguez-Navarro, 2001).

1. **ÇİLEK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİNE KARŞI KULLANILABİLECEK MATERYAL VE YÖNTEMLER**

Çeşitli araştırma kuruluşları tarafından abiyotik stres faktörlerinin yarattığı sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla çevresel stres koşullarına toleranslı, çeşitli hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı veya yüksek verimli çeşitlerin geliştirilmesi amacıyla ıslah çalışmaları yürütülmektedir. Ancak yeni çeşit geliştirmek çoğu zaman zahmetli, maliyetli ve uzun zaman alan işlemler gerektirmektedir. Yürütülen çeşitli ıslah çalışmalarına ilave olarak, yetiştiriciliğin örtüaltında yapılması gibi uygulamalar ile çevresel faktörlerin olumsuz etkileri bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu tedbirler etkisi ciddi olarak hissedilen iklim değişikliğinin sebep olduğu etkenlere karşı yeterli gelememektedir. İklim değişikliği ve günden güne azalan kısıtlı su kaynaklarının daha etkin kullanılması ve artan dünya nüfusunun dengeli beslenmesi açısından abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklı bitki yetiştiriciliği ve bitkilerin stres koşullarına karşı toleransını arttırabilecek materyallerin kullanım olanaklarının tespit edilmesi elzemdir.

Önemli çevresel etkenlerden birisi olan kuraklığın olumsuz etkileri ile baş etmenin yolarından birisi kuraklıktan kaçma olarak adlandırılabilecek bir stratejidir. Kuraklıktan kaçış, bir bitki türünün kuraklık başlamadan önce yaşam döngüsünü tamamlama yeteneğidir. Böylelikle bitkiler, vejetatif ve generatif büyümelerini temelde iki farklı mekanizma; hızlı fenolojik gelişim ve gelişimsel esneklik yoluyla, su mevcudiyetine göre düzenleyebildikleri için kuraklık stresi yaşamazlar.

* 1. **Mikorizal Mantarlar**

Bazı çalışmalarda arbusküler mikorizal mantarın (AM) kuraklık stresi altında bitki doku hidrasyonunu ve fizyolojisini iyileştirdiği belirtilmektedir. AM mantarın bitki kuraklık toleransına katkısının biriken fiziksel, besleyici, fizyolojik ve hücresel etkilerin sonucu olduğu kabul edilmektedir. Mikorizal mantarların bitkilerle ortak yaşamı sonucunda, bitkilerde su verimliliğinin arttığı bilinmektedir. Bu durumun sebebi mikorizal mantarların, düşük su potansiyeline sahip topraklardan geniş alana yayılan hifleri ile artan emiş yüzeyi sağlamasıdır. Mikorizal mantarların geniş alana yayılan hifleri, bitki kök tüylerinin ulaşamadığı alanlara yayılır ve kök tüylerinin alamadığı düşük miktarlardaki suyu absorbe edebilir. Allen (1991), suyun hifler tarafından köke taşınması oranının hif giriş noktası başına 0.1 µl h-1 olduğunu ve bu seviyenin bitki su ilişkilerini değiştirmek için yeterli bir oran olduğunu belirtmiştir (Ruiz-Lozano ve diğ., 2012).

* 1. **Rizobakterler**

Kuraklık stresinin azaltılmasına yardımcı olabilecek bir diğer uygulama toprağa bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (Plant Growth-Promoting Bacteria-PGPR) uygulamasıdır (Belimov ve diğ., 2009). Adından da anlaşılacağı gibi, PGPB terimi, bitki büyümesini kolaylaştırabilen çok çeşitli farklı bakteri suşlarını içerir. Bu organizmalar, bitki rizosferi bağlayan bakterileri, bitkilerin iç dokularını kolonize eden endofitleri, *Rhizobia* spp. gibi simbiyotik bakterileri içerir. Bu bakteriler sadece belirli bitkilerle etkileşime girmekte, köklerinde nodüllerin oluşumunu sağlayarak burada yaşamaktadırlar. Bu bakteriler bitkilerin besin elementi kullanımını da teşvik etmektedirler. PGPB’ler atmosferik nitrojeni sabitleyebilir ve bitkilerin kullanımını sağlarlar; demiri topraktan çözebilen, ayırabilen ve bitki hücrelerinin kullanmasını sağlayan sideroforları sentezleyebilirler, topraktan fosfatı çözerek bitkinin kullanımını sağlayabilirler (Rodriguez ve Fraga 1999). PGPB’ler ayrıca bitki hormonu seviyelerini, özellikle de oksin ve etileni manipüle edebilirler. Toprakta azalan su mevcudiyeti, bir bitki hormonu olan etilen üretimini teşvik edebilir ve bu durum bitki büyümesini engelleyebilir. Etilen üretimini azaltmaya yönelik stratejiler kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletebilir. Bu durumu sağlamanın sürdürülebilir yollarından bir tanesi rizobakterlerdir. Kökle ortak yaşam kuran *Variovorax paradoxus* 5C-2 (etilen öncüsü ACC'yi bozan 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz enzimini içerir) bakterisi ile toprak aşılaması, kurak koşullarda yetiştirilen bezelyede (*Pisum sativum*) (Belimov ve diğ., 2009), *Bacillus* spp. ise buğdayda (Wilkinson ve diğ., 2012) bitkisel verimi iyileştirmiştir.

* 1. **Biyokömür**

Bir çeşit organik toprak karbon kaynağı olan, biyokömür, yüksek sıcaklıklarda düşük oksijen seviyesi altında yakılan, karbon tutabilen, toprağın besin elementlerini ve suyu tutma kabiliyetini arttıran bir çeşit odun kömürüdür. Biyokömür, hem ozmotik hem de iyonik toksisitenin azaltılmasına yardımcı olarak tuz/kuraklık stresi altında topraktaki kullanılabilir su kapasitesini arttırmaktadır. SOD, POD, APX ve CAT gibi antioksidan enzim aktivitesi, biyokömür varlığından önemli ölçüde etkilenmektedir (Wang ve ark. 2014). Bu maddenin gözenekli yapısı, yararlı toprak mikroorganizmaları için önemli bir habitat sağlayabilir ve dolayısıyla mikrobiyal popülasyonları ve toprak biyojeokimyasını etkileyebilir (Saarnio ve diğ., 2013).

* 1. **Trinexapacethyl**

Trinexapacethyl (TE) ise, gibberellik asit (GA) biyosentezini inhibe ederek ve ozmotik basıncı düzenleyerek, su kaybını azaltan, bitkilerde kuraklık toleransını artırarak verimi arttıran bir bitki büyüme düzenleyicisidir (Correia ve Leite 2012). TE spreyleri, stoma açıklığını düzenleyerek fotosentez oranını iyileştirmekte ve dikey büyümeyi bastırarak ve su potansiyelini ayarlamakta böylece kuraklığa karşı bitki toleransını önemli ölçüde artırmaktadır. Bunun yanı sıra kuraklık stresi altında TE uygulaması, SA ve IAA içeriğinin daha erken artmasına ve JA ile ABA içeriklerinin artmasının geciktirilmesi yoluyla kuraklık toleransını arttırmaktadır (Krishnan ve Merewitz, 2015).

* 1. **Deniz Yosunu**

Kuraklığa karşı bitki toleransını artırmak için kullanılan materyallerden birisi de deniz yosunu ekstralarıdır. Deniz yosunu ekstraları genellikle bitki biyostimülanları olarak sınıflandırılır ve eser miktarda makro ve mikro besin elementleri, amino asitler, vitaminler, sitokininler, oksinler, absisik asit benzeri bileşikler ve kuaterner amonyum bileşikleri içerdiği düşünülür. Deniz yosunu ekstraktının topraktan veya yapraktan sprey uygulamaları klorofil içeriğini arttırmakta, fotosentezi ve besin alımını iyileştirmekte aynı zamanda su tutma kapasitesini arttırarak biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını iyileştirmektedirler. Bazı çalışmalarda, ticari *Ascophyllum nodosum* ekstresinin bitkilerin strese toleransı üzerindeki olumlu etkileri bildirilmektedir (Shukla ve diğ., 2018; Spann ve Little, 2011).

* 1. **Nanopartiküller**

Kuraklık ve tuzluluk, küresel gıda güvenliğini sürdürmek için günümüzde karşı karşıya kaldığımız en önemli problemlerdir. Nanomateryal veya nanopartikül olarak adlandırılan materyaller nano ölçekli formülasyonda bitkiler için yarayışlı besin maddelerinin kullanılmasını sağlayan yeni nesil bir gübreleme stratejisidir (Taran ve diğ., 2017). Çok küçük ölçekli (<100 nm) partiküllere sahip olan NP’lerin bu özelliği diğer ürünlere kıyasla çok daha geniş alana yayılmalarını sağlamaktadır. NP’ler elementlerin bitkiler tarafından daha yavaş ve kademeli bir şekilde kullanılmasına olanak tanırlar ayrıca muadillerine göre toprak kirliliğini minimize ederler. Bitkilerdeki kuraklık stresini hafifletmek için kullanılan çeşitli teknikler arasında, NP uygulamasının etkili ve umut verici olduğu düşünülmektedir. Kuraklık koşulları altında NP’lerin uygulanmasının birçok bitkide önemli ölçüde su tasarrufu sağlama ve su verimliliğini artırma potansiyeli bulunmaktadır (Taran ve diğ., 2017; Semida ve diğ., 2021). Bazı çalışmalarda Cu ve Zn NP uygulamasının antioksidan enzim aktivitelerini ve nispi su içeriğini artırarak, tiyobarbitürik asit reaktif madde (TBARS) birikimini azaltarak ve yapraklardaki fotosentetik pigment içeriğini stabilize ederek buğday bitkilerindeki kuraklık etkilerini etkili bir şekilde azalttığı bildirilmektedir (Taran ve diğ., 2017). Bir başka çalışmada ZnO NP'lerin uygulanmasının, su stresi altında soya fasulyesi çimlenme yüzdesini artırdığı bildirilmektedir (Sedghi ve diğ., 2015). Benzer şekilde, ZnO, CuO ve B2O3 bileşik nano formülasyonunun yapraklara uygulanması, kuraklık stresi altında soya fasulyesi biyokütle büyümesini, tane verimini ve makro ve mikro besin alımını önemli ölçüde artırmıştır (Dimpka ve diğ., 2017). Mozafari ve ark. (2018) demir nanopartikülleri ve salisilik asidin (SA) kuraklık stresi altında in vitro koşullarında çilek bitkisi (*Fragaria*  ×  *ananassa*) üzerinde etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, kuraklık stresinin olumsuz etkilerini salisilik asidin ortadan kaldırdığını, demir nano parçacıklarla muamele edilen çilek bitkilerinin edilmeyenlere göre kuraklık stresiyle daha fazla mücadele edebildiğini bildirmişlerdir.

* 1. **Fitohormonlar**

Abiyotik stres faktörlerinin etkilerinin azaltılması amacıyla son yıllarda yaygın olarak kullanılan kimyasallardan biriside bitki büyüme düzenleyicileridir. Fitohormonların, değişen kuraklık ortamına alışmak için bitkilerdeki çeşitli olayları düzenlemede hayati rol oynadıkları bilinmektedir. Abiyotik bir stresin algılanması, fitohormonlarla etkileşime giren veya bunlar tarafından aktive edilen sinyal iletim kademelerinin aktivasyonunu tetikler. Stres koşullarının etkisinin bertaraf etmede kullanılan başlıca bitki büyüme düzenleyicileri; metil jasmonat, gama aminobütirik asit, glisinbetain, melatonin, askorbik asit, salisilik asit, melatonin, poliaminler, kadmiyum klorür ve sodyum nitroprusit olarak sıralanabilir (Aras, 2018). Glisin betain (GB), silikon (Si), prolin gibi birçok biyokimyasal madde ve bitki büyüme düzenleyicileri stres koşulları altında bitki büyümesinde rol almaktadır. Salisilik asit, oksinler, gibberellinler, sitokininler ve absisik asit gibi bitki büyüme maddeleri, kuraklığa karşı bitki tepkilerini modüle eder. Poliaminler, sitrülin ve bazı enzimler antioksidan görevi görür ve kuraklığın olumsuz etkilerini azaltabilir.

* + 1. **Absisik asit (ABA)**

ABA stomayı kapatan en iyi bilinen stres hormonudur, ancak jasmonik asit, brassinosteroidler, sitokininler veya etilen gibi diğer fitohormonlar da strese stomatal yanıtta rol oynar. Stoma gözeneğini çevreleyen son derece özelleşmiş iki hücre, stoma açıklığını ve dolayısıyla gaz değişimini kontrol etmek için çevresel ve endojen sinyalleri entegre edebilir. Stomaların açılması ve kapanması, çevresel sinyallerin ve endojen hormonal uyaranların entegrasyonu ile düzenlenir. Koruyucu hücrelerin yanıt verdiği çeşitli farklı faktörler, stomatal hareketleri kontrol eden sinyal yolları ağının karmaşıklığına dönüşür (Daszkowska-Golec ve Szarejko, 2013). ABA stomaların düzenlenmesi, kök gelişimi ve ABA'ya bağımlı yolağın başlatılması dahil olmak üzere çeşitli morfofizolojik ve moleküler süreçler yoluyla bitkilerde kuraklık toleransını yoğunlaştıran ana hormon olarak kabul edilir. Çalışmalar, ozmotik stresin yüksek kuraklık koşulları veya tuz stresi nedeniyle ya da su kaybı ve turgor basıncı nedeniyle su mevcudiyeti azaldığında ortaya çıktığını göstermektedir (Boudsocq ve Lauriere 2005). Ozmotik stres, gen ekspresyonunu ve adaptif fizyolojik değişiklikleri aktive eden ABA sentezini destekler (Ullah ve diğ., 2018). Çevresel streslere yanıt olarak, endojen ABA seviyeleri hızla artar, spesifik sinyal yollarını aktive eder ve gen ekspresyon seviyelerini değiştirir. Kuraklık koşularında ABA, bitkilere, kök bölgesinde stres oluştuğunu iletir ve bitkide su tasarrufu sağlayan antitranspirant aktivite, özellikle stomatal kapanma ve yaprak genişliğinin azalması sağlanmış olur. ABA ayrıca kuraklık stresi ve nitrojen eksikliği durumunda kök büyümesinin artması gibi birtakım değişikliklere yol açar (Wani ve diğ., 2016). Çilekte ABA uygulanması sonucunda, meyve olgunlaşması sırasında meyvelerin antosiyanin içeriğinin arttığı (Jia ve diğ., 2013) ve l-askorbik asit ve folik ile ilgili genlerin ekspresyonunu etkilediği bildirilmiştir (Li ve diğerleri, 2015). Bu nedenle, ABA'nın tuz ve kuraklık stresi altında çilek meyvelerinde ikincil metabolitlerin indüksiyonuna da katılması mümkündür (Perin ve diğ., 2019).

* + 1. **Salisilik asit (SA)**

Salisilik asit (SA), bitkilerde doğal olarak bulunan fenolik bir bileşiktir. Büyüme düzenleyici olarak işlev görebildiğinden, birçok araştırmacı onu bitki büyüme düzenleyicileri grubuna dahil etmiştir. SA, SOD ve peroksidazın aktivasyonuna yol açar, bu da bitkiler üzerindeki kuraklık ve tuz stresinin zararlı etkilerinin azalmasına neden olur. SA uygulaması ayrıca lipid peroksidasyonu ve elektrolit sızıntısı seviyesinin ve CAT aktivitesinin azalmasına, H2O2 seviyesinin ise artmasına neden olur, artan H2O2, antioksidan enzimleri aktive etmek için sinyal molekülü görevi görür (Klessig ve ark. 2000). SA'nın bitkilerde stres toleransını indüklemedeki etkisini belirten çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Karlıdağ ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışma sonucunda SA uygulamamasının, tuz stresi altındaki çilek bitkilerinin yapraklarında ve köklerinde neredeyse tüm besin maddelerinin içeriğini arttırdığını, yaprak oransal su içeriğinde artışlara ve elektrolit sızıntısında azalmalara neden olduğunu ve genel anlamda SA uygulamasının tuzluluğun çileklerin büyümesi üzerindeki olumsuz etkisini azalttığını bildirmişlerdir. Ghaderi ve ark (2015) de benzer şekilde kuraklık stresinin "Kurdistan" ve "Queen Elisa" çilek çeşitlerinde yaprak alanını, yaprak kuru maddesini, sürgün kuru maddesini, toplam kuru maddeyi, bağıl su içeriğini, ağıza ait iletkenliği, verimi ve meyve ağırlığını azalttığını, SA uygulamasının her iki çeşitte de toplam yaprak alanı ve yaprak ve sürgün kuru maddesini arttırdığını bildirmiştir. Domateste kuraklık koşulları altında, düşük konsantrasyonda SA uygulamasının, fotosentetik parametreler, membran stabilite indeksi, yaprak su potansiyeli, nitrat redüktaz aktivitesi, karbonik anhidraz, klorofil ve bağıl su içeriğini arttırdığı bildirilmektedir (Hayat ve ark. 2007).

**Kaynaklar**

akbar Mozafari, A., Havas, F., & Ghaderi, N. (2018). Application of iron nanoparticles and salicylic acid in in vitro culture of strawberries (Fragaria× ananassa Duch.) to cope with drought stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *132*(3), 511-523.

Allen, M.F. (1991) *The Ecology of Mycorrhizae*. Cambridge University Press.

Aras, S. Plant Growth Regulator Use in Temperate Zone Fruit Trees against Abiotic Stresses Ilıman İklim Meyve Ağaçlarında Abiyotik Streslere Karşı Bitki Büyüme Düzenleyicilerin Kullanımı. SETSCI Conference Indexing System, Volume 3 (2018), 1305-1307

Belimov, A. A., Dodd, I. C., Hontzeas, N., Theobald, J. C., Safronova, V. I., & Davies, W. J. (2009). Rhizosphere bacteria containing 1‐aminocyclopropane‐1‐carboxylate deaminase increase yield of plants grown in drying soil via both local and systemic hormone signalling. *New Phytologist*, *181*(2), 413-423.

Bordonaba, J. G., & Terry, L. A. (2010). Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (Fragaria× ananassa) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, *122*(4), 1020-1026.

Boudsocq, M., & Laurière, C. (2005). Osmotic signaling in plants. Multiple pathways mediated by emerging kinase families. *Plant physiology*, *138*(3), 1185-1194.

Correia, N. M., & Leite, G. J. (2012). Selectivity of the plant growth regulators trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl to cultivated species. *Scientia Agricola*, *69*(3), 194-200.

da Silva, F. L., Escribano-Bailón, M. T., Alonso, J. J. P., Rivas-Gonzalo, J. C., & Santos-Buelga, C. (2007). Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT-Food Science and Technology*, *40*(2), 374-382.

Daszkowska-Golec, A., & Szarejko, I. (2013). Open or close the gate–stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers in plant science*, *4*, 138.

Davis, T. M., Denoyes-Rothan, B., & Lerceteau-Köhler, E. (2007). Strawberry. In *Fruits and nuts* (pp. 189-205). Springer, Berlin, Heidelberg.

de Ribou, S. D. B., Douam, F., Hamant, O., Frohlich, M. W., & Negrutiu, I. (2013). Plant science and agricultural productivity: why are we hitting the yield ceiling?. *Plant Science*, *210*, 159-176.

Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S., Fugice, J., Agyin-Birikorang, S., Singh, U., & Hellums, D. (2017). Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. *Agronomy for sustainable development*, *37*(1), 5.

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. Plant responses to drought stress, 1-33.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.

Ghaderi, N., Normohammadi, S., & Javadi, T. (2015). Morpho-physiological responses of strawberry (Fragaria× ananassa) to exogenous salicylic acid application under drought stress.

Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J. M., Mazzoni, L., Romandini, S., Bompadre, S., Diamanti, J., ... & Battino, M. (2013). The potential impact of strawberry on human health. *Natural product research*, *27*(4-5), 448-455.

Gulen, H., & Eris, A. (2004). Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science*, *166*(3), 739-744.

Hayat, S., Ali, B., & Ahmad, A. (2007). Salicylic acid: biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. In *Salicylic acid: A plant hormone* (pp. 1-14). Springer, Dordrecht.

Jia, H., Li, C., Chai, Y., Xing, Y., & Shen, Y. (2013). Sucrose promotes strawberry fruit ripening by stimulation of abscisic acid biosynthesis. *Pakistan Journal of Botany*, *45*(1), 169-175.

Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, *66*(2), 180-187.

Klessig, D. F., Durner, J., Noad, R., Navarre, D. A., Wendehenne, D., Kumar, D., ... & Silva, H. (2000). Nitric oxide and salicylic acid signaling in plant defense. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*(16), 8849-8855.

Krishnan, S., & Merewitz, E. B. (2015). Drought stress and trinexapac-ethyl modify phytohormone content within Kentucky bluegrass leaves. *Journal of plant growth regulation*, *34*(1), 1-12.

Larson, K. D. (2018). Strawberry. In *Handbook of environmental physiology of fruit crops* (pp. 271-297). CRC Press.

Li, D., Li, L., Luo, Z., Mou, W., Mao, L., & Ying, T. (2015). Comparative transcriptome analysis reveals the influence of abscisic acid on the metabolism of pigments, ascorbic acid and folic acid during strawberry fruit ripening. *PloS one*, *10*(6), e0130037.

Natsheh, B., Abu-Khalaf, N., & Mousa, S. (2015). Strawberry (Fragaria ananassa Duch.) plant productivity quality in relation to soil depth and water requirements. *International Journal of Plant Research*, *5*(1), 1-6.

Perin, E. C., da Silva Messias, R., Borowski, J. M., Crizel, R. L., Schott, I. B., Carvalho, I. R., ... & Galli, V. (2019). ABA-dependent salt and drought stress improve strawberry fruit quality. *Food chemistry*, *271*, 516-526.

Rodriguez H, Fraga R (1999) Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol Adv 17:319–339

Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Bárzana, G., Azcón, R., & Aroca, R. (2012). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant drought tolerance: state of the art. *Plant responses to drought stress*, 335-362.

Saarnio, S., Heimonen, K., & Kettunen, R. (2013). Biochar addition indirectly affects N2O emissions via soil moisture and plant N uptake. *Soil Biology and Biochemistry*, *58*, 99-106.

Sedghi, M., Hadi, M., & Toluie, S. G. (2013). Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. *Annales of West University of Timisoara. Series of Biology*, *16*(2), 73.

Semida, W. M., Abdelkhalik, A., Mohamed, G., El-Mageed, A., Taia, A., El-Mageed, A., ... & Ali, E. F. (2021). Foliar application of zinc oxide nanoparticles promotes drought stress tolerance in eggplant (Solanum melongena L.). *Plants*, *10*(2), 421.

Serrano, R., & Rodriguez-Navarro, A. (2001). Ion homeostasis during salt stress in plants. *Current opinion in cell biology*, *13*(4), 399-404.

Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2018). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, *10*(1), plx051.

Spann, T. M., & Little, H. A. (2011). Applications of a commercial extract of the brown seaweed Ascophyllum nodosum increases drought tolerance in container-grown ‘Hamlin’sweet orange nursery trees. *HortScience*, *46*(4), 577-582.

Staudt, G. (1962). Taxonomic studies in the genus Fragaria typification of Fragaria species known at the time of Linnaeus. *Canadian Journal of Botany*, *40*(6), 869-886.

Taran, N., Storozhenko, V., Svietlova, N., Batsmanova, L., Shvartau, V., & Kovalenko, M. (2017). Effect of zinc and copper nanoparticles on drought resistance of wheat seedlings. *Nanoscale Research Letters*, *12*(1), 1-6.

Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., ... & Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(33), 33103-33118.

Wang Y, Pan F, Wang G, Zhang G, Wang Y, Chen X, Mao Z (2014) Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of Malushupehensis Rehd. seedlings under replant conditions. Sci Hortic 175:9–15

Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, *4*(3), 162-176.

Wilkinson S, Kudoyarova G, Veselov DS, Archipova TN, Davies WJ (2012) Plant hormone interactions—innovative targets for crop breeding and management. J Exp Bot 63:3499–3509

Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology*, *53*(1), 247-273.