



Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering

www.dergipark.org.tr/tjse

Maş Fasulyesinde Gama Işını Uygulamalarının M3 Generasyonunda Bazı Agronomik Özellikler Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Cengiz TÜRKAY^{1*}, İlknur AKGÜN¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü – Isparta-Türkiye.

*Sorumlu yazar: cengizturkay@isparta.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 24/12/2025

Kabul tarihi: 18/06/2026

Anahtar Kelimeler: Gama ışını, Maş fasulyesi, Mutasyon, Verim

DOI: 10.55979/tjse.1848101

ÖZET

Bu çalışma, gama ışını uygulamalarıyla oluşturulan mutant maş fasulyesi hatlarının M3 generasyonunda bazı agronomik özellikler yönünden değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada, M3 generasyonuna ait 15 mutant hat ile 07 G 03 genotipi ve Partow çeşidi ile karşılaştırılmıştır. Deneme, 2020 yılında tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, bitki tane verimi, tane verimi ve bin tane ağırlığı özellikleri incelenmiştir. İncelenen özellikler bakımından genotipler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir. Mutant hatların, kontrol (07 G 03) ve Partow çeşide kıyasla verim ve verim öğeleri açısından geniş bir varyasyon aralığı tespit edilmiştir. Tane verimi açısından T25-2-14, T25-1-10 ve T75-3-1 mutant hatları sırasıyla 255.10, 243.39 ve 239.81 kg da⁻¹ değerleri ile öne çıkmıştır. Bu mutant hatlar, kontrol genotipine kıyasla sırasıyla %18.93, %13.46 ve %11.79 oranında daha yüksek tane verimi göstermiştir. Belirlenen mutant hatların, verim potansiyelleri bakımından ileri ıslah çalışmalarında değerlendirilebilecek ümitvar materyaller olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gama ışını uygulamasının maş fasulyesinde M3 generasyonunda etkili bir genetik varyasyon oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Determination of the Effects of Gamma Radiation Applications on Some Agronomic Characteristics in the M3 Generation of Mung Bean

ARTICLE INFO

Received: 24/12/2025

Accepted: 18/06/2026

Keywords: Gamma ray, Mung bean, Mutation, Yield

DOI: 10.55979/tjse.1848101

ABSTRACT

This study evaluated certain agronomic traits in mutant mung bean lines from the M3 generation, which were developed through gamma irradiation. Fifteen mutant lines from the M3 generation were compared with the 07 G 03 genotype and the Partow variety. The trial was conducted in 2020 using a randomized complete block design with three replications. Plant height, first pod height, number of pods per plant, number of seeds per pod, plant seed yield, grain yield, and thousand seed weight were evaluated. Statistically significant differences were observed among the genotypes for the examined traits. A wide range of variation was observed in the mutant lines compared to the control (07 G 03) and the Partow variety in terms of yield and yield components. In terms of grain yield, the mutant lines T25-2-14, T25-1-10, and T75-3-1 stood out with values of 255.10, 243.39, and 239.81 kg da⁻¹, respectively. These mutant lines exhibited grain yields that were 18.93%, 13.46%, and 11.79% higher than the control genotype, respectively. It was concluded that the identified mutant lines are promising materials that can be evaluated in advanced breeding programs with regard to their yield potential. The results obtained reveal that gamma irradiation creates effective genetic variation in the M3 generation of mung beans.

1. Giriş

Maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.), dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen önemli bir baklagil türü olup, Türkiye’de son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Her ne kadar ülkemizde yeni tanınan bir bitki olarak algılansa da, maş fasulyesinin yaklaşık 200 yıldır özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz kuşağında bölgesel olarak yetiştirildiği, bu bölgelerden büyük firmalar tarafından toptan temin edilerek ülke genelindeki market zincirlerine pazarlanmakta olduğu bildirilmektedir (Karaman, 2019).

Maş fasulyesi, antik dönemlerden bu yana Hindistan’da yetiştirilmekte olup günümüzde Güneydoğu Asya, Afrika, Güney Amerika ve Avustralya’da tarımı yapılmaktadır. Bitkinin yabani ve kültür formlarının Hindistan’ın

kuzeybatı Himalayalar bölgesinde bulunduğu ve ilk kez Hindistan ile Kuzey Afrika’da kültüre alındığı belirtilmektedir (Mohan Naik, 2020; Ong vd., 2023). Kültür formları zamanla tropik ve subtropik bölgelerde geniş bir yayılım göstermiştir (Bisht ve Singh, 2013; Kalim vd., 2021). FAOSTAT sınıflandırmasında *Vigna radiata* ayrı bir tür olarak rapor edilmediğinden, küresel ekim alanı ve üretim verileri net olarak yer almamakla birlikte; dünya genelinde yaklaşık 7.3 milyon ha alanda yetiştirildiği, ortalama veriminin 721 kg ha⁻¹ ve toplam üretiminin 5.3 milyon ton civarında olduğu bildirilmektedir. Küresel üretimin önemli bir kısmı Hindistan ve Myanmar tarafından sağlanmaktadır (Nair & Schreinemachers, 2020).

Maş fasulyesi, yüksek besin değeriyle öne çıkan bir bitki olup taneleri yaklaşık %26 protein, %51 karbonhidrat ve önemli düzeyde mineral ve vitamin içermektedir. Özellikle demir içeriğinin 100 g kuru tohumda 6 mg'a ulaşması, beslenme açısından değerini artırmaktadır (Zafar vd., 2023; Narale vd., 2024). Ayrıca yüksek lizin içeriği sayesinde tahılların aminoasit eksikliklerini tamamlayıcı nitelikte olup, bu özelliği nedeniyle bazı bölgelerde yoksulun eti olarak adlandırılmaktadır (Asaduzzaman vd., 2008; Singh vd., 2018). Geniş adaptasyon yeteneği, kurak koşullara toleransı ve sulamaya olumlu tepki vermesi, maş fasulyesini farklı ekolojik koşullar için uygun bir alternatif ürün hâline getirmektedir (Penas vd., 2010). Bununla birlikte, maş fasulyesinde genetik değişkenliğin sınırlı olması, ıslah çalışmalarında önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Genetik tabanın dar olması, özellikle stres koşullarına dayanıklı, yüksek verimli ve homojen olgunlaşan çeşitlerin geliştirilmesini zorlaştırmaktadır (Rahevar vd., 2024). Bu nedenle, genetik varyasyonun artırılmasına yönelik yöntemler büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda mutasyon ıslahı, mevcut genetik yapıyı genişleterek yeni varyantların elde edilmesine olanak tanıyan etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Mutasyon; genlerde veya kromozomların yapı ve sayılarında meydana gelen kalıtsal değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Mutasyon ıslahı ise fiziksel veya kimyasal mutagenler kullanılarak genetik materyalde kontrollü varyasyonlar oluşturulması sürecini ifade etmektedir (Sağel vd., 1994). Gama ışınları gibi fiziksel mutagenler, serbest radikal oluşumunu tetikleyerek bitki hücrelerinde fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik değişimlere neden olabilmektedir (Kim vd., 2004; Wi vd., 2005). Bu özellikleri sayesinde mutasyon ıslahı; verim artışı, erkencilik, homojen olgunlaşma, bitki mimarisinin iyileştirilmesi ile hastalık ve abiyotik stres toleransının geliştirilmesi gibi birçok agronomik özelliğin iyileştirilmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Kharkwal, 2023). Günümüzde mutasyon ıslahı, arpa, buğday, yulaf, çeltik, nohut, bezelye, fasulye, soya ve kolza gibi pek çok kültür bitkisinde etkili sonuçlar vermiştir (Karakoca & Akgün, 2020; Sarsu vd., 2020; Akgün vd., 2022; Kharkwal, 2023).

Maş fasulyesi indeterminant gelişme gösteren bir bitki olup, heterojen olgunlaşma özelliği nedeniyle hasatta önemli kayıplar yaşanabilmektedir. Ayrıca düşük hasat indeksi, zayıf çiçeklenme yapısı ve marjinal topraklarda yetiştirilmesi, verim potansiyelinin yeterince değerlendirilememesine yol açmaktadır. Mutasyon ıslahı, bu tür fizyolojik ve agronomik sınırlamaların giderilmesine yönelik genetik iyileştirmeler için önemli bir araçtır (Auti, 2012). Yüksek besin değeri, geniş adaptasyon yeteneği ve farklı yetiştirme koşullarına uyum sağlayabilme potansiyeline sahip olan maş fasulyesi, ülkemiz tarımı açısından geliştirilmesi gereken alternatif baklagil türlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, ülkemizde genellikle yerel popülasyonlar hâlinde yetiştirilen ve tescilli çeşidi bulunmayan maş fasulyesi, mutasyon ıslahı yoluyla geliştirilebilecek potansiyel bir tür olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, farklı dozlarda gama ışınına maruz bırakılmış maş

fasulyesi tohumlarından elde edilen mutant hatların M3 generasyonlarında bazı agronomik özellikler bakımından değerlendirilmesi ve bu hatların yurt dışından temin edilen tescilli bir çeşit ile karşılaştırılarak üstün özellik gösteren hatların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmanın tarla denemeleri, 2020 yıllarında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Uygulama Çiftliği deneme alanlarında (37° 45' K ve 30° 33' D, 997 m), laboratuvar analizleri ise, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada bitki materyali olarak kullanılan 07 G 03 no'lu maş fasulyesi genotipi, Antalya ilinin Gazipaşa ilçesinden temin edilmiştir. Bu genotipin Isparta ekolojik koşullarında yüksek verim potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Karaman, 2019). Genetik varyasyon oluşturmak amacıyla 2018 yılında fiziksel mutagen olarak gama ışını uygulanmıştır. Bu kapsamda 07 G 03 genotipine ait her bir doz için 100 g tohum Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'ne gönderilmiş ve Kobalt-60 (⁶⁰Co) kaynağında 0 (kontrol), 25, 50, 75 ve 100 kR dozlarında gama ışınına maruz bırakılmıştır. Çalışmada kullanılan 25, 50, 75 ve 100 kR gama ışını dozları, maş fasulyesi ve diğer baklagil türlerinde yürütülen önceki mutasyon ıslahı çalışmalarında kullanılan doz aralıkları dikkate alınarak belirlenmiştir (Roslim vd., 2015; Majhi vd., 2020). Bu dozlar, bitkilerde genetik varyasyon oluşturabilecek düşük, orta ve yüksek doz aralıklarını temsil etmektedir. Işınlanan tohumlar M0 generasyonu olarak kabul edilmiş ve aynı yıl M1 generasyonu ekilmiştir. M1 ve M2 generasyonlarında kontrol genotipinden belirgin farklılık gösteren ve verim ile verim öğeleri açısından üstün özelliklere sahip bitkiler ileri generasyonlara aktarılmıştır. Elde edilen mutant hatlar, M3 generasyonunda değerlendirilmiştir. Mutant hat kodlamasında kullanılan "T" harfi verim ile verim öğeleri yönünden seçilen hatları temsil etmektedir. Kodlamada yer alan sayılar uygulanan gama ışını dozlarını (kR) ve seçilen bitki numaralarını ifade etmektedir.

M3 generasyonunda bitki materyali olarak Partow çeşidi, 07 G 03 genotipi (kontrol) ve T25-1-1, T25-1-10, T25-2-3, T25-2-4, T25-2-14, T25-2-15, T25-3-10, T25-3-14, T50-1-27, T50-1-35, T100-3-1, T25-2-1, T75-2-29, T75-3-1 ve T100-2-24 mutant hatları kullanılmıştır. Çalışmada yurt dışında tescil edilmiş İran kökenli Partow çeşidi kullanılmıştır. Partow çeşidi, yüksek verim potansiyeli, homojen olgunlaşma özelliği ve geniş adaptasyon yeteneği ile öne çıkmakta olup, tane verimi ve kalite özellikleri bakımından yüksek performans göstermektedir (Karaman, 2019). Bu özellikleri nedeniyle, çalışmada geliştirilen mutant hatların karşılaştırılmasında standart çeşit olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Yöntem

Çalışma, Tesadüf Blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Ekim işlemi 29 Nisan 2020 tarihinde yapılmıştır. Parsel uzunluğu 3 m, sıra arası 50 cm, sıra üzeri 10 cm olacak şekilde parsellere (3 m x 3 m = 9 m²) ekimler el ile yapılmış ve her parselde 6 sıra yer almıştır. Tohumlar, markörle çizilen sıralar üzerine belirlenen sıra üzeri mesafelerde, 5-6 cm derinliğindeki ocaklara ekilmiş ve her ocağa ikişer tohum bırakılmıştır. Maş fasulyesi bir baklagil bitkisi olması nedeniyle ekimle birlikte 3 kg N da⁻¹ ve 6 kg P₂O₅ da⁻¹ olacak şekilde gübreleme yapılmıştır (Karaman, 2019). Ekim işlemi yapıldıktan sonra, toprakta tohum çimlenmesi için yeterli nem bulunmadığından dolayı tohum çıkışının sağlanması amacıyla deneme alanı, ekimden 3 gün sonra damla sulama yöntemiyle sulama yapılmıştır. Çıkışlar tamamlandıktan sonra bitkilerin 1-2 yapraklı (V1-V2) olduğu dönemde her ocakta bir bitki bırakılmıştır. Sulama, iklim koşulları ve yağış durumuna bağlı olarak bitkinin nem stresine girmesini önleyecek şekilde damla sulama yöntemiyle yapılmıştır. Deneme süresince yabancı otlarla mücadele elle veya çapa makinesi kullanılarak yapılmıştır.

Hasat zamanı, çeşit ve mutant hatların farklı olgunlaşma dönemine sahip olması nedeniyle 20 Eylül – 10 Ekim tarihleri arasında yapılmıştır. Hasatta her parselin ilk ve son sıraları ile parsel başlarından 50 cm'lik kısımlar kenar tesiri olarak bırakılmış, ortada kalan bitkiler el ile hasat edilmiştir. Her parselden orta kısımlarında tesadüfi seçilen 10 bitki üzerinde bitki boyu (cm), ilk bakla yüksekliği (cm), bitkide bakla sayısı (adet), baklada tane sayısı (adet)

ve bitki tane verimi (g) özellikleri belirlenmiştir. Tane verimini belirlemek için ise hasat edilen bitkiler sera içerisine kurumaya bırakılmış, ardından harman makinesiyle harmanlanmış ve elde edilen taneler tartılmasıyla tane verimi dekara kg cinsinden ifade edilmiştir. Bin tane ağırlığı (g) ise, her parselden rastgele alınan dört tekerrürlü 100'er tohumun ağırlıklarının tartılması, ortalamasının alınması ve 10 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Karaman, 2019).

2.3. Deneme alanının iklim ve toprak özellikleri

Denemenin yürütüldüğü yıl ile uzun yıllara ait iklim verileri Çizelge 1'de verilmiştir. Vejetasyon süresindeki uzun yıllar ortalaması incelendiğinde ortalama sıcaklık 17.9 °C, toplam yağış miktarı 228.7 mm ve ortalama nispi nem %54.1 olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında aynı dönemde ortalama sıcaklık 20.3 °C olup uzun yıllar ortalamasından 2.4 °C daha yüksek seyretmiştir. Toplam yağış miktarı 235.3 mm ile uzun yıllar değerinin üzerinde gerçekleşmiş, ortalama nispi nem ise %49.3'e düşerek uzun yıllar ortalamasının yaklaşık %5 altında kaydedilmiştir. Çalışma yılında en yüksek sıcaklıkların Temmuz ayında görüldüğü belirlenmiştir. 2020 yılı Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 27.0 °C olarak kaydedilmiştir. Özellikle Nisan ve Mayıs aylarında sıcaklıkların uzun yıllar ortalamasının üzerinde seyretmesi, bitkilerin erken gelişim döneminde kısmen sıcaklık stresine maruz kaldığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde deneme yılındaki iklim verileri, uzun yıllar ortalamasına göre daha sıcak ve daha düşük nispi nem koşullarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 1. Çalışmanın yapıldığı yıllara ve uzun yıllara (1929-2019) ait iklim verileri*

Table 1. Climatic data for the years of the study and long years (1929-2019)*

İklim Verileri	Aylar							Toplam/ Ort.
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	
Uzun Yıllar								
Ortalama sıcaklık, °C	10.8	15.5	19.9	23.4	23.3	18.9	13.4	17.9
Maksimum sıcaklık, °C	29.5	35.4	36.2	39.2	38.4	37.4	33.5	35.7
Minimum sıcaklık, °C	-7.7	-1.2	4.3	4.9	7.0	-0.8	-4.2	0.33
Nisbi nem, %	61.1	58.9	52.8	45.5	46.3	52.0	62.2	54.1
Yağış, mm	51.2	55.9	35.6	15.6	14.2	18.4	37.8	228.7
2020								
Ortalama sıcaklık, °C	11.6	16.1	20.3	27.0	25.6	24.1	17.4	20.3
Maksimum sıcaklık, °C	23.7	35.4	33.0	37.0	37.5	37.4	33.1	33.9
Minimum sıcaklık, °C	0.0	4.6	5.6	16.6	15.3	12.9	7.8	9.0
Nisbi nem, %	58.6	57.1	52.3	36.5	39.2	42.9	58.2	49.3
Yağış, mm	24.2	92.1	42.6	1.9	24.8	1.0	48.7	235.3

*Isparta Meteoroloji İstasyonu iklim verileri

Çalışmanın yapıldığı alanın farklı bölgelerinden alınan toprak örneklerinin (0-30 cm derinlik) analizleri yapılmıştır. Denemenin kurulduğu alan düz ve düze yakın topografik yapıya sahip olup, toprak tekstürü killi-tınlı yapıda, hafif alkali, kireç içeriği bakımından zengin, organik madde içeriği düşük, tuz içeriği bakımından ise hafif tuzlu sınıfta yer almaktadır. Deneme alanının topraklarındaki makro elementler incelendiğinde elverişli fosfor ve magnezyum miktarı yeterli seviyede, potasyum ve kalsiyum fazla miktarda olduğu belirlenmiştir. Mikro elementler yönünden ise, manganın yeterli seviyede, çinko

ve demir miktarları deneme alanında fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir.

2.4. İstatistiksel analiz

Çalışmada elde edilen sonuçlar Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre SAS (1999) istatistik paket programından yararlanarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi (0.05 düzeyinde) uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmada, 07 G 03 nolu maş fasulyesi genotipine uygulanan farklı gama ışını dozları ile oluşturulan mutant hatlar değerlendirilmiştir. Gama ışını uygulamasından elde edilen M3 generasyonundaki 15 mutant hat, kontrol olarak 07 G 03 genotipi ve Partow tescilli çeşidi ile birlikte verim ve bazı verim öğeleri yönünden değerlendirilmiştir. Çalışmada bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı, baklada tane sayısı, bitki tane verimi, tane verimi ve bin tane ağırlığı özellikleri incelenmiştir. İncelenen özellikler yönünden M3 generasyonundaki maş fasulyesi hatları ve genotipler arasındaki farklılıklar %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2 ve 3).

3.1. Bitki boyu

Fiziksel mutagen uygulamalarıyla elde edilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin bitki boyu ortalamaları Çizelge 2’de verilmiştir. M3 generasyonunda bitki boyu değerleri 57.71 cm (T100-3-1) ile 89.59 cm (T25-2-3) arasında değişmiştir. Çalışmada yer alan kontrol genotipinin (07 G 03) bitki boyu 77.99 cm, Partow çeşidinin bitki boyu ise 80.89 cm olarak belirlenmiştir. Hatların genel bitki boyu ortalaması 80.04 cm olarak belirlenmiş olup, T25-1-10 ve T100-3-1 mutant hatları hariç diğer hatların kontrol genotipine göre daha yüksek bitki boyu değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Genel olarak değerlendirildiğinde, M3 generasyonunda mutagen uygulamasının hem bitki boyunu artırıcı hem de azaltıcı yönde geniş bir varyasyon oluşturduğu görülmektedir.

Mutasyon ıslahı çalışmalarında bitki boyu özelliği seleksiyon kriterlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Mutagen uygulaması sonucu bitki boyunda önemli varyasyonlar olduğu birçok araştırmada bildirilmiştir (Kumar ve Sharma, 2024; Rahevar vd., 2024; Suresh vd., 2025). Bununla birlikte kullanılan mutagenin türüne ve dozajına bağlı olarak bitki boyu önemli ölçüde değişim gösterebilmektedir. Suresh vd. (2025), maş fasulyesi tohumlarına farklı dozlarda (450, 500, 550, 600, 650 ve 700 gray) gama ışınına maruz bıraktıkları çalışma sonucunda M3 generasyonunda bodur ve uzun bitki boyuna sahip mutant hatlar tespit etmişlerdir. Sarkar vd. (2009), Hindistan’da M7 generasyonundaki 11 ileri generasyon maş fasulyesi hattı ile kontrol çeşidinin (K-851) bitki boyunun 53.12- 61.43 cm arasında değişim gösterdiğini ve bitki boyunun kalıtım derecesini %87.7 olarak saptamışlardır.

Maş fasulyesinin bitki boyu, çeşide, yetiştirildiği bölgelere ve yapılan uygulamalara göre değişim gösterebilmektedir. Ayrıca maş fasulyesinde bitki boyunun kalıtım derecesi orta/yüksek olduğu (%77.33-95.15) ve eklemeli genler tarafından kontrol edilmektedir (Makeen vd., 2007; Tabasum vd., 2010; Khajudparn ve Tantasawat, 2011; Mehendi vd., 2013). Dhole & Reddy (2018), maş fasulyesine mutasyon kaynağı olarak elektron ve gama ışınlarını kullandıkları çalışmada, M6 generasyonunda 17

hattın bitki boyunun 25.05–64.7 cm arasında değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu bağlamda M3 generasyonlarındaki mutant hatlarda bitki boyu bakımından ortaya çıkan farklılıkların, gama ışını uygulamalarının büyüme ve gelişme süreçlerinde meydana getirdiği fizyolojik ve moleküler değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2. İlk bakla yüksekliği

Fiziksel mutagen uygulamalarıyla elde edilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin ortalama ilk bakla yüksekliği, 24.44–47.05 cm arasında değişim göstermiştir. Genotipler arasında en uzun ilk bakla yüksekliği T25-2-14 hattında, en kısa ise T100-3-1 hattında saptanmıştır. En uzun ilk bakla yüksekliğine sahip olan T25-2-14 hattı ile T75-2-29 (46.82 cm) hattı istatistiki olarak aynı grupta yer almıştır. Gama ışını uygulaması sonucu oluşturulan M3 generasyonundaki maş fasulyesi hatlarının ilk bakla yüksekliği arasında önemli değişimler gözlenmiştir. Bazı mutant hatların kontrol genotipi (07 G 03) ve Partow çeşidine göre daha yüksek ilk bakla yüksekliği değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Yüksek ilk bakla yüksekliği değerine sahip hatlar, makineli hasada uygunluk ve hasat kayıplarının azaltılması açısından avantaj sağlamaktadır (Kuzbakova vd., 2022). Bununla birlikte ilk bakla yüksekliği, bitki boyu ve bakla uzunluğu arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (Perera vd., 2017). Çalışmada uzun boylu bitkilerin ilk bakla yüksekliğinin de daha fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Bitki boyundaki değişim, boğum arası uzunluğunu ve ilk baklanın olduğu boğum pozisyonunu doğrudan etkilediğinden, ilk bakla yüksekliğinin hatlar arasında farklılık göstermesi beklenen bir durumdur.

Svetleva vd. (2005), fasulyeye etil metan sülfonat ve N-nitroso-N-ethylurea (NEU) uygulayarak mutasyon oluşturdukları çalışmada, iyi bir mutasyon ıslahı hattının belirlenmesinde en yararlı özelliklerin bakla sayısı, ilk bakla yüksekliği, tane ağırlığı ve bakla uzunluğu özelliklerinin olduğunu bildirmişlerdir. Gül (2019), Diyarbakır’da maş fasulyesinde ilk bakla yüksekliğinin çeşitlere göre 15.39-29.64 cm ve ekim sıklığı x çeşit interaksyonuna göre ise, 21.77-24.15 cm arasında değiştiğini saptamıştır. Karaman (2019), Isparta koşullarında maş fasulyesi çeşit ve genotiplerini iki yıl süreyle karşılaştırdığı çalışmada, birinci yıl ilk bakla yüksekliğini 3.22-28.00 cm, ikinci yıl ise 2.81-26.51 cm arasında değiştiğini bildirmiştir. İncelenen literatür çalışmaları sonucunda ilk bakla yüksekliği genotip, çevre ve yapılan uygulamalara göre değişim göstermektedir. Çalışmada da mutant hatlar, kontrol genotipi ve tescilli çeşit arasında ilk bakla yüksekliği önemli seviyede farklılık göstermiş olup, literatür çalışmaları ile elde edilen bulguları destekler niteliktedir.

Çizelge 2. Maş fasulyesi mutant hatlarının (M3) bitki boyu, İlk bakla yüksekliği, bitkide bakla sayısı ve baklada tane sayısına ait ortalamalar

Table 2. Means for plant height, first pod height, number of pods per plant, and number of seeds per pod for M3 mutant lines of mung bean

Genotipler	Bitki Boyu (cm)	İlk Bakla Yüksekliği (cm)	Bitkide Bakla Sayısı (adet)	Baklada Tane Sayısı (adet)
T25-1-1	73.57 f ¹	44.03 b	34.14 a	8.62 ı
T25-1-10	77.56 e	40.76 cd	23.93 fg	11.44 b-d
T25-2-1	82.60 b-d	41.61 c	33.82 a	10.94 d-f
T25-2-3	89.59 a	42.77 bc	23.12 f-h	11.88 ab
T25-2-4	85.06 b	39.00 de	32.55 a	11.26 c-e
T25-2-14	85.10 b	47.05 a	24.13 e-g	11.36 b-d
T25-2-15	84.30 bc	41.60 c	27.20 d	11.42 b-d
T25-3-10	78.15 e	33.61 f	32.71 a	10.37 g
T25-3-14	83.44 b-d	44.01 b	26.06 de	12.32 a
T50-1-27	78.17 e	41.04 c	27.42 cd	11.70 bc
T50-1-35	81.05 c-e	41.30 c	22.63 gh	11.70 bc
T75-2-29	85.08 b	46.82 a	25.04 ef	11.60 bc
T75-3-1	78.50 e	38.43 e	30.28 b	10.68 fg
T100-2-24	80.77 de	35.25 f	33.06 a	11.64 bc
T100-3-1	57.71 g	24.44 g	21.63 h	9.34 h
Hatların ort.	80.04	40.12	27.85	11.08
Partow	80.89 c-e	44.41 b	29.35 bc	10.34 g
07 G 03	77.99 e	41.67 c	21.29 h	10.74 e-g
F Değeri	40.70 **	66.74 **	44.48 **	27.26**
CV(%)	2.35	2.85	4.26	2.84

** : P<0.01; CV: Varyasyon katsayısı; ¹: Aynı sütunda aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli değildir.

3.3. Bitkide bakla sayısı

Fiziksel mutagen uygulamalarıyla elde edilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin bitkide bakla sayısı 21.29-34.14 adet arasında değişim göstermiştir. Bitkide bakla sayısı en fazla T25-1-1 hattında, en az ise 07 G 03 genotipinde (kontrol) tespit edilmiştir. M3 generasyonundaki maş fasulyesi hatlarının bitkide bakla sayısı ortalaması 27.85 adet olarak belirlenmiş ve hatların bakla sayısının kontrol genotipinden daha yüksek (T100-3-1 hattı hariç) olduğu saptanmıştır. Ayrıca, T25-1-1 (34.14 adet), T25-2-1 (33.82 adet), T100-2-24 (33.06), T25-3-10 (32.71 adet), T25-2-4 (32.55 adet) hatlarının bitkide bakla sayısı ortalamaları Partow çeşidinden (29.35 adet) istatistiksel olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar hem kontrol genotipine (07 G 03) hem de Partow çeşidine göre yüksek bakla sayısına sahip hatların başarıyla seçildiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 2).

Baklagillerde bitkide bakla sayısı, verimi doğrudan etkileyen özelliklerinden birisi olup, özellikle verimi arttırmak amacıyla yapılan ıslah çalışmalarında büyük önem arz etmektedir. Bitkide bakla sayısı gama ışını uygulamasının dozuna ve genotipe bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (Tah, 2006; Dewanjee & Sarkar, 2018). Bununla birlikte mutagen uygulaması bitkilerin çiçek oluşumunu etkilemekte ve bunun sonucunda bakla sayısı ve tohum veriminde değişimler görülebilmektedir. Mutant hatların uzun çiçeklenme süresine sahip olması ve daha fazla çiçek oluşturmamasından dolayı bakla sayısı da fazla olabilmektedir (Mondal & Sen,

2024). Düşük ve orta dozlardaki (40-300 gray) gama ışını uygulamaları bitkide bakla sayısını arttırmakta, yüksek dozlarda (≥ 600 gray) ise mutagenik etkinlik azalmakta ve zararlı etkileri bulunmaktadır (Kumar & Sharma, 2024; Rahevar vd., 2024; Suresh vd., 2025). Wani vd. (2011), NM-1 maş fasulyesi çeşidine %0.2 ve %0.3 dozlarında etil metan sülfonat, %0.02 dozunda hidrazin hidrat ve sodyum azid uyguladıkları çalışmada, M3 generasyonunda kontrol çeşidine göre yüksek verimli 4 mutant hattın bitkideki bakla sayısının 69.13-79.90 adet arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Rahevar vd. (2024), maş fasulyesine farklı dozlarda (400, 500, 600 ve 700 gray) gama radyasyonu uyguladıkları çalışmada, M3 generasyonunda maş fasulyesi hatlarının 2.10-71.80 adet arasında bitkide bakla sayısına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar kontrol çeşitlerine göre gama ışını uygulamasının bitkide bakla sayısını artırdığını tespit etmişlerdir.

Maş fasulyesinde mutagen uygulamaları sonucunda bitkide bakla sayısının varyasyon göstermesinin yanı sıra, bu özelliğin genetik yapıya ve çevre koşullarına bağlı olarak da önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Hemavathy vd. (2015), bitkide bakla sayısında genotipik ve fenotipik varyasyon katsayısı ile kalıtım derecesinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bitkide bakla sayısını Mehandi vd. (2013), 12.43 30.53 adet, Sohail vd. (2016), 15.2-22.5 adet, Zuge Sopan & Sao (2019), 21.5-67.00 adet ve Karaman (2019), 1. yıl 13.29-76.66 adet, 2. yıl 36.88-48.62 adet arasında değişim gösterdiğini saptamıştır.

M3 generasyonundaki mutant hatların büyük bölümünde bakla sayısı hem kontrol genotipinden hem de tescilli Partow çeşidinden daha yüksek olmuştur (Çizelge 2). Bununla birlikte, çalışmada elde edilen bitkide bakla sayısı ortalamaları bildirilen çalışmalar ile uyumlu olsada, ortalamadan sapma gösteren hat ve genotiplerin varlığı bakla sayısı üzerine hem mutasyon uygulaması hem de toprağın fiziksel ve kimyasal farklılığı, iklim gibi çevresel şartların etkili olduğunu göstermektedir.

3.4. Baklada tane sayısı

Fiziksel mutagen uygulamalarıyla elde edilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin baklada tane sayısı 8.62-12.32 adet arasında değişim göstermiş, hatların genel ortalaması ise 11.08 adet olduğu tespit edilmiştir. Baklada tane sayısı en yüksek T25-3-14 (12.32 adet) ve T25-2-3 (11.88 adet) hatlarında belirlenmiş ve iki hat arasında istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir. En düşük baklada tane sayısına ise T25-1-1 hattı (8.62 adet) sahip olmuştur. M3 generasyonunda hatların baklada tane sayısı ortalaması Partow çeşidi ve kontrol genotipinden daha yüksek olmuştur. Bununla birlikte hem tescilli Partow çeşidi (10.34 adet) hem de kontrol genotipi 07 G 03 (10.74 adet), bazı mutant hatlardan (T25-1-10, T25-2-3, T25-2-14, T25-2-15, T25-3-14, T50-1-27, T50-1-35, T75-2-29, T100-2-24) daha düşük baklada tane sayısı değerlerine sahip olmuştur. Bu durum, baklada tane sayısının mutasyona duyarlı bir özellik olduğunu ve uygun dozlarda uygulanan gama ışınının baklada tane sayısını artırabileceğini göstermektedir (Çizelge 2).

Maş fasulyesinde mutagen uygulaması üzerine kapsamlı araştırmalar bulunmakla birlikte, mutagen uygulamalarının kesin etkilerine ilişkin bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Birçok araştırma da mutagen uygulaması sonucu baklada tane sayısının arttığını (Singh vd., 2001; Khan & Goyal, 2009; Usharani & Kumar, 2015), diğer çalışmalar da ise mutagen çeşidine, dozuna ve genotipe bağlı olarak baklada tane sayısının değiştiğini, hatta olumsuz yönde etkileri bulunduğunu tespit etmişlerdir (Virupakshappa vd., 1980; Tickoo & Chandra, 1999). Nitekim, Sarkar & Kundagrami (2018), maş fasulyesine farklı dozlarda gama radyasyonu (0, 10, 20, 30 kR) uyguladıkları çalışmada, baklada tane sayısını M2 generasyonunda 8.02-10.90 adet, M3 generasyonunda 9.40-13.70 adet, M4 generasyonunda ise 9.76-12.92 adet olduğunu belirlemişlerdir. Arulbalachandran vd. (2009) ise, maş fasulyesine farklı dozlarda gama ışınları uyguladıkları çalışmada, M3 generasyonunda en yüksek baklada tane sayısını (9.63 adet) 60 kR dozunda belirlemişlerdir.

Maş fasulyesinin bakla tane sayısı üzerine, genetik ve çevresel faktörler de önemli ölçüde etkili olmaktadır. Bu değişkenlik, verim ve diğer agronomik özellikleri iyileştirmeyi amaçlayan ıslah programları için oldukça önemlidir. Genetik faktörler ağırlıklı olarak baklada tohum sayısını etkilerken, çevresel koşullar ve bunların genotiplerle etkileşimleri de önemli bir rol oynamaktadır

(Samyuktha vd., 2020). Maş fasulyesinin baklada tane sayısını Pekşen vd. (2015), 9.55-12.58 adet, Amir Sohail vd. (2016), 9.3- 12.0 adet; Khan vd. (2017), 9.3-12.0 adet, Karaman (2019), birinci yıl 8.39-17.02 adet, ikinci yıl 11.37-16.74 adet arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Farklı çalışmalar da çevre koşulları, uygulanan mutagen tipi ve dozlarının baklada tane sayısı üzerine etkili olabileceğini göstermektedir. Bu araştırmadan elde edilen bulgular literatürle uyumlu olup, gama ışını uygulaması sonucunda seçilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi hatlarında baklada tane sayısının artış gösterdiğini ve genetik varyasyonun oluştuğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Bitki tane verimi

M3 generasyonunda bitki tane verimi 13.55-21.18 g arasında değişmiş, en yüksek değer T25-1-1 hattında, en düşük değer ise T100-3-1 hattında saptanmıştır. T100-3-1 hattı dışındaki diğer bütün hatlar, kontrol genotipine (15.68 g) göre bitki tane verimi daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hatların bitki tane verimi ortalaması 18.42 g olduğu belirlenmiş ve Partow çeşidinin bitki tane verimi (18.56 g) değerlerinden daha düşük kaldığı saptanmıştır. Diğer taraftan T25-1-1 (21.18 g), T25-2-4 (20.42 g), T25-3-10 (20.61 g), T25-2-1 (19.81 g), T75-3-1 (19.89 g) ve T100-2-24 (19.90 g) hatları hem kontrol genotipinden hem de Partow çeşidinden yüksek bitki tane verimine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Mutant hatlar arasında bazılarının M3 generasyonunda yüksek bitki tane verimine sahip olması, gama ışını uygulamasının verim bileşenleri üzerinde olumlu ve kalıcı etkiler oluşturabildiğinin bir göstergesi niteliğindedir. Bu hatların yüksek bitki tane verimi değerleri, aynı zamanda bitkide bakla sayısı ve bitkide tane sayısı gibi diğer verim özelliklerinde gözlenen artışlarla paralellik göstermekte olup, verim bileşenleri arasındaki olumlu korelasyonun bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Mutasyon ıslah çalışmalarında tane veriminin artması, elde edilen mutant hatların ıslah programlarında değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Literatürlerde gama ışınları ve kimyasal mutagenlerin verim bileşenleri üzerinde olumlu varyasyon oluşturabileceği bildirilmektedir (Wongpiyasatid vd., 2000; Khan & Goyal, 2009; Wani vd., 2011; Rahevar vd., 2024). Sarkar & Kundagrami (2018), maş fasulyesine üç farklı gama dozu uyguladıkları çalışmada, M5 generasyonunda değerlendirilen hatlar arasında bitki başına 25 g'ın üzerinde tane verimi sağlayan toplam 20 mutant belirlemişlerdir. Bu mutantlar arasında özellikle bitki başına 30 g'ın üzerinde tane verimi gösteren 6 hat, üstün performans sergileyen genotipler olduğu bildirmiştir. Wani (2025) ise, maş fasulyesine etil metan sülfonat ve hidrazin hidrat mutagenleri uyguladığı çalışmasında, M3 generasyonunda mutant hatların bitki tane veriminin (16.14-17.49 g) kontrole (9.52 g) göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Maş fasulyesinde bitki tane verimi, genetik yapı, çevresel koşullar ve tarımsal uygulamalar dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (Karaman & Kaya, 2020; Karaman & Türkey, 2024; Sánchez-Hernández vd., 2024). Çalışmada elde edilen bulguların diğer çalışmalar ile benzerlik ve farklılıkların, uygulanan mutagen dozlarının varyasyon oluşturma kapasitesinden veya generasyonlar arasındaki çevresel koşulların verim bileşenleri üzerindeki etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.6. Tane verimi

Fiziksel mutagen uygulamalarıyla elde edilen M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin tane verimi 171.00-255.10 kg da⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Tane verimi en yüksek T25-2-14 (255.10 kg da⁻¹) hattında belirlenirken, T25-2-14 hattı ile T25-1-10 (243.39 kg da⁻¹) hattı istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük tane verimi ise T25-3-14 (171.10 kg da⁻¹) hattında belirlenmiştir. Hatların genel ortalaması 210.26 kg da⁻¹ olarak belirlenmiş olup, bu değer kontrol genotipinin (214.51 kg da⁻¹) tane veriminden düşük, Partow çeşidinin (208.74 kg da⁻¹) tane verimine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kontrol genotipine ve Partow çeşidine göre, T25-2-14, T25-1-10 ve T75-3-1 hatlarının tane verimi daha yüksek olmuştur. Bu hatlarda, tane veriminin yanı sıra bitkideki tane sayısı ve bakla sayısının da yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Maş fasulyesi tarımında tane verimini arttırmak birçok ıslahçının ana hedeflerinden birisidir. Maş fasulyesi, sınırlı bir genetik çeşitliliğe sahip olduğundan, geleneksel ıslah yöntemleriyle üstün genotiplerin geliştirilmesini güçleştiren dar bir genetik tabanı bulunmaktadır (Türkey vd., 2025). Mutagen uygulamalarının, maş fasulyesinde genetik varyasyonu artırarak verimle ilişkili özelliklerde iyileşme sağlaması sonucunda tane verimini önemli ölçüde etkilediği ortaya konmuştur. Çeşitli çalışmalar da hem kimyasal hem de fiziksel mutagenlerin, bakla sayısı, bitki tane verimi gibi özellikleri değiştirerek artan verime yol açabileceğini tespit edilmiştir (Khan & Wani, 2006; Khan & Goyal, 2009; Rahevar vd., 2024; Suresh vd., 2025).

Wongpiyasatid vd. (2000), iki maş fasulyesi çeşidine (KPS1 ve CN36) 500 gray dozunda gama ışını ve %1 dozunda etil metan sülfonat uyguladıkları çalışmada, yüksek verime sahip hatları kontrol çeşitleriyle farklı lokasyonlarda iki yıl süresince karşılaştırmışlardır. Birinci

yıl mutant hatların tane verimi 1518.75 ve 1431.25 kg ha⁻¹, ikinci yılda ise 1500 ve 1450 kg ha⁻¹ aralığında değişen değerler alınırken, standart çeşitlerden (birinci yıl: 1331.25, 1425 kg ha⁻¹; ikinci yıl: 1418.75, 1450 kg ha⁻¹) daha düşük değerler elde etmiştir. Ngampongsai vd. (2009), maş fasulyesi çeşitlerine gama ışıması (500 gray) ile etil metan sülfonat (%1) uyguladıkları çalışma sonucunda, kontrol çeşitlerine göre üç mutant hattın %2-11 arasında değişen daha yüksek tane verimine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Maş fasulyesinde tane veriminin kalıtımında eklemeli etkiye sahip birçok gen etkili olduğu için düşük kalıtım derecesine sahiptir (Zaid vd., 2012; Ahmad vd., 2014; Azam vd., 2018). Bu nedenle tane verimi, iklim, toprak ve genetik faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. İncelenen literatür çalışmalarına göre, maş fasulyesinin birim alan tane verimini Çancı & Toker (2005), 33.3-3916.6 kg ha⁻¹, Karaman (2019), 56.82-321.89 kg da⁻¹, Baraki vd. (2020), 11733.59-2536.47 kg ha⁻¹, Gül (2019), 21.35-54.00 kg da⁻¹ olarak tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada M3 generasyonunda elde edilen mutant hatların önemli bir kısmı, kontrol genotipi ve tescilli çeşide kıyasla daha yüksek tane verimi ortaya koymuştur (Çizelge 3). Ayrıca, araştırmada yüksek tane verimine sahip bazı mutant hatların, incelenen bazı verim öğeleri bakımından düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, tane veriminin yalnızca tek tek verim komponentlerinin yüksek olmasına bağlı olmadığını, verim öğeleri arasındaki denge ve etkileşim sonucunda şekillendiğini göstermektedir. Bu nedenle bazı verim öğelerinde düşük değerler gözlenmesine rağmen, verim komponentlerinin birlikte ve dengeli çalışması sonucunda toplam tane veriminin yüksek gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Ayrıca gama ışını uygulamaları sonucu oluşan mutasyonların, agronomik karakterlerde farklı yönlü değişimlere neden olarak verim oluşum mekanizmasını etkileyebileceği değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, literatürde mutagen uygulamalarının uygun doz aralıklarında verim artışına neden olduğu bildirilmektedir. M3 generasyonunda elde edilen verim değerlerinin literatürde rapor edilen sonuçlardan farklılık göstermesinin, başlangıç genotiplerinin genetik yapısı, uygulanan mutagen tipi ve dozu ile çevresel faktörlerden (yağış, toprak özellikleri) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3. Maş fasulyesi mutant hatlarının (M3) bitki tane verimi, tane verimi, bin tane ağırlığına ait ortalamalar
Table 3. Means for plant seed yield, grain yield, and thousand seed weight of M3 mutant lines of mung bean

Genotipler	Bitki Tane Verimi (g)	Tane Verimi (kg da ⁻¹)	Bin Tane Ağırlığı (g)
T25-1-1	21.18 a ¹	203.96 d-f	68.28 a
T25-1-10	16.35 f	243.39 ab	57.00 d
T25-2-1	19.81 c	223.29 c	58.75 cd
T25-2-3	16.74 f	222.59 c	60.42 c
T25-2-4	20.42 bc	202.44 d-f	64.73 b
T25-2-14	16.41 f	255.10 a	66.48 ab

T25-2-15	19.16 d	213.18 c-e	65.68 b
T25-3-10	20.61 ab	189.65 fg	64.31 b
T25-3-14	18.57 d	171.00 h	60.50 c
T50-1-27	18.56 d	176.89 gh	58.74 cd
T50-1-35	17.67 e	217.43 cd	54.21 e
T75-2-29	17.54 e	198.81 ef	64.67 b
T75-3-1	19.89 c	239.81 b	66.61 ab
T100-2-24	19.90 c	220.40 c	60.13 c
T100-3-1	13.55 h	175.95 gh	64.57 b
Hatların ort.	18.42	210.26	62.34
Partow	18.56 d	208.74 c-e	65.50 b
07 G 03	15.68 g	214.51 cd	58.50 cd
F Değeri	99.37 **	24.62 **	27.67**
CV(%)	1.97	3.93	2.13

** : P<0.01; CV: Varyasyon katsayısı; ¹: Aynı sütunda aynı harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli değildir.

3.6. Bin tane ağırlığı

Bin tane ağırlığı, yemeklik baklagillerde hem tane verimini hem de besin kompozisyonunu etkileyen bir özelliktir. Ayrıca, verim ve kalite özelliklerini iyileştirmeyi amaçlayan ıslah programları için gerekli olan tohum iriliğinin bir göstergesidir. Bu bağlamda M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotiplerinin bin tane ağırlığı 54.21-68.28 g arasında değişim göstermiş, hatların genel ortalaması ise 62.34 g olarak tespit edilmiştir. Bin tane ağırlığı en yüksek T25-1-1 hattında, en düşük ise T50-1-35 hattında belirlenmiştir. En yüksek bin tane ağırlığına sahip olan T25-1-1 hattı ile T75-3-1 (66.61 g) ve T25-2-14 (66.48 g) hatları arasında istatistiksel olarak fark belirlenmemiştir. Ayrıca T25-1-1, T75-3-1, T25-2-14, T25-2-15, T25-3-10, T100-3-1 ve T75-2-29 hatlarının bin tane ağırlığı kontrol genotipinden (58.50 g) istatistiksel olarak daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Bin tane ağırlığı, özellikle yemeklik baklagil türlerinde hem fiziksel kaliteyi hem de pazar değerini belirleyen temel özelliklerden birisidir. Daha iri ve ağır tanelere sahip genotipler, tüketici tercihleri ve ticari sınıflandırmalar açısından avantaj sağlamaktadır (Karaman, 2019). Nitekim çalışmada, genel olarak M3 generasyonunda kontrol ve tescilli çeşidin üzerinde bin tane sayısına sahip hatların bulunması, gama ışını uygulamasının baklada tane sayısı üzerine etkili olduğu ve seleksiyonla getirilen hatların başarıyla seçildiği göstermektedir (Çizelge 3).

Maş fasulyesinde bin tane ağırlığının yüksek kalıtım derecesi sahip olması nedeniyle bu yönde yapılacak seleksiyonlarda yüksek verimli çeşitlerin geliştirilmesine dolaylı etki yapacaktır (Hapsari & Iswanto, 2018). Tah (2006), iki farklı maş fasulyesi çeşidine (K851 ve Sona) farklı dozlarda (10, 20, 30 ve 40 kR) gama ışını uyguladıkları çalışmada, M2 generasyonunda gama dozlarının artmasıyla bin tane ağırlığının da arttığını tespit etmiştir. Khan & Wani (2006), PDM-11 maş fasulyesine farklı dozlarda etil metan sülfonat ve sodyum azite tabi tuttıkları çalışma sonucunda, M2 generasyonunda mutagen uygulamalarının bin tane ağırlığı artırdığını ve en yüksek bin tane ağırlığını %0.1 etil metan sülfonat dozunda

(40.03 g) belirlemişlerdir. Wani vd. (2017), NM-1 maş fasulyesine farklı mutagenler uygulaması sonucunda, M3 generasyonunda kontrol çeşidinin bin tane tane ağırlığını 62.5 g, mutant hatların 61.50-71.70 g arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Maş fasulyesinin bin tane ağırlığı, genotiplere ve ekolojik koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Kaya vd. (2017), maş fasulyesi çeşidine (Partow) farklı çinko uygulama (%0.04, %0.05 ve %0.06 Zn) yöntemleri uygulaması sonucunda, bin tane ağırlığının kontrole göre arttığını tespit etmişlerdir. Karaman (2019), Isparta koşullarında maş fasulyesi çeşit ve genotiplerini iki yıl süreyle karşılaştırdığı çalışmada, birinci yıl bin tane ağırlığını 18.56-51.70 g, ikinci yıl ise 20.86-75.59 g arasında değiştiğini bildirmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, gama ışını uygulaması ile oluşturulan M3 generasyonundaki maş fasulyesi genotipleri bazı agronomik özellikler bakımından değerlendirilmiştir. İncelenen tüm özellikler açısından M3 generasyonundaki hat ve genotipler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir. Gama ışını uygulaması ile elde edilen mutant hatlar, kontrol genotipi (07 G 03) ve standart çeşit Partow ile karşılaştırıldığında birçok özellik bakımından daha geniş bir varyasyon sergilemiştir. Tüm özellikler birlikte değerlendirildiğinde, özellikle T25-2-14, T25-1-10 ve T75-3-1 mutant hatları yüksek tane verimi yönünden öne çıkmıştır. Bu hatlar, tane verimi yönünden kontrol genotipi (07 G 03) ile karşılaştırıldığında sırasıyla %18.93, %13.46 ve %11.79 oranında daha yüksek verim sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, gama ışını uygulamasının maş fasulyesinde M3 generasyonunda geniş bir genetik varyasyon oluşturduğunu ve seçilen bazı mutant hatların ıslah programlarında kullanılmak üzere umut verici bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Cengiz TÜRKAY' ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Çalışmaya katkılarından dolayı Doç. Dr. Ruziye KARAMAN'a teşekkür ederiz. Bu tez çalışmasına 2024-YL1-0239 no'lu proje ile destek sağlayan Isparta

Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

6. Kaynaklar

- Ahmad, H. B., Rauf, S., Rafiq, M., Mohsin, A. U., Shahbaz, U., & Sajjad, M. (2014). Genetic variability for yield contributing traits in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 2(2), 52-54.
- Akgün, İ., Karaman, R., & Türkay, C. (2022). İki ve altı sıralı arpa (*Hordeum vulgare* conv. *distichon* ve *Hordeum vulgare* conv. *hexastichon*) çeşitlerinde kolçisin uygulamasının meydana getirdiği varyasyonlar. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 1-15. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1107397>
- Amir Sohail, A. S., Rozina Gul, R. G., Fakharuddin, F., Sheraz Ahmed, S. A., & Qamaruddin, Q. (2016). Genetic variability and trait association for morphological and yield parameters of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Pure and Applied Biology*, 5(3), 622-631.
- Arulbalachandran, D., Mullainathan, L., & Velu, S. (2009). Genetic variation in quantitative traits of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) induced by gamma rays treatment in M3 generation. *Journal of Phytology*, 1(5), 308-312.
- Asaduzzaman, M. D., Karim, M. F., Ullah, M. J., & Hasanuzzaman, M. (2008). Response of mungbean (*Vigna radiata* L.) to nitrogen and irrigation management. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1), 40-43
- Auti, S. G. (2012). Induced morphological and quantitative mutations in mungbean. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 6(1), 27-39.
- Azam, M. G., Hossain, M. A., Alam, M. S., Rahman, K. S., & Hossain, M. (2018). Genetic variability, heritability and correlation path analysis in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 43(3), 407-416. <https://doi.org/10.3329/bjar.v43i3.38389>
- Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., & Zibelo, H. (2020). Genotype x environment interaction and yield stability analysis of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) genotypes in Northern Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1729581. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1729581>
- Bisht, I. S., & Singh, M. (2013). Asian *Vigna*. In *Genetic and Genomic Resources of Grain Legume Improvement*. (pp. 237-267)
- Çancı, H., & Toker, C. (2005). *The broad-sense heritability for yield and yield components in mung bean [Vigna radiata (L.) Wilczek]*. GAP IV. Agriculture Congress. 21-13 Eylül, Şanlıurfa, 21-23.
- Dewanjee, S., & Sarkar, K. K. (2018). Evaluation of performance of induced mutants in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Legume Research-An International Journal*, 41(2), 213-217. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.9098>
- Dhole, V. J., & Reddy, K. S. (2018). Genetic analysis and variability studies in mutants induced through electron beam and gamma rays in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9(1), 304-312. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00035.2>
- Gül, E. (2019). *Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Sıklıklarının Bazı Maş Fasulyesi (Vigna radiata (L.) Wilczek) Çeşitlerinde Verim ve Verim ile İlgili Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Hapsari, R. T., & Iswanto, R. (2018). Diversity of local Indonesian mungbean germplasm based on morphological quantitative and qualitative traits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 197(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/197/1/012036>
- Hemavathy, A. T., Shunmugavalli, N., & Anand, G. (2015). Genetic variability, correlation and path co-efficient studies on yield and its components in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Legume Research-An International Journal*, 38(4), 442-446. <https://doi.org/10.5958/0976-0571.2015.00050.8>
- Kalim, A., Zaheer, M., Siddiqui, M. U. A., Ahmed, S., & Hassan, M. M. (2021). Nutritional value, ethnomedicine, phytochemistry and pharmacology of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(2), 54-58. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i2a.13821>
- Karakoca, T. A., & Akgün, İ. (2020). Farklı gama radyasyon dozu uygulamalarının M2 generasyonunda bazı tarımsal özellikler üzerine mutagenik etkilerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 96-104. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.580095>
- Karaman, R. (2019). *Maş Fasulyesi (Vigna radiata Wilczek) Genotiplerinin/Yerel Populasyonlarının Isparta Koşullarında Fenolojik, Morfolojik, Agronomik ve Bazı Teknolojik Özellikler Yönünden Karakterizasyonu*. (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Karaman, R., & Kaya, M. (2020). Maş fasulyesi [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotiplerinin Isparta koşullarında fenolojik özellikler yönünden karakterizasyonu. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(11), 2307-2312. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i11.2307-2312.3232>
- Karaman, R., & Turkay, C. (2024). Agronomic and quality properties and mineral contents of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes grown at different altitudes. *Pakistan Journal of Botany*, 56(2), 523-530. [http://doi.org/10.30848/PJB2024-2\(2\)](http://doi.org/10.30848/PJB2024-2(2))
- Kaya, M., Karaman, R., & Şener, A. (2017). Influence of different zinc application methods on yield and mineral composition of grains in mungbeans (*Vigna radiata* Wilczek). *International Journal of Agriculture & Biology*, 19(4), 805-811. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0360>
- Khajudparn, P., & Tantasawat, P. (2011). Relationships and variability of agronomic and physiological characters in mungbean. *African Journal of Biotechnology*, 10(49), 9992-10000. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1288>
- Khan, F. U., Khan, M., Hassan, M., & Gul, R. (2017). Genotypic differences among mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes for yield and associated traits. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(2), 47-50. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20170302.13>
- Khan, S., & Goyal, S. (2009). Improvement of mungbean varieties through induced mutations. *African Journal of Plant Science*, 3(8), 174-180.
- Khan, S., & Wani, M. R. (2006). Induced mutations for yield contributing traits in green gram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(4), 528-530.
- Kharkwal, M. C. (2023). Role of mutation breeding in crop improvement with special reference to Indian subcontinent. In *Mutation Breeding for Sustainable Food Production and Climate Resilience*. (pp. 355-428)
- Kim, D. S., Lee, I. S., Jang, C. S., Lee, S. J., Song, H. S., Lee, Y. I., & Seo, Y. W. (2004). AEC resistant rice mutants induced by gamma-ray irradiation may include both elevated lysine production and increased activity of stress related enzymes. *Plant Science*, 167(2), 305-316.
- Kumar, A., Sharma, N. K., Kumar, R., Sanadya, S. K., & Sahoo, S. (2024). Correlation and path analysis studies in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] under arid environment of Western Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58, 1003-1010. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-6195>
- Kumar, R., & Sharma, N. K. (2024). Influence of gamma radiation and EMS on chlorophyll and macro-mutation in mungbean (*Vigna radiata*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 94(5), 501-506. <https://doi.org/10.56093/ijas.v94i5.136543>
- Kuzbakova, M., Khassanova, G., Oshergina, I., Ten, E., Jatayev, S., Yezhebayeva, R., & Shavrukov, Y. (2022). Height to first pod: A review of genetic and breeding approaches to improve combine harvesting in legume crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.948099>
- Majhi, P. K., Mogali, S. C., & Abhisheka, L. S. (2020). Enhancement of genetic variability for yield and component traits through recombination followed by induced mutagenesis in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Current Journal of applied science and Technology*, 39(25), 38-48.
- Makeen, K., Abraham, G., Jan, A., & Singh, A. K. (2007). Genetic variability and correlations studies on yield and its components in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Agronomy*, 6(1), 216-218.

- Mehandi, S., Singh, C. M., & Kushwaha, V. K. (2013). Estimates of genetic variability and heritability for yield and yield component traits in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *The Bioscan*, 8(4), 1481-1484.
- Mohan N. G., Abhirami, P., & Venkatachalapathy, N. (2020). Mung bean. In *Pulses: Processing and Product Development*. (pp. 213-228)
- Mondal, M. M. A., & Sen, A. (2024). Relationships between flowering behavior and seed yield in mungbean mutants. *Bangladesh Journal of Nuclear Agriculture*, 38(1), 111-117. <https://doi.org/10.3329/bjnag.v38i1.76573>
- Nair, R., & Schreinemachers, P. (2020). Global status and economic importance of mungbean. In *The Mungbean Genome*. (pp. 1-8)
- Narale, S. B., Gore, V. B., Ambhure, S., Kumar, A., Thombre, P. R., Suryawanshi, A. M., & Palghadmal, R. (2024). Antinutrients in mungbean and strategy for reduction: an overview. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 16(9), 275-289. <https://doi.org/10.9734/ejnf/2024/v16i91546>
- Ngampongsai, S., Watanasit, A., Srisombun, S., Srinives, P., & Masari, A. (2009). Current status of mungbean and the use of mutation breeding in Thailand. In *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. (pp. 355-357)
- Ong, P. W., Lin, Y. P., Chen, H. W., Lo, C. Y., Burlayaeva, M., Noble, T., & Lee, C. R. (2023). Environment as a limiting factor of the historical global spread of mungbean. *Elife*, 12, e85725. <https://doi.org/10.7554/eLife.85725>
- Pekşen, E., Toker, C., Ceylan, F., Aziz, T., & Farooq, M. (2015). Determination of promising high yielded mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) genotypes under Middle Black Sea Region of Turkey. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(2), 169-175. <https://doi.org/10.7161/anajas.2015.30.2.169-175>
- Penas, E., Gomez, R., Frias, J., & Vidal-Valvered, C. (2010). Effect of combined treatments of high pressure, temperature and antimicrobial products on germination of mung bean seeds and microbial quality of sprouts. *Food Control*, 21(1), 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.04.008>
- Perera, U. I. P., Chandika, K. K. J., & Ratnasekera, D. (2017). Genetic variation, character association and evaluation of mungbean genotypes for agronomic and yield components. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 45(4), 347-353. <https://doi.org/10.4038/jnsfsv45i4.8228>
- Rahevar, P. M., Chauhan, R. M., Patel, P. T., Patel, M. P., Bhadauria, H. S., Solanki, S. D., & Viradiya, Y. A. (2024). Exploring population genetics for mutant mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] lines: Insights from augmented block design. *Agronomy Journal*, 116(5), 2435-2445. <https://doi.org/10.1002/agj2.21637>
- Roslim, D. I., & Fiatin, I. S. R. O. (2015). Lethal dose 50 (LD 50) of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) cultivar kampar. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 47(4), 510-516.
- Sağel, Z., Tutluer, M. İ., & Peşkirioğlu, H. (1994). Bitki ıslahında mutasyonlar. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 3(1-2), 95-112.
- Samyuktha, S. M., Malarvizhi, D., Karthikeyan, A., Dhasarathan, M., Hemavathy, A. T., Vanniarajan, C., & Senthil, N. (2020). Delineation of genotype × environment interaction for identification of stable genotypes to grain yield in mungbean. *Frontiers in Agronomy*, 2, 577911.
- Sánchez-Hernández, M. Á., Morales-Terán, G., García-Pérez, F., Villanueva-Sánchez, E., & Sánchez-Hernández, C. (2024). Grain yield of *Vigna radiata* L. At different plant densities in humid tropics. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(3), 243-251. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.3.243>
- Sarkar, K. K., Maji, A., & Roy, S. S. (2009). Performance of some elite mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] mutant families in M7 generation. *Journal of Crop and Weed*, 5(1), 174-177.
- Sarkar, M., & Kundagrami, S. (2018). Selection of high yielding, extra short duration lines of mungbean derived through gamma radiation. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 78(02), 233-241.
- Sarsu, F., Bimpong, I. K., & Jankuloski, L. (2020). Contribution of induced mutation in crops to global food security. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(3), 2-11. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i3.2031>
- SAS (1999). INC SAS/STAT User's Guide Release 7.0, Cary, NC, USA.
- Singh, G., Sareen, P. K., Saharan, R. P., & Singh, A. (2001). Induced variability in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Indian Journal of Genetics*, 61, 281-282.
- Singh, G., Virk, H. K., Aggarwal, N., Khanna, V., & Gill, K. K. (2018). Growth environment effect on phenology, agroclimatic indices, symbiotic parameters and yield of kharif mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes. *Journal of Food Legumes*, 31(4), 205-208.
- Sohail, A., Gul, R., & Ahmed, S. (2016). Genetic variability and trait association for morphological and yield parameters of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Pure and Applied Biology*, 5(3), 622.
- Suresh, S., Malathi, D., Arulselvi, S., Dhole, V., & Jebaraj, S. (2025). Induced morphological mutants and mutagenic efficiency of gamma-irradiated mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) M2 populations. *Plant Science Today*, 12(3), 1-9. <https://doi.org/10.14719/pst.2025.12.3>
- Svetleva, L. (2005). Effect of ethyl methanesulfonate (EMS) and N-nitroso-N-ethyl Urea (ENU) on callus growth of common bean. *Journal of Central European Agriculture*, 6(1), 59-64. <https://doi.org/10.5513/jcea.v6i1.247>
- Tabasum, A., Saleem, M., & Aziz, I. (2010). Genetic variability, trait association and path analysis of yield and yield components in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Pakistan Journal of Botany*, 42(6), 3915-3924.
- Tah, P. R. (2006). Studies on gamma ray induced mutations in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(1), 61-70.
- Tickoo, J. L., & Chandra, N. (1999). Mutagen induced polygenic variability in mungbean (*Vigna radiata* Wilczek L.). *Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 59(2), 193-201.
- Türkay, C., Akgün, L., & Karaman, R. (2025). Maş fasulyesinde mutasyon ıslahının önemi ve uygulamaları. In *Tarımsal Araştırmalar II*. (pp. 59-83). <https://doi.org/10.37609/akya.3807>
- Usharani, K. S., & Kumar, C. A. (2015). Mutagenic effects of gamma rays and EMS on frequency and spectrum of chlorophyll mutations in urdbean (*Vigna mungo* (L.) Hepper). *Indian Journal of Science and Technology*, 8(10), 927. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i10/54201>
- Virupakshappa, K., Hiremath, S. R., Shivashankar, G., & Chikkadevaiah, C. (1980). Note on correlations in different segregating generations of cowpea. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 50(12), 979-981.
- Wani, M. R. (2025). Genetic variability for seed yield and its related traits in M3 mutants of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Tropical Agriculture*, 63(1&II), 36-42.
- Wani, M. R., Dar, A. R., Tak, A., Amin, I., Shah, N. H., Rehman, R., & Khan, S. (2017). Chemo-induced pod and seed mutants in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2), 57-67. <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35161>
- Wani, M. R., Khan, S., & Kozgar, M. I. (2011). An assessment of high yielding M3 mutants of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Romanian Journal of Biology*, 56(1), 29-36.
- Wi, S. G., Chung, B. Y., Kim, J. H., Baek, M. H., Yang, D. H., Lee, J. W., & Kim, J. S. (2005). Ultrastructural changes of cell organelles in *Arabidopsis* stems after gamma irradiation. *Journal of Plant Biology*, 48(2), 195-200.
- Wongpiyasatid, A., Chotechuen, S., Hormchan, P., Ngampongsai, S., & Promcham, W. (2000). Induced mutations in mungbean breeding: regional yield trial of mungbean mutant lines. *Agriculture and Natural Resources*, 34(4), 443-449.
- Zafar, S. H., Umair, M., & Akhtar, M. (2023). Nutritional evaluation, proximate and chemical composition of mungbean varieties/cultivars pertaining to food quality characterization. *Food Chemistry Advances*, 2, 100160. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100160>
- Zaid, I. U., Khalil, I. H., & Khan, S. (2012). Genetic variability and correlation analysis for yield components in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Journal of Agriculture and Biology Science*, 7(11), 1990-1997.
- Zuge Sopan, S., & Sao, T. N. A. A., (2019). Genetic variability of yield and yield related traits in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes. *Agricultural Research Journal*, 56(1), 163-165. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2019.00024.3>