

## ***Arabidopsis thaliana* (L.) bitkilerinin üniform olarak yetiştirilmesi için basitleştirilmiş bir hidroponik kültür sistemi**

Yonca SURGUN<sup>1\*</sup> Betül BÜRÜN<sup>2</sup><sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Muğla<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Muğla

\*Sorumlu yazar:

E-mail: yoncasurgun@gmail.com

Geliş Tarihi: Şubat 03, 2015

Kabul Tarihi: Mart 15, 2015

### **Özet**

Hidroponik kültür, bitkilerin yetiştirilmesinde yaygın ve sıklıkla kullanılan bir sistemdir. Moleküler araştırmalarda çevre kaynaklı varyasyonları en aza indirmek amacıyla genellikle hidroponik sistemler tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh bitkilerinin üniform büyümesini sağlayan bir hidroponik kültür sisteminin optimize edilmesidir. Hidroponik sistemin kurulumu iki temel aşamayı içermektedir. İlki; taş yünlerini içeren plastik tüplerin hazırlanması, ikincisi; hazırlanan tüplerin, üzerinde delikler bulunan straforlara yerleştirilmesidir. Tüplerin yerleştirildiği straforlar daha sonra besin solüsyonu içeren plastik kültür kaplarına koyulur. Bir plastik kapta yaklaşık 30 bitki yetiştirilmekte ve bu durum aynı kültürde yetişen bitkilerle birçok analizin gerçekleşmesine imkan vermektedir. Önerilen sistem, gen ekspresyon çalışmalarında test edilmiş ve bağımsız denemeler sonucunda tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bu sistemde, önceki bazı hidroponik sistemlerin aksine tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi aşamalarında aktarım bulunmamaktadır. Bu çalışmada, basitleştirilerek elde edilen hidroponik kültür sisteminin ekipmanları ve kurulumu, ayrıca model bitki *Arabidopsis thaliana*'da sistemin kullanımı ve avantajları tartışılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** *Arabidopsis thaliana* (L.), hidroponik kültür sistemi, senkronize büyüme, kolay kurulum.

## **A Simplified Hydroponic Culture System for Uniformly Growing *Arabidopsis thaliana* (L.) Plants**

### **Abstract**

Hydroponic culture is a widely and frequently used system for growth of the plants. Generally, hydroponic systems are preferred for molecular experiments to minimize variations that are based on external conditions. The objective of this work was to optimize a hydroponic culture system for uniform growth of *Arabidopsis thaliana* L. Heynh plants. The construction of the hydroponic system could be divided into two main steps. Firstly, the plastic tubes with rockwool were prepared, secondly the prepared tubes, were placed in the styrofoam having holes. Then styrofoam which including the tubes were put in the plastic container with nutrient solution. One plastic container yielded up to approximately 30 plants and it allows to carry out numerous analyzes the plants which grown in the same culture. A suggested system was tested in gene expression studies and the reproducible results were obtained between the independent experiments. However, comparing to some hydroponic systems in the previous studies, there is no transplanting step in seed germination and plant growth stages in the system described by the current study. This paper has discussed the construction and equipments of the simplified hydroponic culture system as well as its use and advantages in the model plant *Arabidopsis thaliana*.

**Keywords:** *Arabidopsis thaliana* (L.), hydroponic culture system, synchronous growth, easy setup.

## **GİRİŞ**

Hidroponik terimi, ilk kez 1929 yılında William F. Gericke tarafından kullanılmış olup sisteme ilişkin ayrıntılar 1937 yılında ortaya koyulmuştur [1]. Hidroponik kültür sistemleri ile kontrollü çevre şartları altında bitki büyümesi sağlanmakta, besin ortamı izlenebilmekte ve bitkinin yaşam döngüsü boyunca tercih edilen periyotlarda tüm dokulardan örnek alınabilmektedir [2-5]. Bununla birlikte dizayn edilen farklı hidroponik kültür sistemlerinde zayıf havalandırma, kök materyalinde kayıplar gibi sistemin kurulumu ve sürdürülmesi ile ilgili sorunlarla karşılaşmıştır [6]. Bu nedenle araştırmacılar birçok teknik problemin üstesinden gelmek amacıyla ihtiyaçları ve yararları doğrultusunda alternatif hidroponik sistemler tasarlamışlardır [5-7]. Bazı araştırmacılar ise, tasarlanan sistemlerde daha iyi büyüme koşulları elde etmek amacıyla modifikasyonlar yapmışlardır [7].

*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh (*Arabidopsis*), kısa yaşam döngüsü, farklı fenotiplerde sayısız mutanta sahip olması, genetik manipülasyonlara uygunluğu, tüm genom diziliminin belirlenmiş olması ve laboratuvar şartlarında yetiştirilebilmesi gibi birçok özelliğinden dolayı bitki biliminde model organizma olarak tercih edilmektedir [2, 8, 9]. *Arabidopsis* kolay yetiştirilebilecek bir bitki olarak düşünülmesine rağmen, olumsuz çevre faktörlerinden çok etkilenerek zayıf düşebilmekte hatta ölebilmektedir [10]. Ayrıca, küçük boyutta olmasından dolayı eş zamanlı olarak yapılacak olan fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler analizlerde materyal miktarı konusunda problemler yaşanmaktadır [2, 11].

Yapılan bu araştırma kapsamında, öncelikle *Arabidopsis* için şimdiye kadar tasarlanan alternatif hidroponik kültür sistemleri incelenerek avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Daha sonra ise, önceki tasarlanan sistemler [4, 6, 11-13] temel alınarak dezavantajları azaltan, pratik ve üretken bir hidroponik kültür sistemin elde edilmesine çalışılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, *Arabidopsis thaliana* L. Heynh ekotip Columbia (*Col 0*) tohumları kullanılmıştır. Tohumlar ekimden önce steril su ile çalkalanmış ve 2 gün süreyle 4°C’de muhafaza edilmiştir.

### Hidroponik kültür sistemi için gerekli ekipmanlar ve besin ortamı

Hidroponik sistemin kurulumu ve sürdürülebilmesi için gerekli ekipmanlar; 1.5 ml’lik plastik mikrosantrifüj tüpleri, taşıyıcı, agar, strafor (22 x 22 x 1 cm), agar delici (9 mm çaplı), opak polietilen plastik kaplar (25 x 25 x 11 cm), mikropipet (20-200 µl), uc kısımlarından 5-6 mm kesilmiş mikropipet uçları (200 µl), küçük boy akvaryum havalandırma motoru ve hava taşı, streç film, maket bıçağı ve bitki büyüme odasıdır. Besin ortamı olarak MGRL hidroponik solüsyonu [son konsantrasyon: 1.75 mM sodium phosphate buffer (pH 5.8), 1.5 mM MgSO<sub>4</sub>, 2.0 mM Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 3.0 mM KNO<sub>3</sub>, 67 µM Na<sub>2</sub>EDTA, 8.6 µM FeSO<sub>4</sub>, 10.3 µM MnSO<sub>4</sub>, 30 µM H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1.0 µM ZnSO<sub>4</sub>, 24 nM (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>, 130 nM CoCl<sub>2</sub> ve 1.0 µM CuSO<sub>4</sub>] kullanılmıştır [14]. Konsantre (10X) ve taze olarak hazırlanan stok MGRL besin ortamı kullanılmadan önce distile su ile seyreltilmiştir (1X).

### Hidroponik kültür sistemin kurulumu

1.5 ml’lik plastik tüplerin kapak ve konik kısımları ısıtılmış maket bıçağı yardımıyla kesilir (Şekil 1a).

Agar delici ile taşıyıcı oyulur ve elde edilen taşıyıcı parçaları hazırlanan plastik tüplerin içine bastırılmadan dikkatlice yerleştirilir. Aksi takdirde kök gelişimi inhibe olabilir ya da tamamıyla engellenebilir (Şekil 1b). Taşıyıcı ile çalışılırken mutlaka laboratuvar önlüğü, eldiven ve maske kullanılmalıdır.

Straforlar kullanılan plastik kapların boyutlarına uygun fakat 2-3 cm daha küçük olacak şekilde hazırlanır. Strafor boyutlarının daha küçük olmasının nedeni besin ortamı içeren plastik kaplar içerisine aktarıldıktan sonra yüzmesini sağlamaktır.

Hazırlanan straforların üzerine kurşun kalemle eşit kareler çizilir ve karelerin tam ortalarına uygun bir delici alet yardımıyla taş yünü içeren tüplerin yerleştirilmesi için delikler (yaklaşık 1.2 cm çapında) açılır (Şekil 1c). Çizilen karelerin alanı yetiştirilecek olan bitkilerin hasat edilecek dönemindeki boyutuna göre (bitkiler büyüdükçe yaprakları birbirinin üzerine kapatmayacak şekilde) belirlenmelidir.

Straforlar üzerine açılan deliklere yerleştirilen tüpler, MGRL besin solüsyonu içeren plastik kapların içine koyulur ve tüpler içerisinde bulunan taş yünlerinin besin ortamı ile temas halinde olup olmadığı kontrol edilir. Bütün tüplerin kontrolü tamamlandıktan sonra straforlar besin ortamından çıkarılır ve hafif kurutulur.

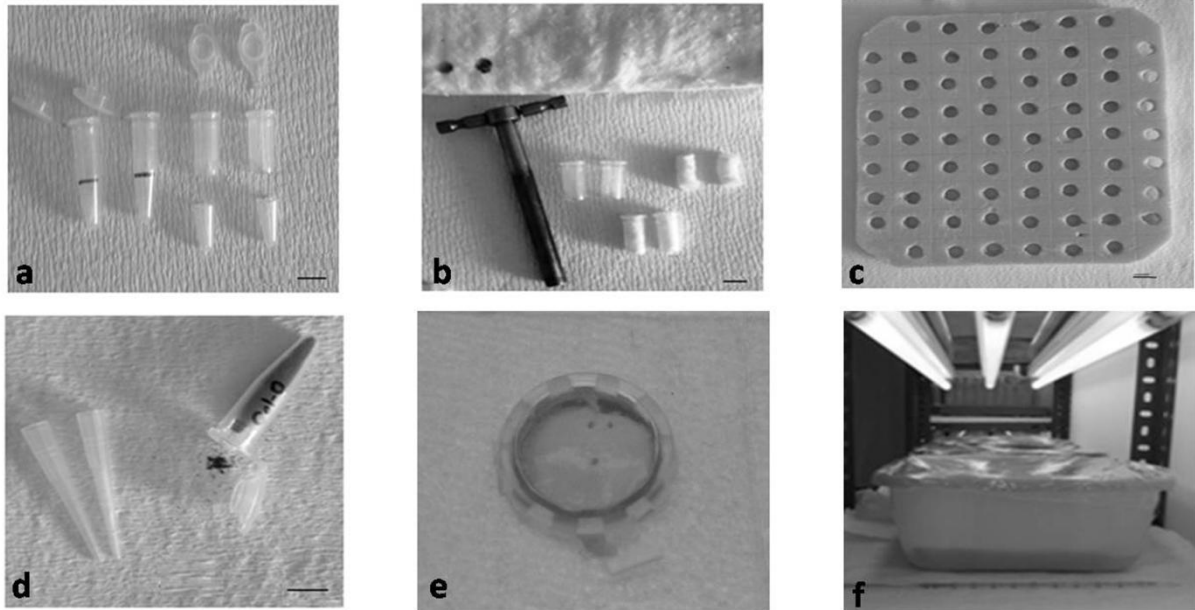
İyi bir çimlenme sağlamak amacıyla 150 µl agar (%0.7’lik) tüplerin içerisinde bulunan taşıyıcılarının üzerine pipet yardımıyla eklenir. Hazırlanan agarın pipet ile taşıyıcılarının üzerine koymadan önce ılık olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Agar katılaştıktan sonra, sterilizasyona gerek duyulmadan tohum ekimine geçilir. Ekim yapılacak kadar tohum 1.5 ml’lik mikrosantrifüj tüpüne koyulur ve üzerine ekimi (pipet ile) kolaylaştırmak amacıyla distile su eklenir. Daha sonra 3’er tohum, uç kısımları kesik olan pipet uçları yerleştirilmiş olan taş yünleri üzerine, mikropipet yardımıyla, birbirlerine çok yakın olmayacak şekilde ekilir (Şekil 1d ve e).

Çimlenme görülünceye kadar (3-4 gün) plastik kapların üstü streç film ile kaplanır (Şekil 1f). Çimlenmenin ardından streç film kaldırılır ve straforların bulunduğu plastik kaplara 4 L MGRL besin ortamı eklenir, havalandırma motoru ve hava taşı yerleştirilir.

Kurulan bu hidroponik sistem ile kültür, büyüme odasında 100 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> ışık altında fotoperiyodik koşulda (16 saat aydınlık/8 saat karanlık) 22±2°C’de gerçekleştirilmiştir.

Ekimden 1 hafta sonra seyreltemeye gidilerek her tüp için 1’er bitki bırakılmış ve besin ortamı 4 günde bir değiştirilmiştir.

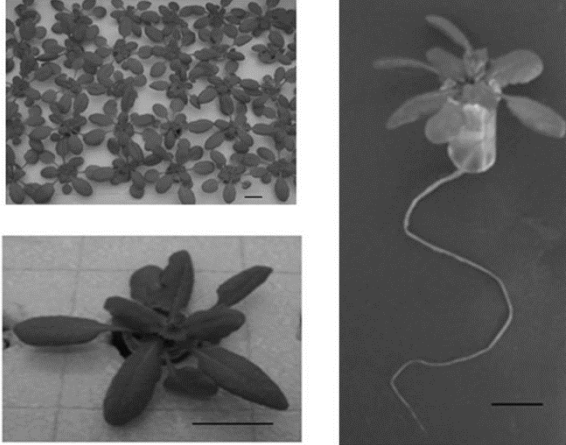


Şekil 1. Basitleştirilmiş hidroponik kültür sistemi. a) Sistemde kullanılacak olan 1.5 ml’lik plastik tüplerin hazırlanması, b) Agar delici yardımıyla uygun büyüklükte hazırlanan taş yünlerinin tüplere yerleştirilmesi, c) Tüplerin yerleştirileceği straforların hazırlanması, d) Arabidopsis tohumları ve uç kısımları kesilmiş mikropipet uçları, e) Tohum ekiminin yapılması, f) Tüpleri içeren straforların plastik kaplara yerleştirilmesi ve çimleninceye kadar streç film ile kaplanması. Ölçü çizgisi = 1 cm.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Arabidopsis fideleri petri kaplarında agar üzerinde ya da saksılarda toprak veya vermikülit gibi farklı büyüme ortamlarında yetiştirilebilmektedir [10]. Fakat agar ortamında fideler 2-3 hafta kadar büyütülebilmekte ve yetiştirme steril koşullarda gerçekleştirilmek zorundadır. Toprak ortamında ise büyüme ortamının izlenmesi ve kontrol edilmesi zor olmaktadır [5]. Yaptığımız çalışmada, hidroponik sistemde büyüme ortamı olarak porlu yapısından dolayı taş yünü tercih edilmiştir. Taş yünü yapısında %15 hava boşluğu bulundurmakta ve bu özelliği kök çevresinde iyi bir havalandırma sağlayarak filtre kağıdı, agar, toprak, vermikülit veya meş (mesh) gibi diğer büyüme ortamlarına nazaran sağlıklı ve üniform fide gelişimine olanak sağlamaktadır [6]. Buna ilaveten taş yünü, işlenmesi aşamasında sıcaklığın çok yüksek derecelere (1600°C) kadar çıkmasından dolayı patojen içermemektedir [7].

Farklı hidroponik sistemlerde, taş yünü yerleştirmek üzere değişik boyutlarda tüpler (15 ve 50 ml) ya da plastik borular kullanılmıştır [6, 11, 15]. Yaptığımız çalışmada, 1.5 ml'lik plastik tüplerin Arabidopsis için ideal tüp boyutu olduğu ve avantajlar sağladığı tespit edilmiştir. Örneğin, kullanılan tüp boyutundan dolayı bir plastik kaptan çok sayıda bitki yetiştirilmekte ve bir plastik kaptan diğerine kolayca bitki aktarımı yapılabilmektedir. Tasarlanan hidroponik sistemde, Arabidopsis bitkilerinin kültüründe Fujiwara ve ark. [14] tarafından tanımlanan MGRL sıvı besin ortamı herhangi bir modifiye yapılmadan kullanılmış olup kültür boyunca sağlıklı bitki gelişimi ve büyümesi gözlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Yirmibir günlük *Arabidopsis thaliana* bitkileri. Ölçü çizgisi = 1 cm.

Hidroponik sistemin diğer parçalarından biri olan straför, sistemde tüplerin yerleştirilmesi için platform olarak kullanılmıştır. Sistemin diğer parçaları gibi straför da tekrar tekrar kullanılabilmekte ve yapısından dolayı herhangi bir delici alet yardımıyla tüp boyutuna uygun delikler kolayca açılabilir. Bununla birlikte straförün hafif yapıda olması besin ortamını içeren plastik kaplarda yüzebilmesini sağlamaktadır. Böylece taş yünü sürekli ve düzenli olarak besin ortamıyla temas halinde olacak ve üniform çimlenme gerçekleşecektir. Tasarlanan sistemde, plastik kaplar hidroponik tank olarak kullanılmış

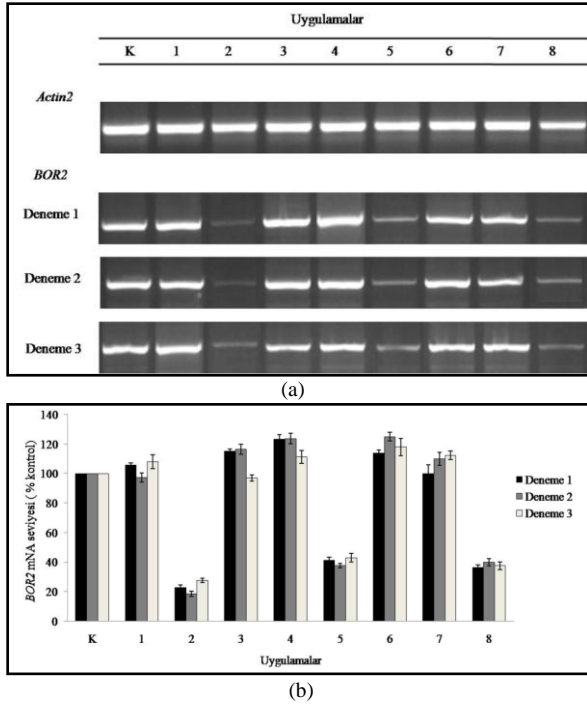
ve özellikle ışık geçişini ve alg oluşumunu önlemek amacıyla opak olanlar tercih edilmiştir [3]. Plastik kapların orta boyutta olarak tercih edilmesinin nedeni kolayca taşınabilmesi, kaplandığı alanın uygunluğu ve ayrıca bitki büyüme odasında aynı zamanda birçok deneyin paralel olarak kurulabilmesine imkan vermesidir.

Bazı araştırmacılar hidroponik sistemlerde havalandırmanın gerekli olduğunu düşünürken [6, 15] bir kısmı tam tersini düşünmektedir [3, 10]. Tasarlanan hidroponik sistemde iki hidroponik tank için Y-bağlantısı yardımıyla bir havalandırma motoru kullanılmış ve en düşük hızda çalıştırılmıştır. Havalandırma motoru kullanılmasının nedenlerinden ilki, üniform bitki gelişimini sağlamak [10] diğeri ise, *AtWRKY40* ve *AtNIP2;1* gibi hipoksiya genlerinin (oksijen yetmezliği ile ilgili genler) ekspresyonundaki artışı önlemektir [5].

Gen ekspresyon çalışmaları global ölçülerde gerçekleştirilmekte ve çevresel faktörler değiştiği zaman birçok genin ekspresyon seviyesinde varyasyonlar meydana gelebilmektedir. Moleküler çalışmalarda, dış kaynaklı varyasyonları en aza indirmek amacıyla özellikle hidroponik sistemler tercih edilmektedir [11, 16]. Basitleştirdiğimiz bu hidroponik sistemde yetiştirdiğimiz Arabidopsis bitkilerinin köklerinde semi-quantitative revers transkriptaz-polimeraz zincir reaksiyonu (semi-quantitative RT-PCR) ile birçok genin ekspresyon analizi gerçekleştirilmiştir (veri sunulmamıştır). Ekspresyonu araştırılan genlerden biri *BOR2* (At3g62270) olup, üç bağımsız deneme sonucu elde edilen ekspresyon profil sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Aynı büyüme odasında ve benzer şartlar altında farklı plastik kaplarda aynı uygulamaları yaparak yetiştirdiğimiz bitkilerde aynı gene ait birbirine çok benzer gen ekspresyon modelleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, hidroponik kültür sistemlerinde düzenli olarak besin solüsyonunun değiştirilmesi, uygun hasat metodunun seçilmesi ve yetiştirme parametrelerinin stabil tutulması farklı örnekler arasındaki varyasyonu düşürerek bitkilerin üniform olmasında etkili diğer faktörlerdir [11]. Ayrıca, dizayn edilen hidroponik sistemde, kökle temas olmadan yapraklara spreyleme ile herhangi bir uygulama yapılabildiği gibi besin ortamına hormon ya da kimyasal madde eklenerek sadece kökten de uygulamalar yapılabilir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Basitleştirilerek tasarlanan hidroponik kültür sistemi (i) başarılı tohum çimlenmesi, (ii) senkronize çimlenme, büyüme ve gelişme, (iii) birçok analiz için yeterli miktarda yaprak ve kök materyali sağlama, (iv) çimlenme ve gelişim boyunca aktarım aşamasının olmaması, (v) steril ekipmanlara ve sterilizasyona ihtiyaç duyulmaması ve (vi) düşük maliyetli ve tekrar kullanılabilir ekipmanlarla laboratuvar şartlarında kurulabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Optimize edilen bu sistem, gen ekspresyonu gibi hassas deneyler ve farklı uygulama yöntemleri için elverişlidir. Bununla birlikte hidroponik sistemin sağladığı teknik avantajlar sonucu farklı boyutlarda tüpler, plastik kaplar ve straförler kullanılarak sistem, diğer bitkilerin hidroponik kültürü için de uygun hale getirilebilir. Tasarlanan hidroponik kültür sisteminin verimliliği artırma ve biyolojik varyasyonları en aza indirme ile alternatif hidroponik sistemlere nispeten daha basit olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 3.** *Arabidopsis thaliana* köklerinde *BOR2* (At3g62270) genine ait ekspresyon profilleri. (a) Dokuz farklı uygulamaya maruz bırakılan *Arabidopsis thaliana* köklerinde *BOR2* genine ait üç bağımsız denemenin %2'lik agaroz jel sonuçları, (b) Denemelere ait *BOR2* mRNA seviye grafiği (kontrol uygulaması 100 alınmıştır). Grafikte standart hatalar (SE) gösterilmiştir (n=3). Kök dokusundan total RNA izolasyonu ZR Plant RNA MiniPrep kit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RNA örneklerine yapılan DNaz I uygulamasını takiben Thermo RevertAid First Strand kit yardımıyla cDNA sentezlenmiştir. PCR reaksiyonunda 5 µl 10 X Taq tamponu, 1 µl 10 mM dNTP mix, 1 µl 10 pmol/µl gen spesifik primer 1 (CATCTCGCAGTACCGGAAGCT), 1 µl 10 pmol/µl gen spesifik primer 2 (AGCCTTGGACTCATCTCACT), 4 µl 25 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5 µl Taq DNA Polimeraz 5U/µl, 33.5 µl ddH<sub>2</sub>O ve 4 µl cDNA (1/10 seyreltilmiş) kullanılmıştır. PCR programı 94°C/ 3 dak, 35 döngü 94°C/30 san, 50°C/30 san ve 72°C/45 san olarak optimize edilmiştir. *Actin2* geni kontrol olarak kullanılmıştır. mRNA seviyeleri ImageJ versiyon 1.48 (National Institute of Mental Health, USA) kullanılarak ölçülmüştür.

### Teşekkür

Bu çalışma, Yonca Surgun'un Doktora Tez çalışmasının bir bölümüdür. Bu makalede konu edilen çalışmanın gerçekleşmesinde destek sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz (Proje No: BAP 2011-36).

### KAYNAKLAR

- [1] Gericke WF. 1937. Hydroponics - crop production in liquide culture media. Science. 85: 177-178.  
 [2] Noren H, Svensson P, Andersson B. 2004. A convenient and versatile hydroponic cultivation system for *Arabidopsis thaliana*. Physiologia Plantarum. 121: 343-348.

[3] Tocquin P, Corbesier L, Havelange A, Pielain A, Kurtem E, Bernier G, Perillux C. 2003. A novel high efficiency, low maintenance, hydroponic system for synchronous growth and flowering of *Arabidopsis thaliana*. BMC Plant Biology. 3: 2-12.

[4] Schlesier B, Breton F, Mock HP. 2003. A hydroponic culture system for growing *Arabidopsis thaliana* plantlets under sterile conditions. Plant Molecular Biology Reporter. 21: 449-456.

[5] Conn SJ, Hocking B, Dayod M, Xu B, Athman A, Henderson S, Aukett L, Conn V, Shearer MK, Fuentes S, Tyerman SD, Gilliam M. 2013. Protocol: optimizing hydroponic growth systems for nutritional and physiological analysis of *Arabidopsis thaliana* and other plants. Plant Methods. 9: 4-15.

[6] Gibeaut DM, Hulett J, Cramer GR, Seman JR. 1997. Maximal biomass of *Arabidopsis thaliana* using a simple, low-maintenance hydroponic method and favorable environmental conditions. Plant Physiology. 115: 317-319.

[7] Savvas D. 2003. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. Food, Agriculture & Environment. 1(1): 80-86.

[8] Meinke DW, Cherry JM, Dean C, Rounsley SD, Koornneef M. 1998. *Arabidopsis thaliana*: a model plant for genome analysis. Science. 282: 678-682.

[9] Toda T, Koyama H, Hara T. 1999. A simple hydroponic culture method for the development of a highly viable root system in *Arabidopsis thaliana*. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 63(1): 210-212.

[10] Artega RN, Artega JM. 2000. A novel method for growing *Arabidopsis thaliana* plants hydroponically. Physiologia Plantarum. 108: 188-193.

[11] Smeets K, Ruytinx J, Belleghem FV, Semane B, Lin D, Vangronsveld J, Cuypers A. 2008. Critical evaluation and statistical validation of a hydroponic culture system for *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology and Biochemistry. 46: 212-218.

[12] Waters M, Bussell J, Jost R. 2012. Arabidopsis hydroponics and shoot branching assay. Bio-protocol. 2(19): e264.

[13] Surgun Y, Bürün B. 2012. *Arabidopsis thaliana* L. (Brassicaceae) için laboratuvar çalışmalarına elverişli, kolay ve ekonomik bir hidroponik kültür sistemi. Uluslararası katılımlı 21. Ulusal Biyoloji Kongresi. 03-07 Eylül. İzmir.

[14] Fujiwara T, Hirai YM, Chino M, Komeda Y, Naito S. 1992. Effects of sulfur nutrition on expression of the soybean seed storage protein genes in transgenic petunia. Plant Physiology. 99: 263-268.

[15] Hutter D, Dudy BZ. 2003. An improved, simple, hydroponic method for growing *Arabidopsis thaliana*. Plant Molecular Biology Reporter. 21: 59-63.

[16] Lashkari DA, DeRisi JL, McCusker JH, Namath AF, Gentile C, Hwang SY, Brown PO, Davis RW. 1997. Yeast microarrays for genome wide parallel genetic and gene expression analysis. PNAS. 94(24): 13057-13062.