

TUZ STRESİ ALTINDAKİ MISIR BİTKİSİNDE (*Zea mays* L.) STRES PARAMETRELERİ ÜZERİNE Ca, Mg ve K'NİN ETKİLERİ*

Sevinç YAKIT¹

A. Levent TUNA²

¹Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji A.B.D., Muğla

²Muğla Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Muğla,
e-mail: tuna@mu.edu.tr

Özet

Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine (membran geçirgenliği, nispi su içeriği, prolin, klorofil ve karotenoid miktarları ile yaprak ve köklerde makro elementler) kalsiyum (Ca), potasyum (K) ve magnezyumun (Mg) etkileri araştırılmıştır. Mısır bitkisine tuz ile ilave olarak verilen kalsiyum, magnezyum ve potasyumlu bileşikler membran geçirgenliği ve bağıl su içeriği üzerine iyileştirici etki yapmış, tuzun olumsuz etkilerini kısmen hafifletmiştir. Prolin oranı tuz uygulamasıyla beraber artmıştır. Toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarları tuz uygulamasından olumsuz etkilenmiş ancak besin çözeltisine ilave edilen kalsiyum, magnezyum ve potasyumlu bileşikler tuzun olumsuz etkisini kısmen hafifletmiş, kontrol ve tuz grubuna göre iyileştirici etki yapmışlardır. Hasat sonrası, yapraklarda membran geçirgenliği (%EC) , bağıl su içeriği (%RWC) , prolin, klorofil ve karotenoid miktarları tayin edilmiş, yaprak ve köklerde makro element (N, P, K, Ca, Mg, Na) analizleri yapılmıştır. Ayrıca bazı bitki gelişim parametreleri (sürgün ve kök kuru ağırlığı, bitki boyu, gövde çapı) saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Mısır, *Zea mays* L., Tuz Stresi, Kalsiyum, Potasyum, Magnezyum.

The Effects of Ca, K and Mg on the Stress Parameters of the Maize (*Zea mays* L.) Plant under Salinity Stress

Abstract

The impacts of calcium, magnesium and potassium on the stress parameters (membran permeability, relative water content, prolin, chlorophyll and carotenoid contents and macronutrients in leaves and roots) of maize plant (*Zea mays* L.) under salt stress were investigated. The compound of Ca, Mg and K given to the maize plant besides the salt addition a positive impact to the rates of %EC and %RWC and partially ameliorated the negative effects of the salt. The rate of proline increased during the salt treatment. The total content of chlorophyll and carotenoid were affected negatively during the salt treatment. However, the additional compounds of Ca, Mg and K in nutrient solution partially ameliorated the negative impact of the salt and led to better impact than the control and salt group. After the harvest, the membran permeability (%EC), relative water content (%RWC), prolin, chlorophyll and carotenoid contents in the leaves and macronutrient contents (N, P, K, Ca, Mg, Na) in leaves and roots were determined. Besides, some plant growth parameters (shoot and root dry matter, stem height, stem diameter) were also determined.

Keywords: Maize, *Zea mays* L., salt stress, calcium, potassium, magnesium.

1. Giriş

Orijini ve gen merkezi Amerika kıtası olan mısır (*Zea mays* L.) bitkisi gerek Dünya'da ve gerekse Türkiye'de bitkisel kökenli proteinlerin yeterli ve ekonomik üretimi için büyük önem taşımaktadır. Özellikle ülkemizde mısır tarımı hayvansal protein üretimine büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca mısırın tanesinden elde edilen nişasta, glikoz ve mısırözü yağı da ekonomide ham madde açısından büyük önem taşımaktadır. (Süzer, 2004).

Ülkemizde mısır üretimi, buğday ve arpadan sonra 3. sırayı almakta (585 bin ha

ekiliş, 2.5 milyon ton üretim ve 425 kg/da tane verimi), Karadeniz ve Marmara Bölgeleri'nde yaygın olarak tarımı yapılmaktadır. Mısır tarımı için en uygun toprak tipi; su tutma ve besin maddesi depolama kapasitesi iyi olan, kolay işlenir, iyi drenaj ve havalanma özelliği dolayısıyla milli-killi topraklardır (Süzer, 2004).

Tuzluluk stresi, kültür bitkileri açısından çevresel bir stres faktörü olup, kimyasal stres grubuna girmektedir. Yetiştirme ortamının tuz yönünden sorunlu olması birçok olumsuz etkiyi de beraberinde

*: Bu makale, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Sevinç YAKIT'ın Yüksek Lisans tezinin bir bölümüdür.

getirir. Bu olumsuz etkiler: enzim aktivasyon bozukluğu, besin dengesizliği, membran disfonksiyonu, genel metabolik süreçte aksamalar, ozmotik uyumsuzluk ve su alımında dengesizlik, oksidatif stres ve genel gelişim yetersizliği olarak sıralanabilir (Orcutt ve Nilsen, 1996). Mısır bitkisi de tuzluluğa duyarlı bir bitki olup, yetiştirme ortamının elektriksel geçirgenlik (EC - topraktaki çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonu) değeri 5.9 dS/m değerinin üzerine çıktığında üründeki azalma yaklaşık olarak %50'ye ulaşabilmektedir (Orcutt ve Nilsen, 1996). Bu nedenle mısır tarımı yapılan toprakların EC değerlerinin titizlikle saptanması gerekli bir koşuldur. Tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerde, üründeki azalışa neden olarak topraktaki artan ozmotik potansiyelden dolayı bitkinin suyu yeterince kullanamaması veya tuzlu topraklarda aşırı miktarda bulunan sodyum (Na) ve klor (Cl) gibi iyonların neden olduğu toksik etki ve iyon dengesindeki bozulmalar gösterilmektedir (Taban ve ark., 1999; Ebrahimzadeh ve ark., 2000; Essa, 2002). Tuz stresi altında kalan mısır bitkisinde genel gelişme bozuklukları ve diğer parametrelerde etkilenme sıklıkla bildirilmektedir. Çiçek ve Çakırlar (2002) çalışmalarında tuz stresine maruz bırakılan mısır bitkisinde, bitki boyu, nispi su içeriği ile toplam yaş ve kuru ağırlıklarda azalma saptarken, prolin, Na ve Na/K oranlarında artma rapor etmişlerdir. Yine Azevedo Neto ve ark. (2004) tarafından mısır bitkisi kullanılarak yapılan bir çalışmada, tuz stresi ile ilişkili olarak yaprak ve köklerin Na içeriği arttıkça potasyum (K) içeriğinin düştüğü, yaprak su potansiyeli ve transpirasyon yeteneğinin özellikle tuza hassas çeşitte bozulduğu bildirilmiştir.

Tuzlu ortamlarda yetiştirilen bitkilere dışarıdan ilave olarak yaprak veya besin çözeltilisine karıştırılmak yoluyla verilen makro besin elementlerinden özellikle kalsiyum (Ca) ve potasyumun bitkiyi tuz stresinden bir ölçüde koruduğu ve stresten etkilenme derecesini azalttığı bildirilmektedir. Örneğin; 71 mM oranında Na etkisine maruz bırakılmış mısır bitkisine destek olarak 12.5 mM oranında Ca verilmesi durumunda bitkinin strese karşı toleransının arttığı ve tuzluluktan daha az

etkilendiği bildirilmiştir (Cramer, 2002). Yine tuz stresi altındaki bitkilerde, K'nın birçok enzim için kofaktör olduğu ve Ca'nın dışsal uygulanmasıyla NaCl'nin zararlı etkisini azaltabileceği de bildirilmiştir (Hasegawa ve Bressan, 2000). Diğer bir çalışmada da, biber bitkisine dışarıdan takviye olarak verilen K'nın bitkide stres parametrelerini iyileştirici etki yaptığı rapor edilmiştir (Kaya ve Higgs, 2003).

Tuz stresi altındaki bitkilere dışarıdan uygulanan Ca, K veya fosfor (P) içeren bileşiklerin, bitkinin yaprak ve köklerinde Na ile rekabete girerek onun alınımını azalttığı ve bitki bünyesinde Ca, K ve P iyonlarının strese karşı koyabilecek yeterli düzeylere ulaşmasıyla birlikte bitkinin strese karşı koyabilme kapasitesinin de arttığı bazı çalışmalarla bildirilmiştir. Kaya ve ark. (2001) ıspanak bitkisi kullanarak yaptıkları çalışmalarında, tuz stresi altındaki bitkiye KH_2PO_4 (Potasyum di Hidrojen Fosfat) uygulamışlardır. Araştırma sonucuna göre, bitkinin yaprak ve köklerinde K ve P içeriği artmış, buna bağlı olarak da bitkinin nispi su içeriği, membran geçirgenliği ve klorofil içeriğinde iyileşme gözlenmiştir.

Bu çalışmada da tuz stresi altındaki mısır bitkisinde genel gelişme [sürgün (gövde+yaprak) ve kök kuru ağırlığı, bitki boyu, gövde çapı] ve bazı stres parametreleri (membran geçirgenliği, nispi su içeriği, prolin, klorofil ve karotenoid miktarları ile yaprak ve köklerde N, P, K, Ca, Mg ve Na gibi makro elementler) belirlenmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS 11 programından yararlanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Genel Deneme Düzeni

Araştırma, Haziran 2003-Eylül 2003 tarihleri arasında DKC 647 hibrit mısır çeşidi kullanılarak sera koşullarında aşağıda verilen deneme desenine göre üç tekrarlı saksı denemesi şeklinde yapılmıştır. Her bir saksıya 1:1 oranında 2 kg torf-kum karışımı konulmuştur. Bitkilerin genel beslenmesi Hoagland besin çözeltilisi (Hothem ve ark., 2003) ile sağlanmıştır. NaCl tuzu ve Ca, Mg

ve K elementlerinin nitrat (NO_3^-) ve klor (Cl^-) tuzları da Hoagland besin çözeltisine ilave edilmiştir.

Deneme deseni aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

1. Kontrol (NaCl içermeyen besin çözeltisi)
2. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi
3. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 20 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
4. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 10 mM CaCl_2
5. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 20 mM $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
6. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 10 mM MgCl_2
7. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 20 mM KNO_3
8. 100 mM NaCl + Besin çözeltisi + 10 mM KCl

Mısır tohumları denemeden önce torf ve kum dolu bir kasada çimlendirilip 15 gün bu ortamda büyütülmüşlerdir. Ardından saksılara 3'er mısır fidesi aktarılmıştır. Uygulamalar fideler 15 günlük iken başlamış ve 3 gün boyunca sadece su verilmiştir. Uygulamaya 200 ml besin çözeltisi + 200 ml tuz çözeltisi verilerek başlanıp sonra 15'er günlük 3 dönem halinde çözeltiler arttırılmıştır. İlk uygulamada 1 gün 400 ml çözelti + 200 ml su verilmiştir. Ardından sırasıyla çözelti 400 ml, 500 ml, 650 ml' ye çıkarılmıştır. Hoagland besin çözeltisinin %EC'si 1.8-2.0 dS/ m' yi geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. 70. günün sonunda deneme tamamlanmış, mısırlar hasat edilip kök ve sürgün kuru ağırlıkları bulunmuş, membran geçirgenliği, nispi su içeriği, prolin, klorofil ve karotenoid miktarları tayin edilmiş, bitki boyu ve gövde çapı ölçülmüş, yaprak ve köklerde makro element analizleri (N, P, K, Ca, Mg, Na) yapılmıştır.

2.2. Denemede Kullanılan Yöntemler

2.2.1. Membran Geçirgenliği (%EC)

Hasat sonrası laboratuara getirilen her bir bitkinin yapraklarından 1 cm çapında diskler alınmıştır. Diskler saf su ile yıkanmış

ve kahverengi cam şişelere 20'şer tane konulmuştur. Üzerlerine 10'ar ml saf su ilave edilmiş ve analiz üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Hazırlanan şişeler 24 saat çalkalayıcıda bırakılmış ve süre sonunda şişelerdeki çözeltiler tüplere boşaltılıp EC metrede EC_1 değeri ölçülmüştür. Ardından çözeltiler şişelere geri boşaltılmış ve 120°C ' de 20 dakika otoklavlanmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında EC_2 değeri ölçülmüş ve $\text{EC}_1 / \text{EC}_2 \times 100$ formülünden %EC değeri hesaplanmıştır (Lutts ve ark., 1996).

2.2.2. Nispi Su İçeriği (%RWC)

Hasat sonrası deneme deseninde belirtilen her gruptan ayrı ayrı 3'er tekrarlı olmak üzere bitki yapraklarından 20 'şer disk alınmış, tartılmış ve yaş ağırlıkları (YA) saptanarak kapaklı petri kaplarına yerleştirilmiştir. Diskler, turgorlu hale gelmeleri için saf suda yüzecek şekilde 4 saat süreyle petri kaplarında bırakılmış ve 4 saat sonra turgorlu ağırlıklar (TA) tartılarak belirlenmiştir. Daha sonra 70°C ' de 24 saat etüvde kurutulup kuru ağırlık (KA) belirlenmiş ve aşağıdaki formül yardımıyla %RWC değeri hesaplanmıştır (Barr ve Weatherley, 1962).

$$\left[\frac{\text{Y.A.} - \text{K.A.}}{\text{T.A.} - \text{K.A.}} \right] \times 100$$
(Y.A. : Yaş ağırlık, K.A. : Kuru Ağırlık, T.A. : Turgorlu Ağırlık)

2.2.3. Klorofil ve Karotenoid Tayini

Hasat sonrası bir önceki analizde açıklandığı gibi, bitki yapraklarından 0,5 'er g alınmış, tartılmış ve kıyılmıştır. Kıyılan örnekler havana alınmış, üzerine spatül ucuyla magnezyum karbonat (MgCO_3), kuvarz kumu ve 15 ml %80 'lik aseton ilave edilmiş, tokmakla ezilerek ekstraktı çıkartılmıştır. Karışım santifrüj tüpüne konulmuş ve üzerine 5 ml daha aseton konarak 3000 devirde 5 dakika santifrüj edilmiştir. Üst fazdan 4 ml çekilmiş, üstüne 12 ml aseton konulup tüp çalkalanarak 645 ile 663 nm 'de ayrı ayrı spektrofotometrede absorbansları ölçülmüştür. Sıfır ayarı, % 80'lik aseton ile yapılmıştır. Karotenoid tayini içinde aynı örneklerde ayrıca 450 nm 'de okuma yapılmıştır (Strain ve Svec,1966).

2.2.4. Kuru Ağırlık

Hasat sonrası bitki sürgün ve kök örnekleri etüvde 48 saat 70°C'de bekletilmiş, son iki tartım eşit olduğunda etüvden çıkarılıp kuru ağırlıklar hesaplanmıştır (Kacar, 1972).

2.2.5. Yaprak ve Köklerde Makro Element Analizleri

Makro element (N, P, K, Ca, Mg, Na) analizleri için kurutulmuş ve öğütülmüş yaprak ve kök örneklerinin her birinden 1'er gram tartılmış ve üzerlerine ¼ oranında 12 ml perklorik asit (HClO₄), nitrik asit (HNO₃) eklenerek 1 gece bekletilmiş ve daha sonra sıcak hotplate ve çeker ocak içerisinde yaş yakmaya tabi tutulmuştur. Asit miktarı yaklaşık 1 ml kaldığında ve perklorik asitin yoğun beyaz dumanları erlenin içerisinde dağıldığı zaman yakma işlemi sona erdirilmiştir. Daha sonra erlen içerisindeki yanmış bitki örneği sıcak distile su ile süzülerek 100 ml'ye tamamlanmıştır. Soğutulduktan sonra bu materyalde makro elementlerden K, Ca ve Na alev fotometresinde, Mg atomik absorpsiyon spektrofotometresinde, P kolorimetrik olarak spektrofotometrede, N ise Kjeldahl yöntemi ile tayin edilmiş ve sonuçlar kuru maddede % olarak verilmiştir (Kacar, 1972).

2.2.6. Bitki Boyu ve Gövde Çapı Ölçümleri

Bitki boyu toprak seviyesinden itibaren metre ile, gövde çapı da üçüncü internodyumun üzerinden kumpasla ölçülmüştür.

2.2.7. Prolin Analizi

0,5 g taze yaprak örneği % 3'lük sülfosalisilik asit ile parçalanmış ve filtre edilmiştir. Filtrattan 2 ml alınmış üzerine 2 ml asetik asit ve 2 ml ninhidrin reagent konulmuştur. Ninhidrin reagent; ninhidrin, asetik asit ve ortofosforik asit kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra tüplere konulan örnekler 1 saat 100°C'de su banyosunda tutulmuş, reaksiyon buzda sonlandırılmıştır. Soğuyan örneklerin üzerine 4 ml toluen eklenmiş, vortekslenmiş ve 520 nm'de

spektrofotometrede okunmuştur. Daha sonra prolin standartlarıyla karşılaştırılarak hesaplama yapılmıştır (Bates ve ark., 1973).

3. Bulgular ve Tartışma

Tuz stresi altında sera koşullarında yetiştirilen DKC 647 çeşidi mısır bitkisinde hasat sonrası yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1'den görüleceği gibi, %EC değerinin kontrol grubunda en düşük olduğu; fakat tuz grubunda kontrole göre yaklaşık 5 kat artış gösterdiği, ilave verilen Ca, Mg ve K'lı bileşiklerin %EC değeri üzerinde iyileştirici bir etki yaptığı gözlenmiştir. %EC (Elektriksel Geçirgenlik) veya membran geçirgenliği olarak da tanımlanabilen bu parametre, özellikle tuz ve su stresi altındaki bitkilerde hücre içi ve hücre dışı ozmotik uyumsuzluğa bağlı olarak gelişen bir iyon dengesizliği olarak tanımlanabilmektedir. Bu test, hücre membran stabilitesi hakkında ve apoplastik bölgelerdeki nispi iyon içeriği hakkında da değerli bilgiler vermektedir (Munns, 2002; Ghoulam ve ark., 2002). Tuz stresi altındaki birçok bitkide %EC değerlerinin artış gösterdiğine dair bulgular mevcuttur. Ghoulam ve ark., (2002) şeker pancarında ve Lutts ve ark., (1996) pirinçte tuz stresi altında %EC değerlerinde artış görüldüğünü rapor etmişlerdir. Yine tuz stresi altındaki bitkilere dışarıdan uygulanan makro besin elementlerinin %EC değerleri üzerine iyileştirici etki yaptığı da bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Kaya ve Higgs, (2003) biber bitkisine dışarıdan K, ve yine Kaya ve Higgs, (2002) hıyar bitkisine dışarıdan Ca uygulamalarının bu bitkilerde %EC değerleri üzerine olumlu etki yaptığını rapor etmişlerdir.

%RWC değerlerine bakıldığında ise; %RWC değerlerinin tuz uygulamasında en düşük; kontrol grubu uygulamasında en yüksek olduğu görülmektedir. Tuz uygulamalarıyla beraber %RWC değerleri önemli oranda düşüş göstermiştir. Ayrıca ilave olarak verilen Ca, Mg ve K'lı bileşikler %RWC değerlerinde tuz uygulamasına göre genellikle iyileştirici etki yapmıştır. %RWC değerleri toprak çözeltisinde su

potansiyelinin düşmesine bağlı olarak azalmaktadır. Katerji ve ark., (1997) şeker pancarında, Srivastava ve ark., (1998) buğdayda, Kaya ve Higgs, (2003) biber bitkisinde olmak üzere tuz stresi altındaki bitkilerde %RWC değerlerinin azaldığını ve ilave besin elementi takviyesiyle %RWC değerlerinde düzelme olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmadan elde edilen bulgular bu tezi doğrulamaktadır.

Prolin aminoasidi, son yıllarda bitki stres fizyolojisinde üzerinde en çok çalışılan bileşiklerden birisi olmuştur. Bu bileşiğin tuz ve su stresi altındaki bitkilerde önemli oranlarda yükseldiği ve bu sayede bitki savunma mekanizmasını harekete geçirerek bitkinin strese karşı koyma mekanizmasını desteklediği görüşü hakimdir (Shannon, 1997). Bu çalışmada da prolin oranı NaCl uygulamasında artmıştır, bunun nedeni bitkinin tuz stresine olan tepkisidir. Tuza ilave olarak besin çözeltisine eklenen Ca, Mg ve K'lı bileşikler, NaCl verilen grupta karşılaştırıldığında prolin miktarlarında azalmalara neden olarak stresi hafifletici etki yapmışlardır. Prolin miktarlarında saptanan azalma, membran geçirgenliğindeki azalma ve nispi su içeriğindeki artışlarla doğru orantılıdır. Bu da bitkinin strese karşı bir tolerans veya kendi kendini koruyucu bir etki geliştirdiğinin bir kanıtı olabilir. Bokhari ve Trent, (1985) su stresi altındaki çim bitkisinde, Özdemir ve ark., (2004) ise

tuz stresi altındaki pirinç bitkisinde prolin oranlarında önemli derecelerde artış görüldüğünü bildirmişlerdir.

Klorofil içeriği de, tuz stresi altındaki bitkilerde olumsuz etkilenmektedir. Tuz stresi altında genel metabolik faaliyetlerin aksaması, başta Ca ve K olmak üzere N, P ve Mg gibi makro besin elementlerinin alınımında kısıtlanma gibi faktörler klorofil aktivasyonunu olumsuz etkiler. Bu çalışmada da NaCl uygulamasıyla beraber toplam klorofil ve karotenoid içerikleri önemli ölçüde azalmış, ancak besin çözeltisine eklenen Ca, K ve Mg bileşikleri NaCl'nin klorofil ve karotenoid miktarları üzerindeki olumsuz etkisini hafifletmişlerdir. Tuz stresi altında klorofil miktarlarında genel metabolik süreçteki aksamaya bağlı olarak azalma birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Çiçek ve Çakırlar, (2002) mısırdaki, Gadallah, (1999) ise bakla bitkisinde tuz stresi altında yaprakların klorofil içeriğinde azalmalar görüldüğünü bildirmişlerdir. Biber bitkisi kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada da tuz stresi altındaki bitkiye dışarıdan uygulanan KNO_3 bileşiğinin, yaprak ve köklerde K ve klorofil içeriğini arttırdığı ve stres parametrelerini hafiflettiği bildirilmiştir (Kaya ve Higgs, 2003). Öte yandan 30 ve 60 mM NaCl stresi altındaki *Psidium guajava* L. bitkisinde ilave olarak verilen 0-5-10-15 mM $Ca(NO_3)_2$ bileşiğinin yaprak klorofil

Çizelge 1. Tuz Stresi Altındaki Mısır Bitkisine Uygulanan Ca, Mg ve K'lı Bileşiklerin Yapraklardaki % EC, %RWC, Prolin, Klorofil a, Klorofil b, Toplam Klorofil ve Toplam Karotenoid İçerikleri Üzerine Etkisi.

Uygulama	EC (%)	RWC (%)	Prolin ($\mu\text{mol/g}$ Y.A.)	Klorofil a (mg/g Y.A.)	Klorofil b (mg/g Y.A.)	Toplam Klorofil (mg/g Y.A.)	Toplam Karotenoid (mg/g Y.A.)
Kontrol	13,3±0.32e	49,8±0.57a	2,29±0.11e	1,92±0.08e	1,87±0.37e	3,79±0.29d	2,03±0.21f
NaCl	66,4±2.11a	27,5±0.57c	3,91±0.26a	1,57±0.05f	0,73±0.09f	2,3±0.17e	1,64±0.17g
NaCl + CN	38,8±1.21c	42,4±0.86b	3,12±0.14c	2,62±0.09c	2,19±0.26b	4,81±0.41b	2,71±0.19d
NaCl + CC	44,2±1.07b	37,7±0.49b	2,88±0.46d	2,62±0.08c	2,01±0.19d	4,63±0.47b	2,26±0.26e
NaCl + MN	34,8±1.12cd	43,1±0.51b	3,58±0.72b	2,9±0.11b	2,25±0.32a	5,15±0.54a	3,19±0.3a
NaCl + MC	38,8±0.99c	40,6±0.56b	3,24±0.67c	3,17±0.1a	2,12±0.29c	5,29±0.51a	2,97±0.29b
NaCl + KN	24,3±1.15e	41,9±0.44b	3,22±0.57c	2,59±0.12c	2,16±0.14b	4,75±0.39b	2,88±0.31c
NaCl + KC	29,3±1.15de	39,6±0.50b	3,05±0.56d	2,39±0.08d	1,97±0.19d	4,36±0.40c	2,71±0.26d

Y.A. Yaş ağırlık, Çizelgedeki her bir veri üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir.

Her sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

CN: $Ca(NO_3)_2$, CC: $CaCl_2$, MN: $Mg(NO_3)_2$, MC: $MgCl_2$, KN: KNO_3 , KC: KCl .

içeriğini önemli derecede arttırdığı bildirilmiştir (Ebert ve ark., 2002).

Streslen etkilenen diğer parametreler de, kök ve sürgün kuru ağırlıkları ile bitki boyu, gövde çapıdır. Tuz stresi altındaki bitkilerde köklerin su alma yeteneklerinde önemli azalmalar meydana geldiğinden, kök gelişimi ve gövde uzaması gibi faaliyetlerde gerileme görülür. Stres altındaki bitkilerin gövde çapları azaldığı gibi boyları da kontrole göre küçük kalmaktadır. Aynı şekilde yaprak alanı ve generatif evreye geçişte çiçeklenme ve meyve verimi de olumsuz etkilenir. Tuz stresinin yukarıda sayılan sonuçları uzun dönemde ortaya çıkan arazlardır. Stres altındaki bitkilerin sürgün ve köklerinde kuru madde ve yaş ağırlıklarında önemli ölçüde azalmalar olduğu bir çok bitkide başka araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Irshad ve ark., 2002; Ghoulam ve ark., 2002; Daşgan ve ark., 2002).

Bu çalışmada elde edilen sürgün ve kök kuru ağırlığı ile toplam kuru ağırlık, bitki boyları ve gövde çapları Çizelge 2'de verilmiştir.

Tuzlu topraklarda ozmotik dengesizlik ve kök bölgesi su potansiyelindeki düşüşe bağlı olarak bitkinin su ve besin elementlerini alması engellenmektedir. Bitkinin topraktan su ve besinleri yeterli miktarda alamaması stres

yaratmakta, bitkide stres durumu da bitki gelişimi, verimlilik ve ürün kalitesinde önemli ölçüde aksamalara neden olmaktadır. Özellikle köklerden alınan iyonların birbirlerine olan dengesizliği ve dokularda fazla miktarlarda toksik iyon birikimi sonucu gövde yeterince gelişme gösterememektedir. Bu durum hem boyuna hem de enine büyüme için de geçerlidir.

Çizelge 2'den de görüleceği gibi, çalışmamızda NaCl uygulaması ile sürgün ve kök kuru ağırlıklarında düşme meydana gelmiştir. Sürgün kuru ağırlığına bakıldığında, tuza ilave olarak verilen bileşikler, KCl hariç, NaCl grubuna göre kuru ağırlıklarda hafif derecede artışlara neden olmuştur. Fakat bu artışlar istatistikî olarak önemsiz görünmektedir. Kök kuru ağırlığında da benzer bir durum söz konusudur. Bitki boyu ve özellikle gövde çapı, besin çözeltilisine ilave edilen element bileşikleri nedeniyle önemli düzeyde artış göstermiştir.

Tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerde görülen ve metabolik faaliyetlerde önemli aksamalara neden olan olumsuz faktörlerden birisi de besin elementi dengesizliğidir. Kök bölgesinde artan Na alımına bağlı olarak rekabet sonucu başta Ca olmak üzere K, P ve N alınımı olumsuz etkilenmektedir. Bu durum Na ile diğer elementler arasındaki antagonizmden ileri

Çizelge 2. Tuz Stresi Altındaki Mısır Bitkisine Uygulanan Ca, Mg ve K'lı Bileşiklerin Sürgün Kuru Ağırlığı, Kök Kuru Ağırlığı, Toplam (Sürgün+Kök) Kuru Ağırlık, Bitki Boyu ve Gövde Çapına Etkisi.

Uygulama	Sürgün kuru ağ. (g)	Kök kuru ağ. (g)	Toplam kuru ağ. (g)	Bitki boyu (cm)	Gövde çapı (mm)
Kontrol	52,5±8.32	14,9±2.60a	67,4±7.37a	119±6.08b	30,3±4.97c
NaCl	35,1±4.91	10,1±1.45b	45,2±3.78b	108±4.05c	18,1±1.15e
NaCl + CN	35,5±4.91	9,7±1.15b	45,2±4.61b	112±2.30b	24,5±1.73d
NaCl + CC	47,9±10.7	10,1±1.52b	58±4.09b	123±4.33b	31,1±5.20c
NaCl + MN	37,7±3.46	9,9±1.15b	47,6±3.75b	113±2.60b	31,4±5.48c
NaCl + MC	45,2±2.88	9,7±0.57b	54,9±3.21b	132±3.75a	42,3±1.73b
NaCl + KN	41,4±6.48	9,5±0.57b	50,9±5.50b	127±3.75b	53,6±2.51a
NaCl + KC	33,1±2.02	8,8±0.66b	41,9±2.64c	111±1.15b	42,1±1.15b

Çizelgedeki her bir veri üç tekrarin ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir.

Her sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

CN: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CC: CaCl_2 , MN: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, MC: MgCl_2 , KN: KNO_3 , KC: KCl .

gelmektedir (Fageria, 2001).

Hasattan hemen sonra yaprak ve köklerde belirlenen N, P, K, Ca, Mg ve Na içerikleri Çizelge 3 'de verilmiştir.

Membranlarda element bağlanma bölgelerinde Na ile özellikle diğer katyonik elementler rekabete girdiğinden ve hücre içi elektrolit dengesinin bozulmasından dolayı tuz stresi altındaki bitkilerde başta Ca ve K olmak üzere diğer bazı besin elementlerinin alımı ve taşınımı azalmaktadır. Bu çalışmada da Çizelge 3'de görüldüğü gibi, NaCl uygulanan grupta Na hariç, diğer elementlerde azalma görülmüş, besin çözültüsüne ilave edilen Ca, Mg ve K'lı bileşikler, NaCl'nin zararlı etkisini azaltıcı ve/veya ortadan kaldıracı yönde olmak üzere bitkide makro element miktarları üzerine genellikle olumlu etki yapmıştır. Ancak Çizelge 3'ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, bazı istisnalar bulunmaktadır. Şöyle ki; KNO₃ uygulanan

grupta Ca içeriği NaCl grubuna göre az ancak istatistikî olarak önemli bulunmayan bir düşüş göstermiştir. Aynı durum CaCl₂ ve KNO₃ uygulanan gruplarda Mg için de gözlenmiştir. Na'ya bakıldığında ise, element uygulamalarıyla, yaprak Na içeriklerinde NaCl grubuna göre azalmalar gözlenmiştir. Ancak bu azalmalar Ca(NO₃)₂ ve Mg(NO₃)₂ uygulamaları için istatistiksel olarak önemsiz iken diğer uygulamalar için önemli bulunmuştur.

Özellikle başta Ca olmak üzere K ve diğer bazı makro elementler, bitkiler üzerindeki tuzluluğun olumsuz etkilerini hafifletici özellikleriyle bilinmektedir. Özellikle Ca, bitkide aynı membrana bağlanma bölgelerinde kendisi ile rekabete giren Na iyonlarını ayarlayıcı etkileri nedeniyle olumlu bir etkiye sahiptir ve hücre membranını tuzluluğun toksik etkilerinden korumaktadır (Busch, 1995; Ehret ve ark., 1990). Tuzluluk stresi altındaki bitkilerde

Çizelge 3. Tuz Stresi Altındaki Mısır Bitkisine Uygulanan Ca, Mg ve K'lı Bileşiklerin Yaprak ve Kök Makro Element İçerikleri Üzerine Etkisi (%).

Uygulama	Yaprak					
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Na%
Kontrol	1,86±0.09	0,31±0.02	2,51±0.25c	0,59±0.06c	0,34±0.02a	0,13±0.01c
NaCl	1,40±0.06	0,24±0.01	1,29±0.11d	0,57±0.04c	0,15±0.01b	1,47±0.06a
NaCl + CN	2,22±0.15	0,32±0.03	2,20±0.19c	1,43±0.08a	0,22±0.01b	1,46±0.04a
NaCl + CC	1,75±0.19	0,30±0.01	2,34±0.26c	0,89±0.08b	0,12±0.01b	1,07±0.04b
NaCl + MN	2,13±0.22	0,32±0.06	2,46±0.21c	0,80±0.04b	0,34±0.03a	1,43±0.05a
NaCl + MC	1,79±0.31	0,30±0.03	2,6±0.32c	0,59±0.03c	0,20±0.02b	1,16±0.06b
NaCl + KN	1,93±0.10	0,27±0.02	4,33±0.39a	0,54±0.06c	0,14±0.01b	1,26±0.08b
NaCl + KC	1,76±0.08	0,32±0.05	3,82±0.33b	0,81±0.09b	0,16±0.01b	1,29±0.07b

Uygulama	Kök					
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Na%
Kontrol	1,33±0.09d	0,25±0.03	1,69±0.12b	0,77±0.09c	0,24±0.03	0,23±0.01b
NaCl	1,26±0.07d	0,20±0.03	0,98±0.07c	1,02±0.12b	0,19±0.02	3,54±0.19a
NaCl + CN	1,94±0.11a	0,18±0.02	1,88±0.14b	1,75±0.11a	0,27±0.04	3,03±0.17a
NaCl + CC	1,09±0.08e	0,22±0.02	1,97±0.12b	1,17±0.10b	0,20±0.02	3,33±0.19a
NaCl + MN	1,78±0.12b	0,22±0.02	1,77±0.12b	1,61±0.12a	0,52±0.05	2,94±0.19a
NaCl + MC	1,23±0.09d	0,22±0.01	1,86±0.13b	1,1±70.11b	0,39±0.04	3,05±0.14a
NaCl + KN	1,66±0.11c	0,17±0.01	2,82±0.18a	1,25±0.14b	0,28±0.02	2,81±0.13a
NaCl + KC	1,33±0.10d	0,21±0.02	2,93±0.19a	1,19±0.13b	0,24±0.02	3,04±0.15a

Çizelgedeki her bir veri üç tekrarın ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir.

Her sütunda farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir.

CN: Ca(NO₃)₂, CC: CaCl₂, MN: Mg(NO₃)₂, MC: MgCl₂, KN: KNO₃, KC: KCl

kök bölgesinde artan Na konsantrasyonuna bağlı olarak yaprak ve köklerde Na içeriği artarken, Ca ve K gibi katyonların içerikleri azalmaktadır. Ghoulam ve ark., (2002) şeker pancarında, Lacerda ve ark., (2002) sorgumda ve Essa, (2002) soyada bizim bulgularımıza benzer sonuçlar rapor etmişlerdir.

Köklerde de yapraklardakine benzer sonuçlar saptanmıştır. Köklerin Na içeriği de element uygulamalarıyla NaCl grubuna göre yapraklardaki gibi azalmalar göstermiş, K ve Ca içerikleri ise NaCl uygulanan gruba göre önemli düzeyde artmıştır. Ancak, CaCl₂ ve MgCl₂ uygulanan grupta köklerin azot içerikleri, Ca(NO₃)₂ ve KNO₃ uygulanan grupta ise P içerikleri azalma göstermiştir. P ve N'deki bu azalmalar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3).

4. Sonuç

Bu çalışma, tuz stresi altındaki mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) çeşitli stres parametreleri (membran geçirgenliği, nispi su içeriği, prolin, klorofil ve karotenoid miktarları ile yaprak ve köklerde N, P, K, Ca, Mg, Na gibi makro elementler) üzerine Ca, K, Mg'nin etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Araştırma sonuçlarına genel olarak bakıldığında; tuz uygulamasının bitki gelişimini olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Örneğin, NaCl uygulaması, yapraklarda kontrol grubuna göre %EC değerini arttırırken, %RWC değerini azaltmıştır. Yine, tuz uygulamalarıyla beraber yaprakların prolin içeriği de artmıştır.

Toplam klorofil ve karotenoid miktarları ise tuz uygulamalarıyla azalmıştır. Tuz uygulaması, kuru ağırlık, bitki boyu, gövde çapını da olumsuz etkilemiştir. Tuz uygulaması yapraklardaki makro elementleri genelde olumsuz etkilemiş, ancak besin çözültisine ilave olarak verilen Ca, Mg ve K'lı bileşikler ile yaprak ve köklerde N, P, Ca, K ve Mg içeriklerinde genellikle artış saptanmıştır. Fakat tartışma bölümünde de belirtildiği gibi, KNO₃ ve CaCl₂, sırasıyla yaprakların Ca ve Mg içeriklerinde önemsiz azalmaya neden olmuştur. Besin çözültisine NO₃⁻ ve Cl⁻ tuzları şeklinde eklenen Ca, K

ve Mg'li bileşikler, bitkinin özellikle %EC, %RWC ve kuru ağırlık parametrelerini olumlu etkilemişlerdir. Uygulanan bileşiklerin kendilerinin de birer tuz olduğu dikkate alındığında, kontrolsüz ve aşırı miktarlarda kullanılmaları besin çözültülerinin %EC değerlerini yükselterek bitkiye zararlı etkiler yapabilmektedir. Bu çalışmada da, söz konusu konsantrasyonlarda yapılan tuz uygulamalarının %EC değerlerinde NaCl grubuna göre yeterince azalma sağlayamadığı ve bu durumun da bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyebileceği söylenebilir.

Bu tür çalışmalarda beklenen sonuçlar; (daha optimum kuru madde oranları, daha düşük membran geçirgenliği, daha yüksek nispi su içeriği ve optimum katyon miktarları, vd.)'dir. Tuz stresi altında olan bitkide, yüksek membran geçirgenliğini azaltmak ve nispi su içeriğini yükseltmek için hücreye Na'nın zararlı etkilerini tolere edebilecek miktarda Ca ve K sokulması arzu edilen bir durumdur. Bu çalışmada beklenen optimum sonuçlara ulaşamaması, besin çözültisine ilave edilen NO₃⁻ ve Cl⁻ iyon oranlarının fazla olmasına bağlanabilir. Bu gibi çalışmalarda direkt besin çözültisiyle birlikte verilecek NO₃⁻ ve Cl⁻ iyon oranlarının bitki büyüme ve gelişimi için önemli olduğunu ve bu nedenle de besin çözültisine ilave edilecek iyon konsantrasyonlarının değişik bitkiler için denemeler sonucu bulunması gerektiğinin yararlı olabileceğini düşünmekteyiz.

Kaynaklar

- Azevedo Neto, A.D., Prisco, J.T. and Eneas-Filho, J. 2004. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.*,16:1,31-38.
- Barr, H.D. and Weatherley, P.E., 1962. A re-examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficit in Leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant Soil.* 39, 205-207.
- Bokhari, U.G. and Trent, J.D., 1985. Proline Concentrations in Water Stressed Grasses. *Journal of Range Management* 38(1), 37-38.
- Busch, D.S., 1995. Calcium regulation in plant cell

- and his role in signalling. *Annual Review in Plant Physiology*. 46, 95-102.
- Cramer, G.R., 2002. Calcium-sodium interactions under salinity stress. In: *Salinity. Environment-Plants-Molecules*. Eds. A. Läuchli and U. Lüttge. Kluwer Acad. Publishers pp:205-228.
- Çiçek, N. and Çakırlar, H., 2002. The Effect of Salinity on Some Physiol. Parameters in two Maize Cult..Bulg. *J.Plant Physiol.*,28(1-2),66-74.
- Daşgan, H.Y., Aktas, H., Abak, K. ve Cakmak, I., 2002. Determination of Screening Techniques to Salinity Tolerance in Tomatoes and investigation of Genotype Responses, *Plant Science* 163, 695-703.
- Ebert, G., Eberle J., Ali Dinar H., Lüdders P., 2002. Ameliorating effects of Calcium Nitrate on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressing guava seedlings. *Scientia Horti*. 93, 125-135.
- Ebrahimzadeh H, Meighany F, Rahimian H. 2000. Role of mineral ions in salt tolerance of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*,32,2, 265-271.
- Ehret, D.L., Remann, R.E., Harvey, B.L. and Cipywnyk, A., 1990. Salinity-induced Ca²⁺ defic. in wheat and barley. *Plant Soil*. 128, 143-151.
- Essa T.A., 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188,2: 86-93.
- Fageria, V.D., 2001. Nutrient interactions in crop plants. *J. Of Plant Nutrition*, 24:8, 1269-1290.
- Gadallah, M.A.A., 1999. Effect of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*. 42:2, 249-257.
- Ghoulam, C., Foursy, A. and Fores, K., 2002. Effects of Salt Stress on Growth Inorganic ions and Proline Accumulation in Relation to Osmotic Adjustment in Five Sugar Beet Cultivars, *Enviromental and Exp. Botany*, 47 : 39-50.
- Hasegawa, P.P. and Bressan, R.A., 2000. Plant cellular and mol. res. to high salinity. *Annu.Rev.Plant Physiol. Plant Mol.Biol.*51: 463-499.
- Hothem S.D., Marley K.A. and Larson R.A. 2003. Photochemistry in Hoagland's nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*. 26,4, 845-854.
- Irshad, M., Yamamoto, S., Eneji, A.E., Endo, T. and Hona, T., 2002. Urea and Manure Effect on Growth and Mineral Contents of Maize Under Saline Conditions, *Journal of Plant Nutrition*, 25(1): 189- 200.
- Kacar, B., 1972. Toprağın ve Bitkinin Kimyasal Analizleri , Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 53 , A.Ü. Basımevi, Ankara.
- Katerji, N., Van, Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastrorilli, M. and Mou Karzel, E., 1997. Osmotic adjustment of sugarbeets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricul. Water Manage.*, 34, 57-69.
- Kaya C., Higgs D. and Kirnak H., 2001. The effects of high salinity and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulg. J. Plant Physiol.* 27(3-4), 47-59.
- Kaya, C. and Higgs, D., 2002. Calcium Nitrate as a Remedy for Salt-Stressed Cucumber Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 25(4), 861-871.
- Kaya, C. and Higgs, D., 2003. Supplementary KNO₃ Improves Salt Tolerance in Bell Pepper Plants, *J. of Plant Nutr.* 26,7, 1367-1382.
- Lacerda C.F., Cambraia J., Olivab M.A. and Ruiz H.A., 2002. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany* 54, 69-76
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced Senescence in Leaves of Rice Cultivars Differing in Salinity Resistance. *Ann. Bot.* 78, 389-398.
- Munns, R., 2002. Comparative Physiology of Salt and Water Stress, *Plant, Cell & Environment*, 25:2, 239.
- Orcutt, D.M. and Nilsen, E.T., 1996. The physiology of plants under stres. Soil and biotic factors. pp: 177-237, John Wiley&Sons, inc. NY.
- Özdemir, F., Bor, M., Demiral, T. and Turkan, I., 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice under salinity stres. *Plant Growth Regulation* 42: 203-211.
- Shannon, M.C., 1997. Adaptation of Plants to Salinity. *Advances in Agronomy* vol:60.
- Srivastava, T.P., Gupta, S.C., Lal, P., Muralia, P.N. and Kumar, A., 1998. Effect of salt stress on physiological and biochem. parameters of wheat. *Ann. Arid Zone*. 27, 197-204.
- Strain, H.H. and Svec, W.A., 1966. Extraction, Separation, Estimation and Isolation of Chlorophylls. In *The Chlorophylls*, Vernon, L.P. ; Seely, G.R. Acad. Press, N.Y. 21-66.
- Süzer, S., 2004. Mısır tarımı, Trakya Tarımsal Enstitüsü Yay.
- <http://www.ttae.gov.tr/makaleler/misirtarimi.htm>
- Taban, S., Günes, A., Alparslan, M. ve Özcan H., 1999. Değişik mısır çeşitlerinin tuz stresine duyarlılıkları. *Tr. J. of Agric and Forestry*, 23 (3):625-633.