

Atf İçin: Elmas S, 2021. *Salvia officinalis* (Tıbbi Adaçayı) Bitkisinin Bazı Abiyotik Stres Faktörlerine Yanıtları. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 943-959.

To Cite: Elmas S, 2021. Responses of *Salvia officinalis* (Common Sage) to Some Abiotic Stress Factors. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2): 943-959.

***Salvia officinalis* (Tıbbi Adaçayı) Bitkisinin Bazı Abiyotik Stres Faktörlerine Yanıtları**

Sinem ELMAS^{1*}

ÖZET: *Salvia officinalis* (tıbbi adaçayı) türünün dünyada kullanım alanı ve pazar talebi giderek artmaktadır. Son yıllarda ülkemizin farklı illerinde yetiştiriciliği yapılmakta olan bu türün her yıl dünya çapında pek çok ülkeye ihraç edilmesiyle önemli miktarlarda döviz girdisi elde edilmektedir. İç ve dış pazarda önemli bir yere sahip olan *Salvia officinalis* yetiştiriciliğinde kalite ve verim söz konusu olduğunda çevresel faktörlerin bitki üzerine etkilerinin bilinmesi önemlidir. Bu derlemede *Salvia officinalis* yetiştiriciliği uygulamalarında bitkilerin bazı abiyotik stres faktörlerine verdikleri yanıtlar araştırılmıştır. Araştırmalarda farklı abiyotik streslerin *Salvia officinalis* türünde farklı tepkileri tetiklediği anlaşılmıştır. Bazı abiyotik stres faktörlerinin *Salvia officinalis* üzerinde avantaj olarak görülebilecek en önemli etkisi ise, fitofarmakon olarak kullanılabilen etkili bileşiklerin istenen konsantrasyonlarının söz konusu stres faktörlerinin, yetiştiricilikte kasıtlı olarak uygulanması ile elde edilebilir olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: *Salvia officinalis*, Tıbbi adaçayı, Abiyotik stres, Kuraklık, Tuzluluk, Işık

Responses of *Salvia officinalis* (Common Sage) to Some Abiotic Stress Factors

ABSTRACT: In the world the usage area and market demand of *Salvia officinalis* (common sage) species is gradually increasing. In recent years, this species, which has been cultivated in different provinces of our country, is exported to many countries around the world every year, and a significant amount of foreign currency input is obtained. It is important to know the effects of environmental factors on the plant when it comes to quality and yield in *Salvia officinalis* cultivation, which has an important place in domestic and foreign markets. In this review, the responses of plants to some abiotic stress factors in *Salvia officinalis* cultivation practices were investigated. Research has shown that different abiotic stresses trigger different responses in the *Salvia officinalis* species. The most important advantage of some abiotic stress factors on *Salvia officinalis* is that the high concentration of an active substance desired to be used as a phytopharmakon can be achieved by deliberate application of some stress factors.

Keywords: *Salvia officinalis*, Common sage, Abiotic Stress, Drought, Salinity, Light

¹Sinem ELMAS (Orcid ID: 0000-0002-2872-9990), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Sinem ELMAS, e-mail: sinemelmas@hotmail.com.tr

GİRİŞ

Bitkiler normal yaşam süreçleri içerisinde büyüme ve gelişmelerini olumsuz etkileyen, verimlerini sınırlandıran elverişsiz koşullarla karşılaşabilirler. Bu elverişsiz koşulların oluşmasına neden olan faktörlere 'stres' adı verilir. Bitkisel üretimi etkileyen stres faktörleri biyotik (bitkiler, funguslar, nematodlar, mikroorganizmalar, hayvanlar, antropojenik etkiler vb.) ve abiyotik stres faktörleri (kuraklık, tuzluluk, yetersiz beslenme, radyasyon, atmosfer kirliliği, yüksek veya düşük sıcaklık, yüksek veya düşük ışık şiddeti vb.) olmak üzere ikiye ayrılır (Büyük ve ark., 2012). Bitkiler eş zamanlı ya da farklı zamanlarda bir veya birden fazla stres faktörüyle karşılaşabilirler. Karşılaştıkları streslere karşı dayanıklılıklarını arttırmak, canlılıklarını devam ettirebilmek, gelişimlerini sürdürebilmek, nesillerinin devamını sağlayabilmek için yapılarında, en az etkilenecek (zarar görecektir) şekilde, anatomik, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler meydana getirerek uyum mekanizmaları oluşturmaya çalışırlar (Öztürk, 2015).

Bitkilerde farklı stres faktörleri, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu ve birikimini artırarak ciddi metabolik işlev bozukluklarına neden olur, bu da DNA'da hasara, enzimlerin inaktivasyonuna ve lipid peroksidasyonuna yol açabilen bir oksidatif stres ile sonuçlanır (Tounekti ve ark., 2013). Bitkiler, oksidatif stresle başa çıkabilen, ROS kontrolü ve detoksifikasyonunu sağlayan fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi düşük moleküler ağırlıklı antioksidanlara sahiptirler (Büyük ve ark., 2012). Bu metabolitlerin çeşitli savunma fonksiyonları vardır ve biyosentezleri, genellikle biyotik ve abiyotik streslerine yanıt olarak indüklenir (Bettaieb ve ark., 2011). Bitkilerin bu antioksidan savunma sistemleri ile çevresel streslere gösterdikleri direnç arasında yakın bir ilişki söz konusudur (Bettaieb ve ark., 2011; Büyük ve ark., 2012). Stresiz koşullarda, bitki hücrelerinin antioksidatif savunma sistemi, hem enzimatik hem de enzimatik olmayan antioksidanların koordineli hareketi ile zararlı radikalleri etkili bir şekilde temizleyebilir ve lipid oksidasyonunu stabilize edebilirken; stres durumunda serbest radikaller ile antioksidan sistemin aktivitesi arasındaki denge bozulur ve serbest radikaller biyolojik moleküllerle hızlı bir şekilde reaksiyona girerek hücreye zarar vermeye başlar (Asada, 1999; Hernández ve ark., 2004; Bettaieb ve ark., 2011).

Tıbbi ve aromatik bitkilerle yapılan çalışmalarda, geleneksel bitki ürünlerinden farklı olarak, fitokimyasal kompozisyonunun oluşumunda, bitkinin genetik özelliklerinin, anatomik, morfolojik gelişim aşamalarının yanı sıra stres faktörlerinin de rolü olduğu düşünülmektedir (Lakušić ve ark., 2013). Çünkü stresle ilişkili metabolizma diğer tüm metabolik olayları büyük ölçüde etkilediğinden, sekonder metabolitlerin sentezi ve birikimini de etkilemektedir (Selmar ve Kleinwächter, 2013). Bu nedenle, tıbbi ve ekonomik öneme sahip bitkilerde, çeşitli stres faktörleri etkilerinin değerlendirilip incelenmesi bitki ıslahında dayanıklı çeşitlerin elde edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ballıbabagiller (Lamiaceae) familyasının, çift çenekliler sınıfına (Magnoliopsida) ait *Salvia* L. türleri, Anadolu'da eski zamanlardan beri halk hekimliğinde kullanılan şifalı bitkilerdir. *Salvia* L. cinsinin tıbbi amaçlı kullanımı dışında aromaterapi, parfümeri, kozmetik sektöründe; baharat, bitkisel boya ve gıda koruyucu olarak birçok kullanım alanına sahip bir türü de tıbbi adaçayı olarak tanımlanan *Salvia officinalis*'tir (Elmas ve Elmas, 2021).

1753 yılında Carl Linnaeus tarafından tanımlanan bu tür, Batı Balkanlar'da özellikle Dalmaçya ve Makedonya'da ve Avrupa'nın güney ve orta kısımlarında doğal yayılış göstermektedir (Güner ve ark., 2012; O'Leary ve Moroni, 2016). Lektotip bir tür olan *Salvia officinalis*, 60-100 cm arası uzunlukta, beyaz, mavi veya mor çiçekli, yaprakları gümüş renkli, tüylü ve basit, çok yıllık ve yarı çalimsı bir bitkidir (Bayram ve Sönmez, 2006). Bitkinin yapraklarından genellikle hidrodistilasyon yöntemi ile ortalama %1-2.5 oranında uçucu yağ elde edilir. *Salvia officinalis*'teki uçucu yağların başlıca kimyasal

bileşimi monoterpenler (borneol, bornil asetat, α -pinen, β -pinen, α -thujon, β -thujon, kafur), diterpenler (karnosol) ve triterpenlerdir (oleanolik, ursolik asit) (Başer, 2002; Topçu, 2006). Bitki uçucu yağının fenolik asitler, flavonoidler, kafeik asit, rosmarinik asit, fumarik asit ve glikozidler açısından çok zengin olduğu bildirilmiştir (Lu ve Foo, 2001). *Salvia officinalis* ile yürütülen çalışmalarda bitkinin antioksidan, antimikrobiyal, anti-kanser, anti-stres, antidepresan, antidiyabetik, antiinflamatuvar etkiler gibi bir dizi terapötik özellik sergilediği belirtilmiştir (Miraj ve Kiani, 2016). İngiliz Farmakopesi'nde resmi bir ilaç olarak kullanımı kabul edilmiş *Salvia officinalis* türü uluslararası ticarete önemli bir yere sahiptir (Topçu, 2006). Tıbbi adaçayı, dişotu ya da meryemiye olarak da bilinen bu tür ülkemizde doğal yayılış göstermemektedir ancak, Güney Fransa, Almanya, Macaristan, Amerika ve Rusya'da olduğu gibi ülkemizde de yetiştiriciliği yapılmaktadır (Bayram ve Sönmez, 2006; Güner ve ark., 2012). Çizelge 1'de ülkemizin farklı illerinde (Adana, Antalya, Denizli, Düzce, Eskişehir, Karaman, Kayseri, Kütahya, Manisa, Muğla, Tekirdağ, Uşak ve İzmir) 2012-2019 yılları arasında yetiştiriciliği yapılmış *Salvia officinalis* bitkisinin üretim miktarları (ton) ve verim (kg/da) değerleri sunulmuştur (TÜİK, 2021).

Çizelge 1. Ülkemizde adaçayı yetiştiriciliği verim ve üretim miktarı verileri (2012-2019)

İller	Adana	Antalya	Denizli	Düzce	Eskişehir	Karaman	Kayseri	Kütahya	Manisa	Muğla	Tekirdağ	Uşak	İzmir	
Verim (kg/da)	2012					130								
	2013					133								
	2014					133				150				
	2015			160		129		149		150				
	2016		200	101		200	143		152		149	100	167	
	2017	153	200	98		200	133	0	281	151	144	150	100	167
	2018	153	200	94		200	148	0	126	151	138	135	100	167
	2019	400	345	96	111	200	130	0	129	151	139	138	100	167
	Toplam	706	945	549	111	800	1079	0	837	453	870	523	300	668
	Üretim Miktarı (Ton)	2012					7							
2013						4								
2014						4				15				
2015				8		4		53		15				
2016			1	275		1	5	97		17	14		1	
2017		13	1	273		1	4	0	181	28	17	36	2	1
2018		13	1	246		1	4	0	62	28	28	42	2	1
2019		4	883	157	5	1	3	0	70	28	29	50	2	1
Toplam		30	886	959	5	4	35	0	463	84	121	142	6	4

Ülkemiz topraklarında yetiştiriciliği yapılan bu türün, 2020 yılı itibarıyla ABD, Almanya, Afganistan, Avusturya, Avusturalya, Azerbaycan, Bahreyn, Belarus, Belçika, Birleşik Krallık, Fransa, Güney Afrika, Hollanda, Irak, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Kanada, Katar, Kazakistan, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Şili ve Ukrayna'ya farklı miktarlarda ihracatı yapılarak, 2019 yılında 6.936 kg *Salvia officinalis* ihracatı karşılığı 119.559 dolar, 2020 yılında ise 10.755 kg karşılığı 184.596 dolarlık döviz girdisi ülke ekonomisine kazandırılmıştır (TÜİK, 2020). Bu durum *Salvia officinalis* bitkisinin üretimini, sanayisini ve ticaretini daha da önemli bir hale getirmektedir.

Ülkemizin farklı illerinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan *Salvia officinalis* bitkisinde, tarımsal başarı sağlayabilmek için, maruz kaldığı stres kaynaklarının çeşitleri, şiddeti, süresi, strese maruz kaldığı doku ve organ türü, bitkinin stres koşulları altında verdiği fizyolojik tepkiler ve tepki süreçleri, oluşturdukları tolerans mekanizmaları, bitkide oluşan fizyolojik hasarın süresi ve kalıcılığı ile bitkide hücre ve gen seviyesinde meydana gelen değişikliklerin belirlenmesi, bitkide verimliliğin artırılması çalışmalarına katkı sağlayacaktır (Yuan ve ark., 2013; Selmar ve Kleinwächter, 2013; Sönmez, 2015). Bu derlemede, daha önceki yıllarda yapılan çalışmalar referans alınarak, bazı abiyotik stres faktörlerine

karşı *Salvia officinalis* bitkisinde meydana gelen çeşitli agronomik ve biyometrik parametrelerdeki değişiklikler ile fizyolojik tepkiler özetlenmiştir.

Kuraklık Stresine Karşı İndüklenen Yanıtlar

Kuraklık, bir bölgedeki yağışların uzun yıllar ortalamasının veya normal yağış değerlerinin altına düşmesi sonucu oluşan sistematik yağış açığı olarak tanımlanır (Mansori ve ark., 2019). Bitkiler, kökleri yeterli su alamadığında veya terleme oranının çok yüksek olduğu durumlarda kuraklık stresiyle karşılaşır (Güneş ve ark., 2006). Kuraklık stresi bitki gelişimini etkileyen önemli stres faktörlerinden biridir. Çünkü besin ve mineral madde taşınmasının yanı sıra bitki bünyesinde gerçekleşen pek çok metabolik faaliyet su sayesinde gerçekleşir. Çeşitli nedenlerle meydana gelen kuraklık stresi bitki hücrelerinde su potansiyelini ve turgor basıncını azaltarak konsantrasyonunda değişiklikler oluşturmaktadır. Oluşan değişiklikler gaz ve iyon değişimi, karbon asimilasyonu, solunum, fotosentez, hormon dengesi, yağ sentezi, protein sentezi gibi birçok yaşamsal faaliyeti etkileyebilmektedir. Bu nedenle bitkide meydana gelen kuraklık stresi bitkiye zarar vermekte hatta bitkinin ölümüne dahi neden olabilmektedir (Yurdcu, 2019). Yapılan çalışmalar *Salvia officinalis* bitkisinin kuraklık stresi karşısında bünyesinde fizyolojik ve metabolik değişiklikler oluşturarak yanıt verdiğini göstermiştir.

Son yıllarda biyoteknolojik gelişmelere paralel olarak bitki büyüme düzenleyicilerinin de verim üzerine etkileri olduğu görülmüştür. Doğal veya sentetik olabilen bu bileşikler, bitkilerde tohumların çimlenme gücünü arttırmak, çiçeklenmeyi teşvik etmek veya geciktirmek, soğuğa ve hastalıklara karşı direnci arttırmak, olgunlaşmayı hızlandırmak gibi bir veya birden çok fizyolojik olayı kontrol veya modifiye edebilmektedir. Genellikle dolaylı yoldan etkileri olan bu bitki büyüme düzenleyicilerinin başlıcaları oksinler, sitokininler, gibberellinler, etilen, Indol-Butirik Asit (IBA) ve Naftalin Asetik Asit (NAA)'tir (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Çalışmalarda stres durumlarında bitkinin genetik yapısında doğal olarak mevcut olduğu bilinen bu düzenleyicilerde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır.

Bitkilerde kökler tarafından algılanan su kıtlığının gövdeye iletimi absisik asit (ABA), sitokininler, etilen ve malat gibi faktörler tarafından yapılır. ABA, potasyum iyonlarının (K^+) akışını değiştirir ve stomaların daralmasını veya kapanmasını sağlar (Anjum ve ark., 2011; Öztürk, 2015). Bitkilerde stomaların daralması veya kapanması bitkinin terleme ile su kaybını engellemek için yapılan ilk adaptasyon mekanizması olarak kabul edilir (Osakabe ve ark., 2014). *Salvia officinalis* ile yürütülen çalışmalarda, bitkinin kuraklık stresinde fotosentez oranında düşüş bildirilmiştir (Sönmez, 2015). Bitkilerde fotosentez oranı, açık stomalardan alınan gaz formundaki karbondioksit miktarı ile ilişkilidir. Dolayısıyla kuraklık stresinde stomaların kapanması veya daralmasıyla birlikte karbondioksit alımı sınırlandığından fotosentez oranında düşüş meydana gelir (Chaves ve ark., 2003; Mansori ve ark., 2019). Kuraklık stresiyle stomaların kapanması bitkinin büyümesi için gerekli olan karbonhidrat molekülleri ve enerji, fotosentez yoluyla üretildiğinden, bu düşüş bitki büyümesi ve gelişimini de etkiler (Öztürk, 2015). *Salvia officinalis* bitkisinin farklı kuraklık stresi uygulamalarında bitki yapraklarının, kontrol bitkilere kıyasla daha az, kuru, küçük yapraklı ve ince gövdelere sahip olduğu bildirilmiştir (Bettaieb ve ark., 2009). Kuraklık stresi bu türde bitkinin topraküstü kısımlarının büyümesini (Bettaieb ve ark., 2009), nispi su içeriğini, biyokütlesini (Nowak ve ark., 2010; Sönmez, 2015), toplam klorofil içeriğini (Bettaieb ve ark., 2009) azaltmıştır. Kurak koşullarının olduğu ilk zamanlarda, bitkiler daha fazla suya ulaşabilmek için gövde uzamasını yavaşlatıp kök gelişimini hızlandırır (Öztürk, 2015). *Salvia officinalis*'in kuraklık stresi koşulları altında büyüme parametrelerindeki azalmanın nedeni bitkinin biyokütle üretimini tercihli olarak köklere tahsis etmesi veya -fotosentez veriminin düşmesine ve dolayısıyla biyokütle üretiminde bir azalmaya neden olan- klorofil içeriğinin azalmasının bir sonucu olabileceği belirtilmiştir (Bettaieb ve ark., 2011). Çalışmalarda şiddetli su açığına maruz kalan bitkilerde

büyüme ile ilgili parametrelerin orta dereceli su açığına maruz kalan bitkilerden daha az olduğu tespit edilmiştir (Bettaieb ve ark., 2009). Bu nedenle araştırmacılar *Salvia officinalis* bitkisini orta derecede kuraklığa toleranslı bitki olarak tanımlamışlardır (Taarit ve ark., 2010). Buna ek olarak, orta dereceli kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde, kontrol gruplarına kıyasla daha yüksek uçucu yağ içeriği, uçucu yağ verimleri ve yüksek terpen konsantrasyonları elde etmişlerdir (Nowak ve ark., 2010; Sönmez, 2015; Yurdcu, 2019). Bazı araştırmacılar kuraklık stresi altında, yaprak alanındaki azalmaya bağlı olarak, yağ bezlerinin yüksek yoğunluğunun, daha yüksek miktarda uçucu yağ birikmesine yol açabileceği öne sürmüşler (García-Caparrós ve ark., 2019), bazı araştırmacılar ise kuraklık stresi altında *Salvia officinalis* uçucu yağ içeriğinin artmasına ilişkin olarak topraküstü kısımlarının kuraklığa karşı toleransının yaprakların zengin polifenol içeriği ile ilişkili olduğunu, bu nedenle polifenol biriktirme kapasitesinin bu türün büyüme ve savunma arasında denge oluşturarak, kuraklık toleransına katkıda bulunduğu belirtmişlerdir (Bettaieb ve ark., 2011; Selmar ve Kleinwächter, 2013; Govahi ve ark., 2015). Ayrıca bu türde şiddetli su açığının fenolik bileşiklerin biyosentezinde yer alan enzimlerin aktivitesinde düşüş meydana getirdiğini tespit etmişlerdir (Bettaieb ve ark., 2011). Kuraklık stresinin neden olduğu monotermen sentezinin fazlalığı, stresli yapraklardaki yüksek indirgeme gücünün, biyosentezi yüksek oranda indirgenmiş bileşiklere doğru ittiğini göstermektedir ve dolayısıyla bu fizyolojik durumun sadece bir semptomunu temsil edebilir (Nowak ve ark. 2010). *Salvia officinalis*'te monotermen içeriğinde belirlenen değişiklikler, kuraklık stresinden etkilenen monotermen sentaz ekspresyonunu ile ilişkilidir. Bu anahtar enzimlerin, 1,8-sineole için sineol sentaz, kafur için bornildifosfat sentaz, α ve β -thujone için sabinen sentaz olduğu bildirilmiştir (Selmar ve Kleinwächter, 2013).

Kuraklık stresinin *Salvia officinalis* bitkilerinde yağ asitlerinin terkebini de etkilediği gösterilmiştir (Bettaieb ve ark., 2009). Yağ asitlerinin, membran akışkanlığının korunmasını sağlayarak stres koşullarında bitkilere adaptasyon süreçleri için uygun ortamı sağlayan faktör oldukları bilinmektedir (Xu ve Beardall, 1997). Orta dereceli kuraklıkta *Salvia officinalis*'te linoleik ve linolenik asitler gibi doymamış yağ asitleri oranlarında önemli bir azalma; şiddetli kuraklık koşullarında ise stearik ve araşidik asitlerin kaybolduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kuraklık stresinde keton ve eter içerikleri artışının bu türde uçucu yağ bileşiklerinin biyosentezini uyardığı düşünülmüştür (Bettaieb ve ark., 2009).

Kuraklık stresinin metabolik arka planı oldukça karmaşıktır. Bitkiler kuraklık stresiyile karşılaştıklarında yaprakların absorbe ettiği ışık miktarı ve yararlanılan ışık arasındaki denge bozulur ve fotosentez metabolizması inhibe olur (Foyer ve Noctor, 2000). Fotosentez aktivitesinin engellenmesi nedeniyle fotosistem II'de elektronların oluşumu ve kullanımı arasındaki denge bozulur. Kloroplastlarda meydana gelen bu fotokimyasal değişimlerde, fotosistem II'de çok fazla miktarda biriken ve kullanılmayan ışık enerjisi dokularda süperoksit, oksijen, hidrojen peroksit ve hidroksil gibi aktif oksijen türevlerinin oluşumuna neden olur (Peltzer ve ark., 2002). Stomaların kapanmasıyla yaprakların mezofil dokularındaki CO₂ seviyesi hızla düşer, böylece artan süperoksit radikalleri (O₂⁻) ile bitki dokularında moleküler oksijen ile rekabet eden NADP'ler indirgenerek NADPH birikmeye başlar. Ortamda miktarları azalan NADP'ler oksijen alternatif elektron alıcısı olarak görev yapar. Daha sonra bitki dokularında Haber-Weiss adı verilen reaksiyon ile aktif oksijen çeşitleri olarak adlandırılan hidrojen peroksit (H₂O₂), süperoksit radikalleri (O₂⁻) ve hidroksil (OH⁻) radikalleri oluşur. Aslında stres koşullarında birikimi gerçekleşen süperoksit radikali, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri gibi reaktif oksijen türleri, hücre metabolizmasının doğal bir yan ürünüdür ancak aşırı birikimleri bitki hücresinde membran ve lipid peroksidasyonuna, protein oksidasyonuna, enzim inhibisyonuna, klorofil parçalanmasına, RNA ve DNA gibi yapılarda bozulmaya yol açarak hücre hasarı veya hücre ölümüne sebep olurlar (Anjum ve ark., 2011; Öztürk, 2015). Bitkilerde oksidatif strese neden olan bu reaktif

oksijen bileşiklerinin indirgenmesi ve birikimlerinin engellenmesi, süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR), peroksidaz (POD), monodehidroksiaskorbat redüktaz (MDAR), dehidroksiaskorbat redüktaz (DHAR) ve glutatyon peroksidaz (GPX) gibi enzimatik; veya bunların metabolitleri olan askorbat, glutatyon (GSH), α - tokoferoller, karotenoidler ve fenolik bileşikler gibi enzimatik olmayan düşük molekül ağırlıklı antioksidan bileşikler aracılığıyla gerçekleşir (Güneş ve ark., 2006). Stresli koşullarda bu antioksidanlardan enzimatik oksidan molekülleri reaktif oksijen bileşiklerini indirgeyerek birikimlerini engellerken, enzimatik olmayan antioksidan molekülleri ise fotosentetik membranların korunmasıyla görevlidir (Anjum ve ark., 2011; Dolferus, 2014; Osakabe ve ark., 2014; Öztürk, 2015).

Salvia officinalis türü ile yürütülen çalışmalarda, daha çok enzimatik olmayan antioksidan bileşiklerin rolleri anlaşılmasına çalışılmıştır. Bunlardan biri önemli bir fotosentetik pigment olan karotenoidlerdir. Karotenoidler, fotosentetik anten komplekslerindeki mavi ışığı absorbe etmekle kalmaz, aynı zamanda bitkilerdeki fazla enerjinin zararsız bir şekilde dağıtılması için fotosentetik membranların korunmasında diğer antioksidanlarla işbirliği yapar. Karotenoidler, kloroplastlardaki aşırı uyarma enerjisinin bir sonucu olarak oluşan triplet klorofili, singlet oksijeni ve diğer ROS'ları temizleyerek tilakoidlerdeki fazla enerjiyi dağıtmaya katkıda bulunur ve böylelikle stres altında fotosistem II yapısını ve işlevini korumaya yardımcı olur (Dall'Osto ve ark., 2006). Araştırmacılar tarafından, *Salvia officinalis* bitkisinde kuraklık nedenli yaprak yaşlanması sırasında karoten ve lutein karotenoid seviyelerinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Abreu ve Munné-Bosch, 2008).

Salvia officinalis 'te bir başka antioksidan karnosik asittir. Bitkinin kuraklık stresli yapraklarında karnosik asit oksidasyonu sonucu, rosmanol ve izorosmanol diterpenlerinin artışı tespit edilmiştir. Kuraklık stresine maruz kalan yapraklarda, hücrelerde çalışan diğer koruyucu mekanizmaların yanı sıra, kloroplastlarda bulunan karnosik asidin ROS'ları temizleyerek antioksidan koruma sağladığı düşünülmüştür (Tounekti ve ark., 2012). Ancak başka bir çalışmada karnosik asidin artmış antioksidan aktivitesine rağmen, kuraklık stresli *Salvia officinalis* bitkilerinde şiddetli bir yaprak dökülmesi gözlemlenmiştir (Munné-Bosch ve ark., 2001). Araştırmacılar ayrıca, *Salvia officinalis* bitkisinde α - tokoferol gibi antioksidanların artan sentezini, kuraklığa ve diğer çevresel streslere karşı, hem fotokoruyucu hem de antioksidatif savunma mekanizması ile ilişkilendirmişlerdir (Munné-Bosch ve Alegre, 2000; Munné-Bosch ve ark., 2001).

Kuraklığın bitkiler üzerindeki bir diğer etkisi olan yaprak yaşlanmasıdır. Araştırmacılar, *Salvia officinalis* 'te kuraklık stresi nedenli yaprak yaşlanmasının semptomlarını ilk olarak kloroplastlarda belirlemiş, stromada plastoglobuli birikimi, tilakoidlerin gevşemesi ve distorsiyonu, çok daha az grana yığılımı ile belirgin bir değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (Munne'-Bosch ve ark., 2001). Ayrıca şiddetli fotosentetik pigment kaybına paralel olarak meydana gelen salisilik asit birikimi ve jasmonik asit düzeylerinde azalma tespit etmişlerdir (Abreu ve Munné-Bosch, 2008). Kuraklık stresi nedeniyle yaşanan yapraklarda artmış lipid peroksidasyonu, klorofil kaybı, azalmış fotosentetik aktivite ve - kloroplastlarda oksidatif stresin göstergesi olan- membrana bağlı kloroplastik antioksidan savunmalarında güçlü düşüşler tespit etmişlerdir (Munne'-Bosch ve ark., 2001). Kuraklığa bağlı yaprak yaşlanmasının düzenlenmesinde salisilik asidin diğer fitohormonlarla birlikte rol oynayabileceği sonucuna varılmıştır (Abreu ve Munné-Bosch, 2008).

Bitkiler kuraklık koşullarında değişen ozmotik durumlarını düzenleyebilmek için glisin, betain, prolin, organik asitler ve polioller gibi ozmolit olarak adlandırılan düşük moleküler ağırlıklı çözünür madde sentezler ve biriktirirler. Bu ozmolitler bitkide kuraklık toleransına doğrudan katkı yapmazlar ancak turgor kaybının dengelenmesine, stomatal iletkenliğin arttırılmasına ve fotosentezin devamlılığını sağlamaya katkıda bulunur. Böylelikle stres koşullarında hücre metabolik faaliyetlerinin

devam etmesi için kısa süreli dayanıklılık kazandırır (Öztürk, 2015; Mansori ve ark., 2019). Ancak literatürde kuraklık koşullarında *Salvia officinalis* bitkisinin değişen ozmolit içeriği ile ilgili yeterli veri bulunmamaktadır.

Salvia officinalis bitkisinde kuraklık koşullarında indüklenen tüm metabolik sendromun aydınlatılması için, stresli ve stressiz bitkiler arasında karşılaştırmalı olarak analiz yapılması, çeşitli belirteçlerin kombinasyonlarının kullanılması gerekmektedir. Çünkü ışık yoğunluğundaki artış çoğunlukla yüksek sıcaklıklarla ilişkilidir, yüksek sıcaklıklar kuraklık stresine neden olur ve daha düşük su mevcudiyeti, toprakta daha yüksek tuz konsantrasyonlarına neden olur (Selmar ve Kleinwächter, 2013). Bu nedenle *Salvia officinalis* gibi doğada yetişen/yetiştirilen bitkilerde sadece bir stres faktörünü kapsamlı bir şekilde ele almak zordur ve birçok çalışmada elde edilen sonuçlar gerçekten kesin değildir.

Tuz Stresine Karşı İndüklenen Yanıtlar

Tuzluluk, dünyanın birçok bölgesindeki tarımsal üretim alanlarında toprak verimini, bitki büyümesini, verim ve kalitesini etkileyen, tarımsal sürdürülebilirliği zorlaştıran önemli sorunlardan biridir (Aziz ve ark., 2013; Torun, 2019). Tuzluluk yağış oranının yetersiz, buharlaşmanın fazla olduğu, kurak ve yarı kurak ekolojilerde sıkça görülmektedir. Ayrıca bilinçsiz sulama, drenaj imkanlarının yetersizliği, toprağın yanlış işlenmesi, yüksek taban suyu, hatalı ve gereksiz gübreleme işlemleri sonucu da tuzluluk ortaya çıkabilmektedir. Tuzluluk problemi sadece NaCl varlığı düşünülse de klorür, sülfat, nitrat, karbonat, bikarbonat ve borat bileşikleri de tuzluluğa neden olmaktadır (Eroğlu, 2007; Kulak ve ark., 2020). Tuzluluk, bitkilerde ozmotik potansiyeli azaltarak su, besin ve mineral alımını zorlaştırır, toksisiteye yol açarak bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal metabolizmasında bozulmaya neden olur (Jouyban, 2012). Yapılan çalışmalarda tıbbi ve aromatik bitkilerin tuz ve kuraklık stresine karşı gösterdiği tepkilerin ortak noktaları olduğu anlaşılmıştır (Tiryaki, 2018). Bitkilerde tuz stresi nedeniyle oluşan hasarın genel semptomları, kuraklık stresinde olduğu gibi bitki büyüme hızında düşüş, uzun süreli maruz kalmada ise yaşlanma ve ölümdür (Jouyban, 2012). *Salvia officinalis* orta derecede tuza dayanıklı glikofit bir türdür. İster glikofit ister halofit olsun, tüm bitki türlerinde tuzluluk, belirli bir eşiği aştığında bitki biyokütlesinde azalmaya yol açar (Tounekti ve ark., 2012). Çalışmalarda *Salvia officinalis* bitkisinde büyüme inhibisyonunun kapsamı uygulanan tuz tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak farklılık göstermiştir. Birçok araştırmacı tarafından *Salvia officinalis* bitkisinin tuz stresi koşulları altında bitki boyu, dal sayısı, yeşil ve drog herba, biyokütle gibi birçok vejetatif büyüme karakterini olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Hendawy ve Khalid, 2005; Taarit ve ark., 2009; Taarit ve ark., 2010; Çamlıca ve ark., 2019; Torun, 2019; Kulak ve ark., 2020).

Tuz stresi genel olarak bitkilerin fotosentez ve solunum hızını düşürür. Bunun nedeni bitkiler tuz stresini algıladıklarında, hücreleri korumak için stomaları kapatan absisik asit (ABA) sentezini indüklemesidir (Said-Al Ahl ve Omer, 2011). Tuz stresi koşullarında bitkideki absisik asitin işlevi tam anlaşılammıştır. Ancak, NaCl'nin bitki büyümesi, fotosentez ve asimilatların taşınımı üzerindeki inhibitör etkisinin ABA tarafından hafifletildiği, ayrıca ABA'nın bitki membran bütünlüğünü korunmaya katkıda bulunduğu, yapraklarda toksik Cl⁻ iyonlarının birikimini azaltarak, tuz stresi altında etilen salınımını ve yaprak absisyonunu azalttığı bildirilmiştir (Es-sbihi ve ark., 2020).

Tuz stresi gibi abiyotik bir strese maruz kalan bitkilerdeki hücrel oksidatif hasarın derecesi, bitkilerin antioksidan maddeler üretme kapasitesi tarafından kontrol edilir (Aziz ve ark., 2013). *Salvia officinalis* bitkisinin abiyotik stres faktörlerine tepkisi uçucu yağlar ve fenolik bileşikler dahil sekonder metabolitler seviyelerinin düzenlenmesini içerir. Fenolik bileşikler, serbest radikalleri inaktive ederek ve/veya hidroperoksitlerin serbest radikallere ayrışmasını önleyerek antioksidan aktivite sergiler

(Valifard ve ark., 2014). *Salvia officinalis* ile yürütülen çalışmalarda orta derecede tuzluluğun bitkide uçucu yağ biyosentezinin ve özellikle oksijenli monoterpenlerin arttığı gösterilmiştir (Hendawy ve Khalid, 2005; Taarit ve ark., 2009; Aziz ve ark., 2013). Yüksek tuzluluk seviyelerinin ise köklerden sürgünlere sitokin tedarikini engelleyerek, yapraktaki sitokin ile absisik asit arasındaki oranı değiştirmesi sonucu uçucu yağ verimini azalttığı bildirilmiştir (Taarit ve ark., 2009). Farklı tuz çeşitleri ve konsantrasyonlarının ise *Salvia officinalis* uçucu yağının kimyasal bileşimini önemli ölçüde etkilediği ve farklı yeni kemotiplerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Kulak ve ark., 2020). Ayrıca *Salvia officinalis*'te tuzluluğun artmasıyla çoklu doymamış yağ asitleri azalırken, tekli doymamış yağ asitleri artmış, bu şekilde bitkide, membranların yeniden yapılandırılması yoluyla tuz iyonlarının oksidatif etkilerine karşı geliştirdiği bir adaptasyon olduğu düşünülmüştür (Taarit ve ark., 2010).

Salvia officinalis bitkisinde tuzluluk stresinin neden olduğu oksidatif hasarlara karşı koruyan diğer antioksidanlar ise karotenoidler ve α -tokoferollerdir. Kloroplastlar, zarlarını oksidatif hasardan koruyan karotenoidler ve α -tokoferoller olmak üzere düşük moleküler ağırlıklı lipofilik antioksidanlar içerir (Asada, 1999; Falk ve Munné-Bosch, 2010). Bitkide membran yapısının stabilizasyonunu sağlamaya katkı sağlayan α -tokoferol, elektron transferi ile α -tokoferol radikali oluşturarak ve 1O_2 ile etkileşime girerek iki elektron transferi ile H_2O_2 oluşturur. Oluşan α -tokoferol radikali ve H_2O_2 , askorbat peroksidaz (APX) tarafından indirgenir. Bu şekilde α -tocopherol, fotosentetik membranlarda lipid peroksidasyonunun yayılmasını engelleyerek bitkiyi oksidatif hasardan korur (Falk ve Munné-Bosch, 2010; Çulha ve Çakırlar, 2011). *Salvia officinalis*'te orta derecede tuzluluğun bitki yapraklarında karoten ve α -tokoferol birikimlerini arttırarak antioksidan korumayı desteklediği, ancak daha yüksek tuzluluk derecelerinde fotosentetik enzimleri, klorofilleri ve karotenoidleri bozarak fotosentetik süreci etkilediği bildirilmiştir (Tounekti ve ark., 2011; Tounekti ve ark., 2012).

Salvia officinalis bitkisinde, tuz stresine direnebilmek için kullanılan bir diğer mekanizmanın prolin ve çözünen şeker gibi uyumlu ozmolitlerin birikmesi yoluyla olduğu belirtilmiştir. Bitki hücresi tuz stresi kaynaklı plazmoliz oluşumundan kaçınmak için sükrözün, glikoza ve fruktoza; nişastanın da glikoza parçalanmasıyla ozmotik basıncını artırır. Dolayısıyla tuzluluk stresi sırasında kökteki tüm çözünebilir karbonhidratların artması, ozmotik basınca karşı dengede etkilidir (Sahar ve ark., 2011). Bu türde tuz stresi altında salisilik asit tarafından arttırılan karbonhidrat konsantrasyonunun, tuz stresinin neden olduğu su kıtlığı nedeniyle oluşan oksidatif hasarın önlenmesine ve protein yapısının korunmasına yardımcı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca serbest amino asitlerin, özellikle de salin koşullarda enerji ve nitrojen rezervuarı olarak işlev yapan prolinin üretimi ve birikimi *Salvia officinalis*'in tuz stresine karşı geliştirdiği adaptif bir tepki olarak değerlendirilmiştir (Sahar ve ark., 2011; Torun, 2019).

Tuzlulukla ilgili yürütülen çalışmalarda bitkilerin, tuzu bünyeye almama, tuzun seyreltilmesi, tuz eliminasyonu, bitki dokularında sukkulentlik kazanma, tuzun yeniden dağılımı şeklinde geliştirdikleri savunma mekanizmaları ile tuz stresine karşı koyabildikleri bildirilmiş, bunun yanı sıra seçici olarak iyonların biriktirilmesi veya atılması, kökten iyon alımının ve sürgüne iletiminin kontrolü, tüm bitkide ve hücrelerde iyonların vakuollerde biriktirilmesi ile ozmotik düzenleyicilerin sentezi gibi dolaylı savunma mekanizmalarının da tuz stresine karşı koyabilmede etkili olduğu ortaya konmuştur (Çulha ve Çakırlar, 2011). Araştırmacılar *Salvia officinalis* bitkisinde, tuzluluğun neden olduğu stres semptomlarını dengeleyen veya hafifletebilen kinetin, kobalt, çinko ve selenyum uygulamaları bildirmişlerdir (Hendawy ve Khalid, 2005; Tounekti ve ark., 2011; Torun, 2019; Çamlıca ve ark., 2019). Hendawy ve Khalid, (2005), tuzlu koşullarda çinko ile muamele edilen *Salvia officinalis* bitkilerinin vejetatif büyüme karakterlerinin (bitki boyu, dal sayısı, taze ve kuru ağırlık), sadece tuzlu toprak koşullarında yetiştirilenlerden daha yüksek olduğunu bildirmiş, Çamlıca ve ark., (2019), tuzlu

koşullarda 20 mg/L selenyum dozuna kadar olan uygulamalarda, bu türde büyüme parametrelerinde olumlu gelişmeler saptamış, Tounekti ve ark., (2011), kinetinin yapraktan uygulamalarının iyon ve pigment içerikleri ile yaprak fenolik diterpen ve α - tokoferol içeriklerini arttırdığını, Torun, (2019) ise tuz+kobalt uygulamasının fenolik bileşikleri arttırdığını, ozmotik potansiyeli ve nispi büyüme oranını daha az etkilediğini ve kobaltın tuz stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiğini bildirmiştir.

Sıcaklık Stresine Karşı İndüklenen Yanıtlar

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), önümüzdeki yıllarda özellikle Akdeniz tipi ekosistemlerde görülmesi olası ani sıcaklık artışlarının, bitki fizyolojileri üzerinde olumsuz etkilerinin olacağını öngörmüştür (Asensi-Fabado ve ark., 2013). Akdeniz ortamında, bitkiler genellikle yaz aylarında sıklıkla kuraklık ve yüksek ışık yoğunluğu ile birleşen yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar. Akdeniz sklerofil bitkileri 48-55 °C'ye kadar dayanabilmektedir ancak bitkilerde metabolik hasarlar 35 ila 40 °C arasında oluşmaya başlar. 42 °C 'nin üzerindeki yaprak sıcaklıkları, tilakoid sıvılaşması ve protein denatürasyonu nedeniyle fotosentetik düzeneğe doğrudan zarar verir (Larcher, 2000; Chaves ve ark., 2003; Asensi-Fabado ve ark., 2013). Bitki hücreleri sıcaklıklarını çok hızlı artırabildiklerinden sıcaklık stresi etkisi, diğer streslerden daha hızlı bir şekilde bitkiyi etkiler (Larcher, 2000). Düşük veya yüksek sıcaklık gibi çevresel stresler, bitki yaşam döngüsü boyunca birkaç ay arayla veya daha kısa bir süre ardi ardına aynı zamanda veya farklı zamanlarda meydana gelebilir. Stres olayları arasındaki zaman aralığı önemli bir faktördür çünkü bitkilerin müteakip streslere daha hızlı ve/veya daha verimli bir şekilde yanıt vermesini sağlayan, bir önceki stresin izini hafızasında tutma kapasitesidir (Bruce ve ark., 2007). Yapılan çalışmalarda bitkilerin morfolojisinde oluşan sürekli değişikliklerin, anahtar sinyal proteinleri ve transkripsiyon faktörü değişiklik seviyelerinin, bitkinin sonraki streslere yanıtında uzun vadeli değişiklikler sağlayarak stres "hafızasında" rol oynayabileceği öne sürülmüştür (Bruce ve ark., 2007; Galis ve ark., 2009). *Salvia officinalis* bitkisinin sıcaklık stresine karşı yanıtının araştırıldığı bir çalışmada, bitkiler ilk kez sıcaklık stresine maruz kaldığında ABA, MDA (malondialdehit) ve α - tokoferol seviyelerinin yükseldiği, yaprak bağıl su içeriği ve Fv/Fm seviyelerinin düştüğü; ancak ikinci kez maruz kaldığında ABA ve Fv/Fm seviyelerinde bir hafif bir düşüş, klorofil, α - tokoferol ve MDA seviyelerinin ise sabit kalması nedeniyle daha düşük bir oksidatif stres olarak değerlendirmişlerdir. Tekrarlanan streslere maruz kalan *Salvia officinalis* bitkisinde biyokimyasal mekanizmaların ve fitohormonların, sıcaklık stresinin izini sürdürüp "hafıza" etkisi uygulayabileceği belirtilmiştir (Asensi-Fabado ve ark., 2013).

Birçok türde, orta dereceli sıcaklıklara önceden maruz kalmanın, edinilmiş termotoleransa müteakip daha şiddetli ısı stresine karşı bitki toleransını arttırdığı bilinmektedir. Edinilmiş termotoleransta, ısı şoku proteinlerinin gen ekspresyonu ve biyosentezi, antioksidan enzimlerin artan aktiviteleri ve ilgili genlerin ekspresyonu, daha yüksek antioksidan, çözünür şeker ve prolin seviyeleri de dahil olmak üzere bir dizi metabolik süreç yer alır (Wang ve ark., 2011). Stres izini sürdürme yeteneği, bitkilerin sonraki stres olayına daha verimli bir şekilde yanıt vermesine olanak tanır (Heil ve Baldwin, 2002). Ancak literatürde *Salvia officinalis* bitkisinin sıcaklık stresine verdiği yanıtların anlaşılmasına dair çalışmalar çok nadirdir, çünkü sadece sıcaklık stresini oluşturmak deneysel tasarımın karmaşıklığından dolayı genellikle zordur, ancak doğada sıklıkla meydana gelen sıcaklık stres faktörünün bitki üzerine etkilerinin anlaşılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Işık Stresine Karşı İndüklenen Yanıtlar

Işık, bitkilerin anatomik, morfolojik, fizyolojik gelişme ve büyüme süreçlerini etkileyen önemli abiyotik faktörlerden biridir. Bitkilerin metabolik faaliyetleri ve optimum büyümesi, aydınlıkta biriken karbon ve nitrojenin karanlıkta harekete geçirilmesine bağlıdır (Graf ve Smith, 2011). Bu nedenle ışık,

bitkinin yaşam döngüsünde kritik önem taşıyan fotosentez için gerekli olan enerji kaynağı ve aynı zamanda bir sinyal molekülüdür. Bitkilerde 24 saatlik periyotta, -aydınlık ve karanlık evrelerin koordinasyonu ile- rezervlerin büyümesi ve dönüşümü metabolizmayı düzenleyen sirkadiyen saat tarafından sağlanır (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020). Sirkadiyen saat, bitkilerde hücre bölünmesini organize ederek stomatal açıklıkların gelişim ve farklılaşma sürecinde değişikliklere neden olur. Böylece bitkiler aydınlık/karanlık arasındaki değişikliklere adaptasyon sağlar, çeşitli metabolik faaliyetleri düzenler ve geliştirdiği fizyolojik adaptasyon sayesinde büyüme ve gelişmelerini sürdürmeyi sağlar. Ayrıca karbon fiksasyonu, terleme, çiçeklenme zamanı, gen ekspresyonu gibi tüm fizyolojik olaylar sirkadiyen saat tarafından düzenlenir (McClung, 2008). Lamiaceae familyasının *Salvia* üyeleri 'sun species' yani "güneş türlerinden" biri olarak tanımlanmaktadır (Castrillo ve ark., 2005). Ancak ışık yoğunluğu, kontrol edilmesi en zor çevresel faktördür (Rezai ve ark., 2018). Işık süresi, ışık yoğunluğu, dalga boyu gibi ışıkla ilgili pek çok faktörün *Salvia officinalis* bitkisinin morfoparametrelerinde ve biyokimyasal mekanizmalarında değişikliğe neden olduğu bildirilmiştir.

Salvia officinalis'te farklı ışık rejimlerinin (kısa gün, orta gün ve uzun gün şartları; sırasıyla 4, 8 ve 16 saat) bazı büyüme parametrelerine etkileri, optimal sirkadiyen ritim düzenlemelerini belirlemek için araştırılmıştır. Araştırmacılar, gövde uzunluğu açısından en çok büyümenin 16 saatlik, en az büyümenin 8 saatlik sürede olduğu belirlemiştirler (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020). Işık rejimi ve bitki büyümesi ile ilgili olarak, yüksek ışımada büyüyen bitkilerde genellikle aşırı ışık enerjisi emmeleri nedeniyle fotosentetik aparatın inaktivasyonu veya kloroplastların klorofil içeren reaksiyon merkezlerinde bozulma sonucu, düşük ışımada büyüyen bitkilerde ise genellikle stomatal iletkenlik ve fotosentez oranında meydana gelen düşüş sonucu (Rezai ve ark., 2018) her iki durumda da bitki büyüme oranında azalma görülür. *Salvia officinalis* bitkisinde ışık koşullarına tepki olarak meydana gelen değişiklikler ise şu şekildedir: Düşük ışık yoğunluğunda bitki boyunda artış (Mapes ve Xu, 2014; Kılıç ve Bölükbaşı, 2020), yaprak boyutu, genişliği (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020), yaprak çıkış hızı (Mapes ve Xu, 2014) ve sayısı (Zervoudakis ve ark., 2012) ile biyokütlede azalma (Zervoudakis ve ark., 2012; Rezai ve ark., 2018) şeklindedir.

Salvia officinalis'te stres faktörlerine karşı savunma sağlayan sekonder metabolitler, çoğunlukla yaprak yüzeyinde glandüler, peltat ve kapitat trikollar tarafından ve nadiren gövdenin trikolları tarafından üretilir ve depolanır (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020). Kapitat trikolları, savunma mekanizmasında kullanılan savunma proteinlerinin, bileşiklerinin salgılanması ve birikiminden, peltat trikolları, bitkileri biyotik ve abiyotik stresten koruyan yarı uçucu organik bileşiklerin salgılanması ve birikiminden (Martínez- -Natarén ve ark., 2018), glandüler trikom salgıları ise biyotik faktörler olmak üzere çeşitli stres faktörlerine karşı korumada, büyüme ve gelişmeyi düzenlemede görev alır. Bu yapılar bitki fitokimyasallarının üretildiği ve depolandığı salgı yapılarıdır. Bitkideki konumu ve yoğunluğu, genetik bir temele sahip olmakla birlikte, bitkinin yaşına ve maruz kaldığı stres faktörlerine bağlı olarak değişebilir. *Salvia officinalis* bitkisi üzerinde farklı fotoperiyot uygulamaları sonucu, kapitat trikom sayılarının yaprak üst yüzeyinde daha fazla olduğu, bu sayıların en fazla 8 saatlik uygulamada, en az ise 4 saatlik uygulamada tespit edildiği belirlenmiş ayrıca en uzun kapitat tüylerinin 16 saatlik fotoperiyot uygulamasında bulunduğu bildirilmiştir. Peltat tüylerin ise yaprak alt yüzeyde yaprak üst yüzeye oranla daha fazla bulunduğu; en fazla 16 saatlik uygulamada, en az ise 4 saatlik uygulamada bulunduğu belirtilmiştir (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020).

Tıbbi ve aromatik bir bitkide glandüler trikolların yoğunluğu ve boyutu, bitkinin fitokimyasal içeriği ve kalitesi hakkında bilgi verebilir. Özellikle monoterpen hidrokarbon miktarının ışık süresiyle doğrusal bir ilişkisi vardır (Rguez ve ark., 2019). *Salvia officinalis*'in en yüksek uçucu yağ ve oksijenli monoterpen miktarı 8 saatlik fotoperiyotta belirlenmiştir (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020). Bu türde ışık

spektral kalitesinin uçucu yağ oranı ve monotерpenler üzerindeki etkisinin incelediği başka bir çalışmada ise araştırmacılar beyaz ve kırmızı +mavi LED ışıklı rejimlerde en fazla uçucu yağ miktarını; kırmızı LED ışık ve yüksek basınçlı sodyum lamba ışığında en yüksek kafur biyosentezini, kırmızı LED'ler ile büyüyen bitkilerde ise en yüksek 1,8 cineol oranını belirlemişlerdir (Ivanitskikh ve Tarakanov, 2014). Zervoudakis ve ark., (2012), ise %45'lik ışık seviyesinde en yüksek uçucu yağ konsantrasyonu ile daha yüksek (+) - thujanone içeriği ve daha düşük kafur birikimi tespit etmiştir.

Salvia officinalis bitkisinin farklı ışık rejimlerinde değişen klorofil miktarlarıyla ilgili olarak, Kılıç ve Bölükbaşı, (2020) en yüksek seviyeyi 8 saatlik fotoperiyot uygulamasında tespit ederken, Zervoudakis ve ark., (2012), %25 gölgede yetişen bitkilerde daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarda gölgede yetiştirilen *Salvia officinalis*'te diğer bir fotosentetik pigment karotenoid, tam güneş ışığına maruz kalan bitkiler ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur (Zervoudakis ve ark., 2012; Mapes ve Xu, 2014; Rezai ve ark., 2018).

Bitkilerde ışığın neden olduğu stres durumlarının etkilediği bir diğer unsur fotosentez verimliliğidir (Fv/Fm). Düşük ışık, iki fotosistem (PS I ve II) arasında dengelenen ışık toplama ve/veya elektron taşınması yoluyla, genellikle bitkilerdeki ışık reaksiyonlarının oranını düşürür. Bu nedenle, karanlık reaksiyonlarda karbon fiksasyonunu ve genel fotosentez oranını sınırlanır (Maxwell ve Johnson 2000). Çalışmalarda *Salvia officinalis* bitkilerinde Fv /Fm'nin düşük ışık yoğunluğunda azaldığı belirlenmiştir (Mapes ve Xu, 2014).

Ozon Stresine Karşı İndüklenen Yanıtlar

Troposferik ozon (O₃), değişen iklim koşulları ve antropojenik faaliyetler nedeniyle dünyanın birçok yerinde seviyesi artması beklenen gaz halindeki en önemli kirleticidir. Konsantrasyonuna ve çevresel koşullara bağlı olarak O₃'ün, *Salvia officinalis* bitkilerinde belirli biyokimyasal ve moleküler yanıtları indükleyerek fonksiyonel ve genik seviyelerde bir dizi olumsuz etkiye neden olduğu bildirilmiştir (Pellegrini ve ark., 2015; Marchica ve ark., 2019).

O₃ stresinin bitkilerde neden olduğu fizyolojik etkilerden biri, metabolik ve hücrede ultra yapısal değişiklikler, hücresel entegrasyonun parçalanması, fotosentetik aktivitede azalma ve klorofil bozunması sonucu meydana gelen yaşlanmadır (Munné Bosch ve Alegre, 2004). Çalışmacılar, *Salvia officinalis* bitkilerine 90 ardışık gün (5 saat gün⁻¹) 120 ppb uyguladıkları ozon fümigasyonu sonunda bitkilerde, membran hasarına ve hücresel su kaybına bağlı olarak yaprak yaşlanması, yaprak sararması ve absisyon görüldüğünü bildirmişlerdir (Pellegrini ve ark., 2015).

O₃ gibi abiyotik stresler sırasında, aşırı üretilen ROS'un atılmasında fenolik bileşiklerin yanı sıra, ozmoprotektan adlı uyumlu çözünebilir maddeler de hücre içi biyokimyayı bozmadan yüksek seviyelerde birikebilir. Yapılan bir çalışmada, ozon stresine maruz kalan *Salvia officinalis* yapraklarında monosakkarit ve disakkarit konsantrasyonu, şeker alkol seviyeleri ve toplam karbonhidratların artışı bildirilmiştir. Ozon stresli yapraklarda azalmış fotosentetik aktivite, ksantofil pigmentlerinde azalma (anteraxanthin + violaxanthin), klorofil kaybı (klorofil a ve b) ve fenol birikimi tespit edilmiştir. Tüm bu olaylar, ksantofil döngüsü, antioksidan bileşikler (kafeik asit ve rosmarinik asit) ve suda çözünür karbonhidratlar (özellikle monosakkaritler) tarafından sağlanan fotoprotektif etkiye rağmen kloroplastlardaki oksidatif stresin göstergesi olarak kabul edilmiştir. Ek olarak, fotoinhibitör hasarlardan korunmada karotenoidlerin ozon stresindeki görevi önemi araştırılmış ve ROS'a karşı fotosentetik membranların koruyucuları olarak görev yaptığı, özellikle O₃ stresli *Salvia officinalis* türünde ksantofil döngüsünün aktivitesini arttırdığı bildirilmiştir (Pellegrini ve ark., 2015).

Salvia officinalis bitkilerinde, O₃'ün maruziyetine karşı toleranslarını artırmak için belirli biyokimyasal ve moleküler yanıtları indükleyerek gen ekspresyonunu uygun düzenlemelerle

etkinleştirdiği de belirlenmiştir (Marchica ve ark., 2019). Bitkilerde oksidatif stres, genik ekspresyonun pozitif veya negatif düzenleyicileri olarak işlev görebilen WRKY'ler gibi bazı transkripsiyon faktörü (TF) familyalarının aktivasyonunu harekete geçirebilir. WRKY TF'ler, bitkilerde büyük bir düzenleyici protein ailesidir. Çoğu WRKY proteinleri, hem stres algısında hem de sinyal iletiminde ve redoks düzenlemesinde yer alan biyotik ve abiyotik stres indükleyici genlere bitki toleransında önemli bir rol oynamaktadır (Khan ve ark., 2018; Marchica ve ark., 2019). O₃'e maruz bırakılan *Salvia officinalis* bitkisinde WRKY'leri için altı gen dizisi tanımlanmış, 2 ve 5 saatlik maruziyette WRKY4, WRKY5, WRKY11, WRKY46 genlerinin transkript seviyelerinde ciddi bir artış, WRKY23 gen ekspresyonunda ise azalma tespit etmişlerdir. WRKY'lerin *Salvia officinalis*'in O₃ stresi sırasında sinyal mekanizmalarında önemli bir rol oynayabileceğini gösterilmiştir. Araştırmacılar, *Salvia officinalis* bitkisinde O₃'e maruz kalmanın ilk saatlerinde, anyon süperoksitin hızlı bir şekilde artış göstermesinin geçici bir oksidatif patlamaya neden olduğu bildirilmiştir. Ek olarak, O₃'ün membran yağ asitleri ile reaksiyonu -tiyobarbitürik asit reaktif madde konsantrasyonunun artmasıyla belirlenen-peroksidatif süreçleri uyarılmış ve bitkinin oksidatif patlamayı en aza indirmek için hücrel antioksidan mekanizmaları indükleyerek salisilik ve jasmonik asit birikimi ve absisik asit artışı gösterdiği belirlenmiştir (Marchica ve ark., 2019).

SONUÇ

Bitkiler, optimum büyümelerini sürdürmek için enerji, su ve mineral gibi kaynak dengelerine ihtiyaç duyar. Ancak bitkisel üretimde bitkinin gelişmesini ve farklılaşmasını etkileyen biyotik ve abiyotik stres faktörleri bulunabilir. Stres faktörlerinin şiddeti, süresi, strese maruz kaldığı doku ve organ türü bitkisel üretimi doğrudan veya dolaylı etkilemektedir (Öztürk, 2015). Bitkiler, çevresel stres faktörlerinin oluşturduğu dengesizlikleri telafi etmek için hücreden ekosisteme kadar değişebilen etkileyici bir adaptasyon sergileyebilirler.

Dünyada kullanım alanı ve talebi artan *Salvia officinalis* türünün son yıllarda ülkemizin farklı illerinde yetiştiriciliği yapılmakta her yıl tonlarca adaçayı ihraç edilerek ülkeye döviz girdisi sağlanmaktadır. Ülkemizin farklı iklim, toprak yapısı ve coğrafik koşullarında tarımı yapılan, iç ve dış pazarda önemli bir yere sahip olan *Salvia officinalis*'in yetiştiriciliğinde dünya piyasalarının ihtiyaç duyduğu standartlarda, kaliteli ve yüksek verimli üretimi söz konusu olduğunda çevresel faktörlerin tarımsal başarıya etkisinin bilinmesi gereklidir. Bu derlemede *Salvia officinalis* yetiştiriciliği uygulamalarında bitkilerin bazı abiyotik stres faktörlerine verdikleri yanıtlar araştırılmıştır. Araştırmalarda farklı abiyotik streslerin bu türde farklı tepkileri tetiklediği anlaşılmıştır.

Özetle, *Salvia officinalis* bitkisinde orta dereceli kuraklıkta yaprak yaşlanmasının görüldüğü (Munne'-Bosch ve ark., 2001), yapraklarının kontrol bitkilere kıyasla daha az, kuru, küçük ve ince gövdeli olduğu (Bettaieb ve ark., 2009), topraküstü kısımlarında yavaşlamış büyüme (Bettaieb ve ark., 2009), azalmış nispi su içeriği ve biyokütlesi (Nowak ve ark., 2010; Sönmez, 2015) ile toplam klorofil içeriğinde azalma (Bettaieb ve ark., 2009) ve fotosentez oranında düşüş (Sönmez, 2015) tespit edilmiştir. Ancak orta dereceli kuraklıkta, kontrol gruplarına göre daha yüksek uçucu yağ içeriği, uçucu yağ verimleri ve yüksek terpen konsantrasyonları elde edildiği bildirilmiştir (Nowak ve ark., 2010; Sönmez, 2015; Yurducu, 2019). Bitkinin orta dereceli tuzluluk koşullarında ise boyu, dal sayısı, yeşil ve drog herba, biyokütle gibi birçok vejetatif büyüme karakterinin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Hendawy ve Khalid, 2005; Taarit ve ark., 2009; Taarit ve ark., 2010; Kulak ve ark., 2020). Daha yüksek tuzluluk koşullarında ise fotosentetik enzimlerin, klorofil ve karotenoidlerin bozularak fotosentetik sürecin olumsuz etkilendiği, bunun sonucu olarak yaşlanma ve ölümün kaçınılmaz hale geldiği belirtilmiştir (Tounekti ve ark., 2011; Jouyban, 2012; Tounekti ve ark., 2012). Işık stresi ile ilişkili olarak, ışık

yoğunluğunun düşük olduğu koşullarda bitki boyunda artış (Mapes ve Xu, 2014; Kılıç ve Bölükbaşı, 2020), yaprak boyutu, genişliği (Kılıç ve Bölükbaşı, 2020), yaprak çıkış hızı (Mapes ve Xu, 2014) ve sayısı (Zervoudakis ve ark., 2012) ile biyokütlede azalma (Zervoudakis ve ark., 2012; Rezai ve ark., 2018) görülürken, yüksek ışımada büyüyen bitkilerde genellikle ışık enerjisini aşırı emmeleri nedeniyle fotosentetik aparatın inaktivasyonu veya kloroplastların klorofil içeren reaksiyon merkezlerinde bozulma sonucu bitki büyüme oranında azalma (Rezai ve ark., 2018) tespit edilmiştir. *Salvia officinalis*'te sıcaklık ve ozon stresinin etkileri ise moleküler düzeyde araştırılmış, tekrarlanan sıcaklık stresinde bitkinin biyokimyasal mekanizmalar ve fitohormonlar sayesinde, sıcaklık stresinin izini sürdürüp "hafıza" etkisi uygulayabildiği (Asensi-Fabado ve ark., 2013), ozon stresinde ise oksidatif patlamayı en aza indirmek için hücrel antioksidan mekanizmaları indükleyerek yanıt verdiği belirtilmiştir (Marchica ve ark., 2019).

Salvia officinalis ile yapılan pek çok çalışmada bitkilerin tepkilerine ve çevrenin tekil özelliklerine karşı oluşturdukları adaptasyonlarına odaklanılmıştır, ancak yetiştirilme ortamında doğadaki diğer bitkiler gibi eş zamanlı ya da farklı zamanlarda birden fazla stresle karşılaşabilirler. Bu nedenle adaçayı yetiştiriciliği uygulamalarında bitkilerin farklı abiyotik stres faktörlerinin kombinasyonuna verdikleri moleküler yanıtlar ve bu yanıtlarla indüklenen tolerans mekanizmalarının belirlenebilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Adaçayı yetiştiriciliğinde bitkinin ihtiyaç duyduğu kaynakları belirlemek, su, tuz, ışık, sıcaklık, besin gibi birden fazla çevresel bileşenin bitki üzerine etkilerini bilmek ve bunları uygun tarımsal tekniklerle geliştirmek hem maliyet açısından fayda sağlar hem de kaliteli ürün yetiştiriciliğine katkıda bulunur.

Çıkar Çatışması

Makaleye ait çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve makalenin yazılması aşamalarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Yazar Katkısı

Makalenin planlanması, yürütülmesi ve yazılması makale tek yazarı olarak tarafımda yapıldığı beyan ederim.

KAYNAKLAR

- Abreu ME, Munné-Bosch S, 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: a case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64 (2):105-112.
- Anjum SA, Xie XY, Wang LC, Saleem MF, Man C, Lei W, 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (9): 2026-2032.
- Asada K, 1999. The Water-Water Cycle in Chloroplasts: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons. *Annual Review Of Plant Biology*, 50 (1): 601-639.
- Asensi-Fabado MA, Oliván A, Munné-Bosch S, 2013. A comparative study of the hormonal response to high temperatures and stress reiteration in three Labiatae species. *Environmental and Experimental Botany*, 94: 57-65.
- Aziz EE, Sabry RM, Ahmed SS, 2013. Plant Growth and Essential Oil Production of Sage (*Salvia Officinalis* L.) and Curly-Leafed Parsley (*Petroselinum Crispum* Ssp. *Crispum* L.) Cultivated Under Salt Stress Conditions. *World Applied Sciences Journal*, 28:785-796.
- Başer KHC, 2002. Aromatic Biodiversity Among the Flowering Plant Taxa of Turkey. *Pure and Applied Chemistry*, 74 (4): 527-545.
- Bayram E, Sönmez Ç, 2006. Adaçayı Yetiştiriciliği. EÜ Tar. Uyg. ve Araş. Merkezi Yayın Bülteni, (48).

- Bettaieb I, Hamrouni-Sellami I, Bourgou S, Limam F, Marzouk B, 2011. Drought Effects on Polyphenol Composition and Antioxidant Activities in Aerial Parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33 (4): 1103-1111.
- Bettaieb I, Zakhama N, Wannas WA, Kchouk M, Marzouk B, 2009. Water Deficit Effects on *Salvia officinalis* Fatty Acids and Essential Oils Composition. *Scientia Horticulturae*, 120 (2): 271-275.
- Bruce TJ, Matthes MC, Napier JA, Pickett JA, 2007. Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science*, 173 (6): 603-608.
- Büyük İ, Soydam-Aydın S, Aras S, 2012. Bitkilerin Stres Koşullarına Verdiği Moleküler Cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69 (2).
- Castrillo M, Vizcaino D, Moreno E, Latorraca Z, 2005. Specific Leaf Mass, Fresh: Dry Weight Ratio, Sugar and Protein Contents in Species of Lamiaceae From Different Light Environments. *Revista De Biología Tropical*, 53 (1-2): 23-28.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS, 2003. Understanding Plant Responses to Drought—From Genes to the Whole Plant. *Functional Plant Biology*, 30 (3): 239-264.
- Çamlıca M, Yıldız G, Özen F, Başol A, Aşkın H, 2019. Effects of Selenium Applications on Salt Stress in Sage and Mountain Tea. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7 (sp2): 29-35.
- Çulha Ş, Çakırlar H, 2011. Tuzluluğun Bitkiler Üzerine Etkileri ve Tuz Tolerans Mekanizmaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 11-34.
- Dall'Osto L, Lico C, Alric J, Giuliano G, Havaux M, Bassi R, 2006. Lutein is needed for efficient chlorophyll triplet quenching in the major LHCII antenna complex of higher plants and effective photoprotection in vivo under strong light. *BMC Plant Biology*, 6 (1): 32.
- Dolferus R, 2014. To grow or not to grow: a stressful decision for plants. *Plant Science*, 229: 247-261.
- Elmas S, Elmas O, 2021. *Salvia fruticosa*'nın (Anadolu Adaçayı) Terapötik Etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4 (1-2): 114-137.
- Eroğlu İ, 2007. Tuz Stresinin Bazı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Kültür Çeşitlerinde Tohum Çimlenmesi ve Fide Gelişimi Üzerine Etkileri. *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış)*.
- Es-sbihi FZ, Hazzoumi Z, Joutei KA, 2020. Effect of salicylic acid foliar application on growth, glandular hairs and essential oil yield in *Salvia officinalis* L. grown under zinc stress. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7 (1): 1-11.
- Falk J, Munné-Bosch S, 2010. Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. *Journal of Experimental Botany*, 61 (6): 1549-1566.
- Foyer CH, Noctor G, 2000. Tansley review No. 112: oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. *New Phytologist*, 146 (3): 359-388.
- Galis I, Gaquerel E, Pandey SP., Baldwin IT, 2009. Molecular mechanisms underlying plant memory in JA-mediated defence responses. *Plant, Cell & Environment*, 32(6): 617-627.
- García-Caparrós P, Romero MJ, Llanderal A, Cermeño P, Lao MT, Segura ML, 2019. Effects of Drought Stress on Biomass, Essential Oil Content, Nutritional Parameters, and Costs of Production in Six Lamiaceae species. *Water*, 11 (3): 573.
- Govahi M, Ghalavand A, Nadjafi F, Sorooshzadeh A, 2015. Comparing different soil fertility systems in Sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. *Industrial Crops and Products*, 74: 20-27.
- Graf A, Smith AM, 2011. Starch and the clock: the dark side of plant productivity. *Trends in Plant Science*, 16 (3): 169-175.
- Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babac M, 2012. A checklist of the Flora of Turkey (Vascular Plants). *Flora Dizisi*, 1:1290.
- Güneş A, Adak S, İnal A, Alpaslan M, Eraslan F, Çiçek N, Kayan N, Soylu B, 2006. Mercimek ve Nohut Bitkilerinde Kuraklığa Bağlı Oksidatif Stres ve Fizyolojik Tolerans Mekanizmalarının Belirlenmesi. *Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu*.
- Heil M, Baldwin I T, 2002. Fitness costs of induced resistance: emerging experimental support for a slippery concept. *Trends in Plant Science*, 7 (2):61-67.

- Hendawy S, Khalid KA, 2005. Response of Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants to Zinc Application Under Different Salinity Levels. *J. Appl. Sci. Res* 1 (2): 147-155.
- Hernández I, Alegre L, Munné-Bosch S, 2004. Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions. *Tree physiology*, 24 (11): 1303-1311.
- Ivanitskikh A, Tarakanov I, 2014. Effect of light spectral quality on essential oil components in *Ocimum basilicum* and *Salvia officinalis* plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, 1 (1): 19.
- Jouyban Z, 2012. The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2 (1): 7-10.
- Khan SA, Li MZ, Wang SM, Yin HJ, 2018. Revisiting the role of plant transcription factors in the battle against abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (6): 1634.
- Kılıç S, Bölükbaşı M, 2020. Phytochemical accumulation with photomorphogenesis and physiology of *Salvia officinalis* L. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 19 (5): 101-113.
- Kulak M, Gul F, Sekeroglu N, 2020. Changes in growth parameter and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves in response to various salt stresses. *Industrial Crops and Products*, 145: 112078.
- Kumlay AM, Eryiğit T, 2011. Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyici maddeler: bitki hormonları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1 (2): 47-56.
- Lakušić B, Ristić M, Slavkovska V, Stojanović D, Lakušić D, 2013. Variations in Essential Oil Yields and Compositions of *Salvia officinalis* (Lamiaceae) at Different Developmental Stages. *Botanica Serbica*, 37 (2): 127-139.
- Larcher W, 2000. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant biosystems*, 134 (3): 279-295.
- Lu Y, Foo LY, 2001. Antioxidant Activities of Polyphenols from Sage (*Salvia officinalis*). *Food Chemistry*, 75 (2): 197-202.
- Mansori M, Farouk I, Hsissou D, El Kaoua M, 2019. Seaweed extract treatment enhances vegetative growth and antioxidant parameters in water stressed *Salvia officinalis* L. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 10 (8): 756-766.
- Mapes C, Xu Y, 2014. Photosynthesis, Vegetative Habit and Culinary Properties of Sage (*Salvia officinalis*) in Response to Low-Light Conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 94 (5): 881-889.
- Marchica A, Lorenzini G, Papini R, Bernardi R, Nali C, Pellegrini E, 2019. Signalling molecules responsive to ozone-induced oxidative stress in *Salvia officinalis*. *Science of The Total Environment*, 657: 568-576.
- Martínez-Natarén DA, Villalobos-Perera PA, Munguía-Rosas MA, 2018. Morphology and density of glandular trichomes of *Ocimum campechianum* and *Ruellia nudiflora* in contrasting light environments: A scanning electron microscopy study. *Flora*, 248: 28-33.
- Maxwell K, Johnson GN, 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51 (345): 659-668.
- McClung CR, 2008. Comes a time. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(5): 514-520.
- Miraj S, Kiani S, 2016. A Review Study of Therapeutic Effects of *Salvia officinalis* L. *Der Pharmacia Lettre*, 8 (6).
- Munné-Bosch S, Alegre L, 2000. Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in *Rosmarinus officinalis* plants. *Planta*, 210 (6): 925-931.
- Munné-Bosch S, Alegre L, 2004. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31 (3): 203-216.
- Munné-Bosch S, Mueller M, Schwarz K, Alegre L, 2001. Diterpenes and Antioxidative Protection in Drought-Stressed *Salvia officinalis* Plants. *Journal of Plant Physiology*, 158 (11): 1431-1437.
- Nowak M, Kleinwaechter M, Manderscheid R, Weigel HJ, Selmar D, 2010. Drought stress increases the accumulation of monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*), an effect that is compensated by elevated carbon dioxide concentration. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 83 (2): 133-136.

- O'Leary N, Moroni P, 2016. Las especies de *Salvia* (Lamiaceae) para Argentina. *Darwiniana*, 4 (1):91-131.
- Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K, Tran L-SP, 2014. Response of Plants to Water Stress. *Frontiers in Plant Science*, 5:86.
- Örs S, Ekinçi M, 2015. Kuraklık Stresi ve Bitki Fizyolojisi. *Derim*, 32 (2): 237-250.
- Öztürk NZ, 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 3 (5): 307-315.
- Pellegrini E, Francini A, Lorenzini G, Nali C, 2015. Ecophysiological and antioxidant traits of *Salvia officinalis* under ozone stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (17): 13083-13093.
- Peltzer D, Dreyer E, Polle A, 2002. Differential temperature dependencies of antioxidative enzymes in two contrasting species: *Fagus sylvatica* and *Coleus blumei*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (2): 141-150.
- Rezai S, Etemadi N, Nikbakht A, Yousefi M, Majidi MM, 2018. Effect of Light Intensity on Leaf Morphology, Photosynthetic Capacity, and Chlorophyll Content in Sage (*Salvia officinalis* L.). *Horticultural Science and Technology*, 36 (1): 46-57.
- Rguez S, Msaada K, Daami-Remadi M, Chayeb I, Bettaieb Rebey I, Hammami M, Hamrouni-Sellami I, (2019). Chemical composition and biological activities of essential oils of *Salvia officinalis* aerial parts as affected by diurnal variations. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 153 (2): 264-272.
- Sahar K, Amin B, Taher NM, 2011. The salicylic acid effect on the *Salvia officinalis* L. sugar, protein and proline contents under salinity (NaCl) stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7 (4).
- Said-Al Ahl H, Omer E, 2011. Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. *Herba Polonica*, 57 (2).
- Selmar D, Kleinwächter M, 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 42, 558-566.
- Sönmez Ç, 2015. Bitki-Su İlişkilerinin Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nin Verim, Uçucu Yağ Üretimi ve Kalitesi Üzerine Etkileri: Biyometrik Ve Fizyolojik İncelemeler. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Taarit MB, Msaada K, Hosni K, Hammami M, Kchouk ME, Marzouk B, 2009. Plant Growth, Essential Oil Yield and Composition of Sage (*Salvia officinalis* L.) Fruits Cultivated Under Salt Stress Conditions. *Industrial Crops and Products*, 30 (3): 333-337.
- Taarit MB, Msaada K, Hosni K, Marzouk B, 2010. Changes in Fatty Acid and Essential Oil Composition of Sage (*Salvia Officinalis* L.) Leaves Under NaCl Stress. *Food Chemistry*, 119 (3): 951-956.
- Tiryaki İ, 2018. Bazı Tarla Bitkilerinin Tuz Stresine Gösterdikleri Adaptasyon Mekanizmaları. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 21 (5): 800.
- Topçu G, 2006. Bioactive Triterpenoids from *Salvia* Species. *Journal of Natural Products*, 69 (3): 482-487.
- Torun H, 2019. Cobalt+ Salt-Stressed *Salvia officinalis*: ROS Scavenging Capacity and Antioxidant Potency. *International Journal of Secondary Metabolite*, 6 (1): 49-61.
- Tounekti T, Abreu ME, Khemira H, Munné-Bosch S, 2012. Canopy Position Determines the Photoprotective Demand and Antioxidant Protection of Leaves in Salt-Stressed *Salvia officinalis* L. *Plants. Environmental and Experimental Botany*, 78:146-156.
- Tounekti T, Hernández I, Müller M, Khemira H, Munné-Bosch S, 2011. Kinetin Applications Alleviate Salt Stress and Improve the Antioxidant Composition of Leaf Extracts in *Salvia officinalis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49 (10): 1165-1176.
- Tounekti T, Hernández I, Munné-Bosch S, 2013. Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress. *Salicylic acid*. Springer, 141-162.
- TÜİK (2020): Dış Ticaret İstatistikleri.
<https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/disticaret.zul?param1=25¶m2=0&sitcrev=0&isicrev=0&sayac=5802>, (Erişim tarihi: 23.12. 2020).

- TÜİK (2021): Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737>, (Erişim tarihi 25.02.2021).
- Valifard M, Mohsenzadeh S, Kholdebarin B, Rowshan V, 2014. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. South African Journal of Botany, 93: 92-97.
- Wang X, Cai J, Jiang D, Liu F, Dai T, Cao W, 2011. Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. Journal of Plant Physiology, 168 (6): 585-593.
- Xu X Q, Beardall J, 1997. Effect of salinity on fatty acid composition of a green microalga from an antarctic hypersaline lake. Phytochemistry, 45 (4): 655-658.
- Yuan L, Liu X, Luo M, Yang S, Wu K, 2013. Involvement of Histone Modifications in Plant Abiotic Stress Responses. Journal of Integrative Plant Biology, 55 (10): 892-901.
- Yurdcu S, 2019. Bazı Tıbbi Adaçayı (*Salvia Officinalis* L.) Hatlarının Kuraklık Stresine Dayanıklılığının Belirlenmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Zervoudakis G, Salahas G, Kaspiris G, Konstantopoulou E, 2012. Influence of Light Intensity on Growth and Physiological Characteristics of Common Sage (*Salvia officinalis* L.). Brazilian Archives of Biology and Technology, 55 (1): 89-95.