

Halofit *Salsola crassa*'nın Tohum Çimlenmesi Üzerine Tuzluluk, Sıcaklık ve Işığın Etkileri

Hakan Terzi¹, Mustafa Yıldız², Ünal Altuğ²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sultandağı Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Afyonkarahisar

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Afyonkarahisar
e-posta: hakanterzi81@gmail.com

Geliş Tarihi: 21.10.2016 ; Kabul Tarihi: 06.03.2017

Özet

Halofit bitki türlerinde tohum çimlenmesi özellikle ışık, sıcaklık ve tuzluluk gibi çevresel faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Halofit *Salsola crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine tuzluluk, sıcaklık ve ışık etkileşimlerine ilişkin herhangi bir literatür bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada *S. crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine 9 tuz konsantrasyonu (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 mM NaCl), 6 sabit sıcaklık (10, 15, 20, 25, 30 ve 35°C) ve fotoperiyodun (12 sa ışık: 12 sa karanlık ve sürekli karanlık) etkileri araştırılmıştır. En yüksek çimlenme yüzdeleri (%98-99) distile suda, 20 ve 25°C sıcaklık uygulamaları ve 12 saatlik fotoperiyotta elde edilmiştir. Tuz konsantrasyonundaki artış özellikle düşük ve yüksek sıcaklık uygulamalarında tohum çimlenmesinde belirgin bir azalışa neden olmuştur. Düşük (10 ve 15°C) ve yüksek (35°C) sıcaklık uygulamaları hem kontrol hem de tuz uygulamalarında tohum çimlenmesinde belirgin bir şekilde azalmaya neden olmuştur. Tüm sıcaklık uygulamalarında ve özellikle tuz uygulamalarında ışık ve karanlık uygulamaları arasında önemli farklılıklar bulunmuştur ($P < 0.05$). Bu sonuçlar, *S. crassa*'da çimlenme evresi stres toleransının ışık, sıcaklık ve tuzluluk etkileşimleri tarafından etkilendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, 800 mM NaCl konsantrasyonunda çimlenebilme yeteneğinden dolayı *S. crassa*'nın tuza oldukça toleranslı bir tür olduğu ileri sürülebilir.

Anahtar kelimeler

Çimlenme;
Işık;
Sıcaklık;
Salsola crassa;
Tuzluluk

Effects of Salinity, Temperature and Light on Seed Germination of Halophyte *Salsola crassa*

Abstract

Germination of halophyte plant species is controlled by several environmental factors, in particular light, temperature and salinity. There is no literature on the interactions of salinity, temperature and light on the seed germination of halophyte *Salsola crassa*. In this study, therefore, effects of 9 salt concentrations (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800 mM NaCl), 6 constant temperatures (10, 15, 20, 25, 30 and 35°C) and photoperiod (12 h light: 21 h darkness and continuous darkness) on seed germination of *S. crassa* were investigated. The highest germination percentages (98-99%) were obtained in distilled water, at 20 and 25°C temperature applications and 12 h photoperiod. An increase in salt concentration caused marked decrease in seed germination especially at low and high temperature treatments. Lower (10 and 15°C) and higher (35°C) temperature treatments caused marked inhibition in seed germination at both control and salt treatments. There were significant differences between the light and dark treatments in all temperature and salt treatments ($P < 0.05$). These results show that the stress tolerance of *S. crassa* at germination stage is affected by the interaction of light, temperature and salinity. However, it may be suggested that *S. crassa* is a highly salt tolerant species because of its ability to germinate in 800 mM NaCl concentration.

Keywords

Germination;
Light;
Temperature;
Salsola crassa;
Salinity

1. Giriş

Tuzluluk özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimi sınırlayan önemli çevresel faktörlerden biridir (Munns 2005). Bitkiler tuz stresine tolerans derecelerine göre glikofitler ve halofitler olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Halofitler aşırı sıcaklık değerlerinin olduğu, su kullanılabilirliğinin sınır olduğu ve toprak tuzluluğunun diğer bitkilerin yaşamını sınırlayacak seviyede olduğu habitatlarda doğal olarak yayılış gösteren bitkilerdir (Gul *et al.* 2013). Halofitlerin yaşam döngülerindeki en önemli basamak tohum çimlenmesidir (Ungar 1995). Doğal koşullarda halofitlerin tohum çimlenmesi özellikle ışık, sıcaklık ve tuzluluk gibi çevresel faktörler tarafından kontrol edilmektedir (Khan *et al.* 2002; Yıldız *et al.* 2008; Guma *et al.* 2010; Orlovsky *et al.* 2011; Wang *et al.* 2013, Ameixa *et al.* 2016). Bununla birlikte, halofitik türler tohum çimlenmesi sırasında tuz stresine toleransta farklılık gösterebilmektedir (Khan *et al.* 2002; Yıldız *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2015). Tuz stresi, çimlenmeyi engelleyici veya geciktirici ozmotik etkilerle veya tohum canlılığını etkileyen iyon toksisitesi ile tohum çimlenmesini inhibe etmektedir (Welbaum *et al.* 1990; Huang and Reddman 1995). Sıcaklık tohum çimlenme periyodunun belirlenmesinde ve türlerin dağılımında önemli rol oynamaktadır (Baskin and Baskin 1988). Halofitik türlerde tohum çimlenmesinin ışığa verdiği cevaplar farklılık göstermektedir. Işık bazı türlerde çimlenmeyi engellerken, bazı türlerin tohum çimlenmesi için gereklidir (Yıldız *et al.* 2008; El-Keblawy *et al.* 2011; Saeed *et al.* 2011).

Salsola türleri (Chenopodiaceae) yaygın olarak Orta ve Güneybatı Asya, Kuzey Afrika ve Akdeniz'in kurak bölgelerinde yayılış göstermektedir (Guma *et al.* 2010). *Salsola crassa* tek yıllık halofitik bir türdür ve birçok tür için toksik olan tuzlu topraklarda yayılış göstermektedir. Yıldız *et al.* (2014), *S. crassa*'nın fide evresinde aşırı tuzlu koşulları (1.5 M NaCl) tolere edebilen bir tür olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, *Salsola vermiculata* (Guma *et al.* 2010), *Salsola ferganica* (Wang *et al.* 2013), *Salsola affinis* (Wei *et al.* 2008) ve *Salsola ikonnikovii* (Xing

et al. 2013) gibi türlerin tohum çimlenmesi üzerine bazı çevresel stres faktörlerinin etkileri incelenmiş olmasına karşın *S. crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine çevresel faktörlerin etkilerinin incelendiği bir çalışma mevcut değildir. Bu nedenle, bu çalışmada laboratuvar koşullarında *S. crassa* tohum çimlenmesi üzerine farklı NaCl konsantrasyonları (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 mM), sıcaklık uygulamaları (10, 15, 20, 25, 30 ve 35°C) ve ışığın (12 saat fotoperiyot ve sürekli karanlık) etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Salsola crassa tohumları doğal yayılış gösterdiği Tuz Gölü'nün Batısındaki (35°36'K, 33°09'D) tuzlu topraklardan 2014 yılı Kasım ayı içerisinde toplanmıştır. Bu bölgedeki ortalama yıllık sıcaklık 11.7°C, en soğuk (Ocak) ve en sıcak (Temmuz) aylardaki ortalama sıcaklıklar sırasıyla -3.9°C ve 30.2°C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 26.6 kg/m²'dir.

Tohumların çimlenme oranını arttırmak için periant uzaklaştırılmıştır. Fungal enfeksiyonun önlenmesi için tohumlar %1'lik sodyum hipoklorür çözeltisi ile 20 dakika muamele edildikten sonra 3 kez steril distile su ile yıkanmıştır. Çimlenme testleri, 5 mL NaCl çözeltileri (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 mM) ile ıslatılmış iki kat filtre kağıdı bulunan 9 cm çapındaki steril plastik petri kaplarında gerçekleştirilmiştir. Literatür çalışmaları da dikkate alınarak, ön çalışmalarda 0-2000 mM NaCl konsantrasyon aralığı taranmış ve 800 mM'ın üzerinde çimlenmenin olmadığı gözlenmiştir. Evaporasyonla su kaybının önlenmesi için her bir petri sıkıca parafilm ile kapatılmıştır. Her birinde 25 tohum bulunan 4 tekrarlı petri kapları farklı sıcaklık uygulamaları (10, 15, 20, 25, 30 ve 35°C), 12 saat fotoperiyot (250 µmol foton m⁻² s⁻¹) veya sürekli karanlık uygulamalarında 14 gün inkübe edilmiştir. Sabit sıcaklık değerleri, halofit bitki türleri için literatürde kullanılan değerlere göre belirlenmiştir. On dört gün, 10-35°C sıcaklık uygulamalarında maksimum çimlenmenin belirlendiği süredir. Çimlenen tohumlar 12 saat fotoperiyot

uygulamasında iki güne bir, karanlık uygulamasında ise 14. günün sonunda kaydedilmiştir.

Çimlenme oranı, Timson's indeksi kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Çimlenme hızı} = \Sigma G/t$$

"G" iki gün arayla alınan çimlenme yüzdesini, "t" ise toplam çimlenme süresini ifade etmektedir (Khan and Ungar 1984).

Varyans homojenitesini sağlamak için istatistiksel analizlerden önce çimlenme verilerine *arcsin* dönüşümü uygulanmıştır. Veriler SPSS ver.17.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Çimlenme üzerine tuzluluk, sıcaklık ve ışık

uygulamalarının etkisi varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Tuzluluk ve sıcaklık uygulamalarındaki çimlenme yüzdesi ortalamaları arasındaki önemli farklılıklar ($P < 0.05$) Bonferroni testi kullanılarak belirlenirken, ışık ve karanlık uygulamaları arasındaki önemli farklılıklar Student-T testi kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

Üç yönlü ANOVA analizleri *S. crassa* tohum çimlenmesinin tuzluluk ($F=459.54$, $P < 0.0001$), sıcaklık ($F=141.959$, $P < 0.0001$), ışık ($F=1.12$, $P < 0.0001$) ve bu faktörlerin etkileşimleri tarafından önemli düzeyde ($P < 0.0001$) etkilendiğini göstermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. *Salsola crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine sıcaklık, tuzluluk, fotoperiyot ve etkileşimlerinin etkileri için varyans analizi

Değişken	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri
Sıcaklık (S)	45155,296	5	9031,059	141,959	0.0001
Tuz (T)	233878,074	8	29234,759	459,541	0.0001
Işık (I)	71456,333	1	71456,333	1,123E3	0.0001
S * T	12037,037	40	300,926	4,730	0.0001
S * I	19143,444	5	3828,689	60,183	0.0001
T * I	7697,333	8	962,167	15,124	0.0001
S * T * I	11632,889	40	290,822	4,571	0.0001

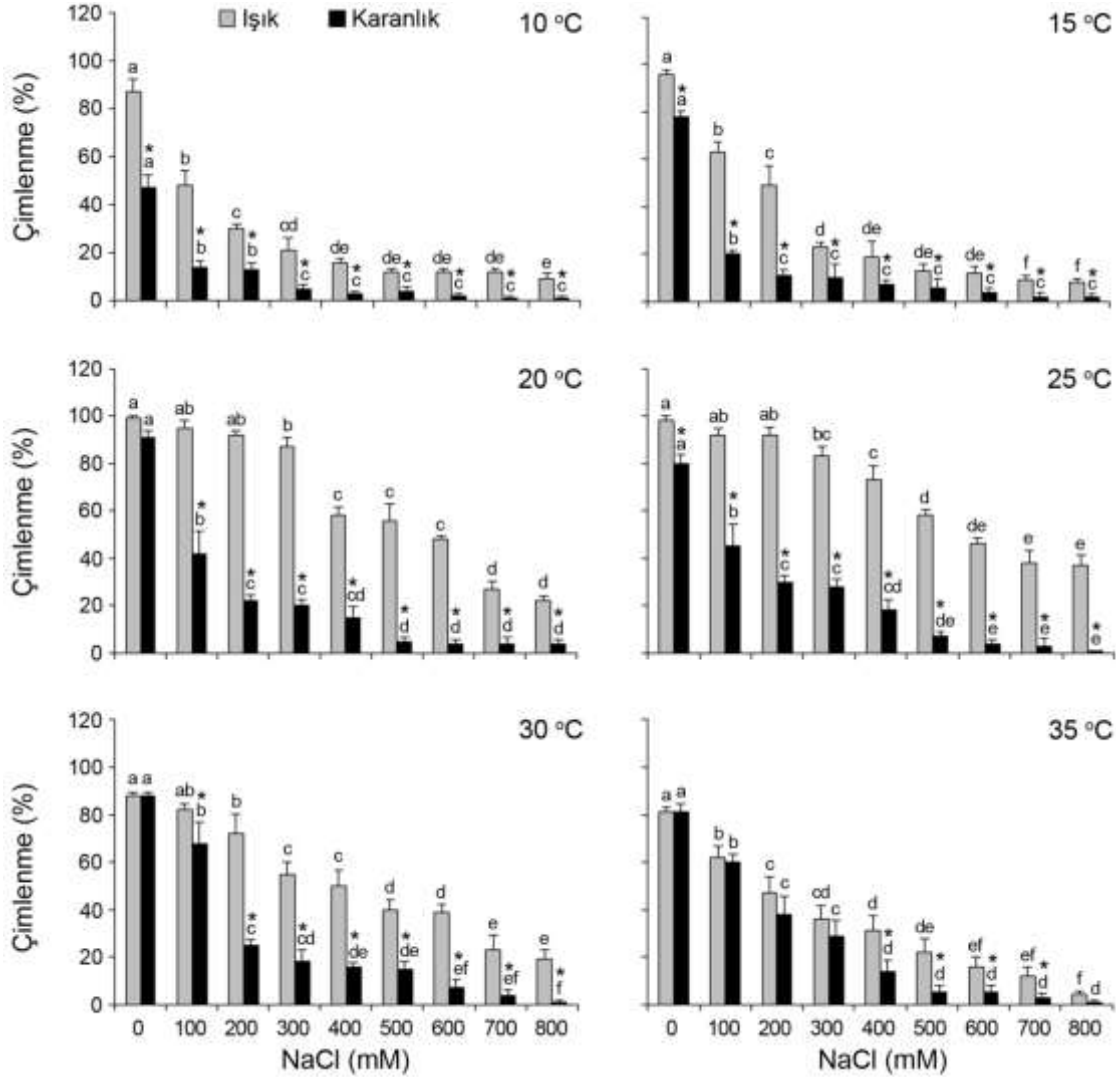
Salsola crassa'da en yüksek tohum çimlenmesi (%98-99) distile suda, 20 ve 25°C uygulamalarında ve ışıkta edilmiştir (Şekil 1). NaCl konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak tohum çimlenme yüzdesinde azalmaya neden olmuş ve bu azalmalar sıcaklık ve ışık uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. 20 ve 25°C sıcaklıklarda, kontrole göre 100 ve 200 mM NaCl uygulamalarında tohum çimlenmesi benzer bir davranış göstermiştir. Bununla birlikte, 20 ve 25°C sıcaklık ve ışık uygulamalarında, 500 mM NaCl uygulamasında %50'nin üzerinde çimlenme yüzdesi (%56-58) belirlenmiştir. Genellikle tüm NaCl ve sıcaklık uygulamalarında, ışık ve karanlık uygulamaları arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P < 0.05$). Bu farklılıklar özellikle optimum sıcaklık uygulamalarında (20 ve 25°C) daha belirgin bulunmuştur (Şekil 1).

Işık uygulamasında, *S. crassa* tohum çimlenmesi düşük sıcaklık (10 ve 15°C) ve yüksek sıcaklık (30 ve 35°C) uygulamalarında önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalmış ve bu azalmalar NaCl konsantrasyonlarında daha belirgin bulunmuştur (Şekil 2). Bununla birlikte, karanlık uygulamasında tohum çimlenmesi düşük sıcaklık (10 ve 15°C) uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmiştir. Diğer taraftan, karanlık koşullarında sıcaklık uygulamalarının etkisi 600 mM ve üzeri NaCl konsantrasyonlarında ortadan kalkmıştır (Şekil 2).

Maksimum çimlenme yüzdeleri 6-8. günlerde optimum sıcaklık uygulamalarında elde edilmiştir (Şekil 3). Düşük sıcaklık uygulamalarında (10 ve 15°C) maksimum çimlenme yüzdesine 12. günde distile su uygulamasında ulaşmıştır.

Salsola crassa'nın çimlenme oranları en yüksek olarak distile su uygulamasında ve optimum sıcaklık uygulamalarında (20 ve 25°C) belirlenirken, NaCl konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak çimlenme

oranları azalmıştır (Şekil 4). Düşük sıcaklık (10 ve 15°C) ve yüksek sıcaklık (35°C) uygulamalarında çimlenme oranları diğer uygulamalara göre daha düşük seviyede bulunmuştur.



Şekil 1. *Salsola crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine tuzluluk, sıcaklık ve ışığın etkileri. Farklı harfler (a-f), Bonferroni testine göre NaCl konsantrasyonları arasındaki önemli farklılıkları, yıldızlar (*) ise Student-T testine göre ışık ve karanlık uygulamaları arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$).

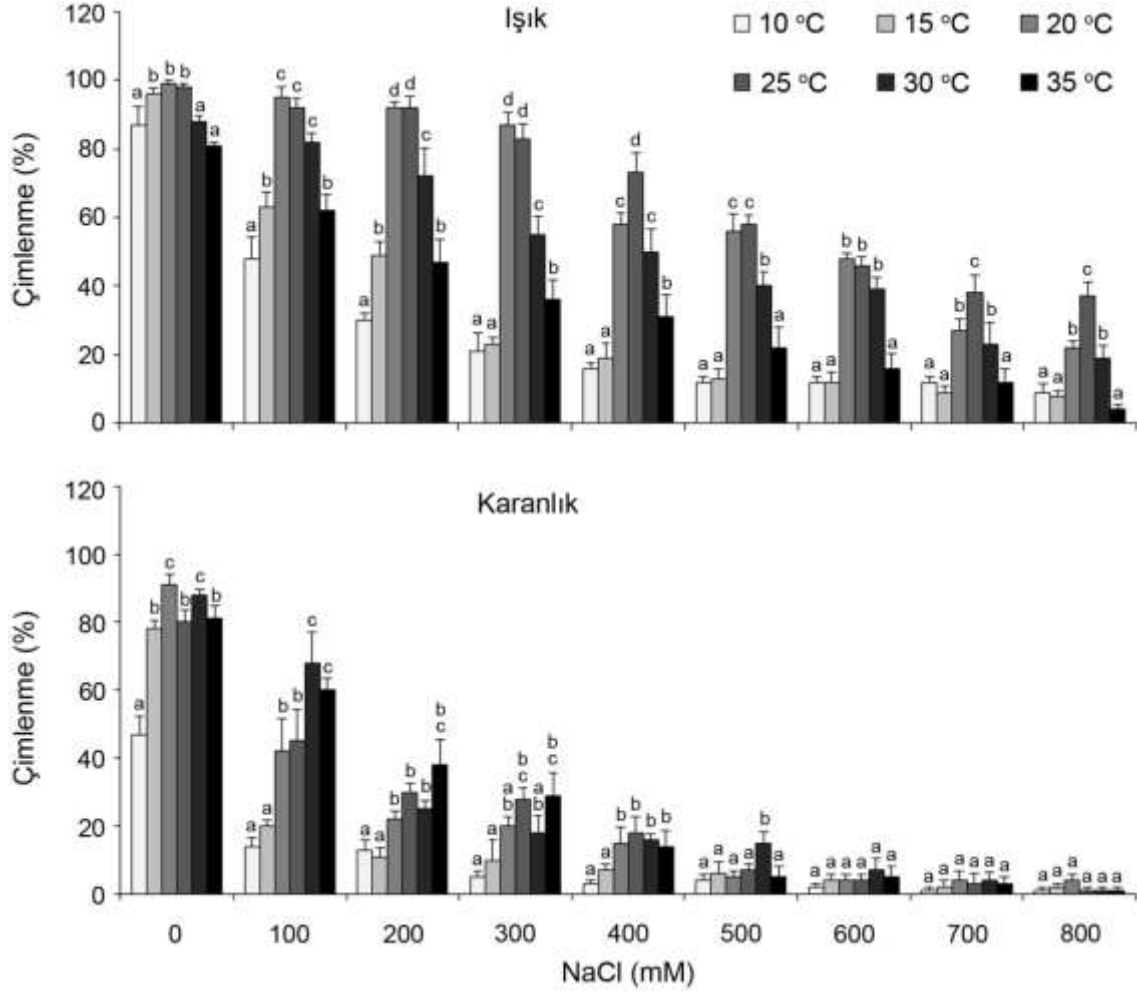
4. Tartışma ve Sonuç

Kurak bölgelerde toprak yüzeyinde tuzların birikimi, halofitik bitkilerin yaşam döngülerinin tüm evrelerinde adaptasyon ve hayatta kalma stratejilerinin geliştirilmesine neden olmuştur (Gutterman 2002). Tohum gelişimi evresi, ekstrem çevresel faktörlere karşı oldukça yüksek dirence sahiptir (Wang *et al.* 2013). Tuzlu topraklarda bitki gelişimi başarılı çimlenmeye bağlıdır (Khan and Ungar 2001). Bu çalışmada, artan tuz

konsantrasyonuna cevap olarak *S. crassa* bitkisinin tohum çimlenme yüzdesinde azalma ve çimlenme zamanında gecikme belirlenmiştir. Optimum çimlenme yüzdeleri distile su uygulamalarında elde edilmiş ve artan tuz konsantrasyonu tohum çimlenmesini inhibe etmiştir. Bununla birlikte, 20 ve 25°C'de 100 ve 200 mM NaCl konsantrasyonlarında çimlenme yüzdelerinde farklılık belirlenmemiştir. Zıt olarak, *Suaeda salsa* (Song *et al.* 2008) ve *Salsola ikonnikovii* (Xing *et al.* 2013) gibi halofitik türlerde 100 mM ve üzerindeki

NaCl konsantrasyonlarının tohum çimlenmesini inhibe ettiği bildirilmiştir. Diğer taraftan, *Salsola ferganica* türünde 200 mM ve *S. affinis* türünde ise 400 mM NaCl uygulamasında tohum çimlenmesinin kontrolle benzer olduğu bildirilmiştir (Wei *et al.*

2008; Wang *et al.* 2013). Tuz stresinin tohum çimlenmesi üzerine olan bu olumsuz etkisinin ozmotik stres ve iyon toksisitesinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Song *et al.* 2005).



Şekil 2. *Salsola crassa*'nın tohum çimlenmesi üzerine tuzluluk, sıcaklık ve ışığın etkileri. Farklı harfler (a-d), Bonferroni testine göre her bir NaCl konsantrasyonunda sıcaklık uygulamaları arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$).

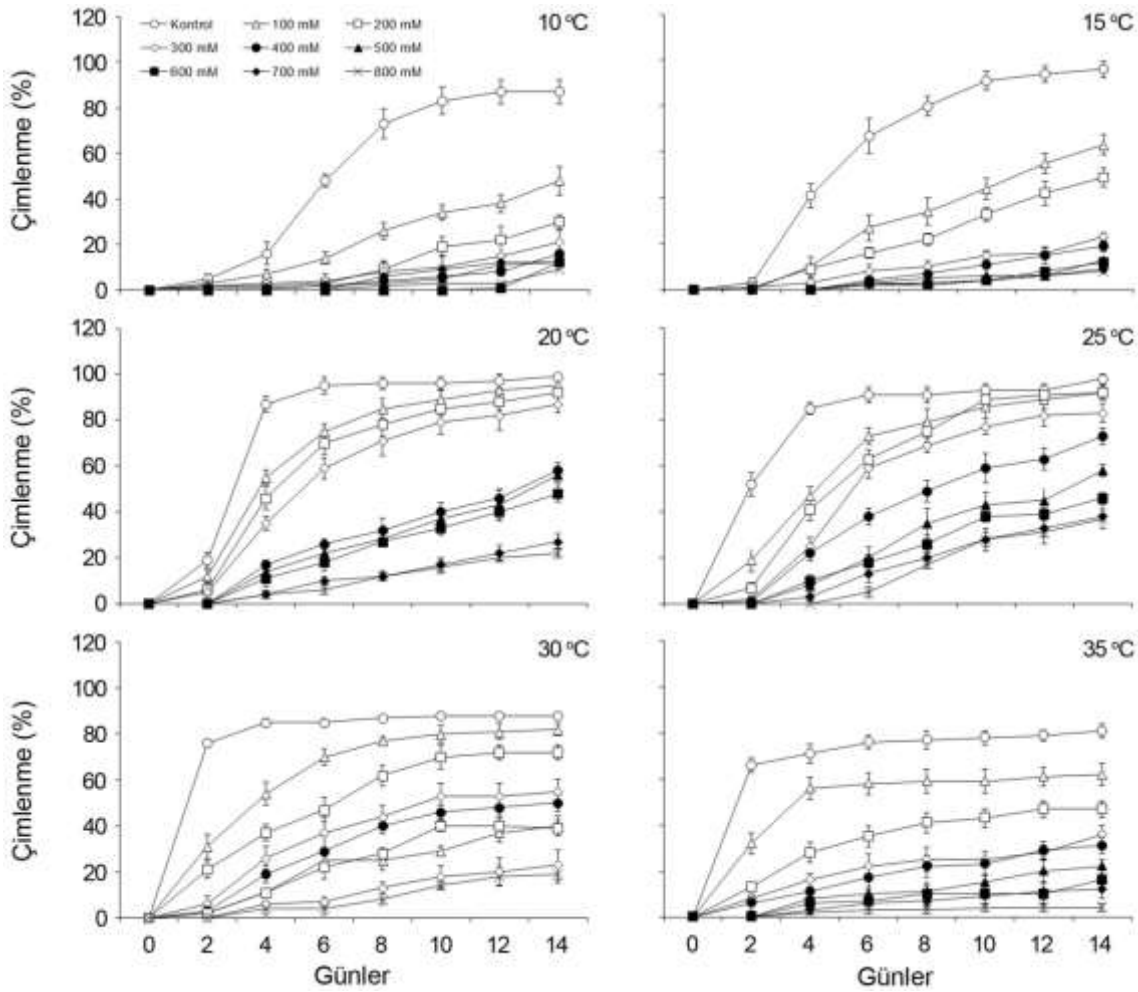
Çimlenme sırasında yüksek seviyede tuza toleranslı türler, diğer gelişimsel evrelerde de yüksek tolerans seviyesine sahiptir (Orlovsky *et al.* 2011). Khan (1999), halofit türleri çimlenme sırasındaki tuz toleransına göre üç kategoriye ayırmıştır: Düşük seviyede toleranslı (125 mM NaCl'nin altında düşük çimlenme yüzdesi), orta seviyede toleranslı (500 mM NaCl'ye kadar çimlenebilme) ve yüksek seviyede toleranslı (800 mM ve üzerindeki konsantrasyonlarda çimlenebilme). Bu sınıflandırmaya göre, 25°C uygulamasındaki *S. crassa* tohumları 800 mM NaCl konsantrasyonunda %37 çimlenme yüzdesine sahip olmasından dolayı

üçüncü grup olan yüksek seviyede tuza toleranslı kategorisinde değerlendirilebilir. Guma vd. (2010) ve Assaeed (2001), 150 mM ve üzeri NaCl konsantrasyonlarında tohum çimlenme yüzdeleri önemli seviyede inhibe olan *S. vermiculata* ve *S. villosa* türlerini orta seviyede tuza toleranslı olarak sınıflandırmışlardır.

Sıcaklık tohum olgunlaşması, dormansi ve çimlenmeyi etkileyen önemli çevresel faktörlerden biridir (Ungar 1995; Copeland and Mc Donald 2004). Baskin ve Baskin (2001), halofitik türlerin çimlenme sırasında sıcaklığa farklı cevaplar

verdiğini ve türe özgü optimum sıcaklıkların 5 ila 35°C arasında değiştiğini bildirmiştir. Araştırmamızda, farklı sıcaklık uygulamaları ve tuz konsantrasyonlarının etkileşim içinde olduğu ve çimlenme cevaplarını etkilediği belirlenmiştir. Artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak düşük (10 ve 15°C) ve yüksek sıcaklık (30 ve 35°C) uygulamaları, tohum çimlenmesinde önemli inhibisyonlara neden olmuştur. Yüksek tuz konsantrasyonlarında daha yüksek çimlenme yüzdelerinden dolayı optimum çimlenme sıcaklığı 25°C olarak belirlenmiştir. *Salsola vermiculata* için 10/20°C sıcaklık

uygulamasının 15/25 ve 20/30°C uygulamalarına göre optimum çimlenme sıcaklığı olduğu bildirilmiştir (Guma *et al.* 2010). Partzsch (2009), kışık tek yıllık halofit türlerin çimlenme için soğuk koşulları tercih ettiğini bildirmiştir. Heard ve Ancheta (2011), tek yıllık halofit *Symphyotrichum laurentianum*'in en iyi çimlenme sıcaklığının 30°C olduğunu ve sıcaklığın düşmesiyle birlikte çimlenmenin kuvvetli şekilde azaldığını belirtmiştir. Diğer taraftan, *Salsola affinis*'de tohum çimlenmesi üzerine farklı sıcaklıkların (5-30°C) önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Wei *et al.* 2008).

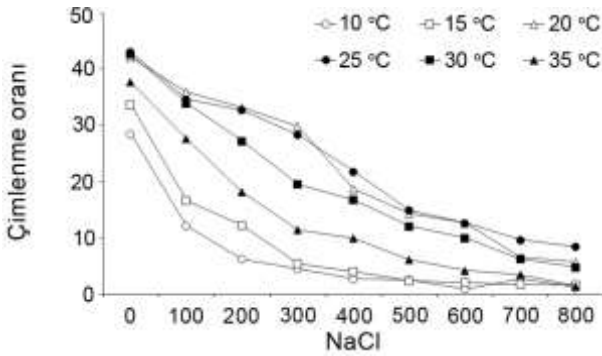


Şekil 3. *Salsola crassa*'nın zamana bağlı tohum çimlenmesi üzerine tuzluluk ve sıcaklık uygulamalarının etkileri.

Işık (fotoperiyot) tohum çimlenmesinde önemli bir belirleyici faktördür; çünkü birçok tohumda fitokrom aracılı cevaplar çimlenme zamanının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Halofitik türlerin tohum çimlenmesi sırasında ışığa verdikleri cevaplar farklılık göstermektedir. Bazı

halofitik türlerde ışık tohum çimlenmesini inhibe ederken, bazı türlerin çimlenebilmesi için ışık gereklidir (El-Keblawy and Al-Shamsi 2008; Yıldız *et al.* 2008; Ahmed and Khan 2010; El-Keblawy *et al.* 2011; Saeed *et al.* 2011). Mevcut araştırmada, *S. crassa* tohum çimlenmesi üzerine ışığın etkisinin

önemli olduğu bulunmuş ve genellikle karanlık uygulamasının tohum çimlenmesini inhibe ettiği belirlenmiştir. Bu sonuç, tohum çimlenmesinin ışık tarafından teşvik edildiğini göstermektedir. Çimlenme için ışık gereksinimi 23 halofitik türde belirlenmiştir (Baskin and Baskin 1998). *Tamarix aucheriana* ve *Thellungiella halophila* tohumlarının karanlık uygulamasına göre ışıkta daha iyi çimlendiği bildirilmiştir (Zaman *et al.* 2009; Li *et al.* 2015). Diğer taraftan, kontrol ve tuz uygulamaları altındaki *Salsola imbricata* türünün ışık ve karanlıktaki tohum çimlenmeleri arasında önemli farklılık belirlenmemiştir (Mehrunnisa *et al.* 2007).



Şekil 4. Farklı sıcaklık ve tuz uygulamaları altındaki *S. crassa*'nın çimlenme oranları.

Bazı halofitik türlerde tek başına ışık tohum çimlenmesini kontrol ederken bazı türlerde tuzluluk ve sıcaklık ile etkileşim halindedir (Gutterman *et al.* 1995). Halofitik türlerde ışık genellikle kontrol koşullarında çimlenmeyi etkilememektedir (Wei *et al.* 2008; Redondo-Gomez *et al.* 2011). Araştırmamızda, kontrol koşullarındaki (0 mM NaCl) tohum çimlenmesi üzerine ışığın etkisi düşük sıcaklık uygulamalarında (10 ve 15°C) belirlenmiştir. Bununla birlikte, tohum çimlenmesi üzerine ışığın etkisi, 35°C uygulamasında 400 mM ve üzerindeki tuz konsantrasyonlarında belirlenirken, diğer sıcaklık uygulamalarında tüm tuz konsantrasyonlarında belirlenmiştir. Benzer şekilde, tuz stresi altındaki *Aeluropus lagopoides*, *Dicanthium annulatum*, *Limonium iconicum*, *Limonium lilacinum* *Sporobolus ioclados* ve *Urochondra setulosa* gibi halofitik türlerde karanlık uygulamasının tohum çimlenmesini kısmen veya

tamamen inhibe ettiği bildirilmiştir (Khan and Gulzar 2003; Yıldız *et al.* 2008).

Sonuç olarak, 800 mM gibi yüksek NaCl konsantrasyonunda çimlenebilme yeteneğinden dolayı *Salsola crassa*'nın çimlenme evresinde yüksek seviyede tuza toleranslı bir tür olduğu söylenebilir. Ayrıca bu çalışma, *S. crassa* tohumlarının maksimum seviyede çimlenebilmesi için optimum sıcaklık ve ışık isteklerinin belirlenmesi açısından önemli veriler sağlamıştır.

Teşekkür

Bu araştırma 14.HIZ.DES.78 nolu proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ahmed, M.Z. and Khan, M.A. 2010. Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. *Flora*, **205**, 764–771.
- Ameixa, O.M.C.C, Marques, B., Fernandes, W.S., Soares, A.M.V.M., Calado, R. and Lillebø, A.I. 2016. Dimorphic seeds of *Salicornia ramosissima* display contrasting germination responses under different salinities. *Ecological Engineering*, **87**, 120–123.
- Assaeed, A. 2001. Effect of temperature and water potential on germination of *Salsola villosa* Del. ex Roem. et Schult. *Assiut Journal of Agricultural Science*, **32**, 173–183.
- Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego, Calif., U.S.A.
- Baskin, C.C. and Baskin, J. M. 2001. *Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. Chapman and Hall.
- Copeland, L.O. and Mc Donald, M.B. 2004. *Principles of Seed Science and Technology*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- El-Keblawy, A. and Al-Shamsi, N. 2008. Effects of salinity, temperature and light on seed germination of *Haloxylon salicornicum*, a common perennial shrub of the Arabian deserts. *Seed Science and Technology*, **36**, 679–688.
- El-Keblawy, A., Al-Ansari, F. and Al-Shamsi, N. 2011. Effects of temperature and light on salinity tolerance during germination in two desert

- glycophytic grasses, *Lasiurus scindicus* and *Panicum turgidum*. *Grass and Forage Science*, **66**, 173–182.
- Gul, B., Ansari, R., Flowers, T. J. and Khan, M.A. 2013. Germination strategies of halophyte seeds under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, **92**, 4–18.
- Guma, I. R., Padrón-Mederos, M. A., Santos-Guerra, A. and Reyes-Betancort, J.A. 2010. Effect of temperature and salinity on germination of *Salsola vermiculata* L. (Chenopodiaceae) from Canary Islands. *Journal of Arid Environments*, **74**, 708–711.
- Gutterman, Y. 2002. *Survival Strategies of Annual Desert Plants: Adaptations of Desert Organism*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Gutterman, Y., Kamenetsky, R. and Van Rooyen, M. 1995. A comparative study of seed germination of two *Allium* species from different habitats in the Negev desert highlands. *Journal of Arid Environments*, **29**, 305–315
- Heard, S. B. and Ancheta, J. 2011. Effects of salinity and temperature on ex situ germination of the threatened Gulf of St Lawrence Aster, *Symphotrichum laurentianum* Fernald (Nesom). *Plant Species Biology*, **26**, 158–162.
- Huang, J. and Redman, R.E. 1995. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science*, **75**, 815–819.
- Khan, M.A. and Ungar, I.A. 1984. The effect of salinity and temperatures on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *American Journal of Botany*, **71**, 481–489.
- Khan, M.A. 1999. Comparative influence of salinity and temperature on the germination of subtropical halophytes. In: Lieth, H., Moschenko, M., Lohman, M., Koyro, H.–W., Hamdy, A. (Eds.), *Halophyte Uses in Different Climates. I: Ecological and Ecophysiological Studies*. Progress in Biometeriology, Vol. 13. Backhuys Publishers, The Netherlands, pp. 77–88.
- Khan, M.A. and Ungar, I.A. 2001. Effect of dormancy regulating chemicals on the germination of *Triglochin maritima*. *Biologia Plantarum*, **44**, 301–303.
- Khan, M.A., Gul, B. and Weber, D.J. 2002. Seed germination in the Great Basin halophyte *Salsola iberica*. *Canadian Journal of Botany*, **80**, 650–655.
- Khan, M.A. and Gulzar, S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a potential forage grass. *Journal of Arid Environments*, **53**, 387–394.
- Li, W., Khan, M.A., Yamaguchi, S. and Liu, X. 2015. Hormonal and environmental regulation of seed germination in salt cress (*Theellungiella halophila*). *Plant Growth Regulation*, **76**, 41–49.
- Mehrunnisa, Khan, M.A. and Weber, D. 2007. Dormancy, germination and viability of *Salsola imbricata* seeds in relation to light, temperature and salinity. *Seed Science and Technology*, **35**, 595–606.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, **167**, 645–663.
- Orlovsky, N.S., Japakova, U. N., Shulgina, I. and Volis, S. 2011. Comparative study of seed germination and growth of *Kochia prostrata* and *Kochia scoparia* (Chenopodiaceae) under salinity. *Journal of Arid Environments*, **75**, 532–537.
- Partzsch, M. 2009. Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter ephemerer Xerothermrassenarten. *Hercynia N. F.*, **42**, 239–254.
- Redondo-Gómez, S., Andrades-Moreno, L., Parra, R., Mateos-Naranjo, E. and Sánchez-Lafuente, A.M. 2011. Factors influencing seed germination of *Cyperus capitatus*, inhabiting the moving sand dunes in southern Europe. *Journal of Arid Environments*, **75**, 309–312.
- Saeed, S., Khan, M.A. and Gul, B. 2011. Comparative effects of NaCl and sea salt on seed germination of *Arthrocnemum indicum*. *Pakistan Journal of Botany*, **43**, 1091–1103.
- Song, J., Feng, G., Tian, C.Y. and Zhang, F.S. 2005. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed germination stage. *Annals of Botany*, **96**, 399–405.
- Song, J., Fan, H., Zhao, Y.Y., Jia, Y.H., Du, X.H. and Wang, B.S. 2008. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of aeuhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland. *Aquatic Botany*, **88**, 331–337.
- Ungar, I.A. 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. In: Kigel, J., Galili, G. (Eds.), *Seed Development and Germination*. Marcel Dekker, New York, pp. 599–627.
- Wang, Y., Jiang, G. Q., Han, Y. N. and Liu, M.M. 2013. Effects of salt, alkali and salt-alkali mixed stresses on seed germination of the halophyte *Salsola ferganica* (Chenopodiaceae). *Acta Ecologica Sinica*, **33**, 354–360.
- Wei, Y., Dong, M., Huang, Z. Y. and Tan, D.Y. 2008. Factors influencing seed germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang,

- China. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, **203**, 134–140.
- Welbaum, G.E., Tissaoui, T. and Bradford, K.J. 1990. Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.). III. Sensitivity of germination to water potential and abscisic acid during development. *Plant Physiology*, **92**, 1029- 1037.
- Xing, J., Cai, M., Chen, S., Chen, L. and Lan, H. 2013. Seed germination, plant growth and physiological responses of *Salsola ikonnikovii* to short-term NaCl stress. *Plant Biosystems*, **147**, 285–297.
- Yıldız, M., Cenkci, S. and Kargioğlu, M. 2008. Effects of salinity, temperature, and light on seed germination in two Turkish endemic halophytes, *Limonium iconicum* and *L. lilacinum* (Plumbaginaceae). *Seed Science and Technology*, **36**, 646–656.
- Yildiztugay, E., Ozfidan-Konakci, C. and Kucukoduk, M. 2014. The role of antioxidant responses on the tolerance range of extreme halophyte *Salsola crassa* grown under toxic salt concentrations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **110**, 21–30.
- Zaman, S., Padmesh, S., Bhat, N.R. and Tawfiq, H. 2009. Germination characteristics and storage behavior of *Tamarix aucheriana* (Decne.) seeds. *European Journal of Scientific Research*, **26**, 532–538.
- Zhang, H., Zhang, G., Lü, X., Zhou, D. and Han, X. 2015. Salt tolerance during seed germination and early seedling stages of 12 halophytes. *Plant and Soil*, **388**, 229–241.