

## Kuraklık Stresinin Fasulyede Bitki Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Sima CAŞKA KILIÇASLAN<sup>1</sup>, Ertan YILDIRIM<sup>\*1</sup>, Melek EKİNCİ<sup>1</sup>, Raziye KUL<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ERZURUM

(Alınış / Received: 08.10.2019, Kabul / Accepted: 03.03.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 17.08.2020)

### Anahtar Kelimeler

Kuraklık stresi,  
Fasulye,  
Bitki gelişimi,  
Fizyolojik ve biyokimyasal  
tepkiler

**Öz:** Bu çalışma kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, besin maddesi içeriği ile bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla 2019 yılında yürütülmüştür. Araştırmada, kuraklık stresinin etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı sulama seviyesi [tam sulama (%100) (D0), tarla kapasitesinin %80'i (D1) ve %60'ı (D2)] kullanılmış ve deneme saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Araştırma sonunda, kuraklık stresinin fasulyede yaprak alanı, yaprak-gövde-kök yaş ağırlığı ile yaprak-gövde-kök kuru ağırlığına olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. % 60 sulama seviyesinde yaprak yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığının % 100 sulama seviyesine göre sırasıyla % 17, 33, 55, 57, 60 ve 52 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik (EC) kuraklık stresi ile artarken, doku oransal su içeriği (DOSİ) azalmıştır. Çalışmada, % 80 sulama seviyesinde yapraklarda peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve süperoksitdismutaz (SOD) aktivitesi tam sulamaya göre artış gösterirken % 60 seviyesinde önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi ayrıca fasulyede incelenen organlarda bitki besin elementi içeriğini azaltmış, buna karşın hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), malondialdehide (MDA), prolin ve sakkaroz içeriğini artırmıştır.

## The Effect of Drought Stress on Plant Growth, Some Physiological and Biochemical Properties of Bean

### Keywords

Drought stress,  
Bean,  
Plant growth,  
Physiological and biochemical  
responses

**Abstract:** The aim of this study to determine the effects of drought stress on plant growth, nutrient content and some physiological and biochemical properties in bean. 3 different irrigation levels ((100%) (D0), 80% (D1) and 60% (D2) of the field capacity) were used. In this study, it was determined that drought stress had negative effects on leaf area, leaf-stem-root fresh weight and leaf-stem-root dry weight. Leaf fresh weight, stem fresh weight, root fresh weight, leaf dry weight, stem dry weight and root dry weight in 60% irrigation level decreased by 17, 33, 55, 57, 60 and 52%, respectively, compared to 100% irrigation level. Electrical conductivity (EC) increased with drought stress, while tissue water content decreased (DOSİ). In the study, peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxidisedismutase (SOD) activity in leaves increased at 80% irrigation level, while it was found to decrease significantly at 60%. Drought stress also decreased the plant nutrient content in investigated organs. However, it increased hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), melondialdehide (MDA), proline and sucrose content.

\*İlgili Yazar, email: ertanyil@atauni.edu.tr

### 1. Giriş

Bitkiler yaşamlarını devam ettikleri alanlarda, gelişimlerini engelleyici çeşitli olumsuz faktörlere maruz kalmaktadırlar [1]. Bitkinin yaşadığı ortamda bir veya daha fazla faktörün, büyüme ve gelişmeyi olumsuz şekilde etkileyerek ürün kalitesi, miktar ve verimde azalışa neden olmasına "stres" denilmektedir [2]. Stres faktörleri biyotik ve abiyotik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Patojenler, hastalık etmenleri ve mikroorganizmalar gibi faktörler biyotik stres faktörlerini meydana getirirken; kuraklık, tuzluluk, yüksek veya

düşük sıcaklık, ağır metal kirliliği, su fazlalığı ise abiyotik stres faktörlerini oluşturmaktadır. Dünyada bitkisel üretimini kısıtlayan abiyotik stres faktörleri yetiştiricilikte bitkinin optimum ürün potansiyeline ulaşmasını engellemektedir. Tarımsal üretimde yaşanan verim kayıplarının sebebi %71 oranında abiyotik, %29 oranında ise diğer stres faktörlerine dayandırılmaktadır [3].

Dünya üzerinde karasal alanların %30'u kurak veya yarı kurak olarak ifade edilir. Daha da önemlisi dünya üzerindeki bitkisel üretiminin yapıldığı sulak arazilerin büyük bir kısmında da şiddetli kuraklık görülmektedir. Kuraklık stresi bitkinin dokularında su veya turgor potansiyelini optimum gelişmeyi olumsuz etkileyecek seviyelere düşürmesi olarak ifade edilir [4]. Hava sıcaklığındaki ani artış ya da nemde hızlı bir azalışın gerçekleşmesiyle bitkilerde akut susuzluk oluşur [5]. Kuraklık stresi bitkilerde vejetatif büyüme, verim, su ilişkileri ve fotosentezi etkilemektedir [6]. Hücrede veya bitki içerisinde oluşan metabolik ve fizyolojik her bir faktörün su stresinden etkilenmeye başladığı kuraklık seviyesi değeri farklılık gösterir [7]. Kuraklığın ilk olarak bitki gelişiminde sorun oluşturduğu safha çimlenme safhasıdır [8]. Toprağa ekilen tohum topraktan ihtiyacı olan suyu alamadığı durumlarda çimlenme olmamaktadır [9].

Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.), ülkemizin hemen her kesiminde kuru tane ya da taze amaçlı yetiştirilebilen ve genellikle de Karadeniz Bölgesi'nde geniş yayılım göstermiş bir baklagil bitkisidir. Tanelerinde yer alan yüksek protein (% 22.6), karbonhidrat (% 56), mineral madde ve vitaminlerce zenginliği kuru fasulyenin dünyada ve ülkemizde önemini artırmıştır. Fasulyenin ayrıca insülinin yapısında bulunan phasol ve phsolin adlı maddeleri içermesi sebebiyle, kan şekerini düşürücü etkisinin de bulunduğu ifade edilmektedir[10].

Dünyada fasulye üretiminin yarısından fazlası kurak şartlarda yapılmaktadır [11]. Son yıllarda küresel ısınmayla beraber yaşanan kuraklık bitkisel üretimde önemli seviyelerde tehlike oluşturmaktadır. Daha önceki araştırma sonuçları, kuraklığa maruz kalan bitkilerdeki toleransın artırılmasında, bitkide meydana gelen biyokimyasal ve fizyolojik değişimler, iyon birikimindeki değişimler ve antioksidatif savunma mekanizmalarının indüklenmesinin etkili olduğu ifade edilmektedir [12]. Yapılan çalışmalar kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimini, fotosentetik aktiviteyi, stomatal iletkenliği, klorofil miktarını, azot ve protein içeriğini, bitki besin elementi içeriği, verim ve kaliteyi olumsuz etkilediğini göstermiştir [13, 14, 15, 16, 17, 18]. Fasulyenin kuraklık stresine karşı bitki gelişimi, verim, fizyolojisi ve biyokimyasal tepkileri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte kuraklığa karşı fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinin ayrıntılı olarak yapıldığı çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma, farklı seviyede sulama uygulamalarının fasulyede bitki gelişimi, yaprak, gövde ve kökte bitki besin maddesi içeriği, fizyolojik (DOSİ, EC) ve biyokimyasal (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, prolin ve sakaroz, CAT, POD, SOD) özelliklerini belirlemek amacıyla kontrollü sera şartlarında saksı denemesi şeklinde yapılmıştır

## 2. Materyal ve Metot

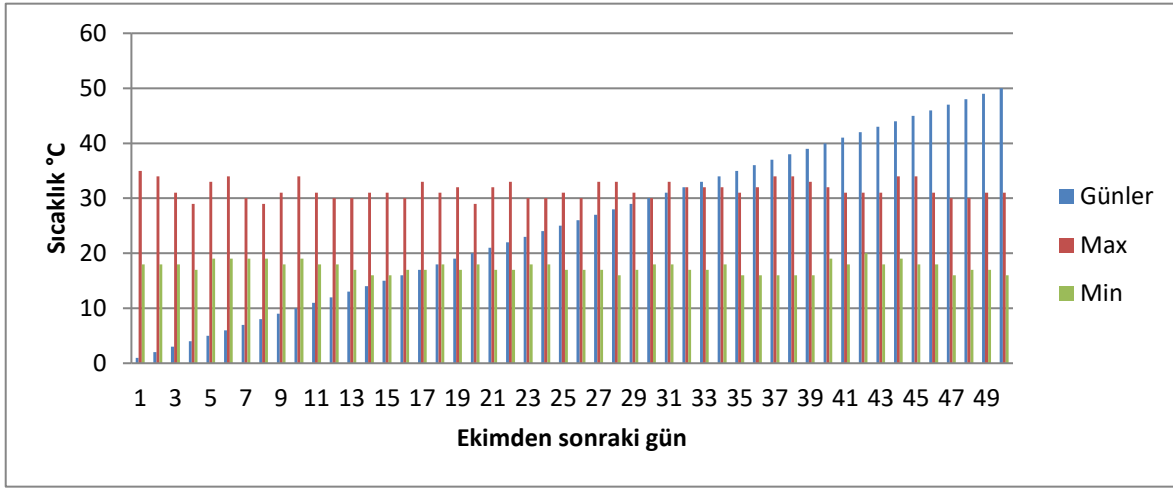
### 2.1. Denemenin Kurulması

Bu araştırma 2019 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü sera ve laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada bitkisel materyal olarak ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Gina fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşidi kullanılmıştır. Saksılar 2:1:1 (v:v:v) oranında toprak:kum:torf karıştırılarak hacim ağırlığı yaklaşık 3.170 g/cm<sup>3</sup> olacak şekilde hazırlanmış ortamla doldurulmuştur. Saksılar serada tezgâhlar üzerine rastgele dağıtılmıştır. Tohumlar, 17.12.2018 tarihinde ekilmiş ve can suyu verilmiştir. Her saksıya üç tohum ekilmiş ve çıkış yapan sağlıklı bir fide bırakılmıştır. Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü kurulmuştur. Buna göre her tekerrürde 10 saksı (bitki) olacak şekilde toplamda (3 kuraklık seviyesi X 3 tekerrür X 10 saksı) 90 saksı (bitki) ile çalışılmıştır.

### 2.2. Kuraklık Uygulamaları

Bitkilere verilecek sulama suyu miktarı, saksılardaki nem miktarının taşınabilir nem ölçer (HH2 Moisture Meter, WET Sensor, Delta-T Devices, Cambridge, England) ile hacim esaslı olarak hesaplanmıştır. Planlı sulamalara çıkıştan 10 gün sonra başlanmıştır. Sulamayı uygulayabilmek için öncelikle kullanılacak nem ölçerin denemede kullanılan toprak materyaline göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra ortamın tarla kapasitesinde tuttuğu hacimsel nem miktarı belirlenmiştir. Yapılan her sulama uygulamasında tam sulama (%100) yapılan kontrol konusuna (D0) eksilen toprak nemi tekrar tarla kapasitesine ulaşacak şekilde sulama suyu verilmiştir. Kuraklık etkilerinin görülmesi amaçlanan diğer iki konuda tarla kapasitesinin %80 (D1) ve %60'ı (D2) miktarında sulama yapılmıştır.

Sera içi sıcaklık ölçümü günlük olarak yapılmış ve ortalama minimum sıcaklık 17,5°C ve ortalama maksimum sıcaklık 31,6°C olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Deneme boyunca sera içerisinde ölçülen günlük en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri

### 2.3. Deneme Süresince Yapılan Ölçümler

**Yaş ve kuru ağırlık:** Tohum ekiminden 50 gün sonra bitkiler (her tekerrürden 10 bitki), çiçeklenme aşamasına geldiğinde toprak yüzeyinden kesilerek toprak üstü (yaprak, gövde) yaş ve kuru ağırlığı ile köklerde yaş ve kuru ağırlığı belirlenmiştir. Bitki örneklerinden ayrıca, biyokimyasal analizlerde kullanılmak üzere -80 °C'ye ayarlanmış derin dondurucuya konulmuştur.

#### Yaprak Alanı

Deneme sonunda, uygulamadaki bitkilerin yaprak alanları yaprak alan ölçer (CID-202 Portable Laser Leaf Area Meter by CID Bio-Science, Inc. 1554 NE 3rd Avenue Camas, WA, USA) kullanılarak belirlenmiştir.

#### Doku Elektriksel İletkenliği (EC) (%)

Bitkide oluşan stresle beraber yaprak dokularında ve özellikle hücre zarlarında oluşan hasarın bir belirtisi de yaş yaprak dokularındaki elektriksel iletkenliğin artmasıdır. Bu amaçla doku elektriksel iletkenliği (EC) Kaya *et al.* [19]'da belirtilen metoda göre ölçülmüştür.

#### Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ)

Tesadüfen seçilen 2 bitkiden alınan yaprak diskleri (1 cm çapında) hemen tartılmış ve böylece taze ağırlıkları tespit edilmiştir (TA). Tartıldıktan sonra diskler içerisinde bir miktar saf su bulunan petri kaplarının içerisinde konularak 5 saat boyunca bekletilerek ve sonra disklerin üzerindeki fazla su kurutma kâğıdı yardımıyla silinerek tekrar tartılarak ve turgorlu ağırlıkları tespit edilmiştir (TU). Daha sonra bu diskler, petrilerin içerisinde konularak 72 °C'ye ayarlanmış olan etüvde 48 saat boyunca kurutularak yeniden tartılarak ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir (KA). Doku su içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [19].

$$DOSİ = [(TA - KA) / (TU - KA)] \times 100$$

#### Azot Tayini

Her tekerrürden tesadüfen alınan örnekler 70 °C'de kurutma fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup, 1 mm'lik elekten geçebilecek incelikte öğütülerek, bitki besin elementleri analizleri için hazır hale getirilmiştir. Örneklerin (1 g) azot içeriği salisilik + sülfürik asit + tuz karışımı ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra mikrokjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir [20].

### 2. 8. Diğer Besin Elementlerinin Tayini (P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, B)

Kurutulmuş ve öğütülmüş bitki örneklerinin (1 g) P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe ve B içerikleri nitrik asit-hidrojen peroksit (2:3) asit ile tabi tutulduktan [21] sonra ICP OES spektrofotometresinde (Inductively Couple Plasma spectrophotometer) (Perkin-Elmer, Optima 2100 DV, ICP/OES, Shelton, CT 06484-4794, USA) okunmak suretiyle belirlenmiştir [22].

## **Bitkilerde Antioksidan Enzimler (Peroksidaz, Katalaz, Süperoksitdismutaz)'in Ekstraksiyonu**

Enzimlerin ekstraksiyonu için, taze bitki yapraklarından 0,5 g alınarak havan içine konulup üzerine sıvı azot ilave edilerek toz haline gelinceye kadar öğütülmüştür. Sonra üzerine 5 ml soğuk homojenat tamponu (% 1 PVP ve 1 mM EDTA ihtiva eden 0,1 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> pH: 7,0) ilave edilerek ve karışım bir santrifüj tüpüne aktarılmış 15000xg ve +4 °C' de 15 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda elde edilen süpernatant antioksidan enzimlerin aktivite ölçümleri için kaynak olarak kullanılmıştır [23, 24].

### **Katalaz (CAT - EC: 1.11.1.6) aktivitesinin belirlenmesi**

Katalaz (CAT) aktivite tayini Havir ve Mchale [25]'e göre yapılmış, g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU/g yaprak) olarak hesaplanmıştır [26].

### **Peroksidaz (POD - EC: 1.11.1.7) Aktivitesinin Belirlenmesi**

Peroksidaz (POD) aktivite tayini Angelini *et al.* [23] 'e göre yapılmış, g yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU/g yaprak) olarak ifade edilmiştir [26].

### **Süperoksid Dismutaz (SOD - EC: 1.15.1.1) Aktivitesinin Belirlenmesi**

Süperoksid dismutaz (SOD) aktivite tayini Agarwal and Pandey [27] ve Yordanova *et al.* [28]'e göre yapılmıştır.

### **Hidrojen Peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Analizi**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> analizi Özden *et al.* [29]'da verilen yöntem esas alınarak yapılmıştır.

### **Lipid Peroksidasyon (malondialdehyde-MDA) Analizi**

Lipid peroksidasyon (malondialdehyde -MDA) analizi Zhang *et al.* [30]'a göre yapılmıştır.

### **Prolin Analizi**

Bates *et al.* [31]'nın kullandığı yöntem esas alınarak yapılmıştır.

### **Sakkaroz Analizi**

Kurutulmuş ve öğütülmüş fidelerde sakkaroz içeriğinin hesaplanması Morris [32]'in önerdiği metoda göre yapılmıştır.

## **2.4. İstatiksel Analizler**

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü kurulmuştur. Deneme sonucunda elde edilen veriler SPSS 18 paket programı yardımıyla varyans analizine tabi tutularak, ortalamalara ait farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir [33].

## **3. Bulgular**

### **3.1. Kuraklık Stresinin Fasulyede Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi**

Kuraklığın fasulye bitkisinde yaprak alanı, yaprak, gövde ve kök yaş ağırlığı ile yaprak, gövde ve kök kuru ağırlığı üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Su kısıtının olduğu uygulamalar incelenen parametreleri olumsuz etkilemiştir. Kurak koşullarda fasulye bitkisinde en fazla yaş ve kuru ağırlık ile yaprak alanında azalma %60 sulamada ortaya çıkmıştır. % 60 sulama seviyesinde yaprak yaş ağırlığı, gövde yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı ve kök kuru ağırlığının % 100 sulama seviyesine göre sırasıyla % 17, 33, 55, 57, 60 ve 52 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

**Tablo.1.** Kuraklık stresi koşulları altında fasulyede bitki gelişimi

Sulama seviyesi	Yaprak alanı	Yaprak yaş ağırlığı	Gövde yaş ağırlığı	Kök yaş ağırlığı	Yaprak kuru ağırlığı	Gövde kuru ağırlığı	Kök kuru ağırlığı
(%)	(cm <sup>2</sup> )	(g)					
100	209 a***	6,24 a***	3,20 a***	2,71 a***	1,85 a***	1,17 a***	0,58 a***
80	202 a	5,80 b	2,66 b	1,98 b	1,04 b	0,59 b	0,35 b
60	171b	5,18 c	2,15 c	1,22 c	0,79 c	0,47 c	0,28 c

\*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur.

### 3.2. Kuraklık Stresinin Fasulyede EC, DOSİ, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, Prolin ve Sakkaroz İçeriği Üzerine Etkisi

Kuraklığın fasulye bitkisinde EC, DOSİ, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, prolin ve sakkaroz üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Su kısıtı fasulyede EC değerini artırırken, DOSİ değerinde azalmaya yol açmıştır. Denemede kuraklık uygulamasının fasulye bitkisinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, prolin ve sakkaroz içeriğini istatistiksel anlamda önemli düzeyde artırdığı saptanmıştır. En yüksek EC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ve sakkaroz miktarı %60 sulama seviyesinde bulunmuştur. DOSİ değerinde tersine bir durum söz konusu olup en düşük değer %60 sulama seviyesinde belirlenmiştir. Prolin miktarı en yüksek %80 sulama seviyesinde meydana gelmiştir. MDA içeriği bakımından %60 ve %80 sulama seviyeleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamıştır.

**Tablo 2.** Kuraklık stresi koşulları altında fasulyede EC, DOSİ, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, prolin ve sakkaroz içeriği

Sulama seviyesi	EC	DOSİ	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	MDA	Prolin	Sakkaroz
(%)	(%)	(%)	(mmol g <sup>-1</sup> )	(nmol g <sup>-1</sup> )	(µg g <sup>-1</sup> )	(%)
100	14,37 c***	71,95 a***	13,96 c***	9,29 b***	0,06 c**	1,01 c***
80	23,89 b	56,66 b	16,39 b	10,79 a	0,12 a	1,06 b
60	39,47 a	46,32 c	19,46 a	11,07 a	0,09 b	1,14 a

\*\* :p<0,01, \*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur

### 3.3. Kuraklık Stresinin Fasulyede CAT, POD ve SOD Aktivitesi Üzerine Etkisi

Çalışmamızda farklı sulama seviyesi uygulamalarının fasulye bitkisinde yaprakta CAT, POD ve SOD aktivitesi üzerine istatistiksel anlamda etki gösterdiği tespit edilmiştir. Her üç enzim aktivitesi de kontrole (%100) göre %80 sulama seviyesinde artmış, %60 seviyesinde azalmıştır (Tablo 3).

**Tablo 3.** Kuraklık stresi koşulu altında fasulye bitkisinde CAT, POD ve SOD içeriği

Sulama seviyesi	CAT	POD	SOD
(%)	(EU gr/yaprak)		
100	211 b***	12417 b***	851 b***
80	225 a	12479 a	883 a
60	192 c	10713 c	641 c

\*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur.

### 3.4. Kuraklık Stresinin Fasulyede Yaprak, Gövde ve Kökte Bitki Besin Elementi İçeriği Üzerine Etkisi

Kuraklık stresinin fasulye bitkisinde yaprak, gövde ve kökte bitki besin elementi içeriğini önemli derecede etkilediği ve fasulyede yaprak, gövde ve kökte N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe ve B içeriğini önemli düzeyde azalttığı belirlenmiştir (Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6). Yaprak, gövde ve kökte N içeriği sulama seviyesindeki azalmaya paralel olarak önemli düzeyde azalmıştır. İncelenen organlarda P içeriği %80 sulama seviyesinde % 100 sulama seviyesine göre azalmış ancak % 60 seviyesinde istatistiksel anlamda daha fazla azalma göstermemiştir. Potasyum ve Ca içeriği ise % 60 sulama seviyesinde önemli düzeyde azalma göstermiştir. Magnezyum, S, Mn, Fe ve B içeriklerinin N içeriğinde olduğu gibi sulama seviyesindeki azalmaya paralel olarak azaldığı tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** Kuraklık stresi koşulları altında fasulye bitkisinde yaprak N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, B içeriği

Sulama seviyesi	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	B
(%)	(%)	(mg/kg)							
100	3,07a***	0,32a***	2,27a***	1,29a*	0,33 a***	0,21a***	32,00a***	96,67a***	11,67a***
80	2,83 b	0,29 b	2,23 a	1,29 a	0,27 b	0,17 b	29,33 b	84,67 b	7,67 b
60	2,48 c	0,28 b	1,80 b	1,26 b	0,24 c	0,15 c	24,33 c	75,33 c	5,67 c

\*:p<0,05, \*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur.

**Tablo 5.** Kuraklık stresi koşulları altında fasulye bitkisinde gövde N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, B içeriği

Sulama seviyesi	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	B
(%)	(%)	(mg/kg)							
100	2,47a***	0,28a***	1,92a***	1,11a***	0,27a***	0,18a***	26,51a***	83,43a***	9,94a***
80	2,27 b	0,25 b	1,91 a	1,11 a	0,23 b	0,15 b	23,91 b	72,91 b	6,70 b
60	2,05 c	0,24 b	1,57 b	1,03 b	0,19 c	0,13 c	20,30 c	64,59 c	5,27 c

\*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur.

**Tablo 6.** Kuraklık stresi koşulları altında fasulye bitkisinde kök N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, B içeriği

Sulama seviyesi	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	B
(%)	(%)	(mg/kg)							
100	1,37a**	0,14a**	0,99a***	0,58a*	0,15a***	0,09a***	14,60a***	42,76a***	4,77a***
80	1,26 b	0,13 b	1,00 a	0,58 a	0,13 b	0,08 b	13,09 b	37,98 b	3,54 b
60	1,12 c	0,12 b	0,81 b	0,57 b	0,11 c	0,06 c	10,55 c	33,69 c	2,71 c

\*:p<0,05, \*\*:p<0,01, \*\*\*:p<0,001, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel anlamda farklılık yoktur.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmamızda su kısıtı koşullarının fasulyede bitki gelişimini olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Tablo 1). Benzer şekilde, yapılan çalışmalar marul, hıyar, domates ve farklı birçok sebze türünde kuraklığın bitkilerde bitki gelişimi, verim, fizyolojik ve biyokimyasal olaylar üzerine olumsuz etki yaptığını göstermiştir [34, 35, 36, 37]. Yürütülen bir çalışmada, kurak koşulların fasulyede kuru madde üretimini, yaprak alan indeksini, bitki başına tohum verimi, bin tane ağırlığını ve verimi olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Aynı çalışmada kuraklık stresi altında fasulye bitkilerinin fotosentez hızı, stomatal iletkenlik ve transpirasyon hızının olumsuz etkilendiği bildirilmiştir [16]. Ghanbari et al. [17] su kısıtı uygulamalarının fasulyede N ve prolin içeriğini artırdığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde kuraklık stresinin fasulyede bitki yüksekliği, yaprak sayısı, yaprak alanı, bakla sayısı ve kuru madde miktarını olumsuz etkilediği rapor edilmiştir [15]. Çalışmamızdan elde edilen bulgular önceki araştırmacıların bulgularıyla paralellik göstermektedir. Kuraklık stresi altında büyümesini tamamlamış bitkiler su stresi altında olmayanlara göre daha düşük bir biyomasa sahiptirler [38]. Su kısıtından kaynaklanan verim azalışından üç ana mekanizma sorumludur; (i) fotosentetik olarak aktif radyasyonun kanopi absorpsiyonunu azaltması, (ii) radyasyon kullanım verimliliğini azaltma ve (iii) hasat indeksini azaltma [39].

Kuraklık stresi fasulyede DOSİ değerlerinin kontrol uygulamasına göre istatistiksel anlamda azalmasına neden olurken, elektriksel iletkenliği (EC) artırdığı ortaya konulmuştur (Tablo 2). Biyolojik hücre zarlarının birçok abiyotik stres için ilk hedef olduğu bildirilmektedir. Bitkilerde kuraklığa toleransın önemli bir göstergesi hücre zarının bütünlüğü ve stabilitesidir. Yapılan çalışmalarda kuraklık stresinin birçok bitki türünde hücre zarı bütünlüğünü bozduğu tespit edilmiştir [40, 41, 42]. Bitkiler kuraklık stresine maruz kaldıklarında reaktif oksijen türleri üretirler ve bu durum hücre zarı bileşenlerinin bozulmasına yol açar [43]. Kuraklık stresi sonucunda ortaya çıkan oksidatif zararlanma hücre zarında lipid peroksidasyonuna neden olmakta ve bu da zar geçirgenliğini bozarak hücre ölümüne neden olmaktadır [44].

Araştırmada, su kısıtı koşullarının fasulyede H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, prolin ve sakkaroz içeriğinde artışa yol açtığı tespit edilmiştir (Tablo 2). Bitkilerin belirli çevresel streslere maruz kalması, sıklıkla, süperoksit anyon radikalleri (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), hidroksil radikalleri (OH<sup>•</sup>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), alkoksi radikalleri (RO<sup>•</sup>) ve tekli oksijen (O<sub>12</sub>) dahil olmak üzere reaktif oksijen türlerinin bitki dokularında birikmesine yol açmaktadır [45]. Oksidatif stres sonucu oluşan serbest radikallere bağlı olarak hücre zarındaki lipidler peroksidasyona uğramakta ve bunun son ürünü olarak malondialdehide (MDA) ortaya çıkmaktadır [46]. Araştırmacılar, üretimi stres koşulları altında stimüle edilen reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini rapor etmişlerdir [44]. Reaktif oksijen türlerinin, lipid

peroksidasyonuna ve bunun sonucu olarak hücre zarı yaralanmalarına, protein bozulmasına ve enzim etkisizleşmesine neden olduğu bildirilmektedir[46]. Prolin ve sakkaroz gibi organik osmolitler bitkilerin stres toleransını arttırdığı bildirilmiştir. Çalışmamızda da kuraklık stresi koşullarında her iki osmolitin önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir. Bu durum bitkinin kurak koşullarına adaptasyon sağlamaya çalışmasının göstergesi olabilir. Nitekim, Ghanbari et al. [17] kurak koşullarda yetiştirilen fasulyede prolin miktarındaki artışın kuraklığa toleransın ve kuraklıktan kaçınmanın etkili bir mekanizması olabileceği rapor etmişlerdir.

Çalışmada, CAT, POD ve SOD aktivitesi de kontrole (%100) göre %80 sulama seviyesinde arttığı, %60 seviyesinde azaldığı belirlenmiştir (Tablo 3). Kuraklık stresine maruz kalan birçok bitkide reaktif oksijen türlerine karşı savunmada enzimatik antioksidan mekanizmanın önemli rol oynadığına dair pek çok çalışma bulunmaktadır [47]. Bitkiler SOD, CAT, POD, APX ve GR'dan oluşan enzimatik antioksidan koruyucu sistemler ile strese karşı mücadele etmektedirler. Enzimatik olmayan antioksidan moleküllerin temel görevi fotosentetik hücre zararının korunması iken, enzimatik antioksidan moleküller ise reaktif oksijen bileşiklerini indirgeyerek birikimlerini engellemektedirler [48, 49]. CAT, hidrojen peroksitin su ve oksijene indirgenmesini sağlayarak oluşan oksidatif hasarın önlenmesine yardımcı olan en önemli enzimdir [50]. Sankar et al. [51], tepary fasulyesinde (*Phaseolus acutifolius*), Wang [52], çilekte (*Fragaria vesca*) kuraklık uygulamasının CAT aktivitesinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Denemede, su kısıtı uygulamalarının fasulyede yaprak, gövde ve kökte N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe ve B içeriğini önemli düzeyde etkilediği ve genellikle azalmalarına neden olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6). Kuraklık şartlarında su mevcudiyetinin azalması, genel olarak sınırlı miktarda besin alımı ve bunların bitkilerde azalan doku konsantrasyonları ile sonuçlanır. Su açığının önemli bir etkisi kök tarafından besin maddelerinin edinimi ve sürgünlere taşınmasıdır. İnorganik besin maddelerinin absorpsiyonundaki azalma, transpirasyondaki azalma ve besin alımındaki bozulmadan kaynaklanabilir [53, 54]. Bununla birlikte, bir türün çeşitleri ve genotiplerinin kuraklık stresi altındaki mineral alımına verdikleri tepki değişebilmektedir. Genel olarak, nem stresi N miktarında artışa, fosfor miktarında ise düşüşe neden olur ve K üzerinde kesin bir etki yaratmaz [47]. Çalışmamızda, incelenen her üç bitki organında da N miktarı su kısıntısındaki artışa ters olarak azalmıştır. K içeriği % 80 sulama seviyesinde bir değişiklik göstermezken % 60 seviyesinde kontrol uygulamasına göre azaldığı tespit edilmiştir. Fosfor içeriği her üç organda da kontrole göre su kısıtı koşullarında önemli seviyede azalma göstermiştir. Kuraklığın bitki beslenmesi üzerindeki etkisi  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ve  $\text{SO}_4^{2-}$  asimilasyonu için sınırlı enerji mevcudiyeti ile ilgili olabilir: bu iyonlar bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için kullanılmadan önce enerjiye bağlı proseslerde dönüştürülmeleri gerekir [55].

Kurak koşulların fasulyede bitki gelişimi, verim ve diğer bazı özellikleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmakla birlikte, çalışmamızda incelenen parametrelerin birlikte incelendiği araştırmalar sınırlıdır. Çalışmamızda bitki organlarında bitki besin maddesi içeriği ayrı ayrı incelenmiş yine kuraklık stresine tolerans sağlamada etkili olabilecek ve bu tip çalışmalarda en çok kullanılan biyokimyasal markırlar olan prolin ve sakkaroz içeriği ile antioksidan enzim aktiviteleri belirlenmiştir. Sonuç olarak çalışmamızda, farklı sulama seviyesi koşullarında yetiştirilen fasulyede, kurak koşullara adaptasyon sağlamak için test bitkisinde özellikle prolin ve sakkaroz içeriğinin arttığı ve antioksidan enzimlerin önce artış sonra azalma gösterdiği saptanmıştır. Çalışma sonuçlarının verim verilerinin elde edileceği tarla koşullarında test edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Kaynakça

- [1] Gürel, A., Avcıoğlu, R. 2001. Bitkilerde Abiyotik Stres Faktörlerine Dayanıklılık Mekanizmaları. Bitki Biyoteknolojisi, Genetik Mühendisliği, SÜ Vakfı Yayınları, İzmir, (2001), 288-326.
- [2] Wang, W. X., Vinocur, B., Shoseyov, O., Altman, A. 2000. Biotechnology of Plant Osmotic Stress Tolerance Physiological and Molecular Considerations. IV International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding, Tampere, Finland, 2-7 July, 560 (2000), 285-292.
- [3] Boyer, J. S. 1982. Plant Productivity and Environment Potential for Increasing Crop Plant Productivity, Genotypic Selection. Science, 218 (1982), 443-448.
- [4] Kramer, P. J. 1980. Water Relations in Plants. Academic Press, NY, USA, 495p.
- [5] Yağmur, Y. 2008. Farklı asma (*Vitis vinifera* L.) çeşitlerinin kuraklık stresine karşı bazı fizyolojik ve biyokimyasal tolerans parametrelerinin araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, İzmir.
- [6] Farooq, M., Wahid, A., Kaboyashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. 2009. Plant Drought Stress: Effect, Mechanisms and Management. Agronomy of Sustainable Development, 29 (2009), 185-212.

- [7] Taiz, L., Zeiger E. 2006. Plant Physiology. 4th Ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts, 700p.
- [8] Harris, D., Tripathi, R. S., Joshi, A. 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. Direct seeding: Research Strategies and Opportunities, International Research Institute, Manila, Philippines, (2002), 231-240.
- [9] Okçu, G., Kaya, M. D., Atak, M. 2005. Effect of Salt and Drought Stresses on Germination and Seedling Growth of Pea (*Pisum sativum* L.), Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29 (2005), 237-242.
- [10] Şalk, A., Arın, L., Devci, M. ve Polat, S. 2008, Özel Sebzecilik, Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 184s, Tekirdağ.
- [11] Graham, P. H., Ranalli, P. 1997. Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research, 53 (1997), 131-146.
- [12] Türkan, G., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. 2005. Differential Responses of Lipid Peroxidation and Antioxidants in The Leaves of Drought-Tolerant *P. acutifolius* Gray and Drought-Sensitive *P. vulgaris* L. Subjected to Polyethylene Glycol Mediated Water Stress, Plant Science, 168 (2005), 223-231.
- [13] Smith, M.R., Veneklaas, E., Polania, J., Rao, I.M., Beebe, S.E., Merchant, A., 2019. Field drought conditions impact yield but not nutritional quality of the seed in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). PLoS ONE 14(6) (2019), e0217099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217099>
- [14] Beshir, H.M., Bueckert, R., Taran, B., 2016. Effect of Temporary Drought at Different Growth Stages on Snap Bean Pod Quality and Yield. African Crop Science Journal, 24 (3) (2016), 317 – 330.
- [15] Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., Jalali, A.H., Pessarakli, M., 2012. Drought Stress Effects on Two Common Bean Cultivars with Contrasting Growth Habits. Archives of Agronomy and Soil Science, 58:5 (2012), 527-534. DOI: 10.1080/03650340.2010.530256
- [16] Mathoboa, R., Maraisa, D., Steyn, J.M., 2017. The effect of Drought Stress on Yield, Leaf Gaseous Exchange and Chlorophyll Fluorescence of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultural Water Management 180 (2017) 118-125.
- [17] Ghanbari, A.A., Mousavi, S.H., Gorji, A.M., Rao, I., 2013. Effects of Water Stress on Leaves and Seeds of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Turkish Journal of Field Crops. (2013), 18(1), 73-77.
- [18] Gonçalves, J.G.R., de Andrade, E.R., da Silva, D.A., Esteves, J.A.F., Chiorato, A.F., Carbonell, S.A.M., 2019. Drought tolerance evaluated in common bean genotypes. Ciência e Agrotecnologia, 43:e001719, (2019) <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943001719>
- [19] Kaya, C., Ak, B.E., Higgs, D. 2003. Response of Salt-Stressed Strawberry Plants to Supplementary Calcium Nitrate and/or Potassium Nitrate. Journal of Plant Nutrition, 26 (2003), 543-560.
- [20] Bremner, I., Mulvaney, C. 1982. Nitrogen-total. In: A. Page, R. Miller, and D. Keeney (eds.), *Methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595-624.
- [21] Mertens, D. 2005a. AOAC Official Method 922.02. Plants Preparation of Laboratory Sample. Official Methods of Analysis, 18th edn. Horwitz, W., and G.W. Latimer, (Eds). Chapter 3, pp1-2, AOAC-International Suite 500, 481. North Frederick Avenue, Gaithersburg, Maryland, USA 20877-2417.
- [22] Mertens, D. 2005b. AOAC Official Method 975.03. Metal in Plants and Pet Foods. Official Methods of Analysis, 18th edn. Horwitz, W., and G.W. Latimer, (Eds). Chapter 3, pp 3-4, AOAC-International Suite 500, 481. North Frederick Avenue, Gaithersburg, Maryland, USA, 20877-2417,.
- [23] Angelini, R., Manes, F., Federico, R. 1990. Spatial a Functional Correlation Between Ddaimine- Oxsidase and Peroxidase Activities and Their Dependence Upon De-etilation and Wounding in Chickpea. Planta, 182 (1990), 89-96.
- [24] Angelini, R., Federico, R. 1989. Histochemical Evidence of Polyamine oxidation and generation of hydrogen peroxide in the cell Wall. Journal of Plant Physiology, 135 (1989), 212-217.
- [25] Havir, E.A. Mchale, N.A. 1987. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. Plant Physiology, 84 (1987), 1291-1294.
- [26] Gong, Y., Toivonen, P.M.A., Lau, O.L., Wiersma, P.A. 2001. Antioxidant System Level in 'Braeburn' Apple is Related to its Browning Disorder. Botanical Bulletin of the Academia Sinica (Taipei), 42 (2001), 259-264.
- [27] Agarwal, S., Pandey, V. 2004. Antioxidant Enzyme Response to NaCl Stress in *Cassia angustifolia*. Biologia Plantarum, 48(4) (2004), 555-560.



- [28] Yordanova, R.Y., Christov K.N. and Popova L.P. 2004. Antioxidative Enzymes in Barley Plants Subjected to Soil Flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 51 (2004), 93-101.
- [29] Özden, D.M., Dusun, H. ve Sevinç, A. N.,2000. The Land Resources of Turkey and Activities of General Directorate Services. *Proceeding of International Symposium on Desertification*, 13-17 June, Konya/Turkey.
- [30] Zhang, J. H., Huang, W. D., Liu, Y. P., Pan, Q. H.,2005. Effects of Temperature Acclimation Pretreatment on the Ultrastructure of Mesophyll Cells in Young Grape Plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under Cross-Temperature Stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47 (2005), 959-970.
- [31] Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D.,1973. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. *Plant Soil*, 39 (1973), 205-207.
- [32] Morris, D. L.,1948. Quantitative Determination of Carbohydrates with Dreywoods Anthrone reagent. *Science*, 107 (1948), 254-255.
- [33] SPSS Inc, 2010. SPSS® 18.0 Base User's Guide. Prentice Hall.
- [34] Kohler, J., Caravaca, F., Roldan, A.,2009. Effect of Drought on the Stability of Rhizosphere Soil Aggregates of *Lactuca sativa* Grown in a Degraded Soil Inoculated with PGPR and AM fungi. *Applied Soil Ecology*, 42 (2009), 160-165.
- [35] Wang, C.J., Yang, W., Wang, C., Gu, C., Niu, D.D., Liu, H.X., Wang, Y.P., Guo, J.H. 2012. Induction of Drought Tolerance in Cucumber Plants by a Consortium of Three Plant Growth-Promoting Rhizobacterium Strains. *Plos One*, (2012), ;7(12) e52565. doi: 10.1371/journal.pone.0052565.
- [36] Turan, M., Ekinçi, M., Yildirim, E., Gunes, A., Karagoz, K., Kotan, R., Dursun, A. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38 (3) (2014), 327-333.
- [37] Candido, V., Campanelli, G., D'Addabbo, T., Castronuovo, D., Perniola, M., Camele, I. 2015. Growth and Yield Promoting Effect of Artificial Mycorrhization on Field Tomato at Different Irrigation Regimes. *Scientia Horticulturae*, 187 (2015), 35-43.
- [38] Liu, F., Stutzel, H. 2004. Biomass Partitioning, Specific Leaf Area and Water Use Efficiency of Vegetable Amaranth (*Amaranthus* spp.) in Response to Drought Stress. *Scientia Horticulturae*, 102 (1) (2004), 15-27.
- [39] Earl, H., Davis, R.F.,2003. Effect of Drought Stress on Leaf and Whole Canopy Radiation Use Efficiency and Yield of Maize, *Agronomy Journal*, 95 (2003), 688-696.
- [40] Wang, Z., Huang, B.,2004. Physiological Recovery of Kentucky Bluegrass from Simultaneous Drought and Heat Stress, *Crop Science*, 44 (2004), 1729- 1736.
- [41] Gnanasiri, S.P., Saneoka, H. Ogata, S. 1991. Cell Membrane Stability and Leaf Water Relations as Affected by Potassium Nutrition of Water stressed Maize, *Journal of Experimental Bot.*, 42 (1991), 739-745.
- [42] Villar-Salvador, P., Planelles, R., Oliet, J., Peñuelas-Rubira, J.L., Jacobs, D.F., González, M.,2004. Drought Tolerance and Transplanting Performance of Holm Oak (*Quercus ilex*) Seedlings after Drought Hardening in the Nursery, *Tree Physiology*, 24 (2004), 1147-1155.
- [43] Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V. 2003. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: A Review. *Annual Botany*, 91 (2003), 179-194.
- [44] Kuşvuran, Ş. 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Adana,
- [45] Munne-Bosch, S., Penuelas, J. 2003. Photo- and Antioxidative Protection, and a Role for Salicylic Acid during Drought and Recovery in Field-grown *Phillyrea angustifolia* plants. *Planta*, 217(2003), 758-766. DOI 10.1007/s00425-003-1037-0
- [46] Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Agarwal, S., Meena, R.C. 2005 Differences in Antioxidant Activity in Response to Salinity Stress in Tolerant and Susceptible Wheat Genotypes, *Biol. Plant.*, 49 (2005), 85-91.
- [47] Sarma RK, Saikia R. 2014. Alleviation of Drought Stress in Mung Bean by Strain *Pseudomonas aerugi-nosa* GGRJ21. *Plant Soil*, 377(2014), 111-126.
- [48] Dolferus, R. 2014. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. *Plant Sciences*, 2229: 247-261.

- [49] Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.P. 2014. Response of Plants to Water Stress. *Frontiers in Plant Science*, 5 (2014), 86.
- [50] Scandalios, J.G. 1997. *Oxidative Stress and Molecular Biology of Antioxidant Defenses*. Cold Spring Laboratory Pres, Cold Spring Harbor, NY, USA, pp 343-406.
- [51] Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. 2007. Effect of Paclobutrazol on Water Stress Amelioration Through Antioxidants and Free Radical Scavenging Enzymes in *Arachis hypogaea* L. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 60(2007), 229-235.
- [52] Wang, S. Y. 1999. Methyl Jasmonate Reduces Water Stress in Strawberry. *Journal of Plant Growth Regulation*, 18(1999), 127-134.
- [53] Garg, B.K. 2003. Nutrient Uptake and Management under Drought: Nutrient-Moisture Interaction, *Current Agriculture*, 27 (2003), 1-8.
- [54] McWilliams, D. 2003. *Drought Strategies for Cotton*, Cooperative Extension Service Circular 582, College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State University, USA.
- [55] Grossman, A., Takahashi, H. 2001. Macronutrient Utilization by Photosynthetic Eukaryotes and the Fabric of Interactions, *Annual Review of Plant Physiology*, 52 (2001), 163-210.