

Araştırma Makalesi

***Spergularia marina* (L.) Griseb. (Caryophyllaceae)' da Tuzluluğun**

Prolin ve Klorofil Pigmentleri Üzerine Etkisi

Adnan Akçin^{a}, Erkan Yalçın^b, Tülay Aytaş Akçin^b*

^a *Department of Crop and Animal Production, Programme of Seeding, Suluova Vocational School, Amasya University, Suluova, Amasya, Turkey.*

^b *Department of Biology, Faculty of Art and Science, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey*

Öz

Bu çalışmada, Samsun Bafra Kızılırmak Deltası'nda halofit bir bitki olan *Spergularia marina* (L.) Griseb. türünde farklı tuz konsantrasyonlarında klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, toplam karotenoid ve prolin değerlerindeki değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle Kızılırmak Deltası'nda *Spergularia marina* türünün yayılış gösterdiği farklı alanlardan toprak örnekleri alınmıştır. Bu örneklerin tuzluluk değerleri EC metre ile dS/m olarak ölçülmüştür. Çalışma alanında 9 farklı tuzluluk değerine sahip lokalite belirlenmiş ve bu alanlardan *Spergularia marina* örnekleri toplanmıştır. Yaprak örneklerinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil, toplam karotenoid ve prolin değerleri spektrometrik olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, en düşük tuzluluk değerine sahip lokalitelerden toplanan *Spergularia marina* örneklerinde klorofil pigmentleri ve toplam karotenoid değerleri en yüksek değerde tespit edilmiştir. Artan tuzluluk seviyelerine bağlı olarak karotenoid ve pigment içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Tuzluluktan en çok etkilenen klorofil b pigmenti olmuştur. Buna bağlı olarak toplam klorofil miktarı da tuzluluk seviyesindeki artışla azalmıştır. Bununla birlikte prolin miktarı yüksek tuzlulukta önemli derecede artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bafra Kızılırmak Deltası, fotosentetik pigmentler, tuz stresi, Türkiye

Effect of Salinity on Proline and Chlorophyll Pigments in *Spergularia marina* (L.) Griseb. (Caryophyllaceae)

Abstract

In this study, *Spergularia marina* (L.) Griseb. which is halophyte plant growing in Samsun, Bafra, Kızılırmak Delta was evaluated for alterations at chlorophyll a, b, total chlorophyll, total carotenoid and prolin content at different salinity concentrations. For this reason, the soil samples were taken from different localities of the Kızılırmak Delta. The salinity levels of this soil samples were measured by EC meter (electrical conductivity meter) as dS/m. Nine different localities were determined in this study area and *Spergularia marina* samples were collected from this localities. Chlorophyll a, b, total chlorophyll, total carotenoid and prolin contents of the leaves were determined by spectrophotometry. According to the results

* Corresponding author:
e-mail: adnanakcin@hotmail.com

Received: 12.11.2016

Accepted: 10.02.2017

of this study, the highest contents of chlorophyll and total carotenoid pigments were determined at the lowest salinity levels. It was determined that the contents of chlorophyll and carotenoid pigments were decreased by increasing salinity levels. The content of chlorophyll b was the most sensitive pigment to salinity. Accordingly, the content of total chlorophyll was decreased with increase in salinity level. However, the content of proline significantly increased at the high salinity.

Key Words: Bafra Kızılırmak Delta, photosynthetic pigments, salt stress, Turkey

Giriş

Bitkiler hayat döngüleri boyunca toprak ve atmosferik su eksikliğine sürekli maruz kalırlar. Birçok tarımsal alanlarda, bitkiler hem toprak tuzluluğu hemde diğer çevresel kısıtlamalarla yüz yüze gelir. Tahminlere göre yeryüzünün %6'sı ve sulanan alanların %30'unda şimdiden tuz problemi görülmektedir [1]. Kurak ve yarı kurak alanların genişlemesi, yoğun sulama, gübreleme ve yoğun buharlaşma nedeniyle, çözünen tuz miktarının toprakta birikiminin artışından dolayı tuzlanma artmaktadır [2]. Topraklarda tuzlar genellikle klorürler, sülfatlar, nitratlar, karbonatlar, bikarbonatlar ve boratlar şeklinde bulunurlar. Buna karşın doğada en çok karşılaşılan tuz tipi NaCl'dür [3]. Bitkiler bu tuz formlarından en çok NaCl stresiyle başetmek zorundadırlar.

Tüm dünyada artan nüfusa bağlı olarak ortaya çıkan besin ihtiyacının yanı sıra, tarımsal topraklardaki tuzluluk problemi giderek artan çevresel bir stres haline gelmiştir [4]. Yeryüzündeki toprakların büyük bir kısmında tuzluluktan dolayı tarım yapılamamaktadır. Özellikle de ülkemiz gibi kurak ve yarı kurak iklim kuşağında bulunan bölgelerde sulamanın kontrolsüz ve bilinçsiz bir şekilde yapılması ve su kaybının yüksek olması gibi etkenler nedeniyle, verimli olan arazilerde bile drenaj sorunları ile birlikte tuzluluk problemi ortaya çıkmıştır [5]. Toprakta tuz konsantrasyonunun artmasıyla birlikte bitkinin topraktan su alımı güçleşmekte, toprağın yapısı bozularak, bitki gelişimi yavaşlamakta ve hatta durdurulmaktadır [6].

Tuzluluk, tuza duyarlı bitkilerin büyümesini ve gelişmesini sınırlandıran çevresel bir stres olmasına rağmen, yüksek NaCl seviyelerinde bile halofit bitkilerin büyümesi devam eder [7]. Halofitler enerji metabolizmalarını değiştirerek tuzluluğa adapte olma yeteneğine sahip bitkilerdir [8]. Halofitlerin tuzcul ortamlarda hayatlarını sürdürmelerini sağlayan en önemli özellikleri, tuz konsantrasyonunu seyreltik bir seviyede tutmalarını sağlayan sukkulentlik, su alımını sağlamak için yüksek bir iyon konsantrasyonu ve iyon alım kapasitesine sahip olmaları, su alımına devam etmeyi sağlayacak organik bileşiklerin sentezlemeleri ve biriktirmeleridir [9].

Tuz stresine maruz bırakılan bitkilerde klorofil ve toplam karotenoid miktarları azalmaktadır. Aghaleh ve ark. [10] yaptıkları çalışmada, tuz stresine maruz kalan *Salicornia persica* Akhani ve *Salicornia europaea* L. halofit bitkilerinde klorofil a, b ve karotenoid içeriklerinin dikkat çekecek bir şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Düşük tuzluluğun klorofil içeriğini artırırken, yüksek tuzluluğun klorofillerin moleküler yapısını bozduğu tespit edilmiştir [9]. Yakıt ve Tuna [11], tuz stresi altında mısır bitkisi yapraklarında toplam karotenoid ve klorofil içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. Bazı *Cucumis* türlerinde ve pamuk çeşitlerinde ise klorofil miktarının düştüğünü bildirmişlerdir [12].

Tuza toleranslı organizmaların tuzluluk stresine verdiği cevap, ozmotik koruyucu bileşiklerin birikimi ve sentezini de içermektedir [13]. Amino asit olarak bilinen prolin ise, membran kararlılığına yardımcı olan ozmolitlerden biridir [14,15]. Prolin, bitkilerde su noksanlığı, soğuk, ağır metaller, sıcaklık ve özellikle tuzluluk gibi faktörlere maruz kaldığında ortaya çıkan ilk fizyolojik tepkidir. Prolinin hücre içindeki yoğunluğunun artması, strese karşı indikatör olması yanında, bitkinin strese karşı savunma mekanizmasını harekete geçiren metabolik olayların ilk basamağını içermektedir [16]. Kumar ve ark. [17], şeker ve prolin miktarları ile tuz konsantrasyonları arasında önemli ilişkilerin olduğunu belirlemişlerdir. Prolin sentezini artırmak amacıyla oluşturulan transgenik bitkilerin de, tuzluluğa karşı daha dirençli hale geldiği rapor edilmiştir [18].

Bir kıyı şeridi halofit bitkisi olan *Spergularia marina* bütün Avrupa, İngiltere ve Kuzey Amerika'da görülmektedir [19]. Kuzey yarımkürede yayılış gösteren bu bitki ülkemizde de geniş bir yayılışa sahiptir [20]. Cheeseman ve ark [21], *S. marina*'nın tuzluluk toleransı üzerinde yapmış oldukları bir araştırmada, bitkinin kökündeki sodyum ve potasyum miktarlarının tuzluluktan daha az etkilendiğini, bununla birlikte gövdede artan tuzlulukla beraber, bu iyonların da konsantrasyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Keiffer ve Ungar [22] ise, *S. marina* türüne ait bitkilerin topraktaki aşırı tuzdan kaçınmak için, daha erken bir kök gelişimi gösterdiğini rapor etmişlerdir. Akçin ve ark. [23], *S. marina* üzerine yaptıkları anatomik bir çalışmada, artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak bitkinin kök, gövde ve yaprak anatomilerinde bazı değişiklikler tespit etmişler ve bu anatomik adaptasyonların bitkinin su kaybını azaltmasında ve tuzluluğa karşı koymasında etkili bir strateji olabileceğini vurgulamışlardır. Yapılan araştırmalar, *S. marina*'nın küçük yapılı bir bitki olması ve

uzun süren bir tohum üretim dönemi geçirmesi nedeniyle, tuzlu toprakların tekrar tarım yapılabilir hale getirilmesinde oldukça önemli bir yere sahip olduğunu vurgulamaktadır [22]. Bununla beraber, tuzluluğun *S. marina*'daki pigment içeriği ve prolin birikimi üzerindeki etkilerini ortaya koyan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma, bu eksikliği giderme amacı ile yapılmış ve artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak *S. marina*'daki klorofil, karotenoid ve prolin miktarlarındaki değişim ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeyinde Orta Karadeniz bölgesinde yer alır. Bu bölge Euro-Siberian fitocoğrafik bölgenin Euxin provensine dahildir (Şekil 1).

Bitki materyali ve toprak tuzluluğunun belirlenmesi

S. marina'ya ait bitkiler Samsun Kızılırmak Delta'sında yayılış gösterdikleri farklı lokalitelerden 2010-2011 yılında çiçeklenme periyodunda toplanmıştır. Bitkilerin yayılış gösterdiği 28 ayrı lokalite belirlenmiş, bitki örneklerinin her biri kök zonundan alınarak laboratuvara getirilmiş ve +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

Bafra Kızılırmak deltasında yayılış gösteren *S. marina*'nın tuz profilini çıkarmak için farklı noktalardan 20 cm derinliğe kadar toprak profil örnekleri alınmıştır. Bu toprak örneklerinin tuzluluğu Hanna 215 model EC metre ile ölçümü 25 °C' ye (EC₂₅) kalibre edilerek yapılmıştır [24]. Bu tuz profilinde düşük EC değerine sahip 3 lokalite (2.0, 3.8 ve 4.2), orta EC değerine sahip 3 lokalite (9.1, 9.3 ve 10.7) ve yüksek EC değerine sahip 3 lokalite (18.4, 23.4 ve 26.2) seçilmiş, böylece 9 farklı lokalite belirlenmiştir. Tuzluluk

değerleri belirlenen bu lokalitelerden *S. marina* örnekleri toplanmıştır. Düşük, orta ve yüksek tuzluluk değerleri arazideki

tuzluluk değerlerine göre derecelendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanını gösteren Kızılırmak Deltası, Türkiye/Samsun

Klorofil ve karotenoid miktarının belirlenmesi

Klorofil miktarı tayini için 200 mg yaprak 2 ml. % 100 aseton içinde ezilerek ekstre edilmiştir. Belirtilen yönteme uygun olarak hazırlanan ekstraktların Termo Helios tipi spektrofotometrede 645, 662 ve 652 nm dalga boylarındaki maksimum absorpsiyon değerleri ölçülmüştür. Klorofil a, b ve toplam klorofil miktarları, Lichtenthaler ve Wellburn [25] tarafından aşağıda verilen eşitliklerin kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Karotenoid miktarları ölçümleri ise 470 nm dalga boyunda yapılmış ve aynı yönteme göre hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil a (Kla)} = (11.75X_{A_{662}} - 2.35X_{A_{645}}) \times 10 / 200 \text{ mg TA}$$

$$\text{Klorofil b (Klb)} = (18.61X_{A_{645}} - 3.96X_{A_{662}}) \times 10 / 200 \text{ mg TA}$$

$$\text{Toplam klorofil} = A_{652} \times 27.8 / 200 \text{ mg TA}$$

$$\text{Toplam karotenoid} = (1000X_{A_{470}} - 2.27X_{Kl a} - 81.4X_{Kl b} / 227) \times 10 / 200 \text{ mg TA}$$

Prolin miktarının belirlenmesi

Prolin ekstraksiyonu, taze yaprak örneklerinden 0,5 g materyal kullanılarak yapılmıştır. 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 mmol prolin içeren standartların absorbans değerleri 520 nm dalga boyunda okutulmuş bu absorbans değerlerine göre prolin standart eğrisi oluşturulmuştur. Bu standart

eğriye göre prolin miktarı mmol olarak hesaplanmıştır [26].

Sonuçların değerlendirilmesi

Tüm denemeler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Her veri üç tekrarın ortalaması \pm standart sapma olarak verilmiştir. Her sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık $P < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir. Deneme sonuçlarının değerlendirilmesinde SPSS paket programından yararlanılmıştır [27].

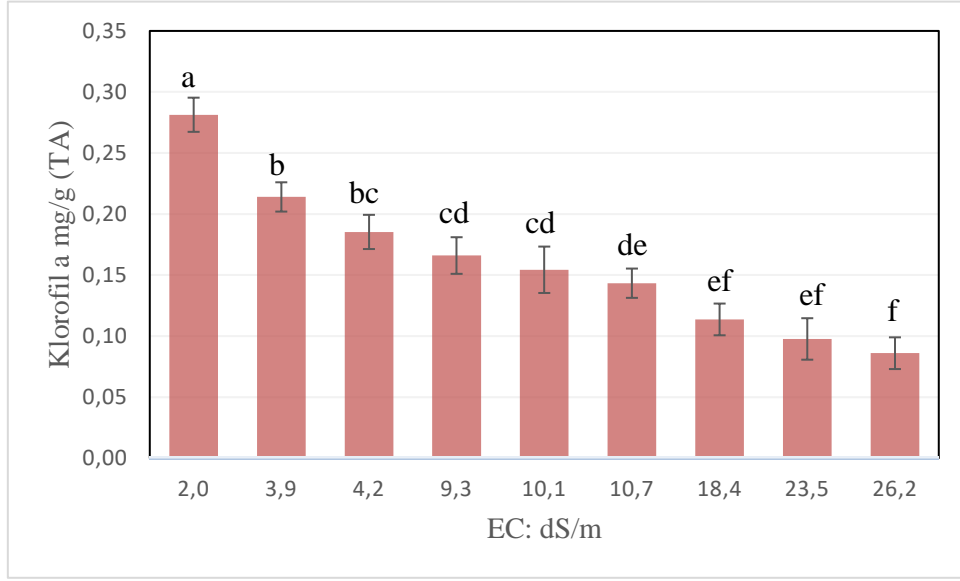
Bulgular

Düşük, orta ve yüksek tuzlulukta yetişen *S. marina*'nın klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, toplam klorofil, toplam karotenoid ve prolin değerleri ile ilgili yapılan analiz sonuçları Şekil 2,3,4,5,6 ve 7'de verilmiştir.

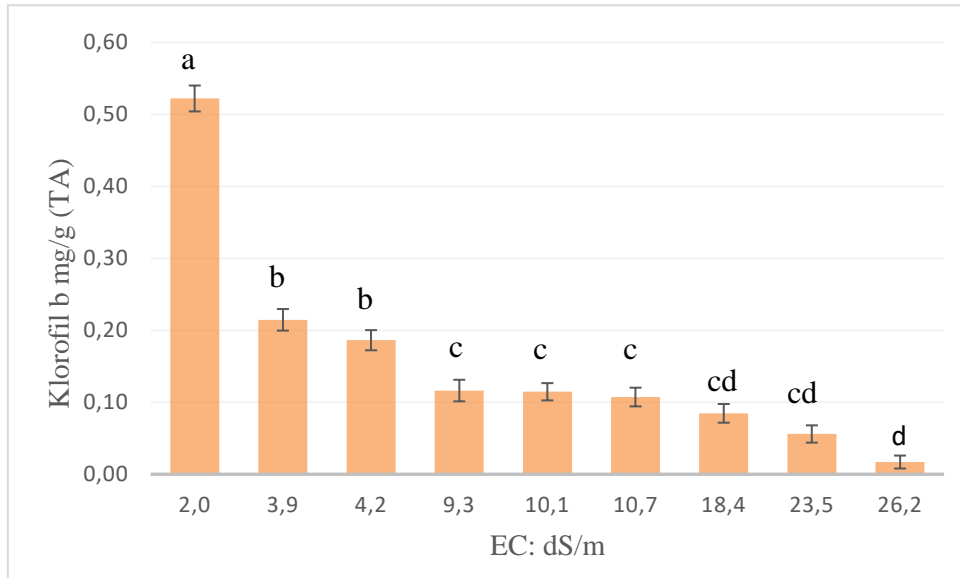
Tuzluluk değerinin en düşük olduğu lokalitelerde, fotosentetik pigment içeriklerinin en yüksek değerde olduğu bulunmuştur. Tuzluluk değeri arttıkça fotosentetik pigment içeriği önemli ölçüde azalmıştır. Tuzluluk artışına bağlı olarak klorofil a değerlerinde dereceli azalma olurken, klorofil b değerlerinde ise ani bir düşüş görülmektedir (Şekil 2 ve 3; $P < 0.05$). Tuzluluk arttıkça klorofil a % 69.4 oranında azalma gösterirken, klorofil b % 96.8 oranında etkilenmiştir. Tuz stresinden klorofil b, en çok etkilenen fotosentetik

pigment olmuştur. EC değeri 26.2 dS/m olarak belirlenmiş olan en yüksek tuzluluk değerine sahip olan lokalitede klorofil b en düşük değeri göstermiştir. Klorofil a/b oranı ilk 8 lokalitede tuzluluk artışına bağlı olarak önemli bir değişiklik göstermezken, en yüksek tuzluluğa sahip olan 9. lokalitede ani bir artış olmuştur (Şekil 4). Toplam klorofil miktarı, tuzluluğun en düşük olduğu lokalitede maksimum değerde iken, tuzluluk arttıkça toplam klorofil içeriği dereceli olarak azalmaktadır (Şekil 5). Toplam klorofil miktarı tuzluluk stresine bağlı olarak % 87.2 oranında azalma göstermektedir. Toplam karotenoid miktarının da diğer fotosentetik pigmentler gibi tuzluluğun düşük olduğu lokalitede en yüksek değerde olduğu görülmektedir (Şekil 6). Tuzluluk değeri arttıkça karotenoid değerleri azalmaktadır. Karotenoid değerinin % 84 oranında azalarak, tuz stresinden önemli miktarda etkilenen diğer bir fotosentetik pigment olduğu görülmektedir.

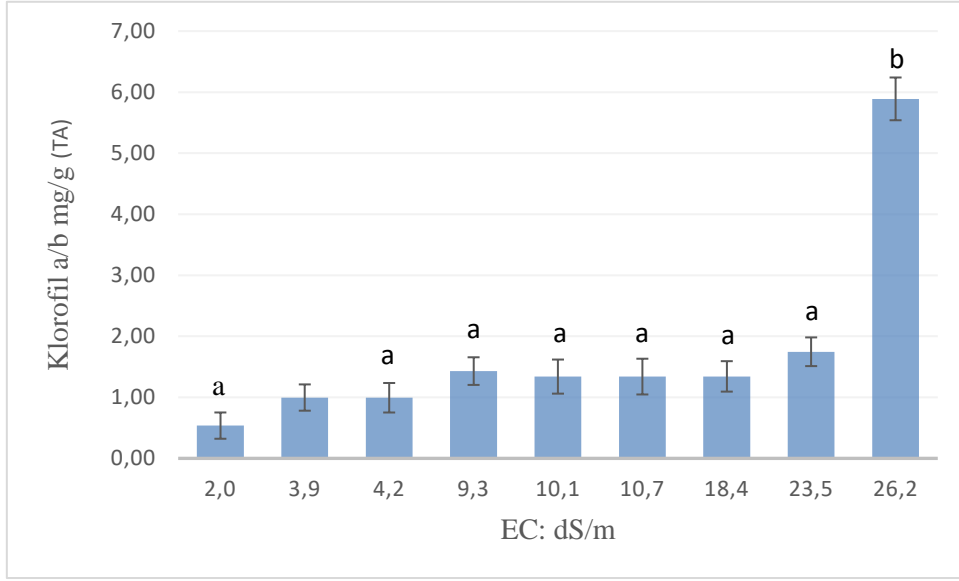
Prolin miktarının ise tuzluluk artışı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. En düşük tuzluluk değerine sahip lokalitede prolin değeri en düşük miktardadır. Tuzluluk değeri arttıkça fotosentetik pigmentlerin aksine, prolin değerinde artış olmaktadır (Şekil 7). Tuz stresine bağlı olarak prolin değerindeki artış % 69.9 oranında olmuştur. Tuzluluk şartları arttıkça *Spergularia marina* daha fazla prolin üretmiştir.



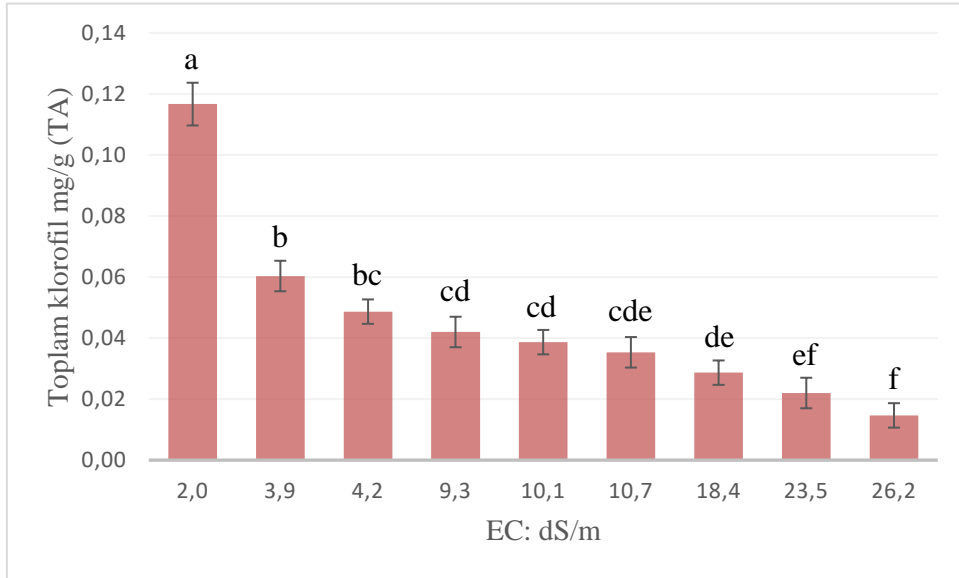
Şekil 2. *Spargularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak klorofil a değişimi.



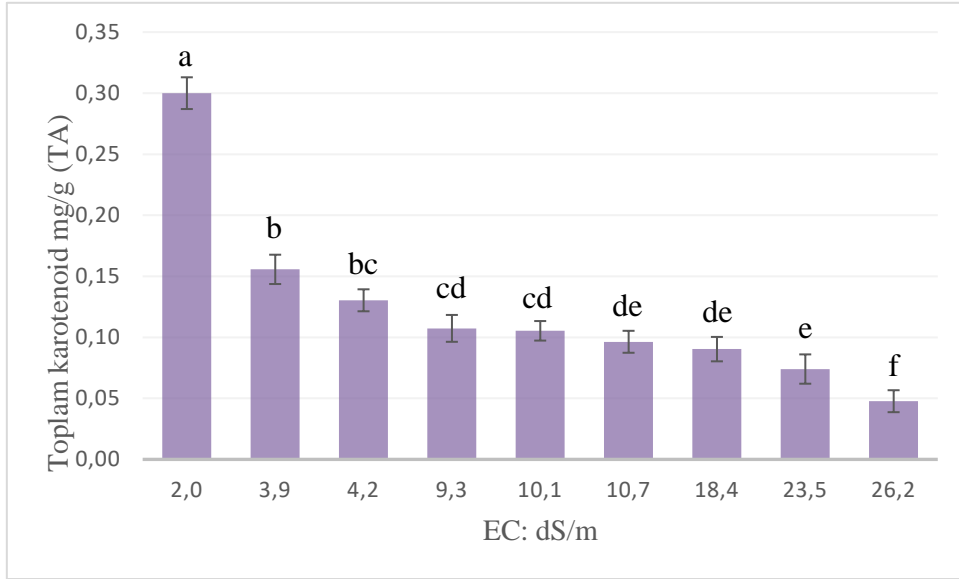
Şekil 3. *Spargularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak klorofil b değişimi.



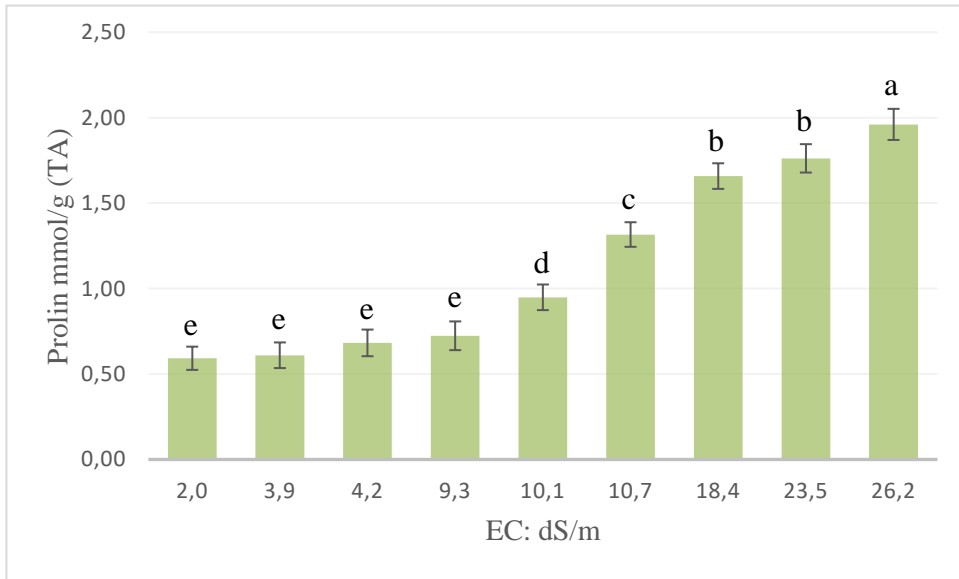
Şekil 4. *Spargularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak klorofil a/b değişimi.



Şekil 5. *Spargularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak toplam klorofil değişimi.



Şekil 6. *Spergularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak toplam karotenoid değişimi.



Şekil 7. *Spergularia marina* 'nın tuzluluk stresine bağlı olarak prolin değişimi.

Tartışma

Bu araştırma *S. marina*'da fotosentetik pigmentler ve prolin miktarlarının, tuzluluk değerlerindeki artışına bağlı olarak değişimini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Yapılan çalışmada toprak tuzluluğundaki artışa bağlı olarak fotosentetik pigmentlerde önemli miktarlarda azalma olduğu görülmüştür. Halofit *Salicornia prostrata* Pall. ve *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* üzerinde yapılan bir çalışmada da, artan tuzluluk şartları altında fotosentetik pigmentlerin azaldığına dikkat çekilmektedir [28]. *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco bitkisinde de, tuz konsantrasyonuna ve uygulama süresine bağlı olarak klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarlarında belirli oranlarda azalma tespit edilmiştir [29]. Ayçiçeği (*Helianthus* sp.) bitkisinde tuz stresine bağlı olarak klorofil biyosentezi ve bozulması üzerine yapılan başka bir araştırmada, tuz konsantrasyonu arttıkça klorofil miktarının azaldığı ortaya konulmuştur [30]. Bununla birlikte buğday (*Triticum* sp.) yapraklarında [31] ve 18 çeltik genotipinde [32] yüksek tuzluluk şartları altında klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğinde kontrole oranla azalma olduğu bildirilmektedir. Morsy ve ark. [33] ise, çöl bitkilerinde klorofil a, b ve karotenoid içeriğinin yaz aylarında dikkati çekecek derecede azaldığını ifade etmektedir. Artan tuz konsantrasyonlarının, arpa fidelerinde de fotosentetik pigmentlerin (klorofil a, klorofil b ve karotenoidler) miktarında azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir [34]. Bizim bulgularımız da, yüksek tuzluluk şartları altında genellikle fotosentetik pigment miktarlarının azaldığını gösteren bu verilerle uyum içerisindedir.

Tuza toleransta klorofil a'daki artışın klorofil b'ye oranla daha önemli olarak değerlendirilebileceği bildirilmiştir

[31]. Hussein ve ark. [35] ise, farklı tuz uygulamalarının börülce bitkisinde klorofil a, b ve karotenoid miktarında artışa, klorofil a/b oranında ise azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir. Benzer bir çalışma tropik çim bitkilerinde yapılmıştır. Bu çalışma sonucuna göre klorofil a/b oranı artan farklı tuzluluk seviyelerinde farklılık göstermesine rağmen klorofil a içeriğinin klorofil b'den daha fazla azalmasına bağlı olarak klorofil a/b oranı azalmıştır [36]. Buna karşın tuzluluk şartları altında klorofil a/b oranının arttığını gösteren çalışmalar da vardır. Buğday genotiplerinde yapılan bir çalışmada Seri-82 ve Ç-1252'de klorofil a/b oranında artış olurken diğer buğday tiplerinde azalma görülmüştür [31]. Tarafımızdan yapılan bu çalışmada da klorofil a/b oranı pek farklılık göstermezken klorofil b'nin en yüksek tuzlulukta ani düşüşüne bağlı olarak klorofil a/b oranının yükseldiği belirlenmiştir.

Santos [29] klorofil içeriğindeki azalmanın, klorofilaz enzim aktivitesindeki artıştan veya klorofil sentezindeki azalmadan kaynaklanabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte, 21 gün farklı tuz konsantrasyonu uygulamalarına maruz bırakılan etiyole ayçiçeği (*H. annuus* L. var. SH 222) fidelerinde klorofil sentezindeki azalmanın, klorofilaz enzimi ile degradasyondan ziyade, klorofilin öncüsü olan ALA (5-aminolevulinik asit) miktarındaki azalmadan kaynaklanabileceği de ileri sürülmüştür [29].

Tuz stresi altında bitkilerin yaprak dokusundaki toplam karotenoid içeriğinin genellikle azaldığı bildirilmiştir [10]. Diğer taraftan tuz stresinin karotenoid içeriğinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını bildiren çalışmalar da vardır [30]. Tarafımızdan yapılan bu araştırma sonuçlarına göre, tuzluluk değerleri arttıkça karotenoid değerlerinin azaldığı görülmüş ve bizim bulgularımız da, tuz stresinin toplam karotenoid içeriğini azalttığını

gösteren daha önceki çalışmaları desteklemiştir.

Sonuçlarımız, halofit *S. marina*'da tuzluluk değerlerinin artışıyla birlikte prolin miktarında önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Yüksek tuzluluk değerine sahip lokalitede yetişen bitkiler dikkat çekecek miktarda prolin üretmişlerdir. Birçok bitkinin tuzlu şartlarda toksik olmayan ayrıca koruyucu ozmolit olarak görev yapan prolin biriktirdiği kanıtlanmıştır [37]. Ashraf ve Haris [38]'de, tuz stresinin bitkilerde ozmotik basınç ve iyon dengelerinin bozulması sonucu prolin miktarını arttırdığını bildirmektedirler. Tuz stresi altında tüm bitki dokularındaki prolin konsantrasyonunun kontrol bitkilerine göre 100 kat artabildiği ve tuz stresine toleranslı bitkilerin seleksiyonunda prolin birikiminin bir parametre olarak kullanılabileceği rapor edilmiştir [4, 39]. Yapılan araştırmalar, tuza toleranslı ve hassas türlerde prolin birikiminin farklılık gösterebildiğini de ortaya koymuştur [8, 40]. Lutts ve ark. [45] tuza hassas pirinç genotiplerinde biriken prolin miktarının, tuza toleranslı türlere göre daha fazla olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde Poustini ve ark. [42]'da prolin birikiminin tuza toleranslı 19 ekmeçlik buğday çeşidinde 5.2 kat artarken, tuza hassas çeşitlerde 13.8 kat arttığını tespit etmişlerdir. Moghaieb ve ark. [43] yüksek oranda sukkulentliğe sahip türlerin, sukkulentliği az olan türlere göre daha az prolin ürettiğini belirtmektedirler. Aynı görüşü Akçin ve Yalcin [28]'da vurgulamışlardır. Bununla birlikte bitki dokularında prolin birikiminin sadece toprak tuzluluğundan kaynaklanmadığı, aynı zamanda kuraklık, ağır metaller, besin kıtlığı, atmosferik kirlenme gibi stres durumlarında da arttığı bildirilmiştir [44]. Araştırmalar, prolin birikiminin bitkinin çeşidine, stresin süresine ve şiddetine bağlı olarak değiştiğini ve miktarının toprağın tuzluluk derecesi ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir [45].

Toprak çözeltisinde tuz konsantrasyonunun artması ve su potansiyelinin azalmasının, bitkilerde morfolojik, anatomik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde pek çok mekanizmayı kapsayan değişikliklere neden olduğu tespit edilmiştir [2,9]. Bu çalışma sonucuna göre, elde edilen fizyolojik bulgular, tuzluluğa bağlı olarak istatistiki olarak belirgin gruplar oluşturmamıştır. Buna bağlı olarak, *S. marina*'nın tuz stresine baş etmede fizyolojik mekanizmaları optimum bir şekilde kullanırken, düşük maliyetteki diğer mekanizmaları daha etkin bir şekilde kullandığı düşünülmektedir.

Sonuç

Halofit bitkilerin en önemli özellikleri, tuz oranı yüksek olan topraklarda yaşayabilmeleri ve bunun için özel adaptasyon mekanizmaları geliştirmiş olmalarıdır. Bitkinin sukkulentliğe, anatomik ve fizyolojik uyum mekanizmalarına sahip olması tuzluluk stresine baş etmede büyük avantaj sağlar. Yapılan çalışma sonucunda *S. marina*'da klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, toplam klorofil, toplam karotenoid ve prolin miktarlarında farklı tuz konsantrasyonlarına göre istatistiksel olarak gruplara ayrılma tespit edilememiştir. Karotenoid ve pigment miktarlarında dereceli azalma görülürken, prolin miktarında dereceli artış olmuştur.

Ülkemizde halofit bitkiler ile ilgili yapılan fizyolojik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Türkiye'de geniş bir yayılış alanına sahip ve halofit bir bitki olan *S. marina*'da tuzluluk artışına bağlı olarak, fotosentetik pigment ve prolin içeriğindeki değişimler incelenerek bu konudaki eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Bu araştırma sonucu elde edilen bulguların, bu bitkinin farklı bitkilerde tuza toleransı sağlayan değişik mekanizmaların anlaşılmasında önemli olduğu ve bu konuda

daha sonra yapılacak araştırmalara katkı sağlayacağı inancındayız.

Kaynaklar

[1] Munns R, Tester M, 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Biology, 59: 651-681.

[2] Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C, 2008. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany, 125:1-10.

[3] Tal M, 1983. Selection for stress tolerance. In "Handbook of Plant Cell Culture, Volume I" in: Evans DE, Sharp WR, Ammirato PV, Yamada Y, editors. Collier Macmillon Publishers, London, 461-487.

[4] Munns R, 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytol, 167: 645-663.

[5] Sönmez B, 1990. Tuzlu ve sodyumlu topraklar, T.O.K.B. Köy Hizmetleri, şanlı Urfa Arař. Enst. Müd. Yayınları, 60-62.

[6] Ekmekçi E, Apan M, Kara T, 2005. Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(3):118-125.

[7] Greenway H, Munns R, 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31: 149-190.

[8] Winicov I, Bastola DR, 1997. Salt tolerance in crop plants: new approaches through tissue culture and gene and gene regulation. Acta Physiol. Plant, 19: 435-449.

[9] Ashraf M, 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199: 361-376.

[10] Agastian P, Kingsley SJ, Vivekanandan M, 2000. Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica, 38: 287-290.

[11] Yakıt S, Tuna AL, 2006. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'un etkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1): 59-67.

[12] Gupta SD, 2007. Plasma membrane ultrastructure in embryogenic cultures of orchardgrass during NaCl stress. Biologia Plantarum, 51 (4): 759-763.

[13] Yancey ME, Clark SC, Hand RD, Bowlus Somero GN, 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems, Science, 217: 1214 – 1222.

[14] Hanson AD, Burnet M, 1994. Evolution and metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in higher plants. In Biochemical and cellular mechanisms of stress tolerance in plants, editors J.H. Cherry, 291- 301.

[15] Stumpf DK, 1984. Quantitation and Purification of Quaternary Ammonium Compounds From Halophyte Tissue Received, Plant Physiol, 75: 273-274.

[16] Iba K, 2002. Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approaches of gene engineering for temperature tolerance. Annu. Rev. Plant Biol, 53: 225-245.

[17] Kumar SG, Reddy AM, Sudhakar C, 2003. NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. Plant Science, 165: 1245-1251.

[18] Hong Z, Lakkineni Zhang K, Verma Z, DPS, 2000. Removal of feedback inhibition of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. Plant Physiol. 122: 1129-1136.

[19] Cheeseman JM, Enkoji C, 1984. Proton efflux from roots of intact *Spergularia marina* plants. J. Exp. Bot, 35: 1048-1052.

[20] Davis, PH, 1967. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. In:

Ratter JA, Edinburgh: Edinburgh University Press, Vol. 2, p. 93-95.

[21] Cheeseman JM, Bloebaum P, Enkoji C, Wickens LK, 1985. Salinity tolerance in *Spergularia marina*. Can J Bot 63: 1762–1768.

[22] Keiffer CH, Ungar IA, 2002. Germination and establishment of halophytes on brine- affected soils. Journal of Applied Ecology, 39: 402–415.

[23] Akcin TA, Akcin A, Yalcin E, 2015. Anatomical adaptations to salinity in *Spergularia marina* (Caryophyllaceae) from Turkey. Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci, 85(2): 625–34.

[24] Soil Survey Staff, Soil survey laboratory manual. USDA-SCS National Soil Survey Center Soil Survey Investigations Report 42, Version 3. U.S. Government Printing Office, 732 N. Capitol Street, NW, Washington DC 20401, 1996.

[25] Lichtenthaler H, Wellburn AR, 1983. Determination of toplam carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans, 603: 591-593.

[26] Bates LS, Waldren RP, Teare ID, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil, 39: 205–207.

[27] SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). 1999: SPSS version 10.0, Wacker Drive, Chicago, Illinois 60606, USA.

[28] Akcin A, Yalcin E, 2016. Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). Braz. J. Bot, 39(1):101–106.

[29] Santos CV, 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturæ, 103: 93-99.

[30] Khavarinejad RA, Chaparzadeh N, 1998. The effects of NaCl and CaCl₂ on photosynthesis and growth of

alfalfa plants. Photosynthetica, 35: 461–466.

[31] Öncel İ, Keles, Y, 2002. Tuz stresi altındaki buğday genotiplerinde büyüme, pigment içeriği ve çözünür madde kompozisyonunda değişimler. C.Ü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi, 23 (2): 8-16.

[32] Ali Y, Aslam Z, Ashraf MY, Tahir GR, 2004. Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. International Journal of Environmental Science and Technology, 1 (3): 221-225.

[33] Morsy AA, Youssef AM, Mosallam HA, Hashem AM, 2008. Assessment of selected species along Alamein-Wadi El-Natrun desert road, Egypt. J. Appl. Sci. Res, 4(10): 1276-84.

[34] El-Tayeb M. A, 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45:215-224.

[35] Hussein MM, Balbaa LK, Gaballah, MS, 2007. Developing a salt tolerant cowpea using alpha tocopherol. J. App. Sci. Res, 3: 1234–1239.

[36] Kamal Uddin Md, Abdul SJ, Razi IM, Alamgir Hossain Md, RO, Anuar AR, 2011. Effect of salinity stress on nutrient uptake and chlorophyll content of tropical turfgrass species, AJCS, 5(6):620-629.

[37] Muthukumarasamy M, Gupta SD, Pannerselvam R, 2000. Enhancement of peroxidase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities by triadimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L. Biol. Plant, 43: 317-320.

[38] Ashraf M, Haris PJC, 2005. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science, 166:3-16.

[39] Hare PD, Cress WA, 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. Plant Growth Regul, 21: 79–102.

[40] Kafi M, Stewart WS, Borland AM, 2003. Carbohydrate and proline contents in leaves, roots and apices of salt-tolerant and salt-sensitive wheat cultivars. J. Plant Physiol, 50: 174–182

[41] Lutts S, Majerus V, Kinet JM, 1999. NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. Physiology Plant, 105: 450-458.

[42] Poustini K, Siosemardeh A, Ranjbar M, 2007. Proline accumulation as a response to salt stress in 30 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. Genet. Resour. Crop. Evol, 54: 925–934.

[43] Moghaieb REA, Saneoka H, Fujita K, 2004. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophyte plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*. Plant Sci, 166: 1345-1349.

[44] Siripornadulsil S, Traina S, Verma DP, Sayre RT, 2002. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. Plant Cell, 14: 2837- 2847.

[45] Yoshiba Y, Kiyosue T, Nakashima K, Yanaguchi-Shinozaki, KY, Shinozaki K, 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant Cell Physiol, 38(10): 1095-1102.