

Tuzluluk Stresi Şartlarında Mısır (*Zea mays* L.) Tohumlarına Azelaik Asit Ön Uygulamasının Çimlenme ve Erken Fide Dönemine Etkisi

Aslı Güleç^{1*}, Nurcan Yavuz² ve Duran Yavuz²

¹Sulama Anabilim Dalı / Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

²Sulama Bölümü / Ziraat Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

*(asliturkgulec@gmail.com)

(Received: 12 March 2025, Accepted: 16 March 2025)

(6th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2025, March 12-13, 2025)

ATIF/REFERENCE: Güleç, A., Yavuz, N. & Yavuz, D. (2025). Tuzluluk Stresi Şartlarında Mısır (*Zea mays* L.) Tohumlarına Azelaik Asit Ön Uygulamasının Çimlenme ve Erken Fide Dönemine Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(3), 296-303.

Özet-Bu çalışmada, tuz stresi koşullarında mısır (*Zea mays* L.) tohumlarına azelaik asit (AzA) ön uygulamasının bazı çimlenme ve erken fide dönemi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma, tam şansa bağlı deneme desenine göre, dört farklı tuzluluk (NaCl) düzeyinde (0, 40, 80 ve 120 mM) ve 3 farklı dozda AzA (0, 0.5 ve 1 mM) ön uygulaması ile 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Bitkisel materyal olarak Capuzi mısır çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada çimlenme ve fide gelişim parametreleri olarak; çimlenme oranı, çimlenme gücü indeksi, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, kök yaş ağırlığı ve sürgün yaş ağırlığı saptanmıştır. Varyans analizi verilerine göre; AzA dozları çimlenme oranı, çimlenme gücü indeksi ve kök uzunluğu değerlerini önemli düzeyde ($P<0.01$) etkilemiş ve kontrole kıyasla bu özellikleri baskılamıştır. NaCl stresi doz artışına bağlı olarak tüm parametreleri önemli düzeyde etkilemiştir ($p<0.01$). NaCl x AzA interaksiyonu açısından; özellikle 0 ve 40 mM tuzluluk seviyelerinde, 1 mM AzA ön uygulaması kök yaş ağırlığı üzerine önemli düzeyde ($p<0.05$) etki etmiş olup, diğer parametrelere etkisi önemsiz bulunmuştur. Elde edilen verilere göre; tohuma yapılan 1 mM AzA ön uygulamasında özellikle bazı erken fide dönemi parametrelerinin, 40 mM tuzluluk stresi şartlarında kontrol ile benzer sonuçlar sergilediği, AzA'nın düşük ve orta tuzluluk şartlarında su alımını regüle edebildiği ve toplam biyokütlede artış sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sulama Suyu Tuzluluğu, NaCl Stresi, Azelaik Asit, Priming, Mısır.

I. GİRİŞ

Günümüzde; tuzluluk, kuraklık, aşırı yüksek/düşük sıcaklıklar, güneş radyasyonu, metal toksisitesi gibi çeşitli abiyotik stres faktörleri bitkiler için ciddi tehditler oluşturmaktadır ([8], [9]). Kurak ve yarı kurak alanlarda bitkisel üretim sürecini ve sürdürülebilirliğini sınırlandıran en önemli çevresel stres faktörlerinden biri tuzluluktur ([2], [3]). Dünya genelinde 932 milyon hektar tarım arazisinin ve sulanan arazilerin yaklaşık %50'sinin tuzluluktan etkilendiği bildirilmektedir ([1], [4]).

İklim değişikliği düzensiz yağışlara sebep olmakta, dolayısıyla kurak ve yarı kurak bölgelerde düşük kaliteli sular tarımsal üretime dahil edilmektedir. Bu durum tarım arazilerinde tuzlanma ve alkalileşme sorununun giderek artmasına sebep olmaktadır. Böylece rizosfer bölgesinde ozmotik basınç artarak bitkinin kökleri aracılığı ile su alımını engellemekte veya iyon toksisitesine neden olmaktadır. ([10], [11]). Genel olarak tuz stresi, spesifik iyon toksisitesi ile başlayan Na^+ ve Cl^- iyonlarının homeostazındaki bozulma ile

karakterize edilir. Stomalarda kapanma ve kloroplastlarda ROS üretiminin artması, bitki gelişiminin gerilemesine/durmasına neden olur ([12], [13]). Bu nedenle; mevcut tarımsal ürünlerin dayanıklılık seviyelerinin değerlendirilmesi, stres toleranslarının iyileştirilmesi, bitki canlılığı ve üretkenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Stres faktörlerinin varlığı, kültür bitkilerinin en hassas dönemlerinden biri olan çimlenme ve erken fide gelişimini olumsuz etkiler. Çimlenme aşamasında oluşabilecek düşük nem seviyeleri ve tuzluluk gibi etkenler osmotik regülasyonu bozarak verim ve kalite potansiyelini sınırlamaktadır [14]. Özellikle kültür bitkilerinin bu tür marjinal koşullarda çimlenme adaptasyonlarının sağlanması ve tolerans süreçlerinin iyileştirilmesi için farklı teknikler geçmişten günümüze araştırmalara konu olmaktadır. Bu tekniklerden biri olan tohum hazırlama; tohumların kimyasallara ve/veya stres faktörlerine (tuzluluk, kuraklık vb.) önceden maruz bırakılması esasına dayanır. Böylece, bitkinin olası stres faktörlerine karşı direnci ve ikincil sinyalleri tespit etme yeteneğini artırılır [15]. Tohum hazırlama tekniği kapsamında, uygulanabilirliği artırmak amacıyla farklı biyokimyasal ve antioksidan etkilere sahip birçok bileşik kullanılmakta ve araştırılmaktadır [16].

Azelaik asit (AzA), daha çok tıp, kozmetik ve farmakolojik alanlarda kullanılan bir bileşiktir. Bazı çalışmalarda, biyotik stres şartlarında ve normal koşullarda bitkiler üzerindeki etkileri test edilmiştir [17, 18]. Yapılan bir çalışmada, bitkilerin biyokimyasal yapılarında bulunan azelaik asit bileşiklerinin biyotik stres koşullarında hayatta kalabildikleri bildirilmiştir [19]. Kök sisteminde biriktiği bilinen bu molekül [20], sistemik kazanılmış direnç (SAR) mekanizmasında hazırlayıcı molekül olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca sinyal iletim bileşenlerini oluşturan yapılardan biri olan azelaik asidin (AzA), stres olgusuna yanıt olarak salisilik asidin (SA) daha hızlı birikmesini sağladığı bildirilmektedir [21]. Buna karşın, abiyotik stres koşullarındaki etkileri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Haghighi ve Sheibanirad [22]; domates bitkisine, 0, 100, 150 ve 200 mM tuzluluk şartlarında eksojen olarak 0, 8, 10 ve 24 mg l⁻¹ azelaik asit uygulamışlardır. Özellikle 8 mg l⁻¹ AzA dozunun gaz değişimlerini optimum düzeyde tutabildiği, osmotik regülasyonu sağladığı ve 100 mM' a kadar tuzluluk etkilerini azaltabildiği bildirilmiştir. Farklı bir çalışmada, arpa tohumlarına 0 ve 0.5 mM azelaik asit ön uygulaması (priming) yapılarak 0, 25, 50 ve 100 mM tuzluluk seviyelerinde çimlenme ve fide gelişim parametreleri gözlemlenmiştir. 0.5 mM azelaik asit ön uygulamasının özellikle 25 mM tuzluluk şartlarında kök yaş ağırlığı, sürgün yaş ağırlığı ve tuz tolerans indeksini artırıcı etki oluşturduğu bildirilmiştir [23]. Tohum hazırlama yöntemleri ile tolerans mekanizmalarının geliştirilmesi amacıyla yapılan araştırmalarda; salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA) ve benzeri sinyal moleküllerinin etkisi araştırılmış, yanı sıra AzA' nın da tolerans mekanizmalarında rol aldığı belirtilmiştir [26].

Tuzluluğa karşı hassas ve ekonomik değeri yüksek bir bitki olan mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin ileri gelişim aşamalarına kıyasla, çimlenme ve erken fide süreçlerinin tuzluluk maruziyetine daha duyarlı olduğu belirtilmektedir ([24], [25]). Bu çalışmada, farklı azelaik asit dozları ile ön uygulamaya tabi tutulan mısır tohumlarının, farklı tuzluluk seviyelerine karşı verdiği çimlenme ve erken döneme ait tepkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada mısır için üç farklı AzA dozu (0 mM (saf su), 0.5 mM, 1 mM), dört farklı tuz (NaCl) seviyesi (0 (saf su); kontrol, 40, 80 ve 120 mM) kullanılmıştır. Mısır tohumları farklı konsantrasyonlara sahip AzA solüsyonlarında 4 °C'de 24 saat boyunca bekletilmiştir. Daha sonra tohumlar +25 °C'de kurutulmuştur. Saf su ve AzA ile ön işlem yapılmış tohumlar, her saksıda 12 tohum olacak şekilde, kum ve bahçe toprağı (1:2) karışımı eklenmiş, 9 cm çapında ve 14 cm yüksekliğinde saksılara ekilmiştir. Saksılar her uygulama için üç tekrarlı olarak tam şansa bağlı bir tasarıma göre düzenlenmiştir. Saksılara konulan toprak karışımından alınan örnekler analiz edilerek tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri belirlenmiştir. Sulama suyu, tartım yöntemine göre, 2 gün sulama aralığında eksilen nemi tamamlayacak şekilde uygulanmıştır. Sulama uygulamaları sırasında sulama suyunun bitki yapraklarıyla doğrudan temas etmemesine dikkat edilmiştir. 10 gün boyunca her gün aynı saatlerde saksılardaki çimlenen tohumlar sayılarak veriler kaydedilmiştir.

Toprak yüzeyinde hipokotil görüldüğünde bir fidenin ortaya çıktığı kabul edilmiştir [5]. Bu sürenin sonunda fideler hasat edilerek metrik cetvel ve hassas terazi kullanılarak fizyolojik ölçümler yapılmıştır.

Çalışmada yapılan uygulamaların çimlenme parametreleri üzerindeki etkisini belirlemek için; çimlenme oranı (ÇO) Eşitlik 1, çimlenme gücü indeksi (ÇGİ) Eşitlik 2 kullanılarak Türkoğlu [6] 'na göre hesaplanmıştır.

$$\text{ÇO (\%)} = (\text{Çimlenen toplam tohum sayısı} / \text{toplam tohum sayısı}) \times 100 \text{ (Eş.1)}$$

$$\text{ÇGİ} = (\text{ortalama sürgün uzunluğu} + \text{ortalama kök uzunluğu}) \times \text{toplam çimlenme oranı (Eş.2)}$$

Erken fide performansı üzerindeki etkileri belirlemek için; kök uzunluğu (KU), sürgün uzunluğu (SU), kök yaş ağırlığı (KYA) ve sürgün yaş ağırlığı (SYA) değerleri ölçülmüştür.

Denemede incelenen parametreler, AzA ön uygulamaları ve NaCl stres seviyelerinin etkisini belirleyebilmek amacıyla varyans analizine tabi tutulmuştur (SPSS 27 software, SPSS Inc., IBM). Bu parametrelere ait ortalamalar arasındaki farklar %5 önem düzeyinde Duncan testi ile belirlenmiştir.

III. BULGULAR

Mısır tohumlarına uygulanan AzA, tuz (NaCl) stresi şartlarında çimlenme parametrelerine olumlu bir katkı sağlamazken, bazı fide parametreleri üzerinde iyileştirici etkiler göstermiştir. Mısır tohumlarının 10 gün boyunca gelişimleri gözlemlenmiştir.

Uygulanan Azelaik asit dozları ve NaCl stres seviyeleri çimlenme oranı (ÇO) üzerinde önemli ($P < 0.01$) bir etkiye sahipken, AzA $\times$ NaCl etkileşiminin etkisi önemsiz bulunmuştur ($p \geq 0.05$) (Tablo 1). AzA ortalamaları incelendiğinde; en yüksek çimlenme oranı %60 ile saf su (0 mM AzA) ön uygulamasından, en düşük değerler ise aynı önemlilik grubuna sahip 0.5 mM (%53) ve 1mM (%50) AzA ön uygulamalarından elde edilmiştir. NaCl streslerinin ortalamaları dikkate alındığında; en yüksek çimlenme oranı 0 mM NaCl uygulamasından %63 olarak, en düşük çimlenme oranı ise stres artışına bağlı olarak %55, %53 ve %47 olmak üzere sırasıyla; 40 mM, 80 mM ve 120 mM NaCl uygulamalarından elde edilmiştir (Tablo 1, Şekil 1). Uygulanan tuzluluk düzeylerinden (40 mM, 80 mM ve 120 mM) elde edilen çimlenme oranlarının aynı grupta yer alması mısır bitkisinin çimlenme yeteneğinin 120 mM dozda bile sınırlanmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Çimlenme gücü indeksi (ÇGİ), üniform çıkış ve fide oluşumunu belirlemek için kullanılan önemli bir parametredir [7]. Azelaik asit ön uygulamaları ve NaCl stresleri ÇGİ değerlerini istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) derecede etkilemiş olup, buna karşın, AzA $\times$ NaCl etkileşimleri önemsiz ($p \geq 0.05$) olmuştur (Tablo 1). AzA ön uygulamaları bakımından çimlenme gücü indeksi, çimlenme oranı ile benzer bir eğilim sergilemiştir (Şekil 2). Azelaik asit uygulamaları çimlenme gücü indeksinde kontrol grubuna kıyasla; %17.5 (0.5 mM AzA) ve %20.2 (1 mM AzA) oranında azalmaya sebep olmuştur. NaCl düzeyleri açısından; en yüksek ÇGİ 1771.8 ile kontrol (0 mM) grubunda saptanırken, 120 mM NaCl uygulaması 757.9 ÇGİ değeri ile son sırada yer almıştır (Tablo 1).

Kök uzunluğuna (KU) NaCl stresi ve AzA ön uygulamasının etkisi önemli ($P < 0.01$), AzA $\times$ NaCl stresleri interaksiyonunun etkisi ise önemsiz olmuştur (Tablo 1). Tuzluluk açısından en yüksek ortalama KU değeri 0 mM NaCl (14.9 cm), en düşük değer ise 120 mM NaCl (10.6 cm) uygulamasından elde edilmiştir. AzA uygulamalarının ortalamalarına göre; en yüksek RL 14.2 cm olarak 0 mM AzA ön uygulamasından, en düşük değerler ise sırasıyla; 0.5 mM ve 1 mM AzA ön uygulamalarından elde edilmiştir (Tablo 1, Şekil 3).

NaCl uygulamalarının sürgün uzunluğuna etkisi çok önemli ($P < 0.01$) olup, AzA ön uygulamaları ve AzA $\times$ NaCl stresleri interaksiyonunun etkisi ise önemsiz ($p \geq 0.05$) olmuştur (Tablo 1). NaCl uygulamalarının ortalamalarına göre; en yüksek SL 0 mM NaCl (13.1 cm) ve en düşük değer ise tuz stresinin artışına bağlı olarak 120 mM NaCl (5.5 cm) uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 1). Her ne kadar istatistiki açıdan önemsiz de bulunsa, 0.5 mM AzA uygulaması sürgün uzunluğunda artış sağlayarak olumlu bir etki göstermiştir (Şekil 4).

Kök yaş ağırlığı (KYA); AzA, NaCl stres uygulamaları ve AzA $\times$ NaCl stresleri interaksiyonlarından önemli düzeyde etkilenmiştir (Tablo 1). AzA ortalamalarına göre; en yüksek KYA değeri kontrol grubu ile aynı önemlilik grubunu paylaşan 1 mM AzA (0.83 gr) ön uygulamasından, en düşük değer ise 0.5 mM AzA (0.59 gr) uygulamasından elde edilmiştir. Tuzluluk dozlarının ortalamalarına incelendiğinde; en yüksek

KYA 40 mM NaCl dozunda tespit edilmiş, bunu 0 mM NaCl seviyesi izlemiştir. En düşük KYA ise 120 mM NaCl stres uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 1).

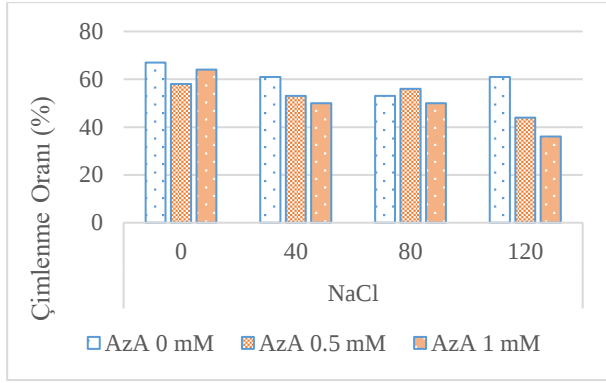
Tablo 1. Azelaik asit ön uygulamaları ve farklı NaCl seviyelerinin çimlenme ve fide parametrelerine etkileri

Uygulamalar	ÇO	ÇĞİ	KU	SU	KYA	SYA
AzA (mM)						
0	60 ^a	1450 ^a	14.2 ^a	9.6	0.82 ^a	0.44
0.5	53 ^b	1195 ^b	12.4 ^b	9.9	0.59 ^b	0.42
1	50 ^b	1157 ^b	12.5 ^b	9.7	0.83 ^a	0.47
NaCl (mM)						
0	63 ^a	1772 ^a	14.9 ^a	13.1 ^a	0.87 ^a	0.60 ^a
40	55 ^b	1417 ^b	13.9 ^{ab}	12.0 ^b	0.91 ^a	0.56 ^a
80	53 ^b	1123 ^c	12.7 ^b	8.4 ^c	0.73 ^b	0.40 ^b
120	47 ^b	758 ^d	10.6 ^c	5.5 ^d	0.48 ^c	0.23 ^c
AzA × NaCl						
0×0	67	2015	16.9	13.4	0.88 ^{bc}	0.61
0×40	61	1712	16.3	11.7	1.08 ^a	0.51
0×80	53	1114	13.0	8.1	0.85 ^{bc}	0.39
0×120	61	957	10.6	5.2	0.45 ^d	0.25
0.5×0	58	1498	13.0	12.5	0.75 ^c	0.53
0.5×40	53	1279	12.8	11.6	0.74 ^c	0.55
0.5×80	56	1247	13.4	8.8	0.46 ^d	0.38
0.5×120	44	758	10.5	6.6	0.43 ^d	0.23
1×0	64	1803	14.8	13.3	0.99 ^{ab}	0.65
1×40	50	1259	12.7	12.6	0.91 ^{abc}	0.62
1×80	50	1006	11.7	8.3	0.87 ^{bc}	0.43
1×120	36	559	10.8	4.6	0.55 ^d	0.20
Varyasyon Kaynakları						
F değeri (AzA)	6.241 ^{**}	6.632 ^{**}	5.153 ^{**}	0.241 ^{ns}	18.860 ^{**}	1.928 ^{ns}
F değeri (NaCl)	6.839 ^{**}	36.497 ^{**}	13.118 ^{**}	101.448 ^{**}	31.207 ^{**}	63.294 ^{**}
F değeri (AzA × NaCl)	1.874 ^{ns}	1.881 ^{ns}	2.075 ^{ns}	1.550 ^{ns}	2.859 [*]	1.370 ^{ns}

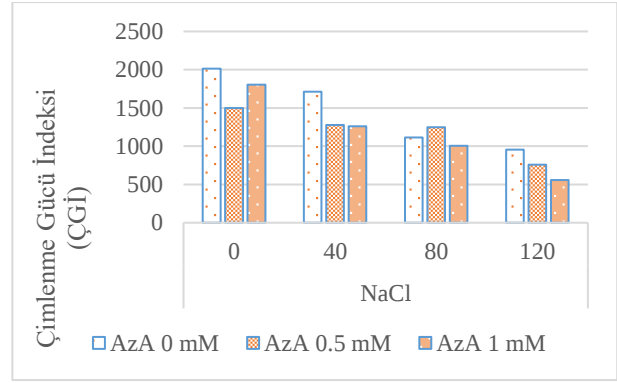
^{**}, P<0.01; ^{*}, P<0.05; ns: not significant. ÇO, çimlenme oranı; ÇĞİ, çimlenme gücü indeksi; KU, kök uzunluğu; SU, sürgün uzunluğu; KYA, kök yaş ağırlığı; SYA, sürgün yaş ağırlığı.

Tablo 1 verilerine göre hazırlanan Şekil 5' deki AzA x NaCl' nin etkileri birlikte değerlendirildiğinde en yüksek KYA değerleri 0 mM AzA X 40 mM NaCl (1.08 gr), 1 mM AzA X 0 mM NaCl (0.99 gr) ve 1 mM AzA X 40 mM NaCl (0.91 gr) etkileşimlerinden elde edilmiştir. En düşük KYA değerleri istatistiki olarak aynı grupta yer alan 0, 0.5 ve 1 mM AzA uygulamalarının 120 mM NaCl stres seviyelerinden sırasıyla; 0.45 gr, 0.43 gr, 0.55 gr ve 0.5 mM AzA ön uygulamasının 80 mM NaCl seviyesinden 0.46 gr olarak elde edilmiştir.

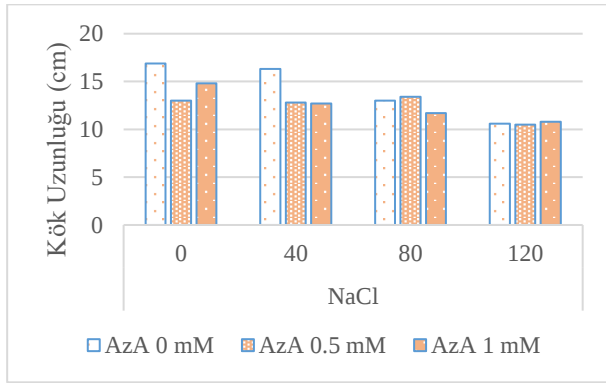
Sürgün yaş ağırlığına (SYA), NaCl stres uygulamalarının etkisi çok önemli (P<0.01), AzA ve AzA x NaCl interaksiyonlarının etkisi ise önemsiz düzeyde olmuştur (Tablo 1). Tuz stresi dozlarının ortalamalarına göre; tuz stresi uygulanmayan konulardan en yüksek (0.60 gr), stres artışına bağlı olarak en düşük SYA ise 120 mM NaCl (0.23 gr) stres uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 1). AzA x NaCl interaksiyonu ortalamalarına bakıldığında; istatistiki açıdan önemli bir farklılık oluşmamasına rağmen en yüksek sürgün yaş ağırlıkları 1 mM AzA x 0 mM tuz ve 1 mM AzA x 40 mM tuz uygulamalarından; 0.65 gr ve 0.62 gr olarak elde edilmiş, bunları 0.61 gr ile kontrol grubu (0 mM AzA x 0 mM tuz) takip etmiştir. En düşük değerler ise tüm AzA dozlarının 120 mM NaCl seviyelerinde tespit edilmiştir (Şekil 6).



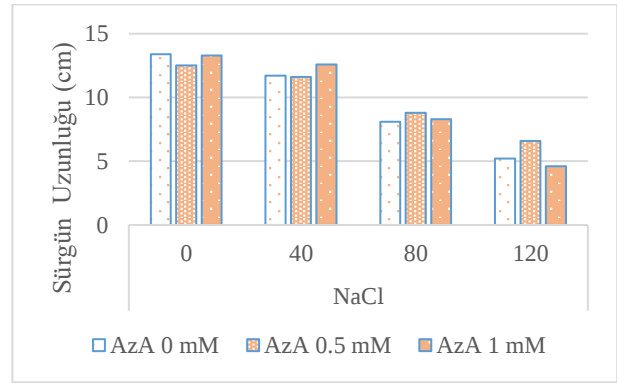
Şekil 1. Çimlenme oranına ait ortalama değerler



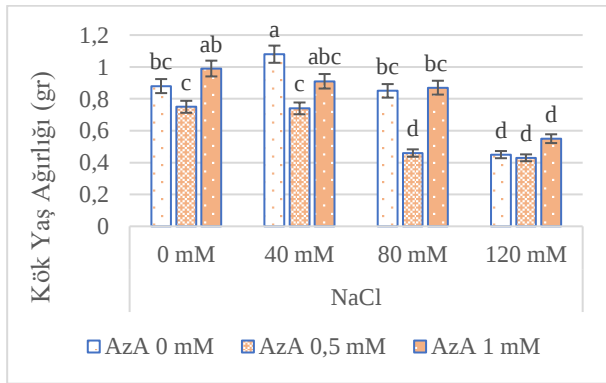
Şekil 2. Çimlenme gücü indeksine ait ortalama değerler



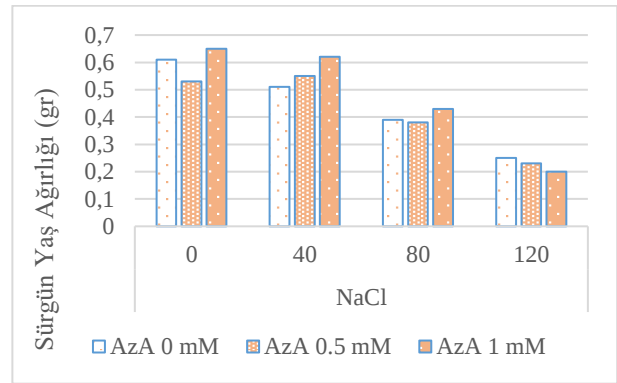
Şekil 3. Kök uzunluğuna ait ortalama değerler



Şekil 4. Sürgün uzunluğuna ait ortalama değerler



Şekil 5. Kök yaş ağırlığına ait ortalama değerler



Şekil 6. Sürgün yaş ağırlığına ait ortalama değerler

IV. TARTIŞMA

Kültür bitkilerinin çimlenme ve erken fide evrelerinde oluşan stres şartları potansiyel verimi ve kaliteyi sınırlamaktadır [14]. Sonuçlara bakıldığında tuz dozlarındaki artış mısırın çimlenme ve erken fide dönemini olumsuz yönde etkilemiştir.

Çimlenme oranı, tüm NaCl dozlarında kontrole (0 mM NaCl) kıyasla farklı grupta yer almıştır. Yani sıra, çimlenme oranındaki en fazla düşüş 120 mM NaCl dozunda gerçekleşmiştir. Yapılan birçok çalışmada tuz oranlarındaki artışın çimlenme oranlarında düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir ([27], [28]). Çimlenme oranı, kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu parametrelerinin bir bileşeni olan çimlenme gücü indeksi (ÇGI) artan stres koşullarından en fazla etkilenen özelliklerden biridir [29]. Çimlenme gücü özelliğine ait değerlere bakıldığında NaCl X AzA interaksiyonunun önemsiz ve aynı tuzluluk grupları karşılaştırıldığında azelaik asit ile ön uygulama yapılan tohumlarda çimlenme gücünün kontrole kıyasla daha düşük olduğu

görülmektedir. Tuzluluk uygulamalarının ortalamalarına bakıldığında stres artışına bağlı olarak çimlenme gücü indeksi değerlerinde, NaCl uygulanmayan gruba kıyasla %20 ila %57 aralığında düşüş meydana gelmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda da artan NaCl seviyeleri ile çimlenme gücünün düştüğü bildirilmiştir ([30], [31], [32]). Kullanılan azelaik asit (AzA) dozları açısından ise; AzA ön uygulamalarının da kontrol grubuna göre çimlenme gücü indeksinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Bu düşüş 0.5 mM AzA ön uygulamasında %18 ve 1 mM AzA uygulamasında ise %20 oranında gerçekleşmiştir.

En önemli fizyolojik parametrelerden olan kök ve sürgün uzunluğu, tuzluluk stresinin de belirleyici parametrelerindendir. Kök toprağa toprak suyunu absorbe ederken, sürgün ise bünyeye alınan suyu bitkinin geri kalan kısımlarına iletir [33]. Bu durumda, kök ve sürgün uzunluğu değerlerinin tuzluluk faktörüne karşı verecekleri tepkiler oldukça önemlidir.

Çalışmamızda, tuzluluk seviyeleri arttıkça kök uzunluğu değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonucu destekleyen farklı çalışmalarda da tuzluluk seviyeleri ve optimum su alımı ile ilişkili olarak kök gelişiminde gerilemelerin meydana geldiği ifade edilmektedir ([34], [35]). Benzer şekilde azelaik asit ön uygulamalarında 0.5 ve 1 mM dozları kök uzunluklarını yaklaşık %12 oranında baskılamıştır. Yanı sıra, NaCl X AzA interaksyonu açısından herhangi bir önemlilik grubu oluşmamıştır. Farklı maddeler ile yapılan tohum ön uygulamalarını içeren farklı çalışmalarda dozlara bağlı olarak kök uzunluklarının artış veya azalış gösterdiği bildirilmektedir ([36], [37], [38]).

Sürgün uzunluğu ortalamalarına göre; AzA ön uygulaması önemli bir etki oluşturmamış, ancak 0.5 mM' da %3 ve 1 mM' da %1 oranında artış sağlamıştır. Tuzluluk seviyelerindeki artış kök uzunluğunda olduğu gibi sürgün uzunluğu ortalamalarında da düşüşe sebep olmuştur. İnteraksiyon (NaCl X AzA) ortalamalarında önemli bir farklılık oluşmamasına karşın; farklı azelaik asit ön uygulaması yapılan ve aynı tuzluluk grubuna dahil değerler incelendiğinde; 40 mM tuzluluk seviyesinde 1 mM AzA ön uygulaması ve 120 mM tuzluluk seviyesinde ise 0.5 mM AzA ön uygulaması aynı tuzluluk grubundaki 0 mM AzA ön uygulamasına kıyasla, sırasıyla; %8 ve %28 kadar artış sağlamıştır. Bu noktada AzA ön uygulamasının sürgün gelişimini teşvik edebileceği düşünülebilir. Haghighi and Sheibanirad [39] tarafından yapılan çalışmada tuzluluk şartlarında azelaik asidin büyümeyi iyileştirdiği bildirilmiştir.

Çimlenme ve erken fide döneminde tuza duyarlı olduğu bilinen mısır bitkisinde elde edilen sonuçlara göre; 0 ve 40 mM tuzluluk seviyelerinde kök yaş ağırlıkları (KYA) önemli bir farklılık göstermemiş olup, kontrole kıyasla 80 mM tuz dozunda %16, 120 mM tuz dozunda ise %45 oranında kök yaş ağırlığı azalması gözlemlenmiştir. Yapılan farklı araştırmalarda, bitkinin yetiştirme ortamındaki tuzluluk problemlerinin kök yaş ağırlığı üzerinde etkili olduğu ve tuz dozundaki artışların kök yaş ağırlıklarının azalmasına sebep olduğu bildirilmiştir ([40], [41]). Azelaik asit ortalamalarına bakıldığında; 0 ve 1 mM ön uygulamaları aynı önemlilik grubunu paylaşırken, bu iki gruba kıyasla 0.5 mM AzA ön uygulaması kök yaş ağırlığını yaklaşık %29 oranında baskılamıştır. Buna karşın, NaCl X AzA interaksiyon ortalamaları farklı önemlilik gruplarına ayrılmıştır. Tuz stresi uygulanmayan gruplar incelendiğinde; 0 mM AzA ön uygulamasına göre 1 mM AzA ön uygulaması kök yaş ağırlığını %12.5 oranında artırmış, 0.5 mM ön uygulama ise %15 oranında azaltmıştır. Bu durum, tuz faktörünün etkin olmadığı ortamlarda 1 mM azelaik asidin kök yaş ağırlığına olumlu etki edebileceği yönünde yorumlanabilir.

Diğer parametrelere paralel olarak sürgün yaş ağırlığında da tuz dozunun artmasıyla birlikte azalmalar gözlemlenmiştir. 0 ve 40 mM tuz stresi aynı önemlilik grubunda yer alırken, özellikle 80 ve 120 mM tuz seviyelerinde sürgün yaş ağırlıkları sırasıyla; %33 ve %62 oranında azalmıştır. Tuz faktörünün bitkide sürgün yaş ağırlığını azalttığı farklı çalışmalarda bildirilmiştir ([42]-[43]). Azelaik asit ortalamalarında herhangi bir önemlilik grubu oluşmamıştır. Ancak 1 mM AzA ön uygulamasında sürgün yaş ağırlıkları 0 ve 0.5 mM AzA dozlarına göre; %7 ve %12 daha yüksek olarak elde edilmiştir. İnteraksiyon (NaCl X AzA) ortalamalarında da önemli bir etki olmamasına karşın, aynı tuzluluk seviyelerindeki farklı AzA ön uygulamalarından elde edilen değerler incelendiğinde; 1 mM AzA ön uygulaması özellikle 0, 40 ve 80 mM tuzluluk stresi şartlarında 0 mM AzA dozuna kıyasla, sırasıyla; %6, %21 ve %10 oranında sürgün yaş ağırlıklarını artırmıştır. Buna göre, tuzluluk şartlarında 1 mM AzA ön uygulamasında kök yaş ağırlığına benzer bir eğilim sürgün yaş ağırlığında da gözlemlenmiştir.

Toplam biyokütle (KYA+SYA) açısından değerlendirildiğinde; 1 mM AzA uygulanan ve özellikle 40 mM tuzluluk seviyesindeki yaş ağırlık verileri, kontrol grubu verileri ile benzer sonuçlar sergilemiştir. Bu

durumda, azelaik asidin düşük-orta tuzluluk şartlarında suyun bitki bünyesine alımını desteklediği ve bitki su içeriğini regüle ettiği kanısına varılmıştır. Bu tür uygulamaların abiyotik stres şartlarında yaş biyokütle ağırlıklarını olumlu yönde etkilediği farklı çalışmalarda da bildirilmiştir [44].

V. SONUÇLAR

Sonuç olarak, belirli oranlarda artış gösteren tuzluluk stresinin etkilerini hafifletmek amacıyla mısır tohumlarına yapılan azelaik asit ön uygulaması çimlenme parametreleri üzerinde önemli bir etki sağlamamıştır. Özellikle yüksek tuz konsantrasyonunda su alımının aksamasına bağlı olarak erken gelişim süreçleri olumsuz etkilenmiştir. Ancak, azelaik asidin özellikle bazı erken fide parametrelerinde artan tuz dozlarının olumsuz etkisini hafiflettiği belirlenmiştir. Veriler değerlendirildiğinde; tohumla uygulanan 1 mM azelaik asidin özellikle yaş ağırlıklar üzerinde herhangi bir baskılama oluşturmadığı, yanı sıra 40 mM tuzluluk stresinin olumsuz etkilerini azalttığı, su alımını regüle edebildiği ve toplam biyokütlede artış sağladığı gözlemlenmiştir. Bu tür osmoregülatör etkiye sahip biyolojik kökenli ajanların belirli doz ve sürelerde tohumlara uygulanması bitkisel üretimde tuzluluk ve kuraklık gibi stres faktörlerine karşı çözüm sunabilir. Ayrıca, bu çalışmanın marjinal sınıfa giren toprak ve su kaynaklarının bitkisel üretime kazandırılması konusuna dolaylı olarak katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yavuz, D., Kılıç, E., Seymen, M., Dal, Y., Kayak, N., Kal, Ü., & Yavuz, N. (2022). The effect of irrigation water salinity on the morph-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. *Scientia Horticulturae*, 304, 111272.
- [2] Mukhopadhyay R, Sarkar B, Jat HS, Sharma PC, Bolan NS (2021). Soil salinity under climate change: challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management* 280: 111736.
- [3] Yu ZP, Duan XB, Luo L, Dai SJ, Ding ZJ, Xia GM (2020). How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends in Plant Science* 25: 1117-1130.
- [4] Shahid M, Cong Z, Zhang D (2018) Understanding the impacts of climate change and human activities on runoff: a case study of the Soan River basin, Pakistan. *Theor Appl Climatol* 134:205–219
- [5] Süheri, S., et al., The effect of sodium chloride salinity on coated and uncoated alfalfa seeds germination. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 2019. 23(1): p. 31-38.
- [6] Türkoğlu, A., et al., Effects of early drought stress on germination and seedling growth parameters of Kırık bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Eregli J. Agric. Sci*, 2022. 2: p. 75-80.
- [7] Mondo, V.H.V., et al., Seed vigor and initial growth of corn crop. *Journal of Seed Science*, 2013. 35: p. 64-69.
- [8] Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The crop journal*, 4(3), 162-176.
- [9] Yavuz, D., Rashid, B. A. R., & Seymen, M. (2023). The influence of NaCl salinity on evapotranspiration, yield traits, antioxidant status, and mineral composition of lettuce grown under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111776.
- [10] Kiremit, M.S., et al., Farklı sulama suyu tuzluluk seviyelerinin keten (*Linum usitatissimum* L.)'in çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 2017. 32(3): p. 350-357.
- [11] Yavuz, D., et al., The effect of irrigation water salinity on the morph-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. *Scientia Horticulturae*, 2022. 304: p. 111272.
- [12] Daneshmand, F., M.J. Arvin, and K.M. Kalantari, Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. *Acta physiologiae plantarum*, 2010. 32: p. 91-101.
- [13] Vy, T.H., et al., Role of GmNAC019 transcription factor in salinity and drought tolerance of transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Biotechnology*, 2018. 16(4): p. 611-619.
- [14] Işık, M.İ., et al., Exploring the Impact of *Gypsophila perfoliata* L. Root Extract on Germination and Seedling Growth Parameters of Sweet Sorghum and Hungarian Vetch. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 2024. 17(2): p. 327-337.
- [15] Borges, A.A., et al., Priming crops against biotic and abiotic stresses: MSB as a tool for studying mechanisms. 2014, *Frontiers Media SA*. p. 642.
- [16] Güleç A., Türkoğlu A., Armağan M., Çöven Bitkisi (*Gypsophila perfoliata* L.) Kök Ekstraktının Buğday (*Triticum aestivum* L.) Tohumlarında Bazı Çimlenme Karakterleri Üzerine Etkileri
- [17] Yu, K., et al., A feedback regulatory loop between G3P and lipid transfer proteins DIR1 and AZI1 mediates azelaic-acid-induced systemic immunity. *Cell Reports*, 2013. 3(4): p. 1266-1278.

- [18] Cecchini, N.M., et al., Underground azelaic acid–conferred resistance to *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2019. 32(1): p. 86-94.
- [19] Jung, H.W., et al., Priming in systemic plant immunity. *Science*, 2009. 324(5923): p. 89-91.
- [20] Mukhtarova, L.S., et al., Hydroperoxide lyase cascade in pea seedlings: Non-volatile oxylipins and their age and stress dependent alterations. *Phytochemistry*, 2011. 72(4-5): p. 356-364.
- [21] Dinler, B.S. and H. Cetinkaya, An overview on Azelaic Acid: Biosynthesis, signalling and the action under stress conditions in plants. *Journal of Plant Stress Physiology*, 2024. 10: p. 8-12.
- [22] Haghighi, M. and A. Sheibanirad, Evaluating of Azealic Acid on Tomato Vegetative and Photosynthetic Parameters under Salinity Stress. *Journal of Horticultural Science*, 2018. 32(2): p. 287-300.
- [23] Güleç A., Türkoğlu A., Yavuz N. (2024). Azelaik asit ön uygulamasının tuz stresi altındaki arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumlarında çimlenme ve bazı fide parametreleri üzerine etkisi. VI. International Turkic World Congress on Science and Engineering, Book of Abstract, ISBN: 978-975-8062-56-0.
https://www.researchgate.net/publication/387825452_Azelaik_asit_on_uygulamasinin_tuz_stresi_altindaki_arpa_Hordeum_vulgare_L_tohumlarında_cimlenme_ve_bazı_fide_parametreleri_üzerine_etkisi
- [24] Arıcan, B., & Kale, S. (2016). Farklı sulama suyu tuzluluğu koşullarında değişik hidrojel dozlarının şeker mısır (*Zea mays*) verimine olan etkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 8-16.
- [25] Coşkun, Y., Tas, İ., Akçura, M., Oral, A., Tütenocaklı, T., & Yeter, T. (2020). Farklı sulama suyu tuzluluk düzeylerinin mısırın fide gelişimine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(4), 1139-1147.
- [26] Mustafa, G., et al., Seed priming for disease resistance in plants. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings: Implication in Plant Stress Tolerance and Enhancing Productivity in Crop Plants*, 2019: p. 333-362.
- [27] Özkorkmaz, F., N. Yılmaz, and F. Öner, Researching germination properties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under polyethylene glycol osmotic stress and saline conditions. *Akademik Ziraat Dergisi*, 2020. 9(2): p. 251-258.
- [28] Benlioğlu, B. and U. Özkan, Bazı arpa çeşitlerinin (*Hordeum vulgare* L.) çimlenme dönemlerinde farklı dozlardaki tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2015. 24(2): p. 109-114.
- [29] Bayat, E., H. Koşunkartay, and S. Kodaz, Tuzluluk Stresinin Buğdayın Çimlenme Parametreleri Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2022(41): p. 246-251.
- [30] Öner, F. and A. Kırılı, Effects of salt stress on germination and seedling growth of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Akademik Ziraat Dergisi*, 2018. 7(2): p. 191-196.
- [31] Güngör, H., Y. Çıkılı, and Z. Dumlupınar, Bazı ticari ve yerel yulaf genotiplerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 2017. 20: p. 263-267.
- [32] Doğan, R. and E.B. Çarpıcı, Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı tritikale hatlarının çimlenmesi üzerine etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 2016. 19(2): p. 130-135.
- [33] Chauhan, A., et al., Effect of different salt concentration on seed germination and seedling growth of different varieties of oat (*Avena sativa* L.). *Int J Inf Res Rev*, 2016. 3(7): p. 2627-2632.
- [34] Topçu, G.D. and Ş.S. Özkan, Farklı tuz (NaCl) konsantrasyonlarının bazı arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin çimlenme özelliklerine etkisinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2017. 5(2): p. 37-43.
- [35] Hussain, S., et al., Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil Environ*, 2013. 32(1): p. 36-43.
- [36] Altuner, F., et al., Giberellik asit (GA3) ön uygulamasına tabi tutulmuş kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) tohumunda tuz (NaCl) stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 2020. 23(2): p. 350-357.
- [37] Başaran, U. and M.Ç. Doğrusöz, Organik Bileşiklere Dayalı Priming ve Tohum Kaplamanın Yonca (*Medicago sativa* L.)'nın Fide Gelişimi ve Özelliklerine Etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 2022. 6(4): p. 667-679.
- [38] Süheri, S., et al., The effect of sodium chloride salinity on coated and uncoated alfalfa seeds germination. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 2019. 23(1): p. 31-38.
- [39] Haghighi, M. and A. Sheibanirad, Evaluating of Azealic Acid on Tomato Vegetative and Photosynthetic Parameters under Salinity Stress. *Journal of Horticultural Science*, 2018. 32(2): p. 287-300.
- [40] Demiroğlu Topçu, G., Z. Dumanoğlu, and Ş. Özkan. The effects of different seed size and salinity on germination and some early growth parameters of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) cultivars. in *2nd International Vocational Science Symposium*. 2018.
- [41] Çifci, E.A., P.Ö. Kurt, and K. Yağdı, Farklı tuz konsantrasyonlarının tritikale çeşitlerinin çimlenmesi üzerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013. 27(2): p. 1-12.
- [42] Akram, M., et al., Screening for salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) hybrids at an early seedling stage. *Pak. J. Bot*, 2010. 42(1): p. 141-154.
- [43] Açıkbaş, S. and M. Özyazıcı. Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum ssp arvense* (L.) Poir.]'nin çimlenme gelişimine etkisi. in *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V*. 2021.
- [44] Yavuz, D., Baştaş, K. K., Seymen, M., Yavuz, N., Kurtar, E. S., Süheri, S., ... & Kıymacı, G. (2023). Role of ACC deaminase-producing rhizobacteria in alleviation of water stress in watermelon. *Scientia Horticulturae*, 321, 112288.