

Çin Karanfile (*Dianthus chinensis* L.) İçin Mutasyon İslahı Çalışmasına Yönelik Etkili Mutasyon Dozunun Belirlenmesi

Determination of Effective Mutation Dose for Mutation Breeding Study in China Pink (*Dianthus chinensis* L.)

 Irmak ÇAKIN^{1,*},  Kadriye Yaprak KANTOĞLU¹,  Burak KUNTER¹
 Aslıhan GÖKTUĞ¹

Özet

Karanfil süs bitkileri içinde mutasyon ıslahına en yatkın olan türlerden bir tanesidir. Bu çalışmada ticari öneme sahip Çin karanfile çeşidinde (*Dianthus chinensis* L.) yeni çeşit geliştirilmesine yönelik olarak yürütülmesi planlanan mutasyon ıslahı çalışması için çeşide özgü etkili mutasyon dozunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Etkili Mutasyon Dozunun (EMD₅₀) belirlenmesinde fiziksel mutagen olarak (Sezyum 137) Cs¹³⁷ gamma kaynağı kullanılmıştır. Karanfil tohumlarına 0, 50, 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 Gy olmak üzere yedi farklı dozda ışınlama yapılmıştır. Her doz için otuz adet tohum ekilmiş olup, bu tohumların ışınlamadan 30 gün sonraki bitki gelişimleri gözlenmiştir. Işınlamanın ardından otuzuncu günde elde edilen bitkilerde sürgün gelişimine yönelik ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen ortalama veriler ile lineer regresyon analizi gerçekleştirilerek EMD₅₀ belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda 172.16 Gy'lik doz EMD₅₀ değeri olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Dianthus chinensis* L., EMD₅₀, gama ışını, mutasyon ıslahı, Cs¹³⁷

Abstract

Carnations are one of the species most amenable to mutation breeding among ornamental plants. In this study, it is aimed to determine the effective mutation dose specific to the variety for the mutation breeding study planned to develop new varieties in the commercially important China Pink variety (*Dianthus chinensis* L.). A Cesium 137 (¹³⁷Cs) gamma source was used as a physical mutagen to determine the effective mutation dose (EMD₅₀). Carnation seeds were irradiated at seven different doses (0, 50, 100, 200, 300, 400, 500, and 600 Gy). Thirty seeds were sown for each dose, and the plant developments were observed 30 days after irradiation. Measurements were taken for shoot development in the plants obtained on the thirtieth day after irradiation. EMD₅₀ was determined by performing a linear regression analysis with the average data obtained from these measurements. The analysis results showed that a dose of 172.16 Gy was determined as the EMD₅₀ value.

Keywords: *Dianthus chinensis* L., EMD₅₀, gamma ray, mutation breeding, ¹³⁷Cs

1. Giriş

Çin karanfili (*Dianthus chinensis*), Caryophyllaceae ailesinde yaklaşık 2100 tür içeren geniş bir ailenin, 300 kadar türü bulunan *Dianthus* cinsinde yer almaktadır. Tür, güzel çiçekleri ve çeşitli çiçek formları nedeniyle yaygın olarak üretilen dünya çapında en önemli süs bitkilerinden biri olup çok yıllık otsu bir süs bitkisidir (Yagi ve ark., 2014). Türkiye'de "Çin karanfili" olarak bilinen bu bitki, Asya kökenli olup ılıman iklimlerde iyi gelişmektedir. Kesme çiçek ve saksı bitkisi olarak kullanılabilen tür bahçelerde ve park alanlarında da dekoratif etkisi olan önemli bir süs bitkisidir (Sreelekshmi ve ark., 2019). Çin karanfili sadece bir süs bitkisi değil aynı zamanda içerdiği flavonoidler ve antioksidantlar bakımından oldukça zengin bir bitki olup tıbbi bitkiler içinde değerlendirilmektedir (Sreelekshmi ve ark., 2021). Karanfiller; border, tek yıllık ve sürekli çiçeklenen çok yıllık olarak üç farklı şekilde gruplandırılmaktadır. *D.chinensis* sürekli çiçek açan çok yıllık karanfiller grubunda yer almaktadır. Bu grupta *D. caryophyllus* ve *D. chinensis* melezleri de yer almaktadır. Bu melezler ilk olarak 1850'lerde Avrupa'da ortaya çıkmıştır. "Sim" formu olarak adlandırılan ve ticari olarak oldukça tercih edilen kesme çiçek formundadır. Bu karanfiller kalın saplı, uzun gövdeli, bol çiçekli ve kokusuz bir yapıya sahiptirler (Okamura ve Hase 2020; Panwar ve ark., 2022). Ticari önemi nedeni ile günümüzde büyük ölçekli üretim için uzun bir süredir mikroçoğaltım amaçlı doku kültürü yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla nod, sürgün ucu veya yaprak eksplantlarına yönelik olarak *in vitro* çoğaltma ve rejenerasyon protokolleri geliştirilmiştir (Kantia ve Kothari 2002; Sreelekshmi ve Siril 2019).

Karanfiller genellikle diploid ($2n = 30$) bitkilerdir. Ticari amaçlarla triploid karanfil üretimi denenmiş olup sonucunda kromozom sayısının tutarlı olmamasından yani anöploidi olmasından ötürü üretimi gerçekleştirilememiştir. Tetraploid ($4n=60$) karanfil çiçeğinin diploid ($2n=30$) çiçeklere göre boyutunun daha büyük olduğu ancak çiçek veriminin azaldığı tespit edilmiştir (Kaya ve ark., 2013). Yeni biyoteknolojik ıslah yöntemlerinin dışında klasik ıslah ve bu yöntem içinde yer alan mutasyon ıslahı tekniği halen önemini korumaktadır. Mutasyon uyarımı, doğal olarak bulunmayan veya evrim sırasında kaybolmuş istenilen özellikleri bitkilere kazandırarak ürün verimini önemli ölçüde artırır (Roychowdhury ve Tah 2011a, Çelik ve Atak 2017). Bu amaçla kimyasal veya fiziksel mutagenler kullanılarak, uyarılmış mutasyon yoluyla doğrudan veya dolaylı olarak birçok yeni mutant çeşit geliştirilmiştir (Chowdury ve ark., 2006). Özellikle kimyasal mutagenlerle (kolhisin, etil metansülfonat (EMS) ve maleik hidrazid) yapılan mutasyon ıslahı çalışmalarında meydana gelen gen mutasyonları sonucunda yeni mutant çeşitler elde edilerek varyabilitenin

zenginleştirilmesine mutasyon ıslahının katkısı ortaya konulmuştur (Chowdury ve ark., 2006; Roychowdhury ve Tah 2011c; Hamid ve ark., 2018; Yamaguchi 2018; Patil ve ark., 2019). Mutasyon ıslahı teknikleri ile klasik ıslah yöntemlerinden daha hızlı yeni çeşitlerin geliştirilmesi mümkündür. Bugün dünya çapında 3 400'den fazla mutant çeşidin geliştirildiği Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı Mutant Veri Tabanı (UAEA-MVD) incelendiği zaman görülmektedir (IAEA, 2024).

Süs bitkileri, çiçek renkleri ve şekilleri açısından zengin bir çeşitliliğe sahiptir ve mutasyon ıslahı geniş varyasyon oluşturmak üzere süs bitkileri içinde yer alan türler için önemli bir ıslah aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Mutasyon ıslahı, özellikle çiçek renklerinde kalıtsal değişiklikler oluşturmak ve genetik çeşitliliği artırmak için etkili bir yöntemdir (Patil ve ark., 2019). Özellikle kasımpatı (krizantem) (*Chrysanthemum* spp.), gül (*Rosa* spp.) ve karanfil (*Dianthus caryophyllus*) gibi türlerde bu yöntem çok etkili bir şekilde uygulanmaktadır (Yamaguchi, 2018). Günümüze kadar karanfil için UAEA-MVD'ye kayıtlı 28 adet mutant çeşit geliştirilmiştir (IAEA, 2024). *In vitro* ve *in vivo* mutagen uygulamaları ıslah çalışmalarının yürütüldüğü pek çok süs bitkisi türü gibi karanfil içinde alternatif varyasyonların yaratılmasında önemli olanakları beraberinde getiren uygun bir yöntemdir (Hamid ve ark., 2018; Yamaguchi 2018). Yapılan çalışmalar, doku kültürü ile entegre edilen iyoize radyasyon uygulamalarında, dünya çapında en yaygın kullanılan mutagen olan gama ışını ile yapılan ışınlamaların daha geniş bir çiçek fenotipi yelpazesi oluşturabileceğini göstermiştir (Chowdury ve ark., 2006; Deshmukh ve Malode 2018). Ancak son yıllarda hızlandırıcı teknolojilerinin devreye girmesi ile yapılan uygulamalar daha farklı varyasyonların yaratılmasına olanak tanımaktadır (Yamaguchi, 2018). Ayrıca, kronik gama ışını uygulamasının da akut uygulamalara göre geniş bir çiçek rengi varyasyonu oluşturma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Buiatti ve Ragazzini, 1965). Önemli bir bulgu da, asetillenmemiş tip antosiyaninin karanfilde metalik renklendirme yaratmada etkili bir rol oynadığının tespit edilmesidir. İyon ışını uygulaması ile metalik renklendirme çeşitliliği başarılmıştır (Okumura ve ark., 2013). Bu çalışmalar sayesinde, şimdiye kadar sekiz yeni karanfil çeşidi geliştirilmiş ve dünya çapında 8 ila 15 yıl boyunca ticarete konu olmuştur. Karanfilin göreceli olarak dar genetik geçmişine rağmen, araştırmalar iyon ışını uygulamaları ile çiçek yapısını kontrol eden anahtar belirleyicilerinin uyartımı ile yeni mutant çeşitlerin oluşturulabileceğini göstermiştir (Datta, 2023; Okamura ve Hase, 2020). Bu sonuçlar, mutasyon ıslahının karanfil ıslahında önemli bir rol oynadığını ve yeni, ilgi çekici çeşitlerin geliştirilmesine olanak sağladığını ortaya koymaktadır (Okamura ve ark., 2013). Mutasyon ıslahı, dar genetik havuza sahip otogam bitkiler için etkili bir yöntemdir.

Islahçıların değişkenlik yaratmak için tek seçeneği mutasyon ıslahıdır ve özellikle çiçek renkleri için kalıtsal değişiklikler üretmek için yöntem etkilidir (Melsen ve ark., 2021). Genetik varyasyon, bitki ıslahı programında tarımsal iyileştirme için esastır ve mutasyonların uyartımı, doğal genetik kaynakları artırmak için son derece gereklidir. Etkili ve verimli bir mutagen seçimi, istenen mutasyonların frekansını yükseltmek adına çok önemlidir (Roychowdhury ve Tah 2011a). Kimyasal veya fiziksel ajanlarla indüklenabilir mutasyon, daha istenilen çiçek özelliklerine ve daha yüksek verimliliğe sahip karanfil çeşitlerinin geliştirilmesini sağlayabilir. Bu amaçla, mutasyon ıslahı yoluyla çeşitlilik oluşturmak için uyartılmış mutasyon uygun bir kaynaktır ve bu yöntemle yüksek ekonomik değere sahip birçok mutant çeşit üretilebilir (Roychowdhury ve Tah 2011b). Ancak başarılı bir mutasyon ıslahı çalışması için ilk aşamada genotipin mutagen uygulamasına en iyi cevap verdiği etkili mutasyon dozunun belirlenmesi gerekmektedir. Doğru olarak belirlenen doz ile yapılan çalışmalarda elde edilen iyi yönlü mutasyon frekansı daha yüksek olmaktadır. Doğal koşullarda mutasyonların ortaya çıkış sıklığı 1:10 000 oranındadır ki uyartılmış mutasyon uygulaması ile bu oran 1:1000 olarak gerçekleşmektedir. Dolayısı ile gerek fiziksel gerek kimyasal mutagen kullanımında genotipe uygun olan doğru doz uygulaması etkili bir mutant varyasyonun elde edilmesinde önem taşımaktadır (van Harten, 1998; Kantoğlu ve Kunter 2021).

Bu çalışmada kesme çiçeklikte büyük önem taşıyan *Dianthus chinensis* türünde yeni mutant çeşit adayları geliştirmek için sezyum (Cs^{137}) gama kaynağı ile yapılacak mutasyon ıslahı çalışmasına yönelik olarak EMD₅₀'nin belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçların *Dianthus chinensis* için sonraki mutasyon ıslahı çalışmaları için öncü niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Araştırmada ticari tohum satan bir firmadan temin edilen ve tohum nemi %7 olan standart Çin Karanfil (*Dianthus chinensis*) tohumları kullanılmıştır.

2.2. Metot

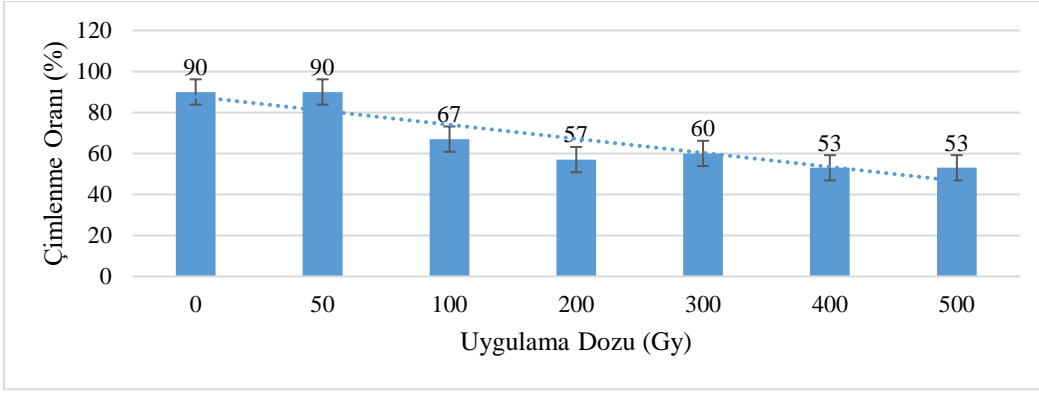
Karanfil tohumları Türkiye Enerji Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü (NÜKEN) Ankara Sarayköy Yerleşkesinde bulunan deneysel ışınlamada kullanılan Cs^{137} kaynaklı, doz hızı 821Gy/h olarak tespit edilen gama

ışınlama cihazı ile ışınlanmıştır. Çin karanfili tohumlarında EMD₅₀ belirlenmesi için yedi farklı doz; 0, 50, 100, 200, 300, 400 ve 500 Gy olacak şekilde uygulanmıştır. Işınlamanın ardından TENMAK NÜKEN Tarım ve Gıda Araştırmaları Grubuna ait seralarda 16/8 h ışık rejimi, %70-85 nem ve 25±1°C sıcaklık koşullarında, torf (Klasman K1) dolu viyollere 10 adet tohum/viyol olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak tohum ekimleri gerçekleştirilmiştir. Ekimi takip eden onuncu günde kontrol ve ışınlanmış tohumlara ait çimlenme oranları belirlenmiştir. Otuz günlük fide gelişme döneminin ardından farklı gama ışın dozlarının bitki gelişimi üzerine yapmış olduğu etkiyi belirlemek için bitki sürgün uzunluğu, yaş ve kuru bitki ağırlık ölçümleri yapılmıştır (Kantoğlu ve Kunter, 2021). EMD₅₀ kontrol bitkilerinin sürgün uzunluğunu % 50 oranında azaltan doz olarak tanımlanmaktadır. Bu değeri belirlemek için elde edilen ortalama sürgün uzunluğu verileri ile Microsoft Office Excell paket programı ile lineer regresyon analizi yapılarak doz belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Etkili mutasyon dozunu belirlemek üzere yapılan çalışmada; Cs¹³⁷ deneysel gama kaynağı ile 7 farklı dozda ışınlanan karanfil tohumları ışılandıktan sonra hazırlanan ekim viyollerine ekilmiştir. Ekimi takip eden 30 günlük süre sonunda gelişen bitkilerde bitki boyu, yaş ve kuru ağırlığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde dozlara göre çimlenen tohum sayısı kontrol bitkilerine göre kıyaslandığında farklılık gösterdiği görülmüştür. Şekil 1'de de izlendiği üzere 100 Gy'lik ışın uygulamasından sonra çimlenme yüzdeleri artan dozlara bağlı olarak azalmış ve %50-60 oranında gerçekleşebilmiştir. Ancak 400 ve 500 Gy'lik uygulamalar arasında çimlenme oranı açısından bir farklılık oluşmamıştır. Dolayısı ile doz miktarı artışına bağlı olarak çimlenme oranının da düştüğü tespit edilmiştir.

Işınlamanın otuzuncu gününde yapılan fide gelişimine yönelik ölçümlerin sonucunda Çizelge 1'de de görüldüğü üzere doz miktarının artışıyla fide boylarında lineer bir azalma gözlenmiştir. Kontrol grubundaki ortalama sürgün uzunluğu 8.24 cm olarak bulunmuştur. Uygulanan dozların ise fide boylarını artan doz miktarının etkisine bağlı olarak giderek azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 1).



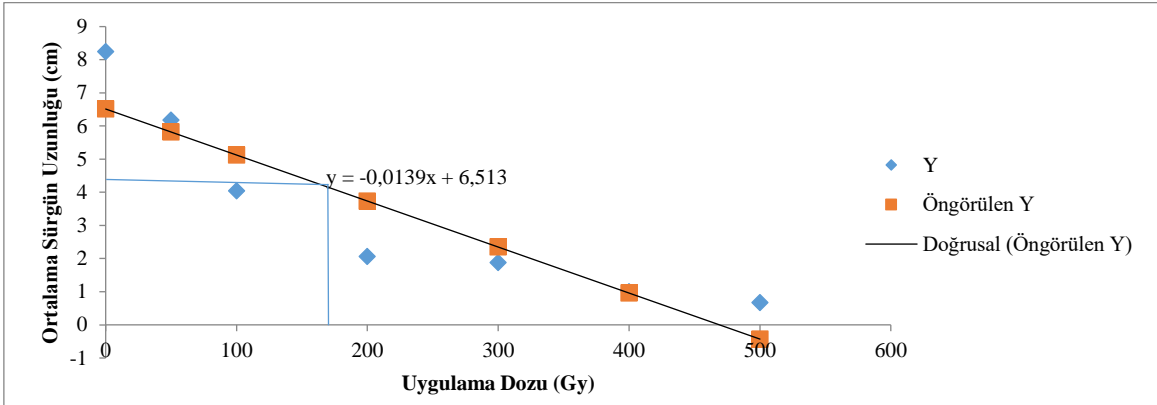
Şekil 1. Uygulanan gama ışını dozlarına göre Çin Karanfil tohumlarının çimlenme oranı

Çizelge 1. Işınlamayı takip eden 30. günde yapılan ölçümler

Işın Dozu(Gy)	Sürgün uzunluğu (cm)	Yaş Ağırlık (g)	Kuru Ağırlık (g)
0	8.24	28.46	4.47
50	6.18	16.33	2.66
100	4.04	8.50	1.44
200	2.06	2.86	0.54
300	1.88	3.15	0.59
400	1.00	1.62	0.34
500	0.67	0.96	0.25

100 Gy uygulamasını takip eden artan dozlarda sürgün uzunluğunda ciddi bir azalma olduğu saptanmış ve 500 Gy uygulamasında ortalama bitki boyu 0.67 cm olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak yaş ve kuru fide ağırlığının da azaldığı; kontrol grubunda 28.46 g olarak belirlenen ortalama yaş fide ağırlığının 400 Gy’de 1.62 g ve 500 Gy’lik uygulamada ise 0.96 g olduğu saptanmıştır. Benzer sonuç kuru fide ağırlığında da elde edilerek artan ışın dozunun fide gelişimi üzerine olan olumsuz etkisi bir kere daha teyit edilmiştir. Ortalama sürgün uzunluğu verileri baz alınarak yapılan Lineer Regresyon Analizi sonucuna göre (Şekil 2) 172.16 Gy’lik doz EMD₅₀ dozu olarak belirlenmiştir. Bu doz kontrol bitkilerinin sürgün uzunluğunun %50’si oranında gelişim sağlandığı etki dozudur. Benzer bir çalışmada ise Co⁶⁰ ile gama radyasyonu uygulaması sonrasında karanfil bitkisinde çimlenme, hayatta kalma oranı, büyüme özellikleri ve morfolojik varyasyonlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve 240 Gy, 320 Gy ve 400 Gy dozlarının genotip tepkisine de bağlı olarak morfolojik değişiklikler ve büyüme özelliklerinde belirgin etkiler gösterdiği, düşük dozların ise bitki büyümesini teşvik ettiği saptanmıştır (Velkov ve ark., 2016; Hamid ve ark.,2018). *In vitro* koşullarda gerçekleştirilen benzer bir çalışmada ise, 5 Gy dozundaki gama ışınlanması *in vitro* sürgün oluşumu üzerine karanfil bitkilerinde olumlu etkiler gösterirken, 10 Gy ve üzeri dozlar bitki ve çiçek gelişimini olumsuz etkilemiştir. Ayrıca, 30

Gy ve üzeri dozlar çiçek rengi varyasyonlarına neden olmuş ve en yüksek mutasyon oranı 50 Gy dozunda koyu pembe renkli mutantlarla gözlemlenmiştir (Singh ve ark., 1999).



Şekil 2. Lineer regresyon analizi EMD₅₀ değeri (y= 172.16 Gy)

Bir diğer çalışmada farklı gama ışını dozlarına maruz bırakılan karanfil kalluslarında en düşük hayatta kalma oranının “Tempo” ve “Raggio de Sole” çeşitlerinde sırası ile %53 ve %42 oranında 50 Gy’lik uygulamada gerçekleştiği tespit edilirken (Dogra ve Dhiman 2017), başka bir çalışmada ise karanfil çeşitlerinde en yüksek kallus oluşumunun (%73) 50 Gy uygulaması ile “Eskimo” çeşidinde elde edildiğini ancak diğer çeşitler içinde 25 Gy’lik dozunun kallus eksplantlarında en uygun sonuçları verdiği bildirilmiştir (Sabaghi ve ark., 2020). Yine *in vitro* eksplant ve tohum ışınlamaları dışında karanfilde en çok kullanılan yöntemlerden bir diğeri de köklü çelik ışınlaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan bir araştırmada 80 Gy’lik gama ışını ışınlamasının köklü çeliklerde etkili olduğu ve bu dozda yapılan ışınlama sonucunda oluşturulan ana populasyondan Hollanda’da White Cortina, Pink Cortina ve Red Cortina çeşitleri geliştirilerek tescil edilmiştir (IAEA, 2024). Süs bitkileri dışında bugün dünyada pek çok farklı türde mutasyon ıslahı çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda incelendiği zaman domateste oturak çeşide ait tohum ışınlaması için 150 Gy (Kantoğlu ve ark., 2023), marulda genotip farklılıklarına göre Cervantes çeşidi için 254.45 Gy, Escule çeşidi için ise 150 Gy (Kökpınar ve ark., 2024), havuç kallusu için 8.36 Gy (Turan Büyükdinç ve ark., 2022) EMD₅₀ dozu olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile üzerinde çalışılan tür, ışınlama kaynağı, ışınlamada kullanılan bitki materyali (tohum, polen, çıplak köklü fide, aşı gözü, çelik, *in vitro* eksplantlar vb.) ve çeşide göre belirlenecek olan EMD₅₀ dozu (Yali ve Mitiku, 2022) başarılı bir mutasyon ıslahı çalışmasının ilk önemli aşaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Çin karanfiline yönelik yapılacak bir mutasyon ıslahı çalışmasının ilk adımı olan EMD₅₀ dozunu belirlemek üzere Çin karanfili tohumları yedi farklı gama ışını dozunda ışınlanmış ve ışınlamayı takiben sera koşullarında otuz gün boyunca tohum çimlenmesi ve bitki gelişimi izlenmiştir. Otuzuncu günde gelişmiş olan karanfil fidelerinin elde edilen sürgün uzunluğu verileri ile gerçekleştirilmiş olan lineer regresyon analizinin neticesinde EMD₅₀ dozunun 172.16 Gy olduğu tespit edilmiştir. Mutasyon ıslahı çalışmalarında pek çok araştırıcı tarafından göz ardı edilen EMD₅₀ dozu bir mutasyon ıslahı çalışması için hangi tür üzerinde çalışılırsa çalışılsın en kritik noktadır. Çünkü genotipten genotipe göre farklılık gösteren bu dozun, üzerinde çalışılan genotipe göre doğru olarak belirlenmesi, daha yüksek mutasyon frekansının ve buna bağlı olarak da etkili bir mutant varyasyonun oluşturulmasında en önemli aşamalardan birisidir. Bu alışma ile üzerinde çalışılan genotipe zel EMD₅₀ dozu belirlenerek; daha geniş bir varyasyonun bu doz ve bu dozun %10 alt ve st limitleri (155-190 Gy) kullanılarak yapılacak ışınlama sonrasında elde edilmesi sağlanacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın uygulama kısmı Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü bünyesinde yapılmıştır.

Bu alışma VIII. Ulusal Süs Bitkileri Kongresinde sözlü sunum olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

- Buiatti, M., & Ragazzini, R. (1965). Gamma-ray induced changes in the carnation, *Dianthus caryophyllus* L. *Radiation Botany*, 5(2), 99-105.
- Büyükdiñç, D. T., Kantoğlu, K. Y., Kuşvuran, Ş., İpek, A., Karataş, A., & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2022). Selection of salt tolerant lines at cell level using gamma ray with callus and suspension culture techniques in black carrots (*Daucus carota* L. ssp. sativus var. atrorubens Alef.). *Applied Radiation and Isotopes*, 190, 110523.
- Chowdury, S., Paramesh, H., & Tripathi, N. (2006). In vitro approaches for chemical mutagenesis in carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 66(01), 71-72.
- Çelik, Ö., & Atak, Ç. (2017). Applications of ionizing radiation in mutation breeding. *New insights on gamma rays*, 6, 111-132.
- Datta, S. K. (2023). Role of Mutation Breeding In Floriculture Industry (pp. 355-371). Singapore, Springer.
- Deshmukh, P. D., & Malode, S. N. (2018). Effects of gamma radiation on seed germination, plant survival and growth characteristics in *Dianthus caryophyllus* var. Chabaud. *Journal of Global Biosciences*, 7(3), 5403-5410.
- Dogra, S., & Dhiman, S. R. (2017). Effect of gamma rays on per cent survival of calli in carnation cultivars 'Tempo' and 'Raggio-de Sole'. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 1025-1027.
- Hamid, R. S., Gholamreza, S. S., & Pejman, A. (2018). *In Vitro Mutation Breeding or Carnation by Gamma Radiation* (No. IAEA-CN--263).
- IAEA (2024). Mutant Çeşitlilik Araması. Erişim Tarihi: <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Search.aspx>. Erişim Tarihi: 12.08.2024.
- Kantia, A., & Kothari, S. L. (2002). High efficiency adventitious shoot bud formation and plant regeneration from leaf explants of *Dianthus chinensis* L. *Scientia Horticulturae*, 96(1-4), 205-212.
- Kantoğlu, Y. & Kunter, B. (2021). *Mutasyon Islahı, Süs Bitkileri Islahı Kitabı (Klasik ve Biyoteknolojik Yöntemler)*, 145-202. Gece Kitaplığı, Ankara.
- Kantoğlu, K. Y., İç, E., Özmen, D., Bulut, F. Ş., Ergun, E., Kantoğlu, Ö., & Özçoban, M. (2023). Gamma rays induced enhancement in the phytonutrient capacities of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *Frontiers in Horticulture*, 2, 1190145.

- Kaya, A. S., Karagüzel, Ö., Kazaz, S., & Aydınşakir, K. (2013). *Dünyada Karanfil Islahçısı Önemli Firmalar ve Islah Çalışmaları*. V. Süs Bitkileri Kongresi. 739-743 Yalova.
- Kökpinar, Ş. S., Kantoglu, K. Y., & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. Marulda (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) Mutasyon Islahı Yönteminin Morfolojik Etkileri. *Bahçe*, 53(Özel Sayı 1), 364-373.
- Melsen, K., van de Wouw, M., & Contreras, R. (2021). Mutation breeding in ornamentals. *HortScience*, 56(10), 1154-1165.
- Okamura, M., Nakayama, M., Umemoto, N., Cano, E. A., Hase, Y., Nishizaki, Y., Sasaki, N. & Ozeki, Y. (2013). Crossbreeding of a metallic color carnation and diversification of the peculiar coloration by ion-beam irradiation. *Euphytica*, 191, 45-56.
- Okamura, M., & Hase, Y. (2020). Advances in mutation technology to create novel carnation varieties. *The Carnation Genome*, 119-134.
- Panwar, S., Gupta, Y. C., Kumari, P., Thakur, N., & Mehraj, U. (2022). Carnation. In *Floriculture and Ornamental Plants* (pp. 25-46). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Patil, U. H., Masalkar, S. D., & Patil, A. H. (2019). Effect of chemical mutagens on growth and flowering of carnation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 1982-1984.
- Roychowdhury, R., & Tah, J. (2011a). Genetic variability for different quantitative traits in *Dianthus caryophyllus* L. during mutation breeding. *Int J Sci Nat*, 2(4), 778-781.
- Roychowdhury, R., & Tah, J. (2011b). Germination behaviors in M2 generation of *Dianthus* after chemical mutagenesis. *Intern. J. Adv. Sci. Tech. Res*, 2(1), 448-454.
- Roychowdhury, R., & Tah, J. (2011c). Mutation breeding in *Dianthus caryophyllus* for economic traits. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2(2), 282-286.
- Sabaghi, H., Sharifi-Sirchi, G., Azadi, P., & Azimi, M. H. (2020). Optimizing the callogenesis and determining the gamma-ray intensity in leaf explant of cut carnation standard cultivars. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 8(2), 22-28.
- Singh, K. P., Singh, B., Raghava, S. P. S., Misra, R. L., & Kalia, C. S. (1999). In vitro induction of mutation in carnation through gamma irradiation. *Journal of Ornamental Horticulture*, 2(2), 107-110.
- Sreelekshmi, R., & Siril, E. A. (2019). Effect of BA on high-frequency in vitro flowering in *Dianthus chinensis* L. cultivars-a tool to early screening of variant types. *IJRAR*, 6, 10-20.

- Sreelekshmi, R., & Siril, E. A. (2021). *In vitro* callus culture of dianthus chinensis l. For assessment of flavonoid related gene expression profile. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-320486/v1>
- van Harten, A.M. (1998). *Mutation Breeding Theory and Practical Applications*, 353pp. Cambridge University Press, UK.
- Velkov, N., Tomlekova, N.B., & Sarsu, F. (2016). Sensitivity of watermelon variety Bojura to mutant agents ^{60}Co and EMS. *J. BioSci. Biotech*, 5(1): 105-110.
- Yagi, M., Kosugi, S., Hirakawa, H., Ohmiya, A., Tanase, K., Harada, T., Kishimoto, K. & Tabata, S. (2014). Sequence analysis of the genome of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *DNA Research*, 21(3), 231-241.
- Yali, W., & Mitiku, T. (2022). Mutation breeding and its importance in modern plant breeding. *J. Plant Sci.* 10 (2), 64–70.
- Yamaguchi, H. (2018). Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*, 68(1), 71-78.