



İyon-Seçici Sensörler Kullanılarak Bazı Sebzelerin Topraksız Bitki Yetiştirme Ortamlarındaki Nitrat, Potasyum ve Kalsiyum Tayini

Melda ALTİKATOĞLU^{1*}, İbrahim İŞILDAK²

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 12.10.2016

Kabul Tarihi/Accepted: 21.11.2016

*Sorumlu Yazar/Corresponding author: maltikatoglu@yahoo.com

Özet: Bitkilerin arzuladığı minerallerin uzun süre kontrollü bir şekilde bitkiye aktarılması önem arz ettiğinden, basit ve ekonomik yeni mikro ve makro ölçekli tarım üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, beslenme sürecinde bitki besin solüsyonu içindeki besin elementlerinin bitkinin ihtiyacına göre istenen düzeyde tutulması, bilgisayar kontrollü potansiyometrik mikro büyüklükte kimyasal sensör sistemler kullanılarak takip edilmiştir. Hidrofonik çözeltideki makro besin elementlerinden NO_3^- , K^+ ve Ca^{2+} iyonlarının derişimini hassas ve seçici olarak ölçmek için polivinilklorür (PVC) temelli iyon-seçici sensörler kullanılmıştır. Serada yetiştirilen yeşilbiber ve patlıcan fidelerinin ihtiyacı olan nitrat, potasyum ve kalsiyum iyon seviyelerinin farklı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, büyümenin ilk iki ayında, biber bitkisinin patlıcandan daha az miktarda nitrat tükettiğini göstermiştir. Ayrıca, bitkilerin tükettiği potasyum miktarının tayin edilen diğer besin elementlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Topraksız tarım, besin elementleri, kimyasal sensör, hidrofonik sistem

Determination of Nitrate, Potassium, and Calcium using Ion-Selective Sensors in Soilless Plant Growth Media of Some Vegetables

Abstract: Since it is important to transfer the minerals desired by plants for a long time in a controlled manner, simple and economical new micro and macro scale agricultural production systems are needed. In this study, the nutrients in the plant nutrient solution were kept at the required level according to the needs of the plant, using computer controlled potentiometric micro-sized chemical sensor systems. Polyvinylchloride (PVC) -based ion-selective sensors have been used to sensitively and selectively measure the concentration of macro nutrient NO_3^- , K^+ , and Ca^{2+} ions in the hydroponic solution. It has been found that the nitrate, potassium and calcium ion levels required for the green pepper and eggplants grown in the greenhouse are different. The results showed that in the first two months of growth, the pepper consumed nitrate in a lesser amount than the eggplant. In addition, it was determined that the amount of potassium consumed by plants was higher than that of other nutrients.

Keywords: Soilless culture, nutrient elements, chemical biosensor, hydroponic system

1. Giriş

Topraksız tarım, bitkilerin toprak kullanılmadan gereksinim duydukları organik ya da inorganik besin maddelerini kontrollü sera koşullarında yetiştirme ortamına verilerek yapılan üretim şeklidir. Toprakta üretimin yetersiz olduğu ya da

mümkün olmadığı, iklim koşullarının uygun olduğu ortamlardan yararlanmak amacı ile topraksız tarıma ihtiyaç duyulmuştur (Benoit ve Ceustermans, 1995; Pardossi ve ark., 2004). Böylece tarım alanlarından daha fazla yararlanma imkânı doğmuştur. Topraksız tarım, su kültürü ve katı ortam kültürü olmak üzere iki şekilde yapılır.

Su kültüründe, bitkiler su içerisinde gelişirken kontrollü olarak besin çözeltisi ile gübrelenir. Katı ortam kültüründe ise, perlit, torf, kaya yünü, pomza, çakıl, kum, gibi organik ve inorganik materyaller kullanılır (Kaplan ve ark., 1999; Raviv ve Lieth, 2008).

İlk kez 1930 yılında İngiltere’de Kaliforniya Üniversitesi’nden Profesör Doktor William Gericke tarafından temelleri atılan bu yöntem, Hollanda tarafından geliştirildi. Türkiye’de ise ilk olarak 1995’te Antalya’da Agroser adlı serada kullanılmaya başlandı. Bugün topraksız tarım tekniği, Türkiye’de çoğu ihracat ağırlıklı üretim yapan yaklaşık 30 serada başarıyla uygulanmaktadır. İç pazara verdikleri ürün miktarı daha sınırlıdır. Çünkü bu teknikle üretilen ürünler daha pahalıdır. Topraksız tarımın amacı; bitkilerin gelişmesini besin solüsyonu ile sağlamak, bitkilerin besin madde ve su gereksinimlerini stres oluşturmadan karşılamak ve bunu en ekonomik bir şekilde gerçekleştirmektir (Sönmez ve Kaplan, 2004; Raviv ve Lieth, 2008; Anonim, 2016).

Günümüzde topraksız tarımın seracılıkta hızla yayılmasının en büyük sebeplerinden birisi toprak kökenli sorunlardır (Jones, 2005). Topraksız kültür; toprak yorgunluğu, topraktan kaynaklanan hastalık ve zararlı gibi sorunların olmaması, gübre ve su ilişkisini denetleyerek bitki gelişimini kontrol altına alması, topraktan kaynaklanan kaliteyi düşürücü unsurları ortadan kaldırması ve verimi arttırması gibi üstünlüklere sahiptir (Savvas, 2002; Meriç ve ark., 2011).

Topraksız tarımda kullanılan biyolojik testler tam garanti vermemekle birlikte maliyetli ve uzun süreli çalışmalardır. Gelişmekte olan üreticiler ticari koşullar altında bu kapsamlı testleri tercih etmemektedir. Yapılan laboratuvar testleri güvenilir sonuçlar vermeli, kısa süreli, düşük maliyetli ve referans örnekleri için standart koşullar sağlamalıdır (Blok ve ark., 2008). Herhangi bir besin elementinin miktarındaki değişiklikler bitki büyümesini etkileyebilmektedir. Bu yüzden, hidrofonic sistemde sensörler ile besin elementlerinin kontrolü, etkin bir bitki büyümesi için önemlidir (Gutierrez ve ark., 2007; Vardar ve ark., 2015). Hidrofonic makro besin elementlerinin miktarlarını hızlı ve sürekli ölçmek için iyon-seçici elektrot teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Bailey ve ark., 1988; Cloutier ve ark., 1997; Vardar ve ark., 2015).

Bu çalışmada; hidrofonic serada yetiştirilen yeşilbiber ve patlıcan bitkilerinin bitki besin çözeltisindeki nitrat, potasyum ve kalsiyum derişimleri potansiyometrik sensör sistemi ile doğrudan ve eş zamanlı olarak ölçülmüştür.

Bitkiler organik yetiştirme kuralları ile desteklenen bir bitki-besleme ortamı kurularak topraksız tarım tekniğiyle çalışan serada yetiştirilmiştir. Bitkinin ihtiyacı kadar kontrollü ve hızlı bitki besin uygulaması ile daha kaliteli ve daha bol miktarda ürün elde edilebilir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

NO_3^- , K^+ ve Ca^{2+} için iyonoforlar, polivinilklorür (PVC), dioktilsebakat, potasyum tetrakisklorofenilborat, nitrofeniloktiller, tetradodesilamonyum nitrat, dibütülfitalat, tetrahidrofuran (THF), grafit, epoksi ve sensör hazırlamada kullanılan diğer tuzlar Sigma-Aldrich’den temin edilmiştir. Seradaki bitkilerin besin çözeltilerinin hazırlanması için makro ve mikro besin elementleri ticari formda farklı marketlerden alınmıştır. Bitki fideleri Türkiye’deki satış yerlerinden ticari olarak temin edilmiştir. Çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi’ne ait hidrofonic serada topraksız tarım koşullarında yürütülmüştür. Bitkilerin yetiştirildiği seranın resmi Şekil 1’de gösterilmiştir.

2.2. Sensörlerin hazırlanması

Bütünüyle katı hal PVC membran sensörler hazırlanırken, PVC membranlar metal yüzeyine iyi yapışmadığından hem membrana iyi tutunan, hem de metale kısmen tutunan özelliklere sahip bir ara yüzey (katı kontak) kullanılmıştır. Katı kontak materyal kütlece % 50 grafit, % 35 epoksi ve % 15 sertleştiricinin yeterince THF içerisinde homojen olacak şekilde karıştırılıp, uygun kıvama gelene kadar THF’sinin uçurulması ve daha sonra metal yüzeyine kaplanıp kurumaya bırakılmasıyla hazırlanmıştır (İşildak ve ark., 2004; Çoldur ve ark., 2009). Elektrot yüzeyleri yukarıda bahsedilen katı kontak materyali ile kalınlığı yaklaşık 0.5 mm olacak şekilde kaplanıp kurutulmuştur. Daha sonra elektrod ilgili membran bileşimine (Tablo 1) yaklaşık 0.1-0.2 mm kalınlığında membran kalınlığı elde edilene kadar birkaç kere daldırılmıştır. Kaplanan membranlar 12 saat laboratuvar ortamında kurumaya bırakıldıktan sonra 10^{-1} M ana iyon çözeltisinde 6 saat süreyle şartlandırılmış ve elektrotlar ölçüm almaya hazır hale getirilmiştir.

Potansiyometrik ölçümler bilgisayar kontrollü çok kanallı potansiyometrik ölçüm sistemi ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Ölçümlerde kullanılan çalışma elektrotları mikro boyutlu katı hal iyon-seçici elektrotlardır. Referans elektrot olarak, mikro boyutlu katı gümüş/gümüş klorür elektrot kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait biyoteknolojik sera

Tablo 1. Hazırlanan katyon ve anyon seçici sensörlerin membran bileşimleri

Sensör	İyonofor	Polimer	Plastikleştirici	İyonikliği artırıcı
K	K İyonofor I (% 1)	PVC (% 33.5)	DOS (% 64)	KTpCIPB (% 0.5)
Ca ²⁺	Ca İyonofor IV (% 2)	PVC (% 29)	NPOE (% 68)	KTpCIPB (% 1)
NO ₃ ⁻	TDA-NO ₃ (% 4)	PVC (% 30)	DBF (% 65)	KTpCIPB (% 1)

K: Potasyum, Ca: Kalsiyum, NO₃: Nitrat, TDA-NO₃: Tetradodesilamonyum nitrate, DOS: Dioktil süksinat, NPOE: Nitrofeniloktiller, DBF: Dibutilfitalat, KTpCIPB: Potasyum tetrakis(klorofenil)borat

2.3. Çözeltilerin hazırlanması

Elektrotların potansiyometrik olarak kalibrasyonu için iyonların deiyonize su ile hazırlanmış standart çözeltileri kullanılmıştır. Önce iyonların 10⁻¹ M'lik standart stok çözeltileri hazırlanmıştır. Çözelti konsantrasyonlarında önemli bir hataya yol açmamak için düşük konsantrasyon değerindeki çözeltiler bu stok çözeltilerden adım adım seyreltilerek ihtiyaç duyulan konsantrasyonlardaki çözeltiler hazırlanmıştır.

K⁺ ve NO₃⁻ elektrotlarının kalibrasyonu için 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ ve 10⁻⁵ M KNO₃ çözeltisi; Ca²⁺ elektrodunun kalibrasyonu için ise 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ ve 10⁻⁵ M CaCl₂ çözeltisi hazırlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hazırlanan elektrotların potansiyometrik ölçümleri

Potasyum, nitrat ve kalsiyum için hazırlanan katı-hal iyon seçici membran sensörlerin potansiyometrik performans özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Potansiyometrik performansları incelendiğinde tüm sensörlerin 0.1-100 mM aralığında Nernstian cevap verdiği görülmektedir. Hazırlanan sensörlerin tayin limiti ve cevap süresi

de oldukça iyidir. Gerçek örneklere elektrotların uygulamasında ortamda bulunabilecek değişik iyonlara karşı göstermiş olduğu seçiciliğin birer ifadesi olan seçicilik katsayıları (K_{ij}) ayrı çözelti metoduna göre hesaplanmıştır (Tablo 2). Hazırlanan sensörlerin tekrarlanabilirliğini belirlemek için aynı günde aynı sensör ile 5 defa ölçüm alınmıştır ve bağıl standart sapmaları hesaplanmıştır. Sensörlerin bağıl standart sapma değerlerinin % 1.0'dan düşük bulunmasından dolayı, tekrarlanabilirliğin yüksek olduğu görülmüştür. Potansiyometrik duyarlılık, seçicilik, cevap zamanı, çalışma pH aralığı, tekrarlanabilirlik ve sensör ömrü açısından hazırlanan tüm sensörlerin hidrofonic seradaki besin çözeltilerinin tayininde kullanılabilceği öngörülmektedir.

3.2. Bitki besin elementlerinin tayin edilmesi

Hazırlanan elektrotların standart çözeltiler ile kalibrasyonu yapıldıktan sonra besin çözeltilerinin içerdiği potasyum, nitrat ve kalsiyum iyon konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan besin solüsyonları Yıldız Teknik Üniversitesi'nde bulunan "Biyoteknolojik Sera" dan temin edilmiştir. Seradaki bitki yataklarının giriş ve çıkış suları alınarak, bitki besin elementlerinin takibi bilgisayar kontrollü olarak

mikro büyüklükte hazırlanan kimyasal sensörler kullanılarak sürekli ölçümler alınarak yapılmıştır. Serada yetiştirilen yeşilbiber ve patlıcan için bitkinin kullandığı potasyum, nitrat ve kalsiyum miktarları hesaplanarak Tablo 3'te gösterilmiştir.

Nitrat bitkinin büyümesi için gerekli olan önemli bir makro besin elementidir (Van Os ve ark., 2002). Elde edilen sonuçlara göre, bitkilerin

büyüme sırasında tükettiği nitrat miktarı her geçen hafta değişiklik göstermiştir (Şekil 2). Yeşilbiber ve patlıcan için aynı miktarda nitrat kullanılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, yeşilbiber patlıcandan daha az miktarda nitrat tüketmiştir. İlk iki hafta yeşilbiberin kullandığı nitrat miktarı aynı iken ikinci haftadan sonra az miktar artış gözlenmiştir. Bu durum, nitrat miktarındaki değişimin bitkinin nitrat gereksinimine göre değiştiğini

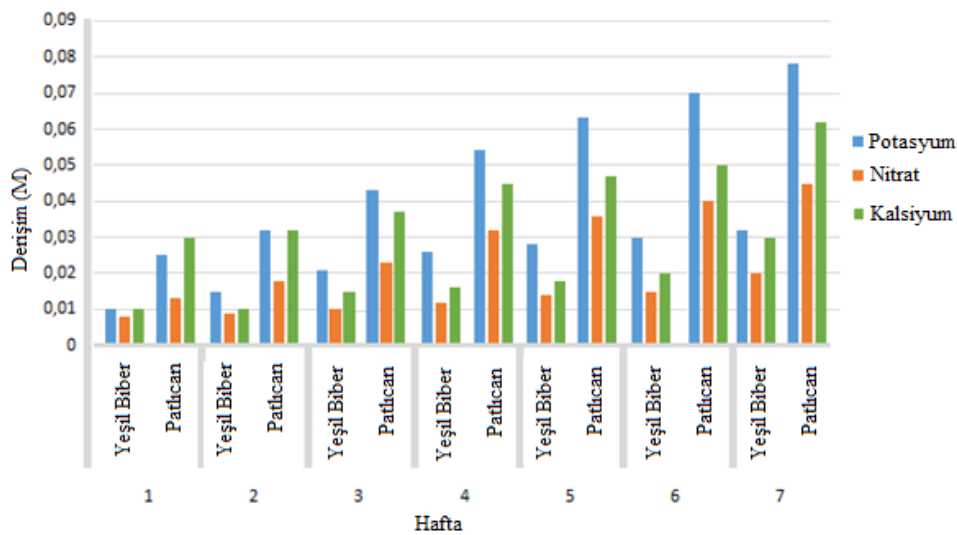
Tablo 2. Potasyum, kalsiyum ve nitrat seçici sensörün performans özellikleri

Belirlenen sensör özellikleri	K	Ca	Nitrat
Konsantrasyon çalışma aralığı	10^{-5} - 10^{-1} M	10^{-6} - 10^{-1} M	10^{-6} - 10^{-1} M
Tayin limiti	4×10^{-5} M	1×10^{-6} M	5×10^{-6} M
Sıcaklık çalışma aralığı	5-50 °C	5-50 °C	5-50 °C
Membrane tip	Kompozit membran	Kompozit membran	Kompozit membran
pH çalışma aralığı	5-9	3-7	2-7
Seçiciliği	$\log K_{K^+, B^{n+}}^{pot}$ Li ⁺ : -3.89 Na ⁺ : -4.11 NH ₄ ⁺ : -2.79 Ca ²⁺ : -4.97 Mg ²⁺ : -6.83 Ba ²⁺ : -4.98 Sr ²⁺ : -4.01	$\log K_{Ca^{2+}, B^{n+}}^{pot}$ Li ⁺ : -4.20 Mg ²⁺ : -5.60 Na ⁺ : -3.20 Ba ²⁺ : -4.98 NH ₄ ⁺ : -4.20 K ⁺ : -4.20	$\log K_{NO_3^-, B^{n+}}^{pot}$ SO ₄ ²⁻ : -2.2 I ⁻ : 1.84 Br ⁻ : -1 SCN ⁻ : 2.67 Cl ⁻ : -2.70 F ⁻ : -3.30
Cevap zamanı	< 15 s	< 10 s	< 5 s
Potansiyel değişimi	44 ± 2 mV	25 ± 6 mV	41 ± 7 mV
Sensör ömrü	8 hafta	8 hafta	10 hafta

Tablo 3. Bitkilerin tükettikleri nitrat, potasyum ve kalsiyum miktarları

Yetiştirilen ürün (Bir bitki yatağında)	Nitrat miktarı (M)	Potasyum miktarı (M)	Kalsiyum miktarı (M)
Yeşilbiber	0.015 ± 0.001	0.03 ± 0.002	0.02 ± 0.003
Patlıcan	0.04 ± 0.005	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.009

Her bir veri üç bağımsız ölçümün ortalama değeridir. Sonuçlar standart sapma şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 2. Bitkilerin zamana bağlı besin elementleri tüketimi

Deneysel koşullar; 25 °C ve pH 7.0 (Her bir veri noktası üç bağımsız deneyin ortalama değeridir)

göstermektedir. Potasyum bitkinin yetişmesi için gerekli olan besin elementlerinden en bol miktarda bulunan katyondur (Gierth ve Mäser, 2007). Potasyum, azot ve fosfor ile beraber ürün verimini belirleyen önemli üç elementtir. Bu çalışmada, bitkilerin diğer besin elementlerine kıyasla daha fazla miktarda potasyuma ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Şekil 2, biber ve patlıcan için tüketilen potasyum miktarını da göstermektedir. Patlıcanın yeşilbiber göre çok daha fazla miktarda potasyum tükettiği görülmüştür. Patlıcan tarafından kullanılan potasyum miktarında ilk 4 haftada hızlı, sonrasında azalan bir artış gözlenmiştir.

Hidrofonik besin çözeltisi içindeki kalsiyum iyon miktarı, bitki gelişimini önemli oranda etkileyen bir makro besin elementidir. Ortamda kalsiyumun eksikliği veya fazlalığı bitkilerin büyümesini olumsuz etkileyebilmektedir (Nieves-Cordones ve ark., 2014). Yeşilbiber ve patlıcanın tükettiği kalsiyum miktarı yine Şekil 2'de görülmektedir. Sonuç olarak her iki bitkinin yapısal özellikleri karşılaştırıldığında yeşilbiber kısa bir zaman içerisinde patlıcana göre daha az besin miktarda besin elementlerinden kullanarak daha iyi ve hızlı bir büyüme göstermiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma ile bitkiler ihtiyacı olan besin elementlerini topraktan almak yerine hazırlanmış besin solüsyonundan kontrollü bir şekilde daha kolay ve direkt olarak alabileceklerdir. Besin ortamındaki (hidrofonik çözelti) bazı elementlerin (NO_3^- , K^+ ve Ca^{2+}) miktarlarının kontrolü ilk olarak bu çalışma ile PVC temelli iyon-seçici membran sensörler kullanılarak hızlı ve hassas olarak takip edilmiştir. PVC temelli iyon-seçici sensörler, hassasiyeti ve seçiciliğini sağlamak amacıyla nitrat için tetradodesilamonyum nitrat (TDA-NO_3^-), potasyum için potasyum iyonofor ve kalsiyum için kalsiyum iyonofor kullanılarak hazırlanmıştır.

Bitki besin elementlerinin kontrollü bir şekilde bitkiye verilmesi ile daha sağlıklı ve hızlı yetiştirme sağlanabilir. İş gücüne gereksinimin azalması, üretime uygun olmayan yerlerde üretimin yapılabilmesi, bitkilerin beslenmesinin daha iyi kontrol edilebilmesi, bitki besleme ile ilgili harcama boyutunun azalması, kalite ve verimin daha yüksek olması, sudan tasarruf sağlanması, optimizasyona uygunluğu, tarımsal ilaç harcamalarının çok düşük olması, ekim nöbeti yapma zorunluluğu olmaması, üretimde devamlılığı sağlaması, birim alana daha fazla bitki dikilmesi ve erkencilik sağlaması; geliştirilecek sistemin diğer yaygın etkileri arasında olacaktır.

Bu takip ve izlenebilirlik ile bitki beslenme verimliliğine dair çok önemli bulgular edinildiği düşünülmektedir. Bu sayede verim ve kalitenin önemli şekilde artacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Anonim, 2016. Topraksız Tarım. <http://www.bahcebitkileri.org/topraksiz-tarim-sunumu.html> (Erişim tarihi: 02.10.2016).
- Bailey, B.J., Haggert, B.G.D., Hunter, A., Alberty, W.J., Svanberg, L.R., 1988. Monitoring nutrient film solutions using ion-selective electrodes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 40(2): 129-142.
- Benoit, F., Ceustermans, N., 1995. Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. *Acta Horticulturae*, 396: 11-24.
- Blok, C., Kreij, C.D., Baas, R., Wever, G., 2008. Analytical methods used in soilless cultivation. In: M. Raviv and JH. Lieth (Ed), *Soilless Culture: Theory and Practice*, Amsterdam, pp. 245-289.
- Cloutier, G.R., Dixon, M.A., Arnold, K.E., 1997. Evaluation of sensor Technologies for automated control of nutrient solutions in life support systems using higher plants. In: Proceedings of the 6th European Symposium on Space Environmental Control Systems, Noordwijk, The Netherlands.
- Çoldur, F., Andaç, M., İşıldak, İ., Saka, T., 2009. A micro-sized PVC membrane Li^+ -selective electrode without internal filling solution and its medical applications. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 626(1): 30-35.
- Gierth, M., Mäser, P., 2007. Potassium transporters in plants - Involvement in K^+ acquisition, redistribution and homeostasis. *FEBS Letters*, 581(12): 2348-2356.
- Gutierrez, M., Alegret, S., Caceres, R., Casadesus, J., Marfa, O., Del Valle, M., 2007. Application of a potentiometric electronic tongue to fertigation strategy in greenhouse cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57(1): 12-22.
- İşıldak, İ., Yolcu, M., İşıldak, Ö., Demirel, N., Topal, G., Hoşgören, H., 2004. All-solid-state PVC membrane Ag^+ -selective electrodes based on diaza-18-crown-6 compounds. *Microchimica Acta*, 144(1): 177-181.
- Jones, J.B., 2005. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kaplan, M., Sönmez, S., Tokmak, S., 1999. Antalya-Kumluca yöresi kuyu sularının nitrat içerikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 309-313.
- Meriç, M.K., Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., Öztekin, G.B., 2011. Effects of nutrition systems and irrigation programs on tomato plants in soilless culture. *Agricultural Water Management*, 99(1): 19-25.
- Nieves-Cordones, M., Aleman, F., Martinez, V., Rubio, F., 2014. K^+ uptake in plant roots. The systems involved, their regulation and parallels in other organisms. *Journal of Plant Physiology*, 171(9): 688-695.

- Pardossi, A., Tognoni, F., Incrocci, L., 2004. Mediterranean greenhouse technology. *The World of Horticulture*, 44: 28-34.
- Raviv, M., Lieth, J.H., 2008. *Soilless Culture: Theory and Practise*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p. 343-424.
- Savvas, D., 2002. SW-Soil and water: Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Biosystems Engineering*, 83(2): 225-236.
- Sönmez, İ., Kaplan, M., 2004. Demre yöresi seralarında toprak ve sulama sularının tuz içeriğinin belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2): 155-160.
- Van Os, E.A., Gieling, T.H., Ruijs, M.N.A., 2002. Equipment for hydroponic installations. In: D. Savvas and H. Passam, HC (Eds), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 103-141.
- Vardar, G., Altıkatoğlu, M., Onat, D., Cemek, M., İşıldak, İ., 2015. Calcium, potassium and nitrate in plant nutrient solutions by measuring of with ion-selective electrodes in hydroponic green house of some vegetables. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 62(5): 663-668.