



## Determination of the Effects of Low-Dose Gamma (<sup>60</sup>Co) Ray Applications on Early Seedling Growth of Fresh Bean under Restricted Irrigation Conditions

Muhsin Yıldız<sup>1,a,\*</sup>, Çeknas Erdinç<sup>2,b</sup>, Aytekin Ekinci<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Gevaş Vocational School, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye

<sup>3</sup>Başkale Vocational School, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Research Article</p> <p>Received : 30-09-2022 Accepted : 22-03-2023</p> <p>Keywords: Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Early seedling growth Gamma ray Water deficit Nutrient content</p>	<p>Drought stress is one of the main factors limiting green bean production, as it is in many cultivated plants. Recently, it has been reported by some researchers that low-dose gamma-ray applications help eliminate the negative effects of drought at critical stages of plant development. However, studies on this subject are very limited. Our study aims to determine the effects of gamma ray application at different dosages (0, 25, 50, and 100 Gy) under water deficit in Gina and Romano fresh bean varieties. The seedlings were grown in two different irrigation levels, full irrigation [100% (I<sub>1</sub>)] and restricted irrigation [50% (I<sub>2</sub>)], at a temperature of 23 ± 2°C and 16:8 h of light:dark period in growth chamber conditions. At the end of the study, seedling growth parameters such as shoot and root length, number of leaves, shoot and root fresh-dry weights, root/shoot ratio, as well as leaf relative water content, photosynthetic pigments content, lipid peroxidation and shoot nutrient contents were determined. Low-dose gamma application gave different results depending on the cultivars under deficit irrigation conditions. Gamma doses had a significant effect only on root length in the Gina cultivar at 50% irrigation, while 50 and 100 Gy doses in the Romano cultivar significantly increased shoot length and its fresh and dry weights. MDA content decreased significantly with 50 and 100 Gy gamma rays under water deficit stress in both cultivars. Low-dose gamma ray application is more effective, especially in the Romano variety and 50 and 100 Gy can be recommended as effective doses under water deficit conditions.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(5): 970-978, 2023

## Düşük Doz Gama (<sup>60</sup>Co) Işını Uygulamalarının Kısıtlı Sulama Koşullarında Taze Fasulyenin Erken Fide Gelişimine Etkilerinin Belirlenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Araştırma Makalesi</p> <p>Geliş : 30-09-2022 Kabul : 22-03-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Erken fide gelişimi Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Gama ışını Kısıtlı sulama Besin elementi içeriği</p>	<p>Kuraklık stresi, pek çok kültür bitkisinde olduğu gibi taze fasulye üretimini de sınırlayan başlıca faktörlerden biridir. Son zamanlarda düşük dozda gama ışını uygulamalarının bitki gelişiminin kritik aşamalarında kuraklığın oluşturduğu olumsuz etkinin elemine edilmesinde yardımcı olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Fakat bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada farklı gama ışın dozları (0, 25, 50 ve 100 Gy) uygulanan Gina ve Romano taze fasulye çeşitlerinde kısıtlı sulamanın etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Fideler iklim odası koşullarında 23 ± 2°C sıcaklık ve 16:8 ışık:karanlık periyodunda tam sulama [%100 (I<sub>1</sub>)] ve kısıtlı sulama [%50 (I<sub>2</sub>)] olacak şekilde iki farklı sulama seviyesinde yetiştirilmiştir. Çalışma sonunda gama ışını dozları ile kısıtlı sulamanın sürgün ve kök boyu, yaprak sayısı, sürgün ve kök yaş-kuru ağırlıkları, kök-sürgün oranı gibi fide gelişim parametrelerinin yanı sıra yaprak oransal su içeriği, fotosentetik pigment içeriği, lipid peroksidasyonu ve sürgün besin elementi içeriklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada düşük doz gama uygulamasının kısıtlı sulama koşullarında çeşitlere göre farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Gama ışını dozları %50 sulamada Gina çeşidinde kök boyunda önemli bir etki yaratırken, Romano çeşidinde 50 ve 100 Gy dozlarının sürgün boyu ile yaş ve kuru ağırlıklarda önemli bir artış sağlamıştır. MDA içeriği her iki çeşitte de su stresinde 50 ve 100 Gy gama ışını ile birlikte önemli miktarda azalmıştır. Düşük doz gama ışını uygulamasının özellikle Romano çeşidinde daha etkili olduğu ve genel olarak 50 ve 100 Gy gama ışını dozlarının kısıtlı sulamada uygulanabilir dozlar olduğu belirlenmiştir.</p>

<sup>a</sup> [muhsinyildiz@yyu.edu.tr](mailto:muhsinyildiz@yyu.edu.tr)

<sup>c</sup> [aytekinekincialp@yyu.edu.tr](mailto:aytekinekincialp@yyu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0766-5174>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1500-3215>

<sup>b</sup> [ceknaserdinc@yyu.edu.tr](mailto:ceknaserdinc@yyu.edu.tr)

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1208-032X>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Giriş

Dünya üzerinde dağılım gösteren yaklaşık 50 *Phaseolus* cinsinin 5 türü (*P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, ve *P. poliantus*) insan beslenmesi açısından önemli bir yere sahiptir (Singh, 1999, Broughton ve ark., 2003). *P. vulgaris* ekonomik olarak en çok tercih edilmesi ve geniş bir yayılım alanına sahip olması sebebiyle bu türler arasındaki üretim oranı %90'ı bulmaktadır (Gepts, 2001). Türkiye yaklaşık 23 milyonluk dünya üretiminin 2,35%'ini karşılayarak taze fasulye üretiminde dördüncü sırada yer almaktadır. (FAO, 2020). Protein, vitaminler, mineraller, nişasta ve fitokimyasal maddeler açısından çok önemli bir besin deposu olan fasulye ayrıca yağ içeriği düşük bir sebzedir (Beebe ve ark., 2000; Svetleva ve ark., 2006; Nyombaire ve ark., 2007). İçerdiği antioksidant bileşikler sayesinde kalp hastalıkları, parkinson, Alzheimer, felç gibi hastalıklarda etkili olduğu tespit edilen fasulyenin kanseri engelleme rolünün de bulunduğu bilinmektedir. Ayrıca, fasulyenin insan ve hayvan beslenmesindeki temel gıdalardan biri olmasının yanı sıra kozmetik ve boya yapımı gibi bazı kimyasal uygulamalarda da kullanılabildiği bildirilmiştir (Singh ve ark., 2007).

40 yıllık bir zaman diliminde elde edilen iklim değişikliği değerlerinin 0,3 ile 0,5°C aralığından 1,7°C'ye ulaştığı gözlenmiştir. (FAO, 2020). Yaşanan bu iklim değişikliği özellikle tarımsal alanlarda su kaynaklarının azalmasına beraberinde toprakta kuraklığın oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum verimin ciddi boyutlarda azalmasıyla birlikte dünyada gıda güvenliği açısından da önemli bir risk oluşturmaktadır. Stresin olumsuz etkilerini azaltabilecek yöntemlerin kolay uygulanabilir ve düşük maliyetli olması öncelikli hedefler arasındadır. Olumsuz çevre koşullarına tolerant çeşitlerin geliştirilmesi en etkili yöntemlerden biri olarak bilinmektedir. Ancak, abiyotik stres koşullarına toleransı yüksek çeşitlerin geliştirilmesi karmaşık olmakla birlikte çok zaman isteyen yöntemlerdir.

Hızlı nüfus artışı, sanayinin etkisi ile birlikte çevresel kirleticilerin hızla artması, tarıma uygun alanların azalması, küresel ısınma gibi faktörlerin yaratmış olduğu olumsuz şartların etkisi nedeniyle önümüzdeki yıllarda insanoğlunun muhtemel gıda güvenliği riski ile yüz yüze kalabilme ihtimali git gide ağır basmaktadır. Bu nedenle tarımsal üretimde strese bağlı ürün kayıplarının en düşük seviyeye indirilmesi oldukça önemlidir.

Elektromanyetik radyasyonların enerjik bir formu olan gama ışınları ( $\gamma$ ), uygulamasının basit oluşu, yüksek geçirgenliğe sahip olmasından dolayı hücrelere hızlı bir şekilde ulaşabilmesi, tekrarlanabilir olması ve yüksek mutasyon frekansı gibi özelliklere sahip olması nedeniyle en yaygın mutajenler olarak bilinmektedir. (Chahal ve Gosal, 2002; Moussa, 2006). Gama ışınları, büyüme ve verim için en önemli fiziksel aktivatörlerden birisidir. Gama radyasyonunun bitki büyümesi, gelişmesi ve işlevleri üzerindeki etkisi, büyük ölçüde ışınlama dozuna bağlıdır, bu bağlamda bitkinin algısı ve düşük doz radyasyona tepkisi, yüksek doz radyasyondan tamamen farklı olabilir. İyonlaştırıcı düşük doz radyasyonun yüksek doz radyasyona kıyasla fizyolojik olarak faydalı etki üretebileceği bildirilmektedir (Singh ve ark., 2013). Kuraklık stresinde düşük dozlarda gama ışınlamasının aynı koşullar altında ekmeclik buğdayda ışınlanmamış bitkilere göre daha iyi bir performans sergilediği bildirilmiştir. (Abdel-Tawab ve ark.,

2002). Soya fasulyesinde düşük dozlarda gama radyasyonunun, genç embriyonun enzimatik aktivasyonunu artırarak hücre bölünme hızının uyardığını ve bu durum da sadece çimlenmenin değil, aynı zamanda vejetatif büyümenin ve çiçeklenmenin de etkilendiği, dolayısıyla kuraklığa toleransı artırdığı ve su eksikliğinden kaynaklanan verim kaybını en aza indirdiği bildirilmiştir. (Moussa, 2011). Yine El-Sallami ve ark. (2019) ve Ivanova ve Smerea (2019) farklı dozlarda gama ışını uygulanmış adaçayı ve aspir bitkilerinde farklı sulama koşullarında fide gelişim parametrelerinde kontrole göre önemli oranda değişimlerin yaşandığını rapor edilmişlerdir. Bu çalışmada da fasulyede su kısıtı ile birlikte meydana gelecek stresin etkilerinin azaltılmasında düşük doz gama radyasyonunun etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Romano (Bursa Tohumculuk) ve Gina (May Tohumculuk) bodur taze fasulye çeşitleri bu çalışmada bitkisel materyal olarak kullanılmıştır.

### Tohumlara gama ışını uygulanması

Radyasyon kaynağı olarak gama ( $\gamma$ ) ışını kullanılmıştır. Romano ve Gina çeşitlerine ait tohumlara 0 Gy (kontrol), 25 Gy, 50 Gy ve 100 Gy dozlarında gama ( $^{60}\text{Co}$ ) radyasyonu uygulanmıştır. Denemede kullanılan her iki çeşit için her uygulamada 40 tohum olacak şekilde hazırlık yapılarak tohumlar ışınlanmak üzere Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na (TAEK) gönderilmiştir.

### Kısıtlı sulama uygulaması

Gama ışını uygulamasından sonra tohumlar 2:1 oranında steril torf-perlit içeren 3 litrelik hacme sahip saksılara ekilmiştir. Tohum ekiminden sonra saksılar 23-25°C sıcaklık ve 16/8 ışık/karanlık koşullarına sahip iklim odasına yerleştirilmiştir. Kısıtlı sulama denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Sulama uygulamalarına 2-3 gerçek yaprağın oluştuğu aşamadan itibaren (tohum ekiminden iki hafta sonra) başlanarak kademeli olarak %100 (kontrol grubu ( $I_1$ )) ve %50 ( $I_2$ ) olmak üzere 2 düzeyde gerçekleştirilmiştir. Kısıtlı sulama uygulaması için, başlamadan önce tüm saksılar tarla kapasitesi nem içeriğine getirildikten sonra saksılar 7 günde bir tartılmış, tarla kapasitesine ulaşmak için gereken suyun %50'si ilave edilmiştir.

### İncelenen özellikler ve verilerin değerlendirilmesi

Kısıtlı sulamanın bitkilerin morfolojik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri görülmeye başlandığı aşamada çalışma sonlandırılmış, bitkiler hasat edilerek ölçüm ve gözlemler alınmıştır. Bu amaçla öncelikle sürgün ve kök boyu, yaprak sayısı, sürgün ve kök yaş-kuru ağırlıkları ile kök/sürgün oranı gibi fide gelişim kriterleri belirlenmiştir.

Kısıtlı sulamaya gama ışın dozlarının etkisini belirlemek için yaprak oransal su içeriği (YOSİ), fotosentetik pigment içerikleri ve lipid peroksidasyonu (MDA) gibi bazı fizyolojik parametreler de tespit edilmiştir. Yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi için bitkilerden alınan 3. ve 4. yaprak örneklerinin taze ağırlıkları (TA) tartılmıştır. Daha sonra alınan yapraklar 4

saat boyunca saf su içerisinde bekletilerek maksimum turgor ağırlığına ulaşması beklenmiş ve bu süre sonunda turgor ağırlıkları (TuA) ölçülmüştür. Bu aşamadan sonra yaprak örnekleri 65°C sıcaklığa sahip etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları (KA) belirlenmiştir. Bu ağırlıklara ilişkin elde edilen veriler kullanılarak Eşitlik 1'deki formül yardımıyla YOSİ değerleri (%) hesaplanmıştır (Yamasaki ve Dillenburg, 1999).

$$YOSİ (\%) = \left[ \frac{TA-KA}{TuA-KA} \right] \times 100 \quad (1)$$

Bitkilerin fotosentetik pigment içeriklerinin belirlenmesinde yapraklardan alınan 0,25 g örnekler, doğrudan ışık gelmeyen loş bir yerde %80'lik aseton içerisinde homojenize edilip filtre edildikten sonra elde edilen ekstrakt aseton ile 25 ml'ye tamamlanmış ve örnekler 663, 645 ve 470 nm dalga boylarında okunarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Zengin, 2007; Amira ve Qados, 2011).

$$KA = (12,7 \times AD_{663}) - (2,69 \times AD_{645}) \times V/W \times 1000 \quad (2)$$

$$KB = (22,91 \times AD_{645}) - (4,68 \times AD_{663}) \times V/W \times 1000 \quad (3)$$

$$TK = (20,2 \times AD_{645} + 8,02 \times AD_{663}) \times V/W \times 1000 \quad (4)$$

$$KR = 1000 \times AD_{470} - 3,27 \times Kl_{f_a} - 104 \times Kl_{f_b} / 227 \quad (5)$$

KA : Klorofil a (mg g<sup>-1</sup>)

KB : Klorofil b (mg g<sup>-1</sup>)

TK : Toplam klorofil (mg g<sup>-1</sup>)

KR : Karotenoid (µg ml<sup>-1</sup>)

Lipid peroksidasyonunun (MDA) tespiti için yapraklardan alınan 0,5 g taze doku örneği %0,1'lik trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 492 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin berrak kısmından 1 ml alınıp, üzerine 2 ml %20'lik TCA içerisinde çözülmüş %0,5'lik tiobarbiturik asit (TBA) katılmıştır. Karışım 95°C'de 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulup 219 g'de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra berrak kısımda 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbansı belirlenmiş ve 155 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> molar absorpsiyon katsayısı kullanılarak MDA içeriği hesaplanmıştır (Heath ve Packer, 1968).

Bitki örnekleri 65°C'de 48 saat etüvde kurutulmuş ve 550°C sıcaklıkta kül haline getirilmiştir. Elde edilen kül, %3,3'lük HCl'de çözdürülerek atomik absorpsiyon cihazında (K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn) ve spektrofotometrede (P) besin elementi okumaları yapılmıştır (Aktas ve ark., 2009).

Araştırmadan elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizi ile P≤0,05 önemlilik derecesine göre değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde istatistiksel olarak önemli bulunan ortalamalar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testine göre gruplandırılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### Bitki gelişim özellikleri

Gina ve Romano çeşitlerinde kısıtlı sulama koşullarında düşük gama ışın dozlarının fide gelişimine etkileri Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre Gina çeşidinde yaprak sayısında gama ışını, kısıtlı sulama ve bu ikisi arasındaki interaksyon önemli bulunurken (P≤0,05), Romano çeşidinde sadece gama ışını dozları arasındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Gina çeşidinde

gama uygulamaları ortalamaları arasında en yüksek yaprak sayısı 22,21 adet bitki<sup>-1</sup> ile 100 Gy gama ışın dozu uygulamasından, en düşük yaprak sayısı ise 0 ve 50 Gy gama ışın dozu uygulamalarından elde edilmiştir (sırasıyla 19,32 ve 19,21 adet bitki<sup>-1</sup>). Kısıtlı sulama Gina çeşidinde olumsuz etkiye neden olmuş ve en yüksek ortalama 21.72 adet bitki<sup>-1</sup> ile tam sulamanın olduğu I<sub>1</sub> sulama seviyesinde tespit edilmiştir. Işın dozu × kısıtlı sulama interaksyonunda ise en yüksek yaprak sayısı 24.00 adet bitki<sup>-1</sup> ile 100 Gy × I<sub>1</sub> (%100) interaksyonundan, en düşük yaprak sayısı ise 50 Gy × I<sub>2</sub> muamele grubundan elde edilmiştir (15.58 adet bitki<sup>-1</sup>). Romano çeşidinde en yüksek yaprak sayısı Gina çeşidine benzer şekilde 100 Gy ışın dozundan elde edilirken (23,82 adet bitki<sup>-1</sup>), en düşük ortalamaların 0 ve 25 Gy dozlarından (sırasıyla 20,66 ve 21,29 adet bitki<sup>-1</sup>) elde edildiği görülmüştür (Çizelge 1).

Gina çeşidinde tam sulamada tüm gama ışını dozları yaprak sayısında olumlu etki yaratırken kısıtlı sulamada tam tersi bir durum yaşanmıştır. Romano çeşidinde ise her iki sulama seviyesinde de gama ışını uygulamalarının artırıcı etkisinin olduğu görülmüştür. Akshatha ve ark., (2013), *Terminalia arjuna* bitkisinde uyguladıkları 25, 50, 100, 150 ve 200 Gy ışın dozlarında yaprak sayısının tüm dozlarda artış göstererek 200 Gy dozunda 12,6 adet ile en yüksek miktara ulaştığını bildirmişlerdir. El-Sallami ve ark. (2019), kısıtlı sulama ile birlikte yaprak sayısını azaldığını, ancak gama ışını uygulanması ile birlikte tüm sulama seviyelerinde yaprak sayısında %14-45 arasında artış sağlandığını tespit etmişlerdir. Ancak, Khalil ve ark. (2016), ise buğdayda kısıtlı sulama koşullarında yüksek doz gama ışınının yaprak sayısında %19 civarında azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Gama ışını ve gama ışını × kısıtlı sulama interaksyonunun Gina çeşidinde fidelerin sürgün boyuna etkilerinin istatistiksel açıdan önemli bulunduğu (P≤0,05), ancak kısıtlı sulamanın etkisinin ise önemli etki yapmadığı saptanmıştır (Çizelge 1). Gama ışın dozları arasında en yüksek ortalama 75,00 cm ile 50 Gy dozunda bulunurken, diğer uygulamalar arasında bir farklılık bulunmamıştır. Gama ışını × su kısıtı interaksyonunda en yüksek sürgün boyu 50 Gy × I<sub>1</sub> grubundan, (84,58 cm), en düşük sürgün boyu ise 25 Gy × I<sub>1</sub> interaksyonundan (53,86 cm) elde edilmiştir. Romano çeşidinde sürgün boyu ortalamaları arasındaki farklılıklara gama ışını uygulamalarının etkisinin istatistiksel olarak önemli bulunduğu fakat kısıtlı sulama ile gama ışını × kısıtlı sulama interaksyonunun etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ortalamaya sahip 0, 25 ve 50 Gy dozları arasında farklılık tespit edilmezken, 100 Gy uygulamasının 52,19 cm ile en düşük ortalamaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1'e göre, Gina çeşidinin kök boyuna gama ışını ile kısıtlı sulamanın ve bu ikisi arasındaki interaksyonun önemli etkileri bulunurken, Romano çeşidinde sadece interaksyon etkisinin önemli etki yaptığı tespit edilmiştir (P≤0,05). Gina çeşidinde tüm gama ışını dozlarının en yüksek ortalamaya sahip olduğu ve aralarında istatistiksel olarak fark bulunmadığı görülmüştür. Su noksanlığının Gina'da kök gelişimini artırdığı ve buna bağlı olarak kısıtlı sulamada kök boyunun 28,04 cm olduğu saptanmıştır. İnteraksyon etkisine göre en yüksek ortalamaların kısıtlı sulama koşullarındaki 25, 50 ve 100 Gy ışın dozlarına ait olduğu dikkati çekmiştir.

Çizelge 1. Taze fasulye çeşitlerinde düşük gama ışın dozlarının farklı sulama seviyelerindeki fide gelişim özelliklerine etkileri  
 Table 1. The effects of low gamma radiation doses on seedling growth characteristics at different irrigation levels in green bean cultivars

Gama (Gy)	Sulama (I)	YS	SB (cm)	KB (cm)	SYA (g)	SKA (g)	KYA (g)	KKA (g)	K/S (%)
<b>Gina</b>									
0	I <sub>1</sub>	17,14±1,67de*	56,50±8,59de	17,58±2,10bc	22,34±2,83ab	2,29±0,56c	2,06±0,55	0,06±0,03bc	4,23±0,78bc
	I <sub>2</sub>	21,50±1,25ac	61,42±7,61ce	17,25±4,43bc	20,20±1,95b	2,27±0,45c	1,68±0,34	0,07±0,02bc	3,12±1,15cd
Ortalama 0Gy		19,32±2,79 B	58,96±8,15B	17,42±3,31B	21,27±2,54A	2,28±0,48	1,87±0,48A	0,06±0,03	3,67±1,10B
25	I <sub>1</sub>	22,93±2,76ab	53,86±7,19e	18,83±3,58bc	22,21±2,44ab	2,31±0,15c	1,42±0,60	0,08±0,03bc	4,53±1,07bc
	I <sub>2</sub>	18,75±3,48cd	69,50±8,50bc	32,41±7,57a	13,48±1,66c	1,40±0,27f	1,12±0,34	0,08±0,03bc	5,45±0,76b
Ortalama 25Gy		20,84±3,68AB	60,38±10,92B	25,62±9,07A	17,85±4,95BC	1,86±0,52	1,27±0,50B	0,08±0,03	5,03±0,99A
50	I <sub>1</sub>	22,83±4,08ab	84,58±9,17a	21,91±3,52b	24,97±5,41a	2,71±0,59b	1,83±0,89	0,07±0,01bc	4,80±2,11bc
	I <sub>2</sub>	15,58±2,97e	65,42±8,51bd	30,75±8,97a	10,02±3,63d	1,69±0,39d	1,21±0,63	0,10±0,03ab	5,61±1,36b
Ortalama 50 Gy		19,21±5,09 B	75,00±13,09A	26,33±7,97A	17,50±8,90C	2,20±0,70	1,53±0,81AB	0,08±0,02	5,16±1,76A
100	I <sub>1</sub>	24,00±2,95a	73,75±13,95b	14,80±2,88c	24,77±2,58a	2,76±0,41a	1,72±0,63	0,04±0,01c	1,72±0,68d
	I <sub>2</sub>	20,41±2,99bc	55,36±9,44de	32,50±6,68a	14,79±3,02c	1,62±0,54e	1,06±0,33	0,12±0,03a	9,13±1,03a
Ortalama 100 Gy		22,21±3,39 A	63,85±14,72B	23,65±10,51A	19,78±5,84B	2,19±0,74	1,39±0,59B	0,09±0,04	5,42±4,04A
Ortalama I <sub>1</sub>		21,72±3,90 A	66,64±15,90	18,43±3,85B	23,57±3,40A	2,51±0,47A	1,76±0,69A	0,06±0,02B	3,93±1,69B
Ortalama I <sub>2</sub>		19,06±3,47 B	62,33±9,63	28,04±9,35A	14,62±4,44B	1,77±0,52B	1,27±0,48B	0,09±0,03A	5,45±2,32A
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,028	0,001	0,001	0,009	0,082	0,029	0,310	0,016
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,001	0,119	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,001	0,001	0,003	0,001	0,010	0,777	0,011	0,001
<b>Romano</b>									
0	I <sub>1</sub>	19,75±2,36	56,38±7,64	20,50±2,04a-c	11,38±5,18b	1,19±0,60d	0,97±0,21	0,13±0,02ab	8,42±1,27
	I <sub>2</sub>	21,57±2,04	63,56±3,72	25,25±2,32ab	22,51±4,52a	2,88±0,51ab	1,02±0,41	0,18±0,02a	6,31±1,59
Ortalama 0 Gy		20,66±2,30 B	59,97±6,89A	22,88±3,57	16,95±7,43BC	2,04±1,02B	1,00±0,31	0,15±0,03A	7,28±1,77A
25	I <sub>1</sub>	20,57±2,29	65,31±7,89	18,78±1,25bc	10,12±2,75b	1,72±0,23cd	1,03±0,15	0,13±0,03ab	8,51±1,83
	I <sub>2</sub>	22,00±4,25	62,13±5,01	25,14±3,38ab	21,02±4,71a	2,97±0,66a	1,18±0,20	0,12±0,03b	4,79±1,17
Ortalama 25 Gy		21,29±3,36 B	63,72±6,59A	21,96±4,11	15,57±6,76C	2,35±0,79AB	1,10±0,19	0,13±0,03B	6,77±2,43AB
50	I <sub>1</sub>	21,16±3,37	59,75±8,38	24,57±5,07a-c	16,36±1,96ab	2,07±0,24bc	1,07±0,28	0,12±0,02b	7,61±2,58
	I <sub>2</sub>	23,85±3,09	65,94±12,94	22,12±2,58a-c	21,96±3,37a	3,01±0,33a	1,02±0,22	0,13±0,02ab	4,40±1,11
Ortalama 50 Gy		22,51±3,38AB	62,84±11,01A	23,35±3,99	19,16±3,89AB	2,54±0,56A	1,05±0,24	0,12±0,02B	5,90±2,49BC
100	I <sub>1</sub>	24,71±3,17	49,31±11,94	27,33±7,13a	18,78±2,78a	2,24±0,46a-c	1,07±0,26	0,11±0,02b	6,20±1,36
	I <sub>2</sub>	22,92±2,68	55,06±11,67	17,85±3,92c	21,09±3,45a	2,77±0,70ab	0,79±0,35	0,10±0,03b	3,72±1,61
Ortalama 100 Gy		23,82±2,97 A	52,19±11,79B	22,59±7,28	19,94±3,20A	2,51±0,63AB	0,93±0,33	0,11±0,02B	4,86±1,93C
Ortalama I <sub>1</sub>		21,55±3,30	57,69±10,48	22,80±5,32	14,16±4,80B	1,81±0,55B	1,03±0,22	0,12±0,02	7,74±1,98A
Ortalama I <sub>2</sub>		22,59±3,07	61,67±9,71	22,59±4,34	21,65±3,89A	2,91±0,53A	1,00±0,32	0,13±0,04	4,79±1,61B
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,041	0,003	0,812	0,013	0,046	0,361	0,002	0,004
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,209	0,089	0,847	0,001	0,001	0,623	0,262	0,001
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,237	0,358	0,001	0,007	0,035	0,154	0,010	0,574

YS: Yaprak sayısı, SB: Sürgün boyu, KB: Kök boyu, SYA: Sürgün yaş ağırlığı, SKA: Sürgün kuru ağırlığı, KYA: Kök yaş ağırlığı, KKA: Kök yaş ağırlığı, K/S: Kök/sürgün oranı; \*Her uygulamadaki aynı harfler arasındaki farklılıklar Duncan testine göre önemlidir (P<0,05). İtalik büyük harfler sulama uygulamaları arasındaki ortalamaların karşılaştırmasını, italik olmayan büyük harfler mutasyon dozları arasındaki ortalamaların karşılaştırılmasını, küçük harfler muamele gruplarının etkisine ait karşılaştırmaları ifade etmektedir.

Romano çeşidinde uygulamaların etkisinde ise en yüksek kök boyu ortalaması 100 Gy × I<sub>1</sub> uygulamasından (27,33 cm), en düşük kök boyu ise 17,85 cm ile aynı gama ışın dozundaki kısıtlı sulama uygulamasından elde edilmiştir.

Sürgün boyunda Gina çeşidinde 50 ve 100 Gy ışın dozunda kısıtlı sulamanın olumsuz etkisi olurken (sırasıyla %22,65 ve %24,94 oranlarında), Romano'da sadece 25 Gy ışın dozunda bu oran %4,87 olmuştur. Gina çeşidine ait bitkilerde, su kısıtlı koşullarında gama ışınının doz artışı ile birlikte kök boyunda %21 ile %38 arasında azalmaların yaşandığı kaydedilmiştir. Romano çeşidinde ise 25 Gy dozunun kök boyunu kısıtlı sulama koşullarında tam sulamaya göre %15 civarında artırdığı, diğer dozlarda azalmaların kaydedildiği tespit edilmiştir. Çeşitlere göre farklılıklar olmakla birlikte düşük dozda gama ışınının sürgün ve kök boyunda olumlu etkilere sahip olduğu görülmektedir. Nitekim Akshatha ve ark. (2013), sürgün boyunda 25 Gy ışın dozunda %4,26 oranında, kök boyunda ise 100 Gy ışın dozunda %19,59 oranında artış olduğunu kaydetmişlerdir. Benzer şekilde El-Sallami ve ark. (2019),

gama ışını uygulanmamış bitkilerde %40 sulama seviyesinde kontrole göre bitki boyunda azalma yaşandığını, gama ışını uygulamasının kısıtlı sulama seviyelerinde %11-24 oranında artış sağladığını rapor etmişlerdir. Yine Ivanova ve Smerea (2019), 150 Gy dozunda stres koşullarında sürgün boyunda artış olduğunu belirtmişlerdir. Kısıtlı sulama koşullarında yürütülen bazı çalışmalarda ise 100 Gy üzerinde uygulanan gama ışını dozlarının bitki boyunu azaltıcı etki yarattığına dair bulguların olduğu bildirilmiştir (Lukanda ve ark., 2013; Khalil ve ark., 2016).

Çizelge 1'e göre her iki çeşidin fidelerinin sürgün yaş ağırlığı üzerine kısıtlı sulama, gama ışını ile gama ışını x kısıtlı sulama etkilerinin istatistiki olarak önemli (P≤0,05) olduğu tespit edilmiştir. Gina çeşidinde gama ışını uygulamaları arasında 0 Gy 21,27 g ile en yüksek sürgün yaş ağırlığına, 50 Gy ise 16,81 g ile en düşük ortalamaya sahip olmuştur. Tam sulama koşullarında (I<sub>1</sub>) sürgün yaş ağırlığı ortalaması 23,57 g iken, kısıtlı sulama ile birlikte bu değer yaklaşık %38 oranında azalarak 14,62 g'a düşmüştür. Gama ışını ve

kısıtlı sulama arasındaki etkileşim dikkate alındığında; 50 Gy × I<sub>1</sub> uygulamasının en yüksek sürgün yaş ağırlığı ortalamasına sahip olduğu (24,97 g), öte yandan en düşük sürgün yaş ağırlığı ortalamasının ise 10,02 g ile 50 Gy × I<sub>2</sub> etkileşiminden elde edildiği tespit edilmiştir. Romano çeşidinin sürgün yaş ağırlığında, gama ışını dozları arasında 25 Gy 15,57 g ile en düşük, 100 Gy ise 19,94 ile en yüksek değerlere ulaşmıştır. Sulama uygulamalarında sürgün yaş ağırlığı ortalamaları incelendiğinde, Gina çeşidinin tersine kısıtlı sulamanın sürgün yaş ağırlığını kontrolle göre artırdığı gözlemlenmiştir (21,65 g).

Gina çeşidinde kısıtlı sulamanın ile gama ışını x kısıtlı sulama etkileşiminin sürgün kuru ağırlığına etkisinin istatistiki açıdan önemli bulunduğu (P≤0,05), fakat farklı ışın dozlarının etkilerinin ise istatistiki olarak önemli olmadığı saptanmıştır (Çizelge 1). Buna göre kısıtlı sulamanın sürgün kuru ağırlığını %29 oranında azalttığı (1,77 g), tespit edilmiştir. Gama ışını x kısıtlı sulama etkileşiminde en yüksek sürgün kuru ağırlığı 2,76 g ile 100 Gy × I<sub>1</sub> etkileşiminden elde edilirken, en düşük sürgün kuru ağırlığının ise 25 Gy × I<sub>2</sub> uygulamasına ait olduğu belirlenmiştir. Romano çeşidinde kısıtlı sulama, gama ışını ve gama ışını × kısıtlı sulama etkileşiminin sürgün kuru ağırlığına etkilerinin istatistiki olarak önemli bulunduğu tespit edilmiştir. Gama uygulamaları arasında 50 Gy en yüksek ortalamaya sahipken (2,54 g), gama ışını uygulanmayan bitkilerde en düşük sürgün kuru ağırlığı ortalamasının bulunduğu tespit edilmiştir (2,04 g). Sürgün yaş ağırlığında olduğu gibi, kısıtlı sulamanın tam sulamaya göre sürgün kuru ağırlığını artırdığı dikkat çekmiştir (sırasıyla, 2,91 ve 1,81 g). Gama ışını ve sulama arasındaki etkileşimde en yüksek ortalama değer 50 Gy × I<sub>2</sub> etkileşiminde iken (3,01 g), en düşük ortalamanın gama ışını ve kısıtlı sulamanın uygulanmadığı kontrol grubundan elde edildiği tespit edilmiştir (1,19 g).

Gama ışını ve kısıtlı sulamanın Gina çeşidinin kök yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunurken (P≤0,05), Romano'da uygulamalar arasındaki farklılıkların önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Gina çeşidinde 0 Gy 1,87 g ile en yüksek kök yaş ağırlığı ortalamasına sahip olmuş, en düşük kök yaş ağırlığı ise 25 ve 100 Gy dozlarından (sırasıyla, 1,27 g ve 1,39 g) elde edilmiştir. Kısıtlı sulama koşullarının kök yaş ağırlığında azaltıcı etkiye olduğu belirlenmiştir (1,27 g).

Kök kuru ağırlığı ortalamaları incelendiğinde, Gina çeşidinde kısıtlı sulama ile gama ışını × kısıtlı sulama etkileşiminin etkisi, Romano çeşidinde ise gama ışını ile gama ışını × kısıtlı sulama etkileşiminin etkisinin istatistiki açıdan önemli bulunduğu (P≤0,05) saptanmıştır (Çizelge 1). Gina çeşidi için sulama uygulamalarında kısıtlı sulamanın tam sulamaya göre daha yüksek kök kuru ağırlığına sahip olduğu gözlemlenmiştir (sırasıyla 0,09 g ve 0,06 g). Etkileşim etkisine göre ise en yüksek kök kuru ağırlığı ortalaması 0,12 g ile kısıtlı sulama koşullarındaki 100 Gy gama ışın dozundan, en düşük ortalama ise 0,04 g ile aynı gama ışın dozunun uygulandığı tam sulama seviyesinden elde edilmiştir. Romano çeşidinde gama ışını uygulanmamış bitkiler en yüksek kök kuru ağırlığına ulaşmış iken (0,15 g), gama tüm dozlarının en düşük ortalamalara sahip olduğu ve aralarında önemli bir fark bulunmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 1'e göre her iki çeşitte gama ışını ve kısıtlı sulamanın kök/sürgün oranına etkisi önemli bulunurken,

uygulamalar arasındaki etkileşimin sadece Gina çeşidinde önemli etki yarattığı görülmüştür (P≤0,05). Gina çeşidinde en yüksek oran gama ışını uygulanmış bitkilerde belirlenmiş ve dozlar arasında bir farklılık tespit edilememiştir. Romano çeşidinde ise tersine gama ışını uygulanmamış bitkilerin kök/sürgün oranının daha yüksek olduğu (%7,28), doz artışına paralel olarak bu oranın da azaldığı tespit edilmiştir. Kısıtlı sulama (I<sub>2</sub>) tam sulamaya göre Gina'da kök/sürgün oranının artışına neden olurken (%5,45), Romano çeşidinde su noksanlığında bu oran azalmıştır (%4,79).

Sürgün yaş ve kuru ağırlığında Gina çeşidinde kısıtlı sulamanın olumsuz, Romano'da ise olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Ayrıca Gina çeşidinde tam sulama koşullarında gama uygulamasının artış sağladığı, kısıtlı sulama koşullarında ise gama uygulanmamış bitkilere göre azalmanın olduğu görülmüştür. Romano çeşidinde ise gama uygulamalarının tüm sulama seviyelerinde artış sağladığı tespit edilmiştir. Kök yaş ağırlığında da yine çeşitler arasında farklı sonuçların olduğu, Gina çeşidinde sürgün yaş ağırlığına benzer sonuçların elde edildiği belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışmada çeşitlere göre değişimle birlikte düşük doz gama ışınının özellikle sürgün yaş ve kuru ağırlığında olumlu etki yarattığı görülebilmektedir. Akshatha ve ark. (2013) su stresinin olmadığı koşullarda düşük dozlardaki gama ışın dozunun (25 Gy) kuru ağırlıkta %55 artış oranı sağladığını tespit etmiştir. Adly ve El-Fiki (2016) buğdayda PEG-6000 ile oluşturdukları kurak koşullarda 100 Gy gama ışınının sürgün yaş ağırlığında -1 MPa konsantrasyonda %43,2, -1,5 MPa konsantrasyonunda ise %2,7 artış sağladığını kaydetmişlerdir. Ancak kök yaş ağırlığında bu ışın dozunun %21,2 ve %15,2 oranlarında azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir. El-Sallami ve ark., (2019) sürgün ve kök kuru ağırlığında düşük gama ışını dozlarının artış sağladığını, ancak kısıtlı sulamanın olumsuz etki yaptığını belirtmişlerdir. Moussa (2011) ise soya fasulyesinde 20 Gy gama ışınının hem tam sulama hem de kısıtlı sulamada sürgün kuru ağırlığını artırdığını bildirmiştir.

#### **Fizyolojik özellikler**

Yaprak oransal su içeriğine Gina çeşidinde sadece farklı ışın dozlarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunurken, Romano çeşidinde gama ışını, kısıtlı sulama ve etkileşim önemli olduğu (P≤0,05) tespit edilmiştir (Çizelge 2). Gama ışını dozları arasında en yüksek ortalama Gina çeşidinde kontrol (0 Gy) grubundan (%82,79), Romano çeşidinde ise %77,94 ile 25 Gy gama ışını dozundan elde edilmiştir. En düşük ortalama değer Gina'da 100 Gy dozuna (%77,14), Romano'da ise aynı karşılaştırma grubunda yer alan 0 ve 50 Gy dozlarına ait olduğu tespit edilmiştir (sırasıyla %73,04 ve %72,17). Ayrıca, Romano çeşidinde kısıtlı sulamanın (%76,18) tam sulamaya göre (%72,60) daha yüksek ortalamaya sahip olduğu görülmüştür.

Su noksanlığında YOSI'nin azalmasının turgor basıncının düşük olduğunun bir göstergesi olarak bilindiği (Katerji ve ark., 1997) ve bu bağlamda kültür bitkilerinde tuzluluk ve kuraklık gibi abiyotik strese toleransın belirlenmesinde önemli bir özellik olduğu belirtilmektedir (Kaya ve ark., 2007; Kuşvuran, 2010; Sarabi ve ark., 2017). Bu bakımdan değerlendirildiğinde çalışmada kullanılan çeşitler arasında bir farklılığın olduğu ve Romano çeşidinde gama ışınının özellikle 100 Gy dozunun kısıtlı sulama koşullarında yaprak oransal su içeriğini önemli miktarda artırdığı görülmüştür.

Çizelge 2. Taze fasulye çeşitlerinde düşük gama ışın dozlarının farklı sulama seviyelerindeki bazı fizyolojik özelliklere etkileri  
Table 2. The effects of low gamma radiation doses on some physiologic characteristics at different irrigation levels in green bean cultivars

Gama (Gy)	Sulama (I)	YOSİ (%)	Klorofil-a (mg g <sup>-1</sup> )	Klorofil-b (mg g <sup>-1</sup> )	Karotenoid (µg ml <sup>-1</sup> )	Toplam klorofil (mg g <sup>-1</sup> )	MDA (µmol g <sup>-1</sup> T.A.)
<b>Gina</b>							
0	I <sub>1</sub>	84,93±7,70	1,41±0,31	0,46±0,07 c	4,16±0,50 c	1,78±0,20 c	0,95±0,28 d
	I <sub>2</sub>	80,66±7,39	1,81±0,08	0,69±0,04 a	6,27±0,83 a	2,50±0,12 a	3,63±1,77 a
Ortalama 0 Gy		82,79±7,53 A	1,61±0,30 A	0,58±0,13	5,22±1,28 A	2,17±0,40	2,07±1,75
25	I <sub>1</sub>	79,41±4,01	1,27±0,25	0,47±0,09 c	4,14±0,73 c	1,74±0,34 c	1,53±0,52 cd
	I <sub>2</sub>	83,26±7,49	0,99±0,91	0,67±0,15 a	6,23±1,66 a	2,46±0,53 a	3,35±1,49 ab
Ortalama 25 Gy		81,18±5,95 AB	1,14±0,63 B	0,53±0,14	5,19±1,45 AB	1,96±0,51	2,29±1,35
50	I <sub>1</sub>	80,15±5,66	1,57±0,28	0,60±0,13 ab	5,12±1,21 b	2,17±0,41 ab	2,30±0,86 bc
	I <sub>2</sub>	75,66±4,67	1,09±0,47	0,45±0,08 c	3,77±0,68 c	1,69±0,33 c	2,51±0,88 a-c
Ortalama 50 Gy		77,90±5,52 B	1,28±0,46 AB	0,52±0,13	4,45±1,14 B	1,91±0,43	2,40±0,84
100	I <sub>1</sub>	77,64±4,55	1,44±0,30	0,53±0,14 bc	3,95±0,53 c	1,97±0,48 bc	1,48±0,42 cd
	I <sub>2</sub>	76,64±3,94	1,40±0,25	0,48±0,11 c	4,30±0,85 bc	1,92±0,35 bc	2,45±1,05 a-c
Ortalama 100 Gy		77,14±4,12 B	1,42±0,27 AB	0,50±0,12	4,13±0,73 B	1,94±0,39	1,96±0,91
Ortalama I <sub>1</sub>		80,36±5,85	1,41±0,29	0,51±0,11	4,34±0,86 B	1,89±0,38 B	1,54±0,71 B
Ortalama I <sub>2</sub>		78,71±6,36	1,33±0,58	0,55±0,14	5,14±1,44 A	2,12±0,46 A	2,94±1,32 A
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,041	0,042	0,265	0,015	0,361	0,625
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,347	0,409	0,084	0,006	0,038	0,001
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,215	0,058	0,001	0,001	0,001	0,023
<b>Romano</b>							
0	I <sub>1</sub>	67,93±7,56 b	1,45±0,32 b	0,52±0,11 c	4,18±0,91 c	1,97±0,43 b	1,73±0,63 d
	I <sub>2</sub>	78,15±4,42 a	1,56±0,16 b	0,54±0,05 c	4,84±0,52 bc	2,11±0,0,21 b	4,55±1,11 a
Ortalama 0 Gy		73,04±8,05 B	1,50±0,25 B	0,53±0,08 B	4,51±0,80 B	2,03±0,34 B	3,14±1,70
25	I <sub>1</sub>	75,61±5,17 a	1,68±0,35 b	0,57±0,13 c	6,05±1,66 ab	2,28±0,47 b	2,92±0,54 bc
	I <sub>2</sub>	80,26±5,76 a	1,50±0,32 b	0,54±0,12 c	4,62±0,99 bc	2,08±0,0,45 b	3,72±0,73 ab
Ortalama 25 Gy		77,94±5,70 A	1,58±0,33 B	0,55±0,12 B	5,34±1,50 AB	2,18±0,45 B	3,35±0,75
50	I <sub>1</sub>	77,56±2,95 a	1,72±0,32 b	0,62±0,11 b	5,60±1,06 bc	2,34±0,44 b	2,22±,88 cd
	I <sub>2</sub>	66,78±4,34 b	2,39±0,78 a	0,94±0,43 a	7,39±2,79 a	3,33±1,20 a	3,45±0,67 b
Ortalama 50 Gy		72,17±6,67 B	2,03±0,64 A	0,76±0,33 A	6,41±2,13 A	2,79±0,97 AB	2,70±0,99
100	I <sub>1</sub>	69,28±6,05 b	1,39±0,29 b	0,49±0,10 d	4,43±0,91 bc	1,88±0,39 b	3,26±0,71 b
	I <sub>2</sub>	79,51±4,25 a	2,58±0,47 a	0,94±0,22 a	7,72±1,65 a	3,52±0,70 a	3,35±0,72 b
Ortalama 100 Gy		74,10±7,34 AB	1,83±0,69 AB	0,65±0,27 AB	5,62±2,01 AB	2,48±0,96 A	3,29±0,68
Ortalama I <sub>1</sub>		72,60±6,77 B	1,55±0,33 B	0,54±0,12 B	5,00±1,34 B	2,10±0,45 B	2,51±0,90 B
Ortalama I <sub>2</sub>		76,18±7,21 A	1,92±0,64 A	0,71±0,30 A	5,93±2,07 A	2,66±0,93 A	3,85±0,94 A
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,054	0,002	0,005	0,007	0,004	0,413
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,029	0,001	0,001	0,013	0,001	0,001
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,001	0,001	0,006	0,002	0,002	0,001

YOSİ: Yaprak oransal su içeriği, MDA: Malondialdehide, T.A.: Taze ağırlık; \*Her uygulamadaki aynı harfler arasındaki farklılıklar Duncan testine göre önemsizdir (P<0,05)

Widiati (2017), 25 ve 50 Gy dozlarının kısıtlı sulama koşullarında soya fasulyesi genotipleri arasında farklılıklar meydana getirdiğini belirtmiştir. Araştırmacı, kısıtlı sulamanın tüm genotiplerde yaprak oransal su içeriğinin azaldığını, fakat bazı genotiplerde sulama seviyesi %40-60 olduğunda bile bu değerlerin kontrol ile aynı orana ulaştığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde Melki ve Dahmani (2009), buğdayda %40 kısıtlı sulama koşullarında 10, 20 ve 30 Gy düşük doz gama ışınlarının gama ışını uygulanmamış bitkilere göre YOSİ değerlerini önemli bir şekilde artırdığını rapor etmişlerdir. Cha-um ve ark., (2012) ise gama ışını ve EMS uygulayarak elde ettikleri mutant pirinçleri kısıtlı sulama koşullarında yetiştirmiş, mutant hatların tümünde yaprak oransal su içeriğinin kısıtlı sulama ile birlikte %20-40 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Yine De Ronde ve Spreeth (2007), 180 Gy gama ışını uyguladıkları börtücede M<sub>2</sub> ve M<sub>4</sub> mutant bitkilerin yaprak oransal su içeriklerinin kısıtlı sulama koşullarında azaldığını ifade etmişlerdir.

Gina ve Romano çeşitlerinde kısıtlı sulama koşullarında gama ışını uygulamalarının fotosentetik pigment içeriklerine etkisine ait ortalamalar Çizelge 2'de sunulmuştur. Klorofil-a içeriğinde Gina çeşidinde gama ışını, Romano'da ise gama ışını ve kısıtlı sulama ile bu iki

uygulama arasındaki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir (P≤0,05). Gama ışını uygulaması Gina çeşidinde klorofil-a içeriğini azaltırken, Romano çeşidinde bunun tersine döndüğü gözlenmiştir. Gama ışın dozlarında en yüksek ortalama Gina'da 1,61 mg g<sup>-1</sup> ile 0 Gy dozunda, Romano çeşidinde 2,03 mg g<sup>-1</sup> ile 50 Gy dozunda bulunmuştur. Kısıtlı sulama (I<sub>2</sub>) Romano çeşidinde klorofil-a içeriğini artırırken (1,92 mg g<sup>-1</sup>), Gina çeşidinde herhangi bir etkisi olmamıştır. Romano çeşidinde, özellikle 50 ve 100 Gy uygulamalarında kısıtlı sulama koşullarında en yüksek klorofil içeriği değerleri elde edilmiştir. Klorofil-b içeriğinde Gina çeşidinde sadece interaksyon etkisi önemli bulunmuş, Romano çeşidinde gama ışın dozları ve kısıtlı sulama ile bu iki faktörün interaksyonunda önemli etki yaratmıştır (P≤0,05). Kısıtlı sulama koşullarında 0 ve 25 Gy gama ışını ile Gina çeşidinde en yüksek klorofil-b içeriği elde edilirken, Romano çeşidinde klorofil-a ile benzer sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 2). Her iki çeşitte de gama ışını ve kısıtlı sulama ile gama ışını × kısıtlı sulama interaksyon etkisinin karotenoid içeriğinde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (P≤0,05). Gama ışını uygulamaları arasında en yüksek ortalama Gina çeşidinde 0 Gy dozunda (5,22 µg ml<sup>-1</sup>), Romano çeşidinde 50 Gy dozunda (6,41 µg ml<sup>-1</sup>)

bulunmuştur. En düşük ortalamalar Gina çeşidinde 50 ve 100 Gy dozlarında bulunurken (sırasıyla 4,45 ve 4,13  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ), Romano'da 4,51  $\mu\text{g ml}^{-1}$  ile 0 Gy uygulamasında tespit edilmiştir. Kısıtlı sulama her iki çeşitte de karotenoid miktarını artırmıştır. İnteraksiyon etkisine göre kısıtlı sulama koşullarında Gina'da 0 ve 25 Gy uygulamaları, Romano çeşidinde ise 50 ve 100 Gy ışın dozları en yüksek karotenoid miktarına sahip olmuşlardır. Toplam klorofil miktarında Gina çeşidi için kısıtlı sulama uygulaması ve gama ışını x kısıtlı sulama interaksyonu, Romano için ise tüm uygulamaların etkisinin önemli olduğu ( $P \leq 0,05$ ) saptanmıştır (Çizelge 2). Hem Gina, hem Romano çeşidinde kısıtlı sulamanın ( $I_2$ ) toplam klorofil içeriğini artırdığı (sırasıyla 2,12 ve 2,66  $\text{mg g}^{-1}$ ), interaksiyon etkisinin her iki çeşit için diğer fotosentetik pigment içerikleri ile benzer olduğu görülmüştür. Gama ışın dozları arttıkça Romano çeşidinde toplam klorofil içeriğinin de artış gösterdiği ve 100 Gy ışın ortalamasının 2,48  $\text{mg g}^{-1}$  ile en yüksek ortalamaya sahip olduğu kaydedilmiştir.

Çalışmada düşük dozlarda uygulanan gama ışınının kısıtlı sulama koşullarında çeşitlerin fotosentetik pigment içeriklerine etkisi incelendiğinde, Gina çeşidinde su noksanlığında 50 ve 100 Gy gama ışın dozlarının tüm fotosentetik pigment içerikleri azalttığı dikkat çekmiştir. Romano çeşidinde ise daha farklı bir sonucun ortaya çıktığı ve buna göre kısıtlı sulamada özellikle 50 ve 100 Gy gama ışın dozu uygulamalarının tüm fotosentetik pigment içeriğinde % 30-80 arasında artış sağladığı görülmüştür. Hamideldin ve Eliwa (2015), gama radyasyonu ve sodyum azid uygulamalarının kurak koşullarda fotosentetik pigment içeriği üzerindeki etkilerini belirledikleri çalışmalarında 60 Gy gama ışını uygulamasının klorofil-*a*, klorofil-*b*, karotenoid içeriğinde önemli miktarda bir artış sağladığını, kontrol ve sodyum azid ile karşılaştırıldığında en iyi sonucun gama ışın uygulamasından elde edildiğini tespit etmişlerdir. Moussa (2011), su noksanlığı ile birlikte klorofil içeriğinin %12 azaldığını, ancak aynı şartlarda 20 Gy gama ışını uygulaması ile birlikte kontrole göre artışın meydana geldiğini bildirmiştir. Borzouei ve ark. (2010), 100 ve 200 Gy gama ışın dozuna maruz bırakılan buğday fidelerinin, ışınlanmamış bitkilere kıyasla klorofil-*a*, *b* ve toplam klorofil seviyelerinin arttığını ifade etmiştir. Bazı araştırmalarda ise özellikle 300 Gy ve üstündeki gama ışını dozlarının kısıtlı sulama koşullarında klorofil içeriğine olumsuz etki yarattığı rapor edilmiştir (Alikamanoğlu ve ark., 2011; Tarroum ve ark., 2011).

Her iki çeşitte de lipid peroksidasyonunda (MDA) gama ışın dozlarının etkisi önemsiz olurken, kısıtlı sulama uygulama ve gama ışını x kısıtlı sulama interaksyonunun MDA üzerinde önemli etki yarattığı belirlenmiştir ( $P \leq 0,05$ ). Kısıtlı sulama MDA ortalamasının ( $I_2$ ) tam sulamaya göre hem Gina hem de Romano çeşidinde daha yüksek olduğu (sırasıyla 2,94 ve 3,94  $\mu\text{mol g}^{-1}$  T.A), her iki çeşitte de kısıtlı sulama koşullarında gama ışın dozlarının kontrole göre (0 Gy) MDA içeriğini düşürdüğü tespit edilmiştir. En yüksek MDA içeriği Gina ve Romano'da 0 Gy x  $I_2$  interaksyonundan elde edilmiştir (sırasıyla 3,63 ve 4,55  $\mu\text{mol g}^{-1}$  T.A).

Tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel stres koşulları sonucu hücre zarının tahrip olması ile birlikte lipidlerin oksidasyonu ile açığa çıkan malondialdehid bitkilerin strese karşı reaksiyonları hakkında bilgi verebilir (Bharti ve ark., 2016). Olumsuz çevre şartları ile birlikte oluşan

oksidatif stres sonucunda meydana gelen serbest radikaller ile ilişkili olarak hücre zarındaki lipidlerin peroksidasyona uğraması sonucunda malondialdehid (MDA) ortaya çıkmaktadır (Güneri Bağcı, 2010; Kusvuran, 2010). Bu çalışmada kullanılan düşük gama ışını dozlarının özellikle stres koşullarında MDA içeriğini azalttığı gözlenmiştir. Mousa (2011) kısıtlı sulama şartlarında 20 Gy gama ışını uygulamasının MDA içeriğini %13 civarında azalttığını, benzer şekilde Beyaz (2020), 100 Gy gama ışını uygulanmış baklanın kurak koşullarda MDA içeriğinin %21,42 oranında azaldığını belirlemiştir. Ancak 400-500 Gy gibi yüksek dozlu gama ışını uygulamalarının ise serbest radikallerin üretimini artırdığını ve bu şekilde MDA içeriğinin artmasına neden olduğunu rapor eden çalışmalar da mevcuttur (Alikamanoğlu ve ark., 2011; Borzouei ve ark., 2013).

Çizelge 3'e göre gama ışını uygulaması Gina çeşidinde K, Ca, Mg ve Cu alımında, Romano çeşidinde ise Ca, Mg, Cu, Mn ve Zn alımında önemli etki yaratmıştır ( $P \leq 0,05$ ). Kısıtlı sulama ise Gina çeşidinde Mg ve Zn içeriğinde, Romano çeşidinde Ca, Cu, Mn, Fe ve Zn içeriğinde önemli bir etki meydana getirmiştir ( $P \leq 0,05$ ). Gama ışını ve kısıtlı sulama interaksyonunun da Gina çeşidinde sadece Mg içeriğinde, Romano'da Ca, Mg, Mn ve Zn içeriğinde önemli olduğu ( $P \leq 0,05$ ) tespit edilmiştir. Gama ışını uygulamalarına ait ortalamalar incelendiğinde, Gina çeşidinde K ve Ca içeriğinin gama ışın uygulaması ile azaldığı, Mg ve Cu alımının ise özellikle 100 Gy gama ışın dozunda (sırasıyla %2,53 ve 11,08 ppm) arttığı saptanmıştır. Romano çeşidinde ise özellikle 50 ve 100 Gy gama ışın dozlarının Ca, Mg, Cu, Mn ve Zn içeriğinde olumlu etki yaptığı görülmüştür. Kısıtlı sulama Gina çeşidinde Mg ve Zn alımında azalmaya neden olurken (sırasıyla %1,74 ve 49,66 ppm), Romano'da Ca, Cu, Mn, Fe ve Zn alımını artırmıştır. Çalışmada düşük gama ışını doz uygulamasının özellikle Romano çeşidinde besin maddesi alımında daha etkili olduğu, Gina çeşidinde ise bitki beslenmesi bakımından gama ışın dozlarının çok etkili olmadığı belirlenmiştir. Hamideldin ve Eliwa (2015) gama radyasyonu (60 Gy) ve sodyum azid uygulamalarının kuraklık koşullarda Ca, Fe ve K alımını olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Singh ve ark., (2013), farklı düşük gama ışını dozlarının buğdayda doz artışına paralel olarak K alımının da arttığını, ancak P alımının azaldığını tespit etmiştir. Araştırmacılar aynı zamanda Fe alımında çarpıcı bir etkinin olduğunu, Zn ve Mn alımında ise 5 Gy dozunun daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Yine Moussa (2006) rokada 200 Gy doza kadar düşük dozları kullanmış, P alımında dozların etkisiz olduğunu, K alımında ise 20 Gy gama ışın dozunun kontrole göre artış sağladığını rapor etmiştir.

## Sonuç

Araştırmada kısıtlı sulama koşullarında düşük doz gama ışını uygulamasının (0, 25, 50 ve 100 Gy) Gina ve Romano fasulye çeşitlerinde fide gelişimi ve fizyolojik bazı özellikler ile besin elementi alımına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna göre fide gelişiminde Gina çeşidinde interaksyonun etkisi incelendiğinde kısıtlı sulamay uygulamasıyla birlikte, kök gelişiminde tam sulamaya göre önemli bir artış sağlamıştır.

Çizelge 3. Taze fasulye çeşitlerinde düşük gama ışın dozlarının farklı sulama seviyelerinde besin maddesi içeriğine etkileri  
Table 3. The effects of low gamma radiation doses on nutrient content at different irrigation levels in green bean cultivars

Gama (Gy)	Sulama (I)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
Gina									
0	I <sub>1</sub>	0,60±0,05	10,71±1,00	8,58±0,72	2,92±0,40a	9,25±1,38	125,50±16,93	211,96±26,26	68,53±20,99
	I <sub>2</sub>	0,60±0,08	10,06±0,56	9,01±0,94	1,38±0,10d	8,00±1,39	124,63±25,13	218,58±45,12	47,51±15,29
Ortalama 0 Gy		0,60±0,06	10,44±0,88A	8,75±0,80A	2,40±0,83A	8,60±1,63B	125,07±19,65	215,27±35,63	58,02±20,77
25	I <sub>1</sub>	0,55±0,06	9,92±0,35	8,39±0,32	1,69±0,20c	9,62±1,59	119,49±13,19	194,99±12,46	75,66±5,17
	I <sub>2</sub>	0,54±0,04	10,00±0,48	8,17±0,47	1,45±0,15cd	11,37±3,15	115,16±16,04	202,69±14,38	44,10±13,49
Ortalama 25 Gy		0,55±0,05	9,96±0,41AB	8,29±0,39AB	1,58±0,21B	10,50±2,58AB	117,33±14,03	198,84±13,39	59,88±19,10
50	I <sub>1</sub>	0,62±0,06	8,99±1,62	7,96±0,24	1,72±0,22c	9,66±1,75	114,86±15,39	213,68±20,46	68,11±13,75
	I <sub>2</sub>	0,59±0,07	9,87±1,09	8,44±0,36	1,55±0,16cd	11,20±1,78	126,65±24,85	218,43±27,61	56,22±12,73
Ortalama 50 Gy		0,61±0,06	9,43±1,39B	8,30±0,39AB	1,63±0,20B	10,36±1,85AB	120,76±20,63	216,06±23,56	62,17±14,00
100	I <sub>1</sub>	0,58±0,08	9,49±0,93	8,13±0,86	2,35±0,28b	11,66±3,61	117,02±20,69	225,69±27,92	54,61±18,85
	I <sub>2</sub>	0,53±0,06	9,77±0,35	7,73±1,01	2,71±0,31a	10,50±2,73	103,19±28,37	187,21±31,94	50,79±17,83
Ortalama 100 Gy		0,56±0,07	9,63±0,69B	7,94±0,92B	2,53±0,33A	11,08±3,11A	110,11±24,78	206,45±34,49	52,70±17,62
Ortalama I <sub>1</sub>		0,59±0,06	9,81±1,15	8,30±0,64	2,16±0,60A	10,00±2,25	119,22±15,96	211,58±24,16	66,73±16,83A
Ortalama I <sub>2</sub>		0,56±0,06	9,92±0,63	8,26±0,80	1,74±0,55B	10,14±2,74	117,41±24,27	206,73±32,90	49,66±14,69B
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,261	0,050	0,035	0,001	0,046	0,360	0,346	0,498
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,326	0,536	0,713	0,001	0,748	0,788	0,538	0,001
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,889	0,216	0,317	0,001	0,173	0,484	0,130	0,138
Romano									
0	I <sub>1</sub>	0,61±0,06	10,25±0,41	6,04±0,67d	1,14±0,11c	7,67±1,20	68,35±7,21c	134,23±14,03	36,09±17,57b
	I <sub>2</sub>	0,56±0,02	10,20±0,42	7,75±0,38ab	1,33±0,16bc	9,53±1,62	96,17±15,34b	231,37±58,81	55,61±6,41a
Ortalama 0 Gy		0,59±0,05	10,23±0,40	6,90±1,03C	1,23±0,16B	8,60±1,68B	82,26±18,36B	182,80±65,12	45,85±18,28B
25	I <sub>1</sub>	0,55±0,08	10,12±0,31	6,69±0,33c	1,21±0,09c	7,68±1,37	69,31±11,54c	150,48±38,73	38,42±11,77b
	I <sub>2</sub>	0,58±0,06	10,33±0,46	8,15±0,40a	1,40±0,13b	9,03±0,60	97,22±14,10ab	205,84±26,91	58,00±12,82a
Ortalama 25 Gy		0,57±0,07	10,23±0,40	7,59±0,82AB	1,31±0,15B	8,36±1,21B	83,27±19,16B	178,16±42,17	48,21±15,62AB
50	I <sub>1</sub>	0,56±0,07	10,32±0,27	7,56±0,45b	2,18±0,23a	8,44±1,24	100,97±16,38ab	177,99±20,15	52,87±7,67a
	I <sub>2</sub>	0,64±0,04	10,46±0,23	8,20±0,55a	1,31±0,49bc	9,85±1,06	100,25±19,32ab	209,52±28,30	58,15±11,28a
Ortalama 50 Gy		0,60±0,07	10,39±0,25	7,88±0,59A	1,75±0,48A	9,15±1,34B	100,61±17,21A	193,76±28,71	55,51±9,67A
100	I <sub>1</sub>	0,60±0,06	10,31±0,37	7,66±0,49c	1,18±0,24c	10,55±2,08	85,96±15,56b	187,73±29,62	58,18±13,48a
	I <sub>2</sub>	0,57±0,08	10,21±0,47	7,00±0,67ab	1,29±0,16bc	9,74±1,65	111,53±17,10a	214,93±55,01	53,25±12,88a
Ortalama 100 Gy		0,59±0,06	10,26±0,41	7,36±0,66B	1,24±0,19B	10,15±1,87A	98,75±20,43A	201,33±49,54	55,72±12,87A
Ortalama I <sub>1</sub>		0,58±0,06	10,31±0,33	6,99±0,75B	1,43±0,48	8,59±1,86B	81,15±18,91B	162,61±33,24B	46,39±16,62B
Ortalama I <sub>2</sub>		0,59±0,06	10,21±0,40	7,78±0,54A	1,33±0,15	9,54±1,24A	101,29±16,97A	215,42±42,61A	56,25±11,03A
p <sup>Gama</sup> ≤0,05		0,783	0,595	0,001	0,001	0,009	0,002	0,368	0,033
p <sup>I</sup> ≤0,05		0,753	0,640	0,001	0,069	0,015	0,001	0,001	0,002
p <sup>Gama x I</sup> ≤0,05		0,243	0,622	0,018	0,001	0,083	0,037	0,085	0,013

\*Her uygulamadaki aynı harfler arasındaki farklılıklar Duncan testine göre önemsizdir (P&lt;0,05)

Romano çeşidinde ise özellikle 50 ve 100 Gy gama ışın dozlarının sürgün gelişimini kısıtlı sulama koşullarında önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Fizyolojik özelliklerde Gina çeşidinde YOSİ ve fotosentetik pigment içeriklerinde 25 Gy dozunda kısıtlı sulama ile birlikte önemli artışların olduğu, Romano'da ise yine 50 ve 100 Gy dozlarının daha etkili olduğu tespit edilmiştir. MDA içeriğinin her iki çeşitte de kısıtlı sulama koşullarında 50 ve 100 Gy dozlarında dikkate değer bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Çeşitlerin besin maddesi alımında gama ışın dozları Gina çeşidinde önemli bir etki yaratmazken, Romano çeşidinde 50 ve 100 Gy dozlarından olumlu sonuçların alındığı belirlenmiştir. Bu bağlamda genel olarak düşük doz gama ışın uygulamalarından kısıtlı sulama koşullarında çeşitler arasında farklı reaksiyonların elde edildiği, görülmüştür. Çalışmada etkisi incelenen dozlar arasında 50 ve 100 Gy dozunun daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü tarafından FYL-2019-7968 nolu lisansüstü tez projesi olarak desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Akshatha CK, Chandrashekar KR. 2013. Effect of gamma irradiation on germination growth and biochemical parameters of *Pterocarpus santalinus*, an endangered species of Eastern Ghats. Euro J Exp Bio, 3, 266-70.
- Abdel-Tawab FM, Fahmy A, Bahieldin A, Mahamoud AA, AbdelAziz SH, Moseilhy O. 2002. Genetic improvements of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for drought tolerance by molecular breeding. Egypt. J. Genet. Cytol. 31: 331-353.
- Adly M, El-Fiki A. 2016. Genetic diversity in *Triticum aestivum* L. induced by gamma irradiation and selection for drought stress by using PEG 6000. Journal of Nuclear Technology in Applied Science. 4(3): 157-167.
- Aktas H, Dasgan HY, Yetisir H, Sari N, Koc S, Ekici B, Solmaz I, Unlu H, Aloni B. 2009. Variations in the response of different lines and hybrids of melon (*Cucumis melo* var. *cantaloupensis*) under salt stress. American-Eurasian J Agric. & Environ. Sci, 5(4): 485-493.
- Alikamanoğlu S, Yaycılı O, Sen A. 2011. Effect of gamma radiation on growth factors, biochemical parameters, and accumulation of trace elements in soybean plants (*Glycine max* L. Merril). Biological Trace Element Research, 141(1-3), 283-293.
- Amira MS, Qados A. 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant (*Vicia faba* L.). J Saudi Soc Agr Sci, 10: 7-15.



- Beebe S, Skroch PW, Tohme J, Duque MC, Pedraza F, Nienhuis J. 2000. Structure of genetic diversity among common bean landraces of middle American origin based on correspondence analysis of RAPD. *Crop Sci*, 40:264, 273.
- Beyaz R. 2020. Impact of gamma irradiation pretreatment on the growth of common vetch (*Vicia sativa L.*) seedlings grown under salt and drought stress. *International Journal of Radiation Biology*, 96(2), 257-266.
- Bharti N, Pandey SS, Barnawal D, Patel VK, Kalra A. 2016. Plant growth promoting rhizobacteria *Dietzia natronolimmaea* modulates the expression of stress responsive genes providing protection of wheat from salinity stress. *Scientific Reports*, 6: 1-15.
- Borzouei A, Kafi M, Khazaei H, Naseriyan B, Majdabadi A. 2010. Effects of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum L.*) seedlings. *Pak. J. Bot*, 42(4): 2281-2290.
- Borzouei A, Kafi M, Sayahi RESA, Rabiei E, Amin PS. 2013. Biochemical response of two wheat cultivars (*Triticum aestivum L.*) to gamma radiation. *Pak J Bot*, 45(2), 473-477.
- Broughton WJ, Hernández G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J. 2003. Beans (*Phaseolus spp.*)- model food legumes. *Plant Soil*, 252: 55-128.
- Chahal GS, Gosal SS. 2002. Principles and Procedures of Plant Breeding. Oxford: Alpha Science International Limited. pp: 399-412.
- Cha-um S, Yooyongwech S, Supaibulwatana K. 2012. Water-deficit tolerant classification in mutant lines of indica rice. *Scientia Agricola*, 69(2): 135-141.
- El-Sallami IH, Abdul-Hafeez E, Mostafa GG, Gad, MS. 2019. Enhancement of drought tolerance in *Salvia coccinea* plants by irradiation with gamma and laser pre-treatments. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 50(2): 68-92.
- De Ronde JA, Spreeth MH. 2007. Development and evaluation of drought resistant mutant germ-plasm of *Vigna unguiculata*. *Water SA*, 33(3): 381-386.
- Fao, 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> [Accessed 15 September 2022].
- Gepts P. 2001. Origins of plant agriculture and major crop plants, In: Our fragile world, forerunner volumes to the encyclopedia of life-supporting systems. MK Tolba (ed.) EOLSS Publishers, 1:629.
- Güneri Bağcı E. 2010. Nohut Çesitlerinde Kuraklığa Bağlı Oksidatif Stresin Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerle Belirlenmesi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Hamideldin N, Eliwa NE. 2015. Gamma radiation and sodium azide influence on physiological aspects of maize under drought condition. *Basic Rese. J. Agric. Scie. Review*, 4(1): 5-13.
- Heath RL, Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.*, 125: 189-198.
- Ivanova R, Smerea S. 2019. Safflower yield response to irrigation and gamma irradiation. *Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 65(1): 29-38.
- Katerji N, Van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M, Mou Karzel E. 1997. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agric. Water Manage.*, 34: 57-69.
- Kaya C, Tuna AL, Ashraf M, Altunlu H. 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo L.*) by the addition of proline and potassium nitrate. *Environ. Exp. Bot.*, 60: 397-403.
- Khalil A, Albachir M, Odeh A. 2016. Effect of gamma irradiation on some carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in wheat grains. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 36(5), 873-883.
- Kuşvuran S. 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları arasındaki Bağlantılar. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Lukanda LT, Mbuyi AK, Nkongolo KC, Kizungu RV. 2013. Effect of gamma irradiation on Morpho-Agronomic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea L.*). *American Journal of Plant Sciences*, 4: 2186-2192
- Melki M, Dahmani TH. 2009. Gamma irradiation effects on durum wheat (*Triticum durum Desf.*) under various conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12(23): 1531-1534.
- Moussa HR. 2006. Role of gamma irradiation in regulation of NO<sub>3</sub> level in rocket (*Eruca vesicaria subsp. sativa*) plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53: 193-197.
- Moussa H. 2011. Low dose of gamma irradiation enhanced drought tolerance in soybean. *Acta Agronomica Hungarica*, 59(1): 1-12.
- Nyombaire G, Siddiq M, Dolan K. 2007. Effect of soaking and cooking on the oligosaccharides and lectins of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Bean Improv. Coop. Ann. Rep.* 50: 31-32.
- Sarabi B, Bolandnazar S, Ghaderi N, Ghashghaie J. 2017. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo L.*) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. *Plant Physiol. Bioch.*, 119: 294-311.
- Singh SP. 1999. Integrated Genetic Improvement. In: Common Bean Improvement In The Twenty-First Century. Dordrecht, 133: 65.
- Singh RJ, Chung GH, Nelson RL. 2007. Landmark research in Legumes. *Genome*, 50: 525-537.
- Singh B, Ahuja S, Singhal RK, Venu Babu P. 2013. Effect of gamma radiation on wheat plant growth due to impact on gas exchange characteristics and mineral nutrient uptake and utilization. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 298(1): 249-257.
- Svetleva D, Pereira G, Carlier J, Cabrita L, Leitao J, Genchev D. 2006. Molecular characterization of *Phaseolus vulgaris L.* genotypes included in Bulgarian collection by ISSR and AFLPTM analyses. *Scientia Horticulturae*, 109: 198-206.
- Tarroum M, Khan S, Al-Qurainy F. 2011. Evaluation of drought tolerance of  $\gamma$ -irradiated mutants of *Hordeum vulgare*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(14): 2969-2977.
- Widiati BR. 2017. Physiological adaptation of soybean genotypes induced with gamma irradiation against drought. *International Journal of Science and Research*, 6(3): 238-243.
- Yamasaki S, Dillenburg LR. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11: 69-75.
- Zengin FK. 2007. Effects of some heavy metals on pigment content in bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seedlings. *KSU J. Sci. Engin*, 10: 6-12.