

## **Serada topraksız domates yetiştiriciliğinde silisyumun tuz stresine etkisi\***

**Gölgen Bahar ÖZTEKİN<sup>1</sup>, Yüksel TÜZEL<sup>1</sup>, İ. Hakkı TÜZEL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova, İZMİR

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova, İZMİR

\*Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından (2010-ZRF-001) desteklenmiştir.

Alınış tarihi: 14 Ekim 2016, Kabul tarihi: 12 Aralık 2016

Sorumlu yazar: Gölgen Bahar ÖZTEKİN, e-posta: golgen.oztekin@ege.edu.tr

### **Öz**

2010 yılı sonbahar döneminde sera domates (cv. Duru F1) yetiştiriciliğinde tuz stresine karşı silisyumun (Si) etkisinin araştırılması amacıyla yürütülen çalışmada, bitkiler 2 farklı besin solüsyonu tuzluluk seviyesinde (2 dS/m:Kontrol ve 8 dS/m:Tuzlu) yetiştirilmiş ve her iki besin solüsyonuna ilave edilen 2.5 mM silisyum (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) uygulaması (Si<sup>+</sup>), silisyumsuz (Si<sup>-</sup>) kontrol uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Yetiştiricilik açık sistem ortam kültürü şeklinde saksılarda yürütülmüş ve denemede üç farklı ortam (perlit, Hindistan cevizi lifi ve klinoptilolit) kullanılmıştır. Bitki gelişimi için gerekli tüm besin elementleri damla sulama ile verilmiştir. Dikimden 3 hafta sonra besin solüsyonuna NaCl ilave edilerek bitkilere tuz uygulanmaya başlanmıştır. Üç faktörlü bölünmüş parseller deneme desenine göre kurulan denemede, fide dikimleri 05.09.2010 tarihinde m<sup>2</sup>'de 3.48 bitki olacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen veriler; tuzluluğun artan yaprak Na içeriği ile bitki gelişimi, verim, meyve adedi, yaprak K içeriği, bitki su tüketimi ve su kullanım randımanını azalttığını; besin solüsyonuna silisyum ilavesinin ise olumlu etki yaptığını göstermiş; tuzlu koşulda kök bölgesinde silisyum varlığı tuz stresinin olumsuz etkisini azaltıcı yönde etki yapmıştır. Araştırma sonucunda, silisyumun tuz stresini azaltmada pratik ve ucuz bir alternatif uygulama olabileceği; topraksız yetiştiricilikte organik bir ortam olan Hindistan cevizi lifi kullanımının silisyumun tuz toleransını arttırmadaki etkisini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** NaCl, Si, hindistan cevizi lifi, biyomas, verim, su kullanım etkinliği

**Effects of silicon to salinity stress on soilless tomato grown in greenhouse**

### **Abstract**

This study was conducted during the autumn season of 2010 in greenhouse tomato (cv. Duru F1) production in order to determine the effects of silicon against to salinity stress. Plants were grown in two different salinity levels (2 dS m<sup>-1</sup>:Control and 8 dS m<sup>-1</sup>: Salty); 2.5 mM silicon (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) was added to both nutrient solutions (Si<sup>+</sup>) and compared with non-silicon (Si<sup>-</sup>) treatments. Growing was carried out in open culture in pots. Three different substrates (perlite, cocopeat and clinoptilolite) were used as growing media. Water and nutrient requirements of plants were supplied with complete nutrient solution via drip irrigation. Salinity was started 3 weeks after transplanting and EC level was increased by adding NaCl to nutrient solution. The experiment was split plot design with 3 replicates. Seedlings were transferred into greenhouse on 05.09.2010 with a plant density of 3.48 plant m<sup>-2</sup>. Overall results showed that increasing Na content of leaves decreased plant growth, yield, fruit number, leaf K content, plant water consumption and water use efficiency. However silicon in the nutrient solution did a positive effect and presence of silicon in the root zone decreased the negative effect of salinity. It was concluded that silicon could be functional and

cheap alternative strategy against salinity stress and cocopeat as an organic substrate can increase salinity tolerance of silicon in soilless culture.

**Key words:** NaCl, Si, cocopeat, biomass, yield, water use efficiency

## Giriş

Tarımsal ürünlerin performansını etkileyen ve en önemli çevresel stres faktörlerinden biri olan tuzluluk, gerek açıkta ve gerekse seralarda yapılan üretimde risk oluşturmaktadır. Tuz stresi bitkilerde türe, bitkinin gelişim dönemindeki sürekliliğine ve etki süresine bağlı olarak, bitki su ilişkilerini (ozmotik etki) ve beslenme düzenini (özel iyon etkileri) etkilemektedir. Tuzun ortamda bulunması veya ilave edilmesiyle suyun ozmotik potansiyeli düştüğünden tuz stresi bitkiyi fizyolojik kuraklık stresine maruz bırakmaktadır. Osmotik stres, bitkilerde ozmotik dehidrasyon meydana getirmekte ve hücrenin su ve ozmotik potansiyelini hızla düşürerek hacmini azaltmaktadır. Tuzluluğun bitkilerde teşvik ettiği diğer bir etki de NaCl alınımının diğer minerallerin alınımıyla rekabete girerek yol açtığı beslenme noksanlığıdır. Her koşulda tuz stresi sonucunda ortaya çıkan su, beslenme ve enerji düzenlerindeki dengesizliklerin her biri, hem birbirlerinden bağımsız olarak, hem de birbirlerinin etkilerini arttırarak bitki gelişimi, verim ve kalite üzerinde olumsuz etkilerde bulunmaktadır (Levit, 1980).

Tuzluluk problemi açıkta yetiştiricilikte özellikle yanlış sulama yapılan kurak ve yarı kurak bölgelerde meydana gelmektedir (Kanber ve ark., 1992). Yoğun tarım alanları olan seralarda ise yüksek sıcaklık ve evapotranspirasyon yanında drenajın iyi olmaması, kalitesiz suların kullanılma zorunluluğu, monokültür uygulamaları sonucu üreticilerin dengesiz ve yoğun gübreleme yapması (Kaplan ve ark., 1999; Sönmez ve Kaplan, 2004), kıyı şeridinde deniz suyunun sulama suyuna karışması (Anaç ve Eryüce, 2003) tuzluğa neden olan önemli etmenlerdir. Tuzluluk problemi kalitesiz sulama suyu kullanımı yanında, kullanılan besin solüsyonunun içerdiği tuzların topraksız ortamlarda kök hacimleri küçük olduğu için hızla birikimi ile topraksız yetiştiricilikte de ortaya çıkabilmektedir (Sonneveld ve ark., 1999; Li, 2000).

Seralarda tuzlanmanın zararlı etkilerini azaltmak için tolerant/dayanıklı bitki kullanmak yanında düzenli ve bilinçli gübreleme, organik madde kullanımı, fazla suyun drenaj yardımıyla uzaklaştırılması, fazla sulama ile toprağın yıkanması, seraların yaz aylarında boş bırakılması, derin sürümler yapılması ve üst toprak katmanının zaman zaman değiştirilmesi (Sevgican, 2002); aşılı bitki kullanımı (Öztekin, 2009), topraksız tarımda ara yıkamalar, tuzlu ve temiz suyun münavebeli kullanımı (Adams and Ho, 1989) ve uygun gübreleme rejimleri (Navarro et al., 2000) gibi çözüm yolları uygulanabilmektedir. Ancak alınabilecek bu önlemlerin kolay ve pratik olduğunu söylemek güçtür ve genellikle pahalı ve geçici çözümlerdir. Oysa tuza dayanıklı çeşitlerin ıslahı daha kalıcı ve tuzluluğun zararlı etkilerini azaltan tamamlayıcı bir çözümdür. Nitekim tuza tolerant çeşit ve anaçlı bitki kullanımı çözüm yolu gibi görünse de ekonomik anlamda sorun yaratabilmektedir. Bu durumda zaten gübre olarak kullanılması gereken ve stres koşulları altında bitki dayanıklılığını arttıran silisyum (Si) gibi kimyasalların uygulanması tuz stresine dayanımı arttırmada bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Epstein, 1999; Romero Aranda ve ark., 2006; Savvas ve ark., 2009).

Silisyum yeryüzünde oksijenden sonra en çok bulunan ikinci elementtir, yer kabuğunun Si içeriği ortalama %8'dir (Sumner, 2001). Bitki biyolojisinde silisyumun rolü tam anlamıyla anlaşılmamıştır; yüksek bitkilerin gelişimi için gerekli elementler arasında yer almaz ve kural dışı bitki besin elementi olarak kabul edilmektedir (Epstein, 1999; Meunier, 2003). Oysa Werner ve Roth (1983) silisyumun yüksek organizmalar için temel element olduğunu; Epstein (1994) bitki gelişimi için silisyumun mutlak suretle gerekliliğini belirtmiştir. Bitkilerdeki Si miktarı % 0.1-10 (kuru ağırlık) arasında değişmektedir. Bu miktar ile aslında pek çok makro element kadar bitkideki varlığından söz edilebilir.

Yapılan çalışmalarda Si'un sağlıklı bitki büyümesi ve gelişimi üzerine yararlı etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur (Anderson ve ark., 1991; Savant ve ark., 1997). Silisyumun kullanım amacı daha çok bitki hastalık ve zararlıların ortaya çıkmasını azaltması etkisi (Menzies and Balenger, 1996; Savant ve ark., 1997; Ma ve Takahashi, 2002) ile olmasına rağmen, silisyumun bitkilerin savunma mekanizmasını aktif

hale getirdiğini ve tuz stresi (Aranda ve ark., 2005), kuraklık (Gong ve ark., 2005) ve metal (Al, Mn, Cd) toksisitesine (Barcelo ve ark., 1993) karşı bitki direncini/toleransını arttırdığı ispatlanmıştır. Silisyum verim ve bitki gelişimini artırıcı etkileri de bulunmaktadır (Lee ve ark.,1990; Ma ve ark.,1992; Ma and Takahashi, 2002).

Silisyumun tuzluluk, kuraklık, donma gibi abiyotik stres faktörlerine maruz bitkilerde antioksidatif savunma mekanizmasının çalışmasını teşvik ettiği, bitki gövdesini kuvvetlendirdiği, fotosentez ve su kullanma etkinliği üzerine olumlu etkilerinin olduğu, stres altındaki bitkilerde lipid peroksidasyonunu ve membran geçirgenliğini azaltarak stres faktörlerine dayanımı artırdığı rapor edilmektedir (Gong et al, 2003; Zhu ve ark., 2004; Liang ve ark., 2005).

Silisyumun yukarıda sayılan faydaları nedeni ile tarımda kullanılması kaçınılmazdır. Serada açıkta yetiştiriciliğe göre fazla olan tuzluluk sorununa karşı silisyum uygulamasının etkili/alternatif bir çözüm yolu olacağı düşünülmektedir. Bu konuda yurtdışında yapılmış çok fazla çalışma olmasına karşın, çalışmaların çoğunluğunun çeltik, buğday, mısır gibi bitkilerde toplandığı; sebzelerden ise çoğunlukla hıyarda çalışma yapıldığı görülmektedir. Ülkemizde ise bu konuda yürütülmüş çalışmalar son derece sınırlıdır. Sera sebzeleri konusunda ve özellikle domateste ülkemizde yürütülmüş çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca yapılan kaynak taramasında silisyum ile ilgili çalışmaların daha çok su kültüründe yoğunlaştığı, pratikte kullanılan ortam kültüründe çok fazla çalışma olmadığı görülmüştür. Yürütülecek bu çalışmada tuzluluk probleminin sıklıkla yaşandığı seralarda en çok üretimi yapılan ve tuzluluğa orta derecede hassas olan domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisinde tuz zararını azaltmada ve de tuzlu ve tuzsuz koşullarda silisyumun bitki gelişimi, verim, meyve kalitesi, yaprak besin maddesi içeriği, bitki su tüketimi gibi parametreler üzerine farklı ortamlardaki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### Materyal ve Yöntem

Araştırma 2010 yılı sonbahar döneminde Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü (Bornova-İzmir)'ne ait kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmiş yay çatılı, havalandırma açıklıkları net ile kaplı PE örtülü ve çift tünelli sebze araştırma serasında yürütülmüştür.

Denemede bitkisel materyal olarak domates (*Solanum lycopersicum*), çeşit olarak ise "Duru F1" (Yüksel Tohumculuk, Antalya) kullanılmıştır.

Kullanılan fideler hazır fide firmasından (Dost Fide A.Ş., Serik, Antalya) temin edilmiştir.

Araştırma "3 faktörlü bölünmüş parseller" deneme desenine göre kurulmuş olup, ana parselleri tuzluluk düzeyleri; alt parselleri ise besin solüsyonuna Si uygulaması ve ortam oluşturmuştur. Üç tekerrürlü olarak kurulan denemede, m<sup>2</sup>'de 3.48 bitki (1.15 x 0.25 m) yer almıştır.

Topraksız yetiştiricilikte açık sistem ortam kültüründe yürütülen araştırmada, yetiştirme ortamı olarak "Perlit" (İzper Perlit İşletmeleri, Çiğli, İzmir), "Cocopeat: Hindistan cevizi kabuğu lifi" (Tartes Tarım San. Tic. Ltd. Şti., Görece-Menderes, İzmir) ve "Zeolit (Klinoptilolit)" (NMF 9000: Enli Madencilik, Gördes, Manisa) kullanılmıştır. Bitki başına 6 litre olacak şekilde toplam 18 litre ortam, boyutları 75x23x16 cm olan, plastik yatay saksılara (Model:S334, Ceren Plastik, Yenisehir-İzmir) konulmuştur. Fide dikimleri her saksıya 3 bitki olacak şekilde 05.09.2010 tarihinde yapılmış ve dikimden 2 gün sonra bitkilere besin solüsyonu uygulanmıştır.

Bitkilerin beslenmesinde Day (1991)'in reçetesinden yararlanılmıştır. Hazırlanan besin solüsyonunun pH'sı 5.5-6.5, elektiriksel iletkenliği (EC) 2.0-2.5 dS/m arasında tutulmuştur. Araştırmada, besin solüsyonunun kök bölgesine uygulanmasında damlama sulama sistemi (2.4 l/saat debili, on-line, basınç düzenleyicili damlatıcılar) kullanılmıştır. Çalışmada her konuya ait uygulanan besin solüsyonu miktarı ölçümü ve kalibrasyonu yapılmış ilgili sayaçlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan saksıların alt kısımlarında uygulanan besin solüsyonu fazlasının drenaj yoluyla dışarı atılabilmesi amacıyla drenaj delikleri açılmıştır. Her konudan drene olan besin solüsyonu kendi drenaj tankında toplandıktan sonra, üzerine sayaç monte edilmiş dalgıç pompa yardımıyla drene olan miktar saptanarak sera dışına uzaklaştırılmıştır (Sonneveld and Voogt, 2001). Haftada 3 kez ana tank ve drenaj tanklarından alınan besin solüsyonu örneklerinin elektiriksel geçirgenliği (EC) ve pH ölçümleri EC metre (Mettler Toledo, MC-126) ve pH metre (Mettler Toledo, Seven Easy) yardımı ile yapılmıştır.

Dikimden iki gün sonra fidelere besin solüsyonu uygulanmaya başlamıştır. Besin solüsyonunun uygulanma zamanı sera içersinde ölçülen birikimli güneş radyasyonu değerinin 1 MJ/m<sup>2</sup> değerine ulaşması esas alınarak yapılmıştır. Konulara uygulanan besin solüsyonu miktarı saksı drenaj çıkışlarında yapılan gözlemlere dayandırılmış, drene

olan/uygulanan besin solüsyonu oranı günlük olarak yaklaşık %30-35 olacak şekilde drenaja izin verilmiştir (Winsor and Shwarz, 1990; Lieth, 1996). Bu amaçla sulama süreleri bitki gelişim dönemi, yetiştirme dönemi ve iklim koşulları göz önüne alınarak haftalık olarak düzenlenmiştir.

Dikimden 3 hafta sonra bitkilere tuz uygulamasına başlanmış; besin solüsyonu EC seviyesini arttırmak için "sodyum klorür" (NaCl)'den yararlanılmıştır. Bu amaçla işlenmiş deniz tuzundan (Aktuz Ltd. Şti., Işıkkent-Bornova, İzmir) yararlanılmıştır. Day (1991)'e göre hazırlanan besin solüsyonunun EC seviyesi doğal olarak 2.0-2.5 dS/m arasında değişmiş ve kontrol uygulaması olarak [tuz uygulanmamış, (-NaCl): 2 dS/m] kabul edilmiştir. Tuzluluk konusu ise [tuz uygulanmış, (+NaCl): 8 dS/m] ilgili besleme tankına konulan 2 dS/m tuz seviyesindeki besin solüsyonuna EC değerleri 8 dS/m olana kadar NaCl stok solüsyonu (1 L besin solüsyonuna 65.7 mM NaCl) ilave edilerek sağlanmıştır. Hazırlanan besin solüsyonunun EC seviyesi 8.0-8.5 dS/m arsında tutulmaya çalışılmıştır.

Tuz uygulaması ile birlikte besin solüsyonuna 2.5 mM Si silisyum uygulaması başlamış ve bu amaçla "potasyum silikat" (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)'dan (EGEKal 1401: Ege Kimya, Nehirkent, Adapazarı) yararlanılmıştır. Konusuna ait ilgili tanka besin solüsyonu doldurulduktan sonra kullanılan hacme göre tanklara potasyum silikat stok solüsyonu ilave edilmiştir. Potasyum silikattan gelen potasyum oranı (% 13 K<sub>2</sub>O) ise normal besin reçetesinde olması gereken potasyumlu gübre oranından düşürülmüştür.

Araştırmada bitki bakım işleri Sevgican (2002)'a göre yürütülmüştür. Bitki büyümesi 20.01.2011 tarihinde 7. salkım üzerinden büyüme ucunun alınması şeklinde durdurulmuştur.

Araştırma süresi boyunca sera içi sıcaklık, nem ve solar radyasyon değerleri Delta T marka RHt2 (sıcaklık+nem) ve GS (global radyasyon) sensörleri ile ölçülmüştür. Buna göre sıcaklıklar 0.55 ile 41.4 °C arasında (ort. 19.7°C); oransal nem % 20.2 ile %90 arasında (ort. %65.6); solar radyasyon değeri 0.00 ile 0.53 kW/m<sup>2</sup> arasında (ort. 0.17 kW/m<sup>2</sup>) değişmiştir.

Üretim dönemi sonunda her konudan 4 bitki sökülerek bitki biyomasi (kök, meyve ve vejetatif aksam yaş ve kuru ağırlığı, g/bitki) hesaplanmıştır. Hasatlar 18.11.2010 tarihinde başlamış, 27.01.2011 tarihine kadar 11 hasat yapılmıştır. Dönem

içerisinde hasat olgunluğuna gelen meyvelerde toplam verim (kg/m<sup>2</sup>), toplam verim değerlerinden pazarlanamaz boydaki (çapı 3.5 cm'den küçük meyveler) ve zarar görmüş (çiçek burnu çürüklüğü, fizyolojik bozukluk gösteren meyveler) meyvelerin ağırlığı çıkarılarak pazarlanabilir verim (kg/m<sup>2</sup>) değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte her hasatta sayılan ve çaplarına göre sınıflandırılan [4. boy: pazarlanamaz (<3.5 cm), 3. boy: küçük boy (3.5-4.5 cm), 2. boy: orta boy (4.5-5.5 cm) ve 1. boy: büyük boy (>5.5 cm)] meyveler üzerinden de toplam meyve sayısı (adet/m<sup>2</sup>), ortalama meyve ağırlığı (adet/m<sup>2</sup>) ve meyve sınıflandırması (%) hesaplanmıştır. Yetiştirme dönemi ortasında alınan genç yaprak örneklerinde N, P, K, Ca ve Na analizleri yapılmıştır (Kacar, 1972). Yetiştirme dönemi içinde her uygulamadan drene olan besin solüsyonu ayrı tanklarda toplanarak, haftada 3 gün hacimleri ölçülmüştür. Bitki su tüketimi hesaplanmıştır. Araştırmada açık sistemde gerçek bitki su tüketiminin (litre/bitki/gün) belirlenmesinde su bütçesi yönteminden (konulara uygulanan besin solüsyonu ile drenaj olan miktarlar arasındaki fark) yararlanılmıştır (Baille, 1996; Castilla, 2000). Su kullanım etkinliğinin hesaplanmasında birim alandan elde edilen toplam verim ve o birim alandaki bitkilere uygulanan sulama suyu miktarından yararlanılmıştır (Chaves ve ark., 2004; Howell, 2006).

Elde edilen verilere bilgisayarda SPSS (sürüm 16.0) istatistiksel analiz paket programı kullanılarak varyans analizi uygulanmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi kullanılmıştır. F testine göre öd değeri istatistiksel anlamda önemsiz (P≥0.05), \* değeri %5 seviyesinde önemli (P≤0.05) ve \*\* değeri %1 seviyesine göre önemli (P≤0.01 veya P≤0.001) olarak belirtilmiştir. Şekiller ise standart hata değerleri ile beraber sunulmuştur.

## Bulgular

### Bitki gelişimi

Tuz uygulamasının bitki boyu, yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığı (P<0.001) ve meyve yaş ve kuru ağırlığı üzerine (P<0.05); silisyum uygulamasının bitki boyu (P<0.05) ve vejetatif aksam yaş ve kuru ağırlığı üzerine (P<0.01), ortamların ise bitki boyu (P<0.01), kök yaş (P<0.001) ve kuru ağırlığı (P<0.05) üzerine etkileri önemli bulunmuştur. İkili ve üçlü interaksyonların ölçülen hiçbir parametre üzerine etkisi istatistiksel önemde bulunmamıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Uygulamaların bitki boyu ve biyomasi üzerine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Vejetatif Aksam (g)		Meyve (g)		Kök (g)		
		Yaş ağırlık	Kuru ağırlık	Yaş ağırlık	Kuru ağırlık	Yaş ağırlık	Kuru ağırlık	
Tuz (T)	2 dS/m	198.00 a	681.36 a	60.72 a	829.11 a	35.74 b	30.46	3.78
	8 dS/m	185.11 b	389.11 b	41.33 b	742.89 b	48.42 a	29.24	3.19
Silisyum (Si)	Si -	187.72 b	488.40 b	46.14 b	791.94	41.37	28.36	3.62
	Si +	195.39 a	582.07 a	55.91 a	780.06	42.79	31.35	3.36
Ortam (O)	Perlit	189.75 b	540.64	50.87	808.75	42.46	35.49 a	3.74 a
	Hindistan cevizi lifi	199.00 a	556.79	53.62	783.25	43.18	23.68 c	2.75 b
	Klinoptilolit	185.92 b	508.27	48.58	766.00	40.60	30.38 b	3.97 a
P değerleri	T	0.000	0.000	0.000	0.044	0.012	0.519	0.101
	Si	0.010	0.006	0.003	0.879	0.762	0.120	0.460
	O	0.002	0.446	0.400	0.902	0.898	0.000	0.018
	TxSi	0.779	0.893	0.441	0.633	0.655	0.747	0.971
	TxO	0.153	0.936	0.556	0.129	0.233	0.163	0.433
	SixO	0.533	0.798	0.605	0.974	0.946	0.349	0.537
	TxSixO	0.285	0.249	0.511	0.222	0.233	0.349	0.695

Besin solüsyonunun tuz içeriğinin 8 dS/m'ye yükseltilmesi ile meyve kuru ağırlığı hariç, ölçülen tüm bitki gelişim parametrelerinde azalış görülmüştür. Nitekim bitki boyu %6.5, yeşil aksam yaş ve kuru ağırlıkları %42.9 ve %31.9; meyve yaş ağırlığı %10.4 oranında azalırken, meyve kuru ağırlığı %35.5 oranında artış göstermiştir. Besin solüsyonuna silisyum ilavesi ile bitki boyu %4.1, vejetatif yaş ağırlık %19.2, kuru ağırlık %21.2 oranında istatistiksel olarak artış göstermiştir. Farklı ortam kullanımı bitki boyu ve kök gelişimi üzerine etkili olmuş, bitki boyu en fazla Hindistan cevizi lifinde (199.00 cm), en az klinoptilolit ortamında (185.92 cm) yetişen bitkilerden elde edilmiştir. Kök yaş ağırlığı perlitte, kuru ağırlığı klinoptilolitte ve perlitte en yüksek değere ulaşmıştır. Klinoptilolit ve perlit kullanımı Hindistan cevizi lifine göre kök kuru ağırlığını %44.4 ve %36.0 oranında arttırmıştır.

Tuz x silisyum x ortam üçlü interaksiyonunun ise sadece toplam bitki kuru ağırlığı üzerine etkisi

( $P < 0.05$ ) önemli bulunmuştur. En yüksek ve en düşük değerler 108.39 g (2 dS/m x Si+ x perlit) ile 73.28 g (8 dS/m x Si- x klinoptilolit) arasında değişmiştir. Ortam farklılığına bakılmaksızın tuzlu koşulda silisyum uygulaması ile toplam bitki kuru ağırlığı %15.28 oranında artış göstermiştir.

#### Verim değerleri

Tuz uygulamasının verim değerleri, meyve adet ve ağırlığı ile meyve çapları üzerine etkisi önemli ( $P \leq 0.001$ ) bulunmuştur (Çizelge 2). Silisyumun meyve adeti ve çapı 3.5 cm'den küçük meyveler üzerine; ortamların meyve ağırlığı ve çapları hariç ölçülen diğer verim parametreleri üzerine etkisi önemli ( $P \leq 0.005$ ) bulunmuştur. Tuz x silisyumun meyve ağırlığı üzerine etkisi ( $P \leq 0.001$ ); tuz x ortamın çapı 3.5 cm'den küçük ve 4.5-5.5 cm arasındaki meyveler üzerine etkisi ( $P \leq 0.005$ ) istatistiksel olarak önemli bulunurken; diğer ikili ve üçlü interaksiyonların meyve verimi üzerine etkileri önemsiz çıkmıştır.

Çizelge 2. Verim değerleri ve meyve çapı üzerine uygulamaların etkileri

Uygulamalar		Toplam verim (kg/m <sup>2</sup> )	Paz.bilir verim (kg/m <sup>2</sup> )	Toplam adet (adet/m <sup>2</sup> )	Paz.bilir adet (adet/m <sup>2</sup> )	Ort. meyve ağırlığı (g)	Meyve çapı (%)			
							<3.5	3.5-4.5	4.5-5.5	>5.5
Tuz (T)	2 dS/m	11.18 a	11.10 a	125.67 a	118.51a	88.96 a	5.7 b	14.11 b	20.53 b	59.70 b
	8 dS/m	6.44 b	6.30 b	112.84 b	99.53 b	57.15 b	11.71a	25.79 a	45.95 a	16.55 a
Silisyum (Si)	Si -	8.61	8.49	116.97 b	105.98 b	72.91	9.51 a	20.22	33.03	37.24
	Si +	9.01	8.90	121.54 a	112.07 a	73.21	7.86 b	19.68	33.45	39.01
Ortam (O)	Perlit	8.74 ab	8.64 ab	119.53 ab	108.70 ab	72.21	9.15	20.34	32.45	38.05
	Hindistan cevizi lifi	9.33 a	9.23 a	122.28 a	112.81 a	75.66	7.62	18.90	34.23	39.26
	Klinoptilolit	8.36 b	8.24 b	115.95 b	105.56 b	71.32	9.29	20.60	33.03	37.08
P değerleri	T	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Si	0.179	0.172	0.050	0.013	0.872	0.045	0.741	0.836	0.341
	O	0.036	0.036	0.092	0.048	0.143	0.171	0.656	0.764	0.624
	TxSi	0.380	0.346	0.034	0.126	0.003	0.198	0.235	0.958	0.100
	TxO	0.198	0.261	0.922	0.366	0.100	0.028	0.992	0.020	0.118
	SixO	0.915	0.920	0.080	0.064	0.546	0.696	0.259	0.704	0.756
	TxSixO	0.936	0.921	0.571	0.984	0.658	0.227	0.933	0.235	0.584

Toplam ve pazarlanabilir verim değerleri besin solüsyonunun tuz içeriği arttıkça azalmıştır. Bu azalış sırası ile % 42.4 ve % 43.2 oranında olmuştur. 2 dS/m tuz konusunda m<sup>2</sup>'den toplam 125.7 adet meyve alınmış ve 8 dS/m konusundaki bitkilerden %11.4 oranında fazla meyve elde edilmiştir. Benzer durum pazarlanabilir meyve ağırlığında da görülmüştür. Tuz uygulaması ile ortalama meyve ağırlığı %35.8 oranında azalmış, daha fazla çapı 3.5'den küçük meyveler elde edilmiştir. Birinci sınıf (çapı 5.5 cm'den büyük) meyveler 2 dS/m besin solüsyonu ile beslenen bitkilerden elde edilmiş; tuz uygulaması ile iri meyve çapı %72.3 oranında azalış göstermiştir. Buna karşın ara çaplardaki daha küçük meyve büyüklüğü 8 dS/m konusunda daha fazla olmuştur. Silisyum uygulamasının toplam ve pazarlanabilir verim üzerine etkisi her ne kadar istatistiksel olarak önemsiz çıksa da Si+ ile toplam verim %4.7, pazarlanabilir verim %4.8 oranında artış göstermiştir. Besin solüsyonuna Si ilavesinin m<sup>2</sup>'deki meyve sayısı üzerine etkisi önemli bulunmuş, Si+ uygulaması toplam meyve sayısı %3.9; pazarlanabilir meyve sayısı %5.75 oranında artış göstermiştir. Si+ uygulaması ile daha az sayıda

çapı 3.5 cm'den küçük meyveler elde edilmiştir. Kullanılan ortamlar içerisinde en yüksek toplam ve pazarlanabilir verim, toplam ve pazarlanabilir meyve sayısı Hindistan cevizi lifinden elde edilmiştir. Bunu perlit ve klinoptilolit izlemiştir. İstatistiksel önemli olmamasına rağmen ortalama meyve ağırlığı ve iri meyve çapı değerleri de en yüksek Hindistan cevizi lifinden elde edilmiştir. Tuz, silisyum ve ortam ikili ve üçlü interaksiyonlarının ölçülen verim parametreleri üzerine etkisi çoğunlukla önemsiz bulunurken; özellikle 8 dS/m tuz stresi altında Si+ uygulamasının verim değerlerini arttırdığı; en yüksek değerlerin Si+ x Hindistan cevizi lifi uygulamasından elde edildiği görülmüştür.

#### Yaprak besin maddesi içeriği

Genç yapraklarda yapılan besin maddesi içeriği sonuçları, tuz uygulamasının Ca ve Na, silisyum uygulamasının Ca üzerine (P≤0.001); silisyumun ana etkisinin ve tuz x silisyum intraksiyonunun Na üzerine (P≤0.01); silisyumun K ve ortamların P içeriği üzerine (P≤0.01) etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 3).

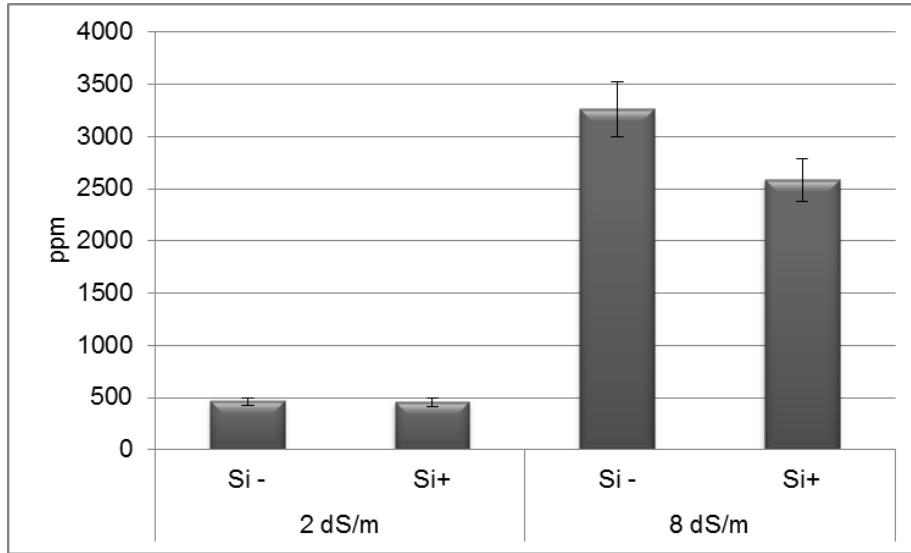
Çizelge 3. Uygulamaların genç yaprakta besin maddesi içeriği üzerine etkileri

Uygulamalar		N %	P %	K %	Ca %	Na ppm
Tuz (T)	2 dS/m	5.80	0.30	4.93	0.94 b	458.2 b
	8 dS/m	5.87	0.30	4.55	1.29 a	2921.8 a
Silisyum (Si)	Si-	5.94	0.30	4.40 b	1.02 b	1860.3 a
	Si+	5.72	0.31	5.07 a	1.21 a	1519.7 b
Ortam (O)	Perlit	5.94	0.30 b	4.74	1.12	1750.7
	Hindistan cevizi lifi	5.79	0.31 a	4.79	1.10	1656.7
	Klinoptilolit	5.76	0.30 b	4.69	1.12	1762.5
P değerleri	Tuz (T)	0.722	0.663	0.168	0.000	0.000
	Silisyum (Si)	0.289	0.205	0.023	0.001	0.009
	Ortam (O)	0.740	0.041	0.953	0.857	0.738
	TxSi	0.520	0.055	0.737	0.349	0.010
	TxO	0.303	0.115	0.463	0.734	0.761
	SixO	0.355	0.564	0.746	0.397	0.125
	TxSixO	0.223	0.284	0.746	0.481	0.113

Besin solüsyonunun tuz içeriğinin 8 dS/m'ye yükseltilmesi ile yaprak K içeriği azalmış; N, Ca ve Na içeriği artmıştır. Özellikle Na içeriğindeki artış istatistiksel olarak önemli olup, bu artış %537.7 olarak hesaplanmıştır. Ca içeriğindeki artış ise %37.2 olmuştur. Besin solüsyonuna silisyum ilavesi ise P, K ve Ca içeriğini arttırmış; N ve Na içeriğini azaltmıştır. Si+ uygulaması Si- konusuna göre yaprak Na içeriğini %18.3 oranında azaltmıştır. K ve Ca artış ise sırası ile %15.3 ve %18.2 oranında olmuştur. Ortamların sadece yaprak P içeriği üzerine etkisi önemli çıkmış;

aralarında çok büyük farklar olmamakla beraber Hindistan cevizi lifi en yüksek P içeriğine sahip olmuştur.

İkili interaksiyon etkileri içinde sadece tuz x silisyum interaksiyonunun yaprak Na içeriği üzerine etkisi önemli bulunmuş; tuz stresi altında silisyum uygulaması ile yaprak Na içeriği %20.7 oranında azalmıştır (Şekil 1). Tuz x silisyum x ortam üçlü interaksiyonunun yaprak besin element içeriği üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur.



Şekil 1. Tuz x silisyum interaksiyonunun yaprak Na içeriği üzerine etkisi.

### Bitki su tüketimi

Yetiştirme dönemi boyunca bitkilere uygulanan besin solüsyonu miktarları 89.0-102.4 L/bitki (ort. 2 dS/m x Si- konusuna 101.0 L/bitki, 2 dS/m x Si+ konusuna 99.4 L/bitki; 8 dS/m x Si- konusuna 90.8, 8

dS/m x Si+ konusuna 89.3 L/bitki) arasında değişmiştir. Silisyum uygulanan konulara uygulanmayanlara göre yaklaşık 1.5 L daha az besin solüsyonu verilmiştir. Ortamlara uygulanan besin solüsyonu hemen hemen aynı olmuş; ortamlardan drene olan besin solüsyonu çok büyük farklılıklar

göstermemekle birlikte 42.1 L/bitki (2 dS/m x Si+ x klinoptilolit) ile 57.5 L/bitki (2 dS/m x Si+ x perlit) arasında değişmiştir. Si+ konularında drene olan besin solüsyonu miktarı uygulanan besin solüsyonu miktarının daha az olmasına bağlı olarak daha az olmuştur. Dönem boyunca elde edilen mevsimlik bitki su tüketimi ortamlara ve silisyum uygulanmasına göre farklılık göstermiş ve 35.9 L ile 57.1 L arasında değişmiştir. 8 dS/m tuz uygulaması ile bitki su tüketimi kontrole göre yaklaşık %25 oranında azalış göstermiştir. Tuzlu koşulda Si uygulaması bitki su tüketimini %5.3 oranında arttırmıştır. Ortamlar arasında Hindistan cevizi lifi

ile klinoptilolit konularına göre değişen miktarda yüksek bitki su tüketimine sahip olurken, en düşük bitki su tüketimi perlit ortamından elde edilmiştir. Bitkilerin sezon içerisinde haftalık bitki su tüketimi 0.11 ile 6.26 L/bitki arasında (ort. 2.23 L/bitki) değişmiştir. Yıkama oranı %30-35 olarak hedeflenmesine karşın, özellikle bitki su tüketiminin düşük olduğu günlerdeki sulama miktarlarının ayarlanmasındaki zorluklar nedeniyle, uygulamada %44.1 ile 61.8 arasında değişmiş ve yıkama oranı tuz uygulanan konularda daha fazla, silisyumlu konularda daha az olmuştur (Çizelge 4).

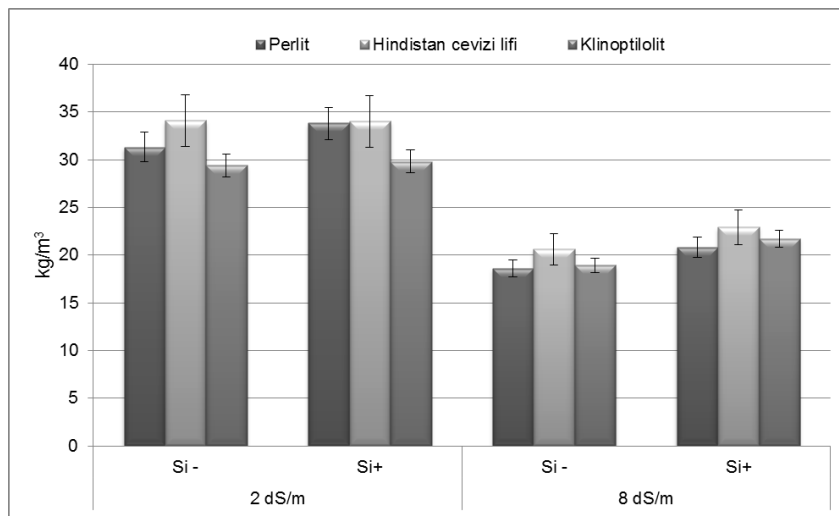
Çizelge 4. Bitkilere uygulanan, drene olan ve tüketilen besin solüsyonu miktarı ile yıkama oranları

Uygulamalar	Si-				Si+				
	Uygulanan Besin Solüsyonu (L/bitki)	Drene Olan Besin Solüsyonu (L/bitki)	Bitki Su Tüketimi (L/bitki)	Yıkama Oranı (%)	Uygulanan Besin Solüsyonu (L/bitki)	Drene Olan Besin Solüsyonu (L/bitki)	Bitki Su Tüketimi (L/bitki)	Yıkama Oranı (%)	
2 dS/m	Perlit	102.4	56.6	45.7	55.3	98.1	57.5	40.6	59.8
	H.cevizi lifi	100.3	44.2	56.1	44.1	99.7	42.7	57.1	45.8
	Klinoptilolit	100.4	52.8	47.6	52.6	100.5	42.1	58.4	44.4
	ORT.	101.0	51.2	49.8	50.7	99.4	47.4	52.0	50.0
8 dS/m	Perlit	90.5	54.6	35.9	59.3	89.0	50.0	39.0	57.1
	H.cevizi lifi	91.3	54.2	37.1	61.8	89.0	45.9	43.1	54.0
	Klinoptilolit	90.5	51.2	39.3	58.5	89.9	53.3	36.6	59.7
	ORT.	90.8	53.3	37.4	59.8	89.3	49.7	39.5	56.9

### Su kullanım etkinliği (WUE)

Uygulanan sulama suyu üzerinden hesaplanan WUESSM 2 dS/m konusunda 29.4 ile 34.0 kg/m<sup>3</sup>, 8 dS/m konusunda ise 18.6 ile 22.9 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Genel olarak WUE Si+ konularında daha yüksek olmuş; tuz uygulaması ile de önemli bir azalış

görülmüştür. Besin solüsyonunun tuz içeriğinin artırılması ile WUESSM Si- konusunda %38.8, Si+ konusunda %33.0 oranında azalış göstermiştir. Ortamlar arasında WUE çok farklılık göstermemiş olmakla beraber en yüksek WUESSM 2 dS/m x Si- x Hindistan cevizi lifinden elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Uygulanan sulama suyu (SSM) üzerinden hesaplanan WUESSM değerleri (kg/m<sup>3</sup>).



## Tartışma ve Sonuç

Besin solüsyonunun tuz içeriğinin 2 dS/m'den 8 dS/m'ye çıkartılması ile ölçülen tüm bitki gelişim parametreleri ile toplam ve pazarlanabilir verim değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar, artan NaCl konsantrasyonunun bitkide yaratmış olduğu iyon dengesizliği (Levitt, 1980; Munns and Termaat, 1986; Pasternak, 1987) yanında ozmotik strese bağlı olarak ortaya çıkan ozmotik dehidrasyon ve artan transpirasyon ile açıklanabilmektedir. Ozmotik dehidrasyon hücrenin su ve ozmotik potansiyelini düşürmekte, hücre hacminin ve genişleme oranının azalmasına neden olmaktadır. Artan transpirasyon sonucunda ise, bitkinin sürgün ve yapraklarında meydana gelen kurumalar ağırlık kaybına neden olmaktadır (Lewit, 1980). Shannon ve Grieve (1999) de bitkinin tuz stresine tepkisini, küçük ve daha az sayıda yaprak oluşturarak ve bitki boyunun azalmasıyla verdiğini bildirmiştir. Domates ve diğer sebze türlerinde yapılan çalışmalar tuzlu koşullarda bitki biyomasının (Perez-Alfocea ve ark., 1993; Al-Karaki, 2000; Bolarin ve ark., 2001; Santa-Cruz ve ark., 2002) ve veriminin azaldığını göstererek (Schwarz ve ark., 1997; Stanghellini ve ark., 1998; Li, 2000; Tüzel ve ark., 2003; Wahome, 2003) araştırma sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Besin solüsyonundaki tuz konsantrasyonunun artışı ile ortaya çıkan verim kaybının ortalama meyve ağırlığındaki ve meyve sayısındaki azalmadan kaynaklandığı görülmüştür (Hao ve ark., 2000; Mavrogianopoulos ve ark., 2002). Araştırmadan elde edilen sonuçlar, meyve büyüklüğünün de tuz uygulamasındaki artış ile azaldığını göstermiştir (Stanghellini ve ark., 1998; Hao ve ark., 2000).

Besin solüsyonuna silisyum ilavesi istatistiksel olarak önemsiz olsa da genel olarak bitki gelişimini ve bitki verimini arttırmıştır. Bilindiği gibi silisyum bitkilerin fotosentez, transpirasyon ve su kullanım etkinliğini artırmakta, dolayısı ile vejetatif gelişimi teşvik etmektedir (Savant ve ark., 1997). Kontrol koşullarında elde ettiğimiz sonuçlar önceki sonuçlarla uyum içindedir. Miyake and Takahashi (1983) hıyarda yürüttükleri bir çalışmada çözeltiliye Si ilavesinin bitki gelişimi ve verimi artırdığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde topraksız tarımda hıyar, gül ve dolmalık kabakta yürütülen çalışmalarda kök bölgesinde artan Si konsantrasyonunun yararlı etki yaptığı ve toplam verimi artırdığı belirlenmiştir (Voogt ve Sonneveld, 2001). İngiliz hıyarında (*Cucumis sativus* L. cv. Corona) yapılan bir başka çalışmada silisyumlu

çözeltilide yetişen bitkilerin *Pythium aphanidermatum*'un sebep olduğu kök hastalığına karşı daha dayanıklı olduğu ayrıca verim, pazarlanabilir meyve adeti ve bitki kuru ağırlığında önemli bir artma görülmüştür (Cherif ve ark., 1992). Bitki gelişimi ve verimdeki bu artışa karşın pazarlanamayan ve küçük çaplı meyve oranındaki azalış 8 dS/m tuz stresi altındaki bitkilerde daha belirgin olmuştur. Bu sonuçlar farklı bitki türlerinde yapılan araştırma sonuçları ile de uyum içinde olmuştur (Miyake and Takahashi, 1983; Horiguchi, 1988; Yeo ve ark., 1999). Silisyum bitkinin antioksidant enzimlerinin aktivitesini arttırarak, plazma membranlarının geçirgenliği ve membran lipid peroksidasyonunu azaltarak, membran fonksiyonu ve bütünlüğünü koruyarak tuz stresinin olumsuz etkisini gidermekte ve tuzlu koşulda bitki gelişim ve verimini iyileştirmektedir (Zhu ve ark., 2004; Aranda ve ark., 2005). Yine silisyumun Na alınımını azalttığı ve kloroplastlardaki aktif oksijen radikalleri varlığını arttırdığı, tuz stresi altında kloroplast membranında zararlanmayı azalttığı, böylece bitkinin tuz stresinden daha az etkilendiği rapor edilmiştir (Qian et al., 2006).

Besin solüsyonunun tuz içeriğinin 8 dS/m'ye yükseltilmesi ile besin elementlerinin alınımı etkilenmiş, özellikle yaprak Na içeriğinin artışına paralel olarak K içeriğinin azaldığı görülmüştür. Tuz uygulaması ile kök bölgesinde biriken Na ve Cl iyonları bitkilerde ozmotik strese sebep olmalarının yanında, iyon dengesini bozarak toksik etkilere de neden olmaktadır (Maas and Hoffman, 1977; Levitt, 1980; Munns and Termaat, 1986; Pasternak, 1987). Tuz toleransı ile bitki yapraklarında Na birikimi arasında negatif bir korelasyon olmakta, besin solüsyonunun NaCl içeriğinin artmasıyla yaprakların Na miktarının arttığını, bitki dokularındaki ana katyon olan K miktarının azaldığını ve K/Na oranının azaldığı saptanmıştır (Al-Karaki, 2000; Cuertaro et al., 2002). Bu sonuçlar araştırmamızın sonuçlarını destekler nitelikte olmuştur.

Besin solüsyonuna silisyum ilavesi ise yaprak K ve Ca içeriğini arttırmış; N ve Na içeriğini azaltmıştır. Burada özellikle tuzlu koşullarda silisyum uygulaması ile yaprak Na içeriğinin azalmış olması çarpıcıdır. Bilindiği gibi silisyum bitkinin Na içeriğini azaltarak bitkilerin tuza dayanımını arttırmaktadır (Miyake, 1993, Liang ve ark., 1996; Tsuda ve ark., 2000).

Tuz stresi (50 mmol/L NaCl) altındaki hıyar bitkilerine 1.0mmol/L  $K_2SiO_4$  uygulanarak yapılan bir çalışmada, kloroplast içindeki K'un taşınımında seçicilik olduğu, Si'un Na alınımını azalttığı, kloroplastların Na içeriğinin kontrol uygulamasına göre azaldığı, kloroplastlardaki aktif oksijen radikalleri varlığının arttırdığı ve kloroplast membranında zararlanmaların azaldığı rapor edilmiştir (Qian ve ark., 2006).

Dönem boyunca elde edilen bitki su tüketim değerleri incelendiğinde, su tüketimlerinin sera içi iklim faktörleri, bitki gelişme dönemi ve büyüme mevsimi uzunluğuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Sera içi solar radyasyon ve buhar basıncı açığının daha yüksek olduğu dönemlerde bitki su tüketimlerinde artış görülürken, bu değerlerin daha düşük olduğu dönemde bitki su tüketimleri de azalmıştır. Su kullanımı ile ilgili elde edilen bulgular, uygulamalara verilen sulama suyu miktarı ve bitki su tüketiminin besin solüsyonunun EC seviyesi 8 dS/m'ye çıkarıldığında azaldığını göstermiştir (Soria ve Cuartero, 1997; Dorais ve ark., 2001; Tüzel ve ark., 2003; Yurtseven ve ark., 2005). Romero-Aranda ve ark., (2000), tuz stresi altında bitkilerin su tüketimlerinin azaldığını ve bu azalışın da tuzlu koşullardaki transpirasyon oranının azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Transpirasyon oranındaki bu değişikliğin ise tuz stresi altındaki bitkilerin stomatal yoğunluğunun, stoma iletkenliğinin ve kök hidrolik iletiminin azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Agronomik açıdan elde edilen verime karşılık kullanılan sulama suyu miktarı olarak bilinen sulama suyu kullanım etkinliğinin (WUE) domates bitkisinde 23-42 g/l=kg/m<sup>3</sup> arasında değişebildiği bildirilmiştir (Lorenzo ve ark., 2003). Çalışmamızda elde edilen WUE değerleri belirtilen değerler arasında bulunmuştur, ancak tuz stresi altında köklerin hidrolik iletkenliklerinin ve geçirgenliklerinin azalması, dolayısıyla köklerin su absorplama oranının düşmesi nedeni ile (Al-Karaki, 2000; Yurtseven ve ark., 2005; Öztekin ve ark., 2007) WUE azalış göstermiştir. Araştırma sonucunda silisyum uygulaması ile WUE değerinin arttığı görülmüştür (Savant ve ark., 1997; Romero-Aranda ve ark., 2006). Besin solüsyonunun tuz içeriğinin artması ile WUE değerinde meydana gelen azalış, ortama silisyum ilavesi ile azalmıştır. Tuzlu koşulda yapılan bir çalışmada su kullanım etkinliği ve bitki kuru ağırlığı ile bitki su tüketimi arasındaki oran, tuzlu ve silisyumlu koşulda yetişen bitkilerde %17 ve 16

yüksek bulunmuştur. Böylece silisyumun tuzlu koşulda bitki dokularındaki suyu depolamada, büyüme oranını arttırmada ve tuz stresinin etkisini hafifletmede etkili olduğu belirtilmiştir (Romero-Aranda ve ark., 2006). Buğdayda 12 dS/m toprak tuzluluğu altında yapılan diğer bir çalışmada kök ortamına Si ilavesinin K ve K:Na oranını, yaprak su potansiyelini ve stoma iletkenliğini önemli bir şekilde arttırdığı ve toprağa Si uygulamasının tuz stresi altında su tüketimini arttırarak buğday üretimini arttırdığını göstermiştir (Ali ve ark., 2012). Gong ve ark., (2005), bitkilerin su alınımındaki azalmaya karşı silisyumun olumlu etkisini, söz konusu elementin antioksidan enzim aktivitelerinin savunma kabiliyetlerini arttırması ve fonksiyonel moleküllerin oksidatif zararını iyileştirmesi ile ilişkili olduğunu açıklamışlardır. Yine silisyumun su alınımındaki azalmaya neden olacak stres koşulu altında bitkilerin kök gelişmesinin teşvik ederek, düşük taç/kök oranı elde edilerek bitki kuru ağırlığı, su içeriği ve su kullanma kabiliyetleri arttırdığı bildirilmiştir (Lux ve ark., 2002; Hattori ve ark., 2005). Yürütülen çalışmada konulara uygulanan su eşit miktarda tutulmaya çalışılmıştır. Ancak dönem içerisinde silisyum uygulanan konularda özellikle tuz x silisyum konusunda üretim dönemi sonlarına doğru damlaticılarda tıkanıklıklar gözlenmiştir. Dolayısı ile bitkilere uygulanan su miktarları bu nedenle farklılık göstermiştir. Söz konusu sorun, dönem içerisinde filtrelerin, damla sulama borularının ve damlaticıların sık sık temizlenmesi ile giderilmeye çalışılmıştır. Sorunun silisyum kaynağı olarak kullanılan potasyum silikat'ın besin solüsyonu içerisinde diğer elementler ve tuz ile etkileşmesinden ve çökelti oluşturmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu sorun, zamanında müdahaleler ile yetiştiricilikte herhangi bir sorun yaratmamıştır. Topraksız yetiştiricilikte başarıyı etkileyen en önemli etmenler arasında iklimlendirme, sera konstrüksiyonu, yetiştiricilik sistemi ve planlanması, çeşit, fide tipi ve yetiştirme ortamı gelmektedir. Çok sayıdaki yetiştirme ortamlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur (Gül, 2008). Ancak bitkilerin gelişmesine ortamın su tutma kapasitesi, havalanması, organik madde miktarı, pH durumu, sıcaklığı ve KDK gibi faktörler etki etmektedir (Kacar,1989). Yürütülen bu çalışmada kullanılan 3 farklı içerisinde Hindistan cevizi lifinin bitki büyüme ve gelişmesi ile verim bakımından tavsiye edilebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

Hindistan cevizi lifi, lifli yapısı ve su tutma kapasitesi yüksek organik bir ortam olması ve bitkilerin daha iyi beslenmesi nedeni ile bitkilerin turgoritesini sağlamakta; bitki gelişimini ve verimini arttırarak iyi bir destek ortamı olma özelliğine sahip olmaktadır (Adak ve Pekmezci, 2011).

Ayrıca Hindistan cevizi lifi ve klinoptilolit ortamlarda perlite kıyasla birer hafta erkencilik sağlanmıştır. Bu durum, inorganik inert bir ortam olan perlite kıyasla, inorganik-katyon değişim kapasitesi yüksek bir ortam olan klinoptilolit ile organik bir ortam olan Hindistan cevizi lifinde bitkilerin dikim sonrası gelişiminin daha hızlı olması ile açıklanabilmektedir (Raviv et al., 2002; Adak ve Pekmezci, 2011; Toprak, 2012).

Elde edilen tüm veriler genel olarak değerlendirildiğinde; besin solüsyonunun tuz seviyesinin 2 dS/m'den 8 dS/m'ye arttırılması ile bitki gelişimi, verim ve su tüketiminin azaldığı; silisyum uygulaması ile tuz stresi altında verimde, bitki gelişiminde, kalitede, su tüketiminde iyileşmeler olduğu, bu nedenle de tuzun olumsuz etkilerini gidermede silisyumun alternatif, ucuz ve pratik bir uygulama olabileceği ancak silisyum uygulamasında besin solüsyonu kontrolüne dikkat edilmesi gerektiği; yetiştirme ortamları içerisinde Hindistan cevizi lifinin organik bir ortam olması yanında diğer ortamlara göre daha olumlu sonuçlar vermesi nedeni ile tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

### Kaynaklar

Adak, N., Pekmezci, M., 2011. Farklı fide tipleri ve yetiştirme ortamlarının topraksız kültür çilek yetiştiriciliği üzerine etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 17: 269-278

Adams, P., Ho, L.C., 1989. Effect of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 64(6): 725-732.

Ali, A., Basra, S.M.A., Iqbal, J., Hussain, S., Subhani, M.N., Sarwar, M., Ahmed, M., 2012. Augmenting the salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) through exogenously applied silicon. African Journal of Biotechnology, 11(3):642-649.

Al-Karaki, G.N., 2000. Growth, water use efficiency and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stres. Journal of Plant Nutrition, 23(1):1-8.

Anaç, D., Eryüce, N., 2003. Nutrient Management in Protected Cropping in Turkey. Nutrient, Substrate and Water Management in Protected Cropping Systems. The 2003 Dahlia Greidinger Symposium (7-10 December 2003). Ege University, İzmir-Turkey.

Anderson, D.L., Synder, G.H., Martin, F.G., 1991. Multi year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. Agronomy Journal, 83:870-874.

Aranda, M.R.R., Oliva, J., Cuartero, J., 2005. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of Plant Physiology, 5:10.

Baille, A., 1996. Principles and methods for predicting crop water requirements in greenhouse environments, CIHEAM – Options Mediterraneennes, 31:177-187.

Barcelo, J., Guevara, P., Poschenrieder, C., 1993. Silicon amelioration of aluminum toxicity in teosinte (*Zea mays* L. Spp. Mexicana). Plant Soil, 154:249-255.

Bolarin, M. C., Estan, M. T., Caro, M., Romero-Cayuela, E., Estan, M. T., Parra, M., Caro, M., Bolarin, M. C., 2001. NaCl pre-treatment at the seedling stage enhances fruit yield of tomato plants irrigated with salt water. Plant and Soil, 230:231-238.

Castilla, N., 2000. Improved irrigation management of greenhouse vegetables, FAO Regional Working Group Greenhouse Crop Production in The Mediterranean Region, Technical Paper, 46 p.

Chaves, M.M., Osorio, J., Pereira, J.S., 2004. Water use efficiency and photosynthesis, 42 – 74, Water Use Efficiency in Plant Biology, Bacon, M.A., (Ed.), Blacwell Publishing Ltd., Oxford, 327 p.

Cherif, M., Benhamou, N., Menzies, J.G., Belanger, R.R., 1992. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. Physiological and Molecular Plant Pathology, 41:371-385.

Cuartero, J., Romero Aranta, R., Yeo, A. R., Flowers, T. J., 2002. Variability for some physiological characters affecting salt tolerance in tomato. Acta Horticulture, 573:435-441.

Day, D., 1991. Growing in Perlite. Grower Pub. Ltd., No.12, London, 36 p.

Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A., 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. Agronomic, 21:367-383.

Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences-USA, 91:11-17.

- Epstein, E., 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50:641-644.
- Gong, H., Chen, G., Chen, G., Wang, S., Zhang, C., 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition, 26:1055-1063.
- Gong, H., Chen, G., Chen, G., Wang, S., Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science, 169:313-321.
- Gül, A., 2008. Topraksız Tarım, Hasad Yayıncılık.
- Hao, X., Papadopoulos, A. P., Dorais, M., Ehret, D. L., Turcotte, G., Gosselin, A., Soneveld, C., Berhoyen, M. N. J., 2000. Improving tomato fruit quality by raising the EC of NFT nutrient solutions and calcium spraying effects on growth photosynthesis yield and quality. Acta Horticulture, 511:213-221.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., Morita, S., Luxova, M., Lux, A., 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. Physiologia Plantarum, 123(4):459-466.
- Horiguchi, T., 1988. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. Soil Science and Plant Nutrition, 34:63-73.
- Howell, T.A., 2006. Challenges in increasing water use efficiency in irrigated agriculture, 53 - 63, In: International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture, (Eds.: A. Yazar, B. Gencel and S. Tekin), 4 - 8 April 2006, Çukurova University, Adana - Turkey.
- Kacar, B., 1989. Bitki Fizyolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını, No: 1:153-323.
- Kanber, R., Kırdı, C., Tekinel, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yay. No. 21, Ders Kitapları Yay. No. 6, Adana, 241 s.
- Kaplan, M., Sönmez, S., Tokmak, S., 1999. Antalya-Kumluca yöresi kuyu sularının nitrat içerikleri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23: 309-313.
- Lee, D.B., Kwon, T.O., Park, K.H., 1990. Influence of nitrogen and silica on the yield and the lodging related traits of paddy rice. Research Reports of the Rural Development Administration, Soil & Fertilizer, 32(2):12-23.
- Lewit, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume II. Academic Press, New York. 607 p.
- Li, Y. L., 2000. Analysis of Greenhouse Tomato Production in Relation to Salinity and Shoot Environment. PhD thesis. Institute of Agricultural and Environmental Engineering (IMAG), Wageningen.
- Liang, Y.C., Shen, Q., Shen, Z., Ma, T., 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. Journal of Plant Nutrition, 19:173-183.
- Liang, Y.C., Zhang, W.H., Chen, Q., Ding, R., 2005. Effects of silicon on H<sup>+</sup>-ATPase and H<sup>+</sup>-Pase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Environmental and Experimental Botany, 53:29-37.
- Lieth, J. H., 1996. Irrigation systems, 1-29, Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops, Reed D.W. (Ed.), Ball Publishing Inc., Illinois, USA, 305 p.
- Lorenzo, P., Sanchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Garcia, M. L., Caparros, I., Gimenez, M., 2003. External greenhouse mobile shading: Effect on microclimate, water use efficiency and yield of tomato crop grown under different salinity levels of the nutrient solution. Acta Horticulture, 609:181-186.
- Lux, A., Luxova, M., Hattori, T., Inanaga, S., Sugimoto, Y., 2002. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance, Physiologia Plantarum, 115:87-92.
- Ma, T.S., Wang, D.P., Liung, Y.T., Chen, S.H., Zhang, F.S., Wang, S.F., Chieng, Z.Z., Liu, L.Z., 1992. Effect of high efficiency silicate fertilizer on rice. Turang 24(2):168-169.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 2002. Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science, Amsterdam.
- Maas, E. V., Hoffman, G. J., 1977. Crop Salt Tolerance-Current Assessment, Journal of Irrigation Drain, 103 IR3:115-134.
- Mavrogianopoulos, G., Savvas, D., Vogli, V., 2002. Influence of NaCl-salinity imposed on half of the root system of hydroponically grown tomato on growth, yield and tissue mineral composition. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 775:557-564.
- Menzies, J.G., Belanger, R.R., 1996. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. Canadian Journal of Plant Pathology, 18:186-193.
- Meunier, J., 2003. The role of plants in the transfer of silicon from the plant surface into the cytosol. Comptes rendus Geoscience, 335:1199-1206.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1983. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant. Plant Nutrition, 29:71-83.
- Miyake, Y., 1993. Silica in soils and plants. Science report of the Faculty of Agriculture, Okayama University, 81:61-79.

- Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13:143-160.
- Navarro, M.J., Martinez, V., Carvajal, M., 2000. Amonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Science*, 157:89-96.
- Qian, Q. Q., Zai, W.S., Zhu, Z.J., Yu, J.Q., 2006. Effects of exogenous silicon on active oxygen scavenging systems in chloroplasts of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under salt stress. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 32:107-112.
- Öztekin, G.B., 2009. Aşılı Domates Bitkilerinde Tuz Stresine Karşı Anaçların Etkisi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Bornova, İzmir-Turkey, 342 s.
- Öztekin, G.B., Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, İ. H., 2007. Effects of grafting in saline conditions. *Acta Horticulture*, 761:349-355.
- Pasternak, D., 1987. Salt Tolerance and Crop Production-A Comprehensive Approach. *Annual Review of Phytopathology*, 25:271-291.
- Perez Alfocea, F., Estan, M. T., Caro, M., Bolarin, M. C., 1993. Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and Soil*, 150:203-211.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Bar-Tal, A., 2002. Substrates and their analysis, 2:25-102, In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Eds. D. Savvas and H. Passam, Embryo Publications, Greece.
- Romero-Aranda, R., Soria, T., Cuartero, J., 2000. Tomato water uptake and plant water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160:265-272.
- Romero-Aranda, R.M., Jurado, O., Cuartero, J., 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163:847-855.
- Santa-Cruz, A., Martinez-Rodriguez, M., Perez-Alfocea, F., Romero-Aranda, R., Bolarin C. M., 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Science*, 162:825-831.
- Savant, N.K., Snyder, G.H., Datnoff, L.E., 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron. Academic Press, San Diego, CA, USA* 58:151-199.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., Patakioutas, G., 2009. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany*, 65:11-17.
- Schwarz, D., Kuchenbuch, R., Roeber, R. U., 1997. Growth analysis of tomato in close recirculating system in relation to the EC value of the nutrient solution. *Acta Horticulture*, 450:169-176.
- Sevgican, A., 2002. Örtüaltı Sebzeçiliği (Topraksız Tarım). Cilt II. Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları. Bornova, İzmir.
- Shannon, M. C., Grieve, C. M., 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78:5-38.
- Sonneveld, C., Baas, R., Nijssen, H.M.C., De Hoog, J., 1999. Salt tolerance of flower crops grown in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 22:1033-1048.
- Sonneveld, C., Voogt, W., 2001. Chemical analysis in substrate systems and Hydroponics: Use and Interpretation. *Acta Horticulture*, 548:247-259.
- Soria, T., Cuartero, J., 1997. Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. *Acta Horticulture*, 458: 215-220.
- Sönmez, İ., Kaplan, M., 2004. Demre yöresi seralarında toprak ve sulama sularının tuz içeriğinin belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2): 155-160.
- Stanghellini, C., Van Meurs W. T. M., Corver, F., Van Dullemen, E., Simonse, L., 1998. Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. II: Yield quantity and quality. *Acta Horticulture*, 458: 231-237.
- Sumner, E.M., 2001. *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington DC.
- Toprak, E., 2012. Kök Bakterilerinin Farklı Substratlarda Domates Yetiştiriciliğine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bornova, 90s.
- Tsuda, M., Morita, M., Makihara, D., Hirai, Y., 2000. The involvement of silicon deposition in salinity induced white head in rice. *Plant Production Science*, 3:328-334.
- Tüzel, Y., Tüzel, İ.H., Üçer, F., 2003. Effects of salinity on tomato growing in substrate culture. *Acta Horticulture*, 609:329-335.
- Voogt, W., Sonneveld, C., 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: Datnoff L. E., Snyder G. H., Korndorfer G. H. (Eds). *Silicon in Agriculture*. Elsevier, Amsterdam: 115-131.
- Wahome, P. K., 2003. Mechanisms of salt (NaCl) stress tolerance in horticultural crops - a mini review. *Acta Horticulture*, 609:127-131.

- Werner, D., Roth, R., 1983. Silica metabolism In: Ancylopedia of Plant Physiology, New Series. Eds. A. Lauchli and R.L. Bieleski, SpringerVerlag, New York. p. 682-694.
- Winsor, G. W., Schwarz, M., 1990. Soilless culture for horticulture crop production, FAO Plant Production and Protection Paper, 101, Rome, Pp:188.
- Yeo, A.R., Flowers, S.A., Rao, G., Welfare, K., Senanayake, V., Flowers, T.J., 1999. Silicon reduces sodium uptake in rice in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpiration by pass flow. *Plant, Cell & Environment*, 22:559-565.
- Yurtseven, E., Kesmez, G. D., Ünlükara, A., 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). *Agricultural Water Management*, 78:128-135.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., Yu, J., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3):527-533.