



BİBER (*Capsicum Annuum* L.) ÇEŞİT ISLAHINDA ETİL METAN SÜLFONAT MUTAGEN ÇALIŞMALARI

Erhan AKALP^{1*}, Vedat PİRİNÇ¹

¹Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 21090, Diyarbakır, Türkiye

Özet: Dünyada var olan bitkisel kaynakların giderek azalması, insan nüfusunun artması sonucu beslenme ve gıda ihtiyacının karşılanabilmesi için araştırmacılar üretimi artırıcı yollar ve yöntemler üzerine çalışmalar yapmaktadır. Mevcut çeşitlerde bazı kültürel uygulamalardan; sulama sistem ve metotlarının geliştirilmesi, çapalama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadelenin iyileştirilmesi gibi çalışmalarla verim ve kalitede sınırlı artış elde edilmiştir. Bitkilerde verim ve kalitede genetik materyal olan tohumla bağlı ıslah çalışmalarının uygulanması ile üstün nitelikli çeşitlerin geliştirilmesi ile mümkün görünmektedir. Bitki ıslahçıları yeni çeşitlerin ortaya çıkarılmasında, doğada var olan varyasyonlardan ve geliştirdikleri yeni teknik ve yöntemlerden faydalanmaktadır. Yeni bir çeşidin ortaya çıkarılmasında ıslahçı klasik ıslah yöntemlerinin başında gelen melezleme ıslahından yararlanabildiği gibi, uzun zaman ve fazla emeği kısıltıcı yeni elde etmede kullanılan yeni bir yöntem olan mutasyon ıslah yöntemini kullanmaya başlamışlardır. Mutasyon, doğada kendiliğinden gerçekleşebildiği gibi, kimyasal ve fiziksel mutajenler kullanılarak da yapılabilmektedir. Doğada yapay olarak elde edilen mutasyonlar çeşitli ışınlar (Gama ışını, X ışını, Kobalt 60 vd.) gibi çok sayıda fiziksel ya da diyetil sülfat, sodyum azide ve etil metal sülfonat (EMS) gibi kimyasalların etkisiyle meydana gelirler. Yeni çeşitlerin geliştirilmesinde sıkça başvurulan mutasyon ıslahında kimyasal mutajenler arasında EMS en etkili ve en yaygın olarak kullanılan mutajen olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma ile biber çeşit ıslahında EMS uygulamalarına yönelik yapılan çalışmaların irdelenmesi amaçlanmıştır. Böylece biberde EMS ile mutasyon ıslahına yönelik güncel araştırma sonuçları derlenerek; uygulamaya yönelik protokol oluşturulmaya çalışılmıştır. Geniş çeşit potansiyeline sahip biberde her varyasyona yönelik olarak kullanılan uygulama doz ve süreleri gibi faktörlerin dikkate alınarak gelecekte yapılacak çalışmalara referans olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Biber ıslahı, Çeşit geliştirme, EMS, Mutagen


Ethyl Methane Sulfonate Mutagen Studies in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Breeding Variety

Abstract: Researchers are working on methods to increase production in order to meet the nutritional and food needs as a result of the gradual decrease of the plant resources in the world and the increase in the human population. Some cultural practices in existing varieties; A limited increase in yield and quality has been achieved through practices such as improving irrigation systems and methods, soil mechanization, fertilizing, and control of diseases and pests. The development of high quality varieties possible with the implementation of seed-based breeding studies, which are the genetic material of yield and quality in plants. Plant breeders benefit from the variations existing in nature and using new techniques and methods to develop new varieties. In the emergence of a new variety, the breeder can benefit from hybrid breeding, which is one of the classical breeding methods, and started to use the mutation breeding method, which is a new method used to obtain a new variety that shortens the long time and excessive labor in breeding period. Mutation can occur spontaneously in nature or it can be done by using chemical and physical mutagens. Mutations obtained artificially in nature occur with the effect of many physical such as various rays (Gamma ray, X-ray, Cobalt 60 etc.) or chemicals such as diethyl sulfate, sodium azide and ethyl metal sulfonate (EMS). EMS is accepted as the most effective and common among chemical mutagens in mutation breeding, which is frequently used in the development of new varieties. With this study, it is aimed to examine the studies on EMS applications in pepper cultivar breeding. Thus, by compiling the current research results on mutation breeding with EMS in pepper; an attempt was made to obtain a protocol for implementation. Considering factors such as application doses and time used for each variation of pepper with a wide variety potential, it is thought to be reference for future studies. The observations and experiences of our study that still continued in Dicle University of Agriculture Faculty about EMS applying on pepper will be shared.

Keywords: EMS, Mutation, Pepper breeding, Variety development

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 21090, Diyarbakır, Türkiye

E mail: akalperhan@gmail.com (E. AKALP)

Erhan AKALP  <https://orcid.org/0000-0003-3471-8996>

Vedat PİRİNÇ  <https://orcid.org/0000-0001-9701-2240>

Gönderi: 03 Temmuz 2024

Kabul: 07 Ekim 2024

Yayınlanma: 15 Kasım 2024

Received: July 03, 2024

Accepted: October 07, 2024

Published: November 15, 2024

Cite as: Akalp E, Pirinç V. 2024. Ethyl methane sulfonate mutagen studies in pepper (*Capsicum annuum* L.) breeding variety. BSJ Eng Sci, 7(6): 1369-1377.

1. Giriş

Dünyada var olan kaynakların giderek azalması ve artan insan nüfusunu besleyebilmek için araştırmacılar üretimi artırıcı yollar ve yöntemler üzerine çalışmalar yapmaktadır. BM'nin öngörüsüne göre 2050 yılına kadar,

dünya nüfusunun 9,8 milyara ulaşacağı beklenilmektedir (Kökpinar ve ark., 2021). Artan nüfusu besleyebilmek için birim alandan mevcut üretimin iki katı ürün alınması gerektiği belirtilmektedir (Spencer-Lopes ve ark., 2018). Birim alandan daha fazla ürün alınabilmesi için iki ana



faktör bulunmaktadır. Bunlardan ilki var olan çeşitlerde bazı kültürel uygulamalar üzerine çalışmaların yapılması olarak ifade edilmektedir. Bu uygulamalar; sulama sistem ve metotlarının geliştirilmesi, çapalama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadelenin iyileştirilmesi gibi yöntemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bir diğer yöntem de yeni çeşitlerin elde edilmesi üzerine çalışmaların yapılması şeklindedir. Bitki ıslahçıları yeni çeşitlerin ortaya çıkarılmasında, doğada var olan varyasyonlardan ve geliştirdikleri yeni teknik ve yöntemlerden faydalanmaktadır. Yeni bir çeşidin ortaya çıkarılmasında ıslahçı klasik ıslah yöntemlerinin başında gelen melezleme ıslahından yararlanabildiği gibi, uzun zaman ve fazla emeği kısaltıcı yeni çeşit elde etmede kullanılan yeni bir yöntem olan mutasyon ıslah yöntemini kullanmaya başlamışlardır (Kökpinar ve ark., 2021). Mutasyon ıslah tekniği doğrudan olarak veya melezleme ıslahı tekniklerinin tamamlayıcısı olarak da ön plana çıkmıştır (Akbaş, 1988).

Mutasyon kelime anlamı olarak organizmanın genom dizisinde meydana gelen kalıcı değişkenlik olarak belirtilmektedir (Ripley, 2013). Bitkilerde mutasyon, bitkinin genetik yapısını değiştiren bir yapı olup doğada kendiliğinden gerçekleşebildiği gibi, kimyasal ve fiziksel mutajenler kullanılarak da yapılabilmektedir (Krupa-Mańkiewicz ve ark., 2017). Doğada yapay olarak elde edilen mutasyonlar çeşitli ışınlar (Gama ışını, X ışını, Kobalt 60 vd.) gibi çok sayıda fiziksel ya da diyetel sülfat, sodyum azide ve etil metal sülfonat gibi kimyasalların etkisiyle meydana gelirler (Sağel ve ark., 1994). Özellikle yapay olarak yapılan bitki mutasyonlarında (iyonize radyasyonlar, iyonize olmayan radyasyonlar ve kimyasal mutagenler) bitki ıslahçıların sık sık başvurduğu bir yöntemdir (Çancı ve ark., 2015). Bitki ıslahında mutasyon ıslahı olarak adlandırılan bu yöntemde ana hedef verim ve kalitede artış sağlamak, hastalık ve zararlılarda dayanıklılık sağlamak, pazar değeri yüksek genetik çeşitliliği elde etmek amaçlanmaktadır (Khurshed ark., 2015; Tantray ve ark., 2017; Kazaz ve Kholmurotov, 2022). Araştırmalar kimyasal mutagenlerin kalitesinin, fiziksel mutagenlere göre daha yüksek ve daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur (Devi ve Selvakumar, 2013). Araştırmacılar mutasyona, klasik bitki ıslahına alternatif yöntem olarak bakmaktadırlar. Böyle bakılmasının nedeni mutajenlerin kullanımı ile birlikte, üzerinde çalışılmış birçok bitkide kalitatif ve kantitatif özellikleri ıslah etmede kullanılan hızlı ve etkin bir metot olmasının görülmesinden kaynaklanmaktadır (Gerami ve ark., 2017). Mutasyon ıslahını gerçekleştirmek için hangi mutagenin kullanımının seçimi, çalışılacak türlerde daha önce yapılan akademik çalışmalar ile mutagenlerin mevcudiyeti, maliyetler ve altyapı gibi diğer hususlar dikkate alınmalıdır (Bado ve ark., 2015). Mutasyon ıslahında kullanılan tohum veya bitki parçacıkları bir yöreye adapte olmuş genotiplerden mutasyonlar yoluyla hem doğrudan kullanma ve hem de melezlemelerde ebeveyn olarak değerlendirmek üzere yeni gen kaynaklarının bulunmasında pratik bir uygulamadır.

Mutasyon ıslahının gerçekleşme aşamalarında ilk olarak, üzerinde çalışılması gerektiği belirlenen türe fiziksel veya kimyasal mutajenin uygulanması ile başlamaktadır. Daha sonra yapılacak morfolojik ve fizyolojik ölçüm gözlemler sonucu üzerinde çalışılabilecek genotipler seçilir. En sonunda da seçilen bu genotiplerin verim ve kalitesi yüksek olanların karşılaştırmalı testleri yapılarak yeni çeşit elde edilmesi için ıslah süreci başlatılmaktadır (Kökpinar ve ark., 2021). Böylece genetik varyasyonların daralması giderilmekte, adaptasyon yeteneği iyi olan ve tüketimi fazla olan çeşidin bir veya birkaç özelliği iyileştirilebilmekte, bunun yanında yeni özelliklerin ortaya çıkması mümkün olabilmektedir. Çalışma sonunda da yeni çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Mutasyonla elde edilen mutantların melezleme ıslahında kullanım alanları şöyle sıralanabilir (Sağel ve ark., 2013);

- Orijinal ebeveyn, varyete, hat ile mutantın geriye melezlenmesi,
- Aynı ebeveynden elde edilen mutantların melezlenmesi
- Değişik ebeveynlerden elde edilen mutantların melezlenmesi,
- Farklı tür, varyete veya hat ile mutantların melezlenmesi,
- Benzer mutantları belirgin olarak taşıyan, iki varyetenin melezlenmesi.

Bitkisel üretimde yeni çeşitlerin ortaya konulabilmesi için spontan varyasyon veya klasik ıslah metotlarıyla oluşturulan varyasyon yeterli olmamaktadır. Kullanılacak mutagenler büyük bir popülasyona uygulanabilme olanağı sayesinde, geniş bir varyasyonun ortaya çıkmasına ve bu varyasyonlardan uygun olanların seçimi ile ıslah amacına yönelik materyallerin teminini sağlamasına katkı sağlamaktadır. Yeni çeşitlerin geliştirilmesinde sıkça başvurulan mutasyon ıslahında kimyasal mutajenler arasında EMS en etkili ve en yaygın olarak kullanılan mutajen olarak kabul edilmektedir (Minocha ve Arnason, 1962; Van Harten, 1998). Bitkilerde kullanılan EMS genellikle nokta mutasyonlarına sebep olmaktadır (Okagaki ve ark., 1991). Mutagen, çoğunlukla Guanin/Citosin'nin Adenin/Timin'e dönüşümünü gerçekleştirerek, yavru döllerde yüksek oranda varyasyon oluşturmaktadır. Kimyasal mutagenler daha çok tohuma uygulanırken; fiziksel mutagenler bitkinin tohum, polen, stolon, yumru, soğan, tomurcuk gibi generatif ve vegetatif üreme organlarına veya bitkinin tamamına uygulanabilmektedir. Bitkilerde uygulanan mutajen dozu için en uygun olanının seçimi son derece önemlidir. Uygulanan mutagen dozu arttıkça mutasyon frekansının artmasıyla beraber, fizyolojik zarar da artmaktadır. Bu nedenle dünyada ve ülkemizde yapılan mutasyon ıslahı çalışmalarında uygulanacak en uygun fiziksel ve kimyasal mutagen dozunu belirleme çalışmaları halen de yapılmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumunun 2021 yılı verilerine göre, farklı mutagen uygulamaları ile geliştirilen mutant çeşitlerin sayısı fiziksel mutagen uygulamasında 2652 adet, kimyasal mutagen uygulamasında 677 adet, Kimyasal+fiziksel mutagen

uygulanmasında 36 adet çeşit tescil edildiği belirtilmektedir. Ajans raporlarına göre Dünya genelinde 21 farklı sebze türünde toplam 172 adet mutant çeşit tescil edildiği belirtilmektedir. Sebzelerde mutasyon yoluyla elde edilen sebze çeşit sayıları Tablo 1’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde en çok tescil fasulyede gerçekleştiği (59 adet), ikinci sırada bezelye (34 adet) ve üçüncü sırada biber (16 adet) geldiği görülmektedir (IAEA, 2021).

Mutasyon ıslah teknikleri ile üretici ve tüketicinin talebini karşılamak amacıyla Türkiye’de de enstitülerde,

üniversitelerde ve özel sektör aracılığı ile birçok çalışma yapılmaktadır. Bazı sebze türlerinde yapılan çalışmalar şöyledir; biber (Tepe ve ark., 2003; Kantoğlu ve ark., 2014), sarımsak (Taner ve ark., 2004; Beşirli ve ark., 2006), domates (Masuda ve ark., 2004; Kantoğlu ve ark., 2018; Aziz ve ark., 2021), kavun (Kantoğlu ve ark., 2010a), marul (Sarıçam ve ark., 2017) ve havuç (Büyükdinç ve ark., 2019) çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, biberde Etil Metan Sülfonat kimyasal mutasyon ıslahına yönelik bilgiler verilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 1. Bazı sebze türlerinde elde edilen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Fasulye	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	59	Japon Nanesi	<i>Mentha arvensis</i> L.	4
Bezelye	<i>Pisum sativum</i> L.	34	Hıyar	<i>Cucumis sativus</i> L.	3
Biber	<i>Capsicum annuum</i> L.	16	Karpuz	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum.& Nakai	3
Kayın Mantarı	<i>Pleurotus</i> spp.	8	Bamya	<i>Abelmoschus esculentus</i> L. Moench	2
Marul	<i>Lactuca sativa</i> L.	7	Mor lahanası	<i>Brassica oleracea</i> L. var. acephala	1
Patates	<i>Solanum tuberosum</i> L.	7	Çin sarımsağı	<i>Allium macrostemon</i> L.	1
Soğan	<i>Allium cepa</i> L.	6	İspanak	<i>Spinacia oleracea</i> L.	1
Tatlı Patates	<i>Ipomoea batatas</i> L. Poir.	6	Japon maydanozu	<i>Chryptotaenia japonica</i>	1
Patlıcan	<i>Solanum melongena</i> L.	5	Tere	<i>Lepidium sativum</i> L.	1
Çin lahanası	<i>Brassica pekinensis</i> Rupr.	4	Turp	<i>Raphanus sativus</i>	1

1.1. Sebzelerde Mutasyon Islahının Önemi; Etil Metan Sülfonatın Biberde Kullanımı

Sebzelerde mutasyon ıslahı çalışmalarını gerçekleştirmede genetik çeşitliliği elde etmek için kullanılan birçok fiziksel ve kimyasal mutagen bulunmaktadır. Etil metan sülfonat kimyasal mutagenler arasında sebzelerde mutasyon ıslahında çokça başvurulan bir kimyasaldır (Devi ve Selvakumar, 2013). Bu mutagen çoğunlukla gen mutasyonlarına neden olmakta; bu çözelti ile muamele edilen tohumlar daha sonra çimlendirilir ve M1 bitkileri elde edilir. Genellikle toplu seleksiyon şeklinde seçilim yapılan M1 aşamasında tohumlar toplu olarak sezon sonunda toplanır. Bir sonraki yılda ise M2 döllerinde gen mutasyonları gözlenir (Kodym ve Afza, 2003). M2 safhasında teksele seleksiyon yöntemlerinin uygulanması ile istenilen karakterlere sahip hatlar seçilir; bu hatlardan tohumlar alınır. EMS ile fiziksel mutagen uygulamaları kıyaslandığında; EMS’nin küçük kromozom segmentlerinde değişimlere neden olduğu gözlemlenirken, fiziksel mutagenlerin uygulanması sonrasında kromozomlarda delesyon ve duplikasyon gibi yapılar da değişiklikler meydana getirdiği gözlemlenmektedir (Shu ve ark., 2012). EMS Purin ve Pirimidin koklerindeki fosfat gruplarını alkali ederek DNA ile reaksiyona girdikleri belirtilmektedir (Sağel ve ark., 1994).

Kimyasallarla mutasyon oluşturma yöntemlerinden biri olan EMS kullanımı ile bitkinin eşey organlarına (tohum ve çiçek tomurcuğu), eşey hücrelerine (polen, zigot,

primitif embriyo ve yumurta), klonlarına (yumru, rizom, stolon, kök, köklenmiş çelikler), fidelerine, odun gözlerine ve vejetatif organlara (sap, kardeş, yaprak, çiçek yaprakları) gibi yapılardan herhangi biri seçilebilmektedir (Arisha ve ark., 2015; Bado ve ark., 2015; Güvercin, 2020). Ancak yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde en çok başvurulan yöntem, EMS’ye ait mutagen solüsyonlarının bitkinin tohumlarını ıslatması şeklinde yapıldığı görülmektedir (Salam ve Thoppil, 2010; Jeong ve ark., 2012; Sanjai Gandhi ve ark., 2014). Öncelikle bitki çeşidine göre uygun kimyasal konsantrasyonu hazırlanır ve tohumlar bu solüsyon içinde ıslatılır. Islatma süresi bitki çeşidine göre değişebilmektedir.

Mutasyon ıslahında sebzelerin genelinde uygulanan EMS, biber sebzesinde de benzer yöntem ve kurallar ile uygulanmaktadır. Yapılan akademik çalışmalara ek olarak Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde doktora tezi için iki yıl üst üste kurulan ön denemelerde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, biber sebzesinde etkili EMS dozları önerilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre EMS’nin %0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 dozlarında biberde etki yaptıkları belirlenmiştir. Yapılan ön çalışma sonucunda, %0,75 ve %1,0 dozlarının biber tohumlarının çimlenme sürelerini uzattığı ve bazı tohumlarda çimlenme yeteneklerini kaybettiği tespit edilmiştir. Düşük dozlarda yapılan uygulama çalışmalarına göre (%0,1 ve %0,2), mutasyonun etkinliğinin daha az olduğu bulunmuş;

dozların artması ile beraberinde (%0,3; %0,4 ve %0,5 dozları) elde edilen çeşitliliğin arttığı çalışmamızda tespit edilmiştir. Sonuç olarak EMS mutageninin biberde yaptığı etkiler bakımından incelemeler yapıldığında; dozların artması ile beraber genel olarak biber tohumlarının çimlenme sürelerini uzattığı veya tohumların canlılığını kaybettirdiği, bitkinin kısa boylu kalmasına neden olduğu, çiçeklenmeyi geciktirdiği, meyvelerde şekil değişikliklerine yol açtığı tespit edilmiştir (Devi ve Selvakumar, 2013; Kantoğlu ve ark., 2014; Pharmawati ve ark., 2018). Bu nedenle yapılacak çalışmalarda etkili dozun kullanılmasına dikkat edilmelidir. Biberde EMS'nin dozlarının belirlenmesine yönelik yapılacak çalışmalarda, uygulama süresinde ve uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler şöyle sıralanabilir;

-Tohumların ön ıslatılması; biber tohumlarına yapılacak ön ıslatma ile beraber bu tohumların kimyasal mutagenlerle duyarlılıklarının artırıldığı yapılan akademik çalışmalarda ve üniversitemizde yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Tohumların 20°C'de 6-12 saat ön ıslatmaya tabi tutulduğunda mutagenin tohumlarda daha fazla nüfuz ettiği belirtilmektedir (Arisha ve ark., 2014; Arisha ve ark., 2015; Cheng ve ark., 2019).

-Uygulanacak EMS'nin dozu; kullanılacak sebze tohumlarının çeşidine bağlı olarak önem arz etmektedir. Sebzelerin istedikleri konsantrasyonlar farklı olabilmektedir. Uygulanacak doz bitki çeşidi başta olmak üzere uygulama süresine ve uygulama yapılan çevre sıcaklığına göre de hazırlanmaktadır. Bu nedenle uygulamadan önce yapılan önceki çalışmalar dikkate alınmalıdır. Kullanılacak EMS dozlarının artmasıyla beraberinde bitkilerin fizyolojisinde hasarlar meydana getirebilmektedir. Bu nedenle kullanılacak mutagen dozu bitkide düşük oranlarda fizyolojik zararlar ile yüksek genetik çeşitliliğe yol açmasını istenmektedir (Gaul, 1963; Altıntaş, 2020). Araştırmacılar etkili olabilecek dozu belirleyebilmek için LD 50 değerinin (%50 öldürücü doz) bitkilerde öncelikle belirlenmesini önermektedirler (Walter ve ark., 1987; Sağel ve ark., 2003). Bu etkili dozu belirleyebilmek amacıyla da sebzelerde ön çimlendirme çalışmaları gibi çalışmalar yaparak artan dozlarda EMS uygulaması yapıp, öldürücü dozu tespit etmektedirler. Sebzelerin tür ve çeşidine göre etkili doz farklılık göstermektedir. Biberde yapılan mutasyon ıslah çalışmaları dikkate alındığında (Lambat ve ark., 2012; Devi ve Selvakumar, 2013; Soyam, 2021) EMS'nin %0,2; %0,3 ve %0,4 dozlarının etkili olduğu rapor edilmiş; bu sonuçları destekleyen araştırma üniversitemizde de yapılan iki yıllık ön çalışmalar sonucunda da tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, dozların artması ile beraber bitkide fizyolojik ve morfolojik bozulmaların yaşanmaya başladığı rapor edilmiştir. Biber tohumlarının maruz bırakıldığı solüsyon belirli aralıklarla çalkalanmasıyla tüm tohumlara nüfuz edeceği de bilinmelidir.

-EMS'nin uygulama süresi; mutagenin dokuya en iyi şekilde nüfuz edebilmesi için uygulama süresi uzun

tutulmalıdır. Bu süre kullanılacak bitki çeşidine ve bitki organlarına göre değişebilmektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta; EMS'nin uygulama süresi uzadıkça çimlenme ile ilgili karakterlerde genel bir azalmaya neden olduğunu araştırmacılar rapor etmektedir (Pour ve ark., 2021). Yapılan akademik çalışmalar değerlendirildiğinde ortalama 6 ile 12 saat arasında değiştiği görülmüştür (Arisha ve ark., 2014; Arisha ve ark., 2015; Tantray ve ark., 2017). Uygulama süresini etkileyen diğer bir unsur; bitki materyalinin ön ıslatılması ile uygulama süresi kısalmaktadır (Pakyürek, 2020).

-EMS uygulanacak ortamın sıcaklığı; EMS mutageninin hidroliz oranında ortam sıcaklığı önemli rol oynamaktadır. Kısa hidroliz süresine sahip mutagenlerde ortam sıcaklığının yüksek olması ile uygulama süresi kısa olabilirken; sıcaklığın düşmesi ile beraber uygulama süresi artabilmektedir (Jenks ve ark., 2007; Pour ve ark., 2021). Biber tohumlarına ortalama oda sıcaklığında muamelelerin yapılması (20-25 °C) önerilmektedir (Alcantara ve ark., 1996; Cheng ve ark., 2019).

- EMS uygulaması sonrasında tohumların yıkanması; mutagen uygulaması sonrasında bu tohumlara herhangi bir işlem yapılmadan kurutulduğunda mutagenin etkisi devam etmektedir. Hiçbir işlem yapılmadan ekilen tohumlarda %100 ölüm meydana geldiği bildirilmektedir. Bu amaçla kısa bir yıkama periyodunun yeterli olduğu bildirilmektedir. Mutagenin tohum üzerindeki etkisini azaltmak için çeşme suyu altında 1-3 saat arasında yıkanması önerilmektedir (Arisha ve ark., 2015; Tantray ve ark., 2017; Cheng ve ark., 2019). Daha sonra bu tohumlar kurutma kâğıdında kurutulurken ekim yapılmaktadır.

Bu işlemlerin yapılmasından sonra ekimleri yapılan tohumlardan elde edilen generasyonlara M1 ismi verilmektedir. Bu işlemin ikinci defa yapılmasıyla elde edilen tohumlara da M2 generasyonu denmektedir. Mutasyon ıslahında dikkat edilmesi gereken konu; üreticinin istediği özelliklere sahip mutantların seçiminin hangi generasyonda başlayacağıdır. Birinci generasyonda değerlendirme yapmak uygun değildir, çünkü elde edilen bitkiler genotipik olarak heterojen (kimerik), fiziksel anlamda mutagen etkisi nedeni ile hala kendini tam olarak gösterememektedir. Tohumla çoğaltılan materyallerde ilk kimerik olmayan (homohistont) generasyon M2'dir. Vejetatif olarak çoğaltılan bir materyali genotipik olarak homojen hale getirmek ve mutant alellerin kalıtımını kalıcı hale getirmek için birkaç generasyona ihtiyaç vardır. Sonraki generasyonlar genellikle mutant fenotiplerin değerlendirilmesi için seçim aşamalarını içermektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra, materyaller çeşitli arazi denemelerine alınmaktadır. Yapılan mutasyon yoğunluğu da dikkate alınarak M2 aşamasında stabil fenotiplerin seçimi bazen zor olabilmektedir. Fenotipik olarak seçilen hatların gözlemlenen özellikleri sonraki generasyonlarda kaybolabilmektedir. Araştırmacılar bunun nedenini, bağlı olmayan alellerin döller boyunca

bağımsız olarak ayrılmalarından kaynaklı olduğunu belirtmektedir (Kantoğlu ve ark., 2014; Kökpınar ve ark., 2021). Birçok araştırmacı daha fazla karakterizasyon elde edebilmek için bunu bilerek hatları seçmeye devam eder, M2 generasyonunda fenotipik bakımdan ilgi çekici olan her şeyi seçebilmektedir. Ancak en sağlam metot benzersiz mutasyonların keşfini en üst düzeye çıkarmak için moleküler markırların kullanılması önerilebilir (Kantoğlu ve ark., 2014). EMS'nin sebzelerde mutasyon ıslahında kullanılmasıyla beraber; verimde, çiçeklenme tarihleri ve olgunlaşma zamanlarında, bitkinin yatmaya veya gövde kırılmalarında mukavemette, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine hassas veya dayanıklı türlerin gelişiminde, hastalık veya zararlılara mukavemette, kalitede değişimlere yol açabilmektedir. Islahçı bu süreçten sonra istediği parametrelere göre seçim yaparak bu türlerin ıslahını gerçekleştirmektedir (Rao ve ark., 1997; Kantoğlu ve ark., 2010b; Dongfu ve ark., 2022).

Daha sonraki generasyonlarda yapılacak iş/işlemler şöyle olmaktadır (Jankowicz-Cieslak ve Till, 2015; Kökpınar ve ark., 2021);

- M3 -M8 generasyonlarında; seleksiyon işlemleri, genetik doğrulama, kalite analizleri, mutant hatların arazi performans takipleri
- Sonraki 2-3 generasyon; farklı yıllarda lokasyonlarda mutant hatların ekimlerinin yapılmasıyla karşılaştırılmaları
- Sonraki 2-3 generasyon; yeni bir çeşit/çeşitlerin ortaya çıkarılması.

Dongfu ve ark. (2022), biberde (*Capsicum annuum*) genetik varyasyonlarını artırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, ölümcül doz %50 (LD50) değerini belirleyebilmek için, farklı mutajenez sürelerinde farklı EMS konsantrasyonlarında biber tohumlarını göreceli çimlenme oranlarını analiz etmişlerdir. Ayrıca M1ve M2 neslinin farklı gelişim aşamalarında, yaprak şekli, çiçek organı, gövde, yaprak rengi, doğurganlık ve meyve şeklinde mutasyonlar gözlenmiş ve yaprak rengi ve doğurganlık kimeralarını da tanımlanmışlardır. Çalışma sonunda elde edilen bulgulara göre uygulanan dozların sadece genetik modifikasyon uygulamaları için değerli olmadıkları; aynı zamanda biberlerin yeni genlerinin keşfi için de büyük etkilere sahip olduğu rapor etmişlerdir.

Soyam (2021), EMS'nin farklı dozlarının (%0,2, %0,3 ve %0,4) M1 neslinde biberin klorofil içeriği ve askorbik asidi üzerindeki etkisini araştırdığı çalışmada, askorbik asit içeriğinin, kontrole kıyasla EMS dozu/konsantrasyonunda bir artışla azaldığını belirtmiştir. Klorofil içeriğinde ise, maksimum klorofil 'a' ve toplam klorofil içeriğinin EMS uygulamasının daha yüksek dozunda, klorofil 'b' içeriğinin ise EMS'nin düşük dozunda belirlediğini rapor etmiştir.

Tanaka ve ark. (2021) acı biberde çekirdeksizliği elde etmek için bağlı olan mutantın karakterizasyonunu belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmalarında tn-1 olarak adlandırdıkları mutantı, etil metan sülfonat ile

mutajenize edilmiş popülasyonun taranmasıyla bulduklarını rapor etmişlerdir. Yabani tip meyveler yaklaşık 40 tohum içerirken, tn-1 hiç tohum içermemiş ya da çok az tohum içeren meyveler olarak belirledikleri çalışmada, çekirdeksizliğin tek bir resesif gen tarafından belirlendiği belirtilmiştir. Siddique ve ark. (2020) biberde etil metan sülfonat tarafından uyartılmış mutant popülasyonlarının gelişimi ve karakterizasyonunu belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmalarında, 9500 tohumu %1,3 EMS ile muamele ederek 3996 M2 hattı hasat ettiklerini belirtmişlerdir. Sonraki yıl 1300 (%32,5) bağımsız M2 ailesi seçilmiş ve dört yıl boyunca fenotiplerini değerlendirmişlerdir. Mutantlar bitki büyümesinde, adaptasyonunda, yaprak rengi, şekli ve çiçekte fenotipik varyasyonlar oluşturduğu rapor edilmiştir.

Juliandari ve ark. (2019) etil metan sülfonat (EMS) (%0, %0,01, %0,02 ve %0,04) ile uyartılmış yerel acı biberde genetik varyasyon analizi için Mikrosatellit Markörünü kullandıkları çalışmalarında kontrol bitkisi ile karşılaştırıldığında yerel acı biberde genom düzeyinde genetik varyasyonlar gözlemlendiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, %0,04 konsantrasyonlu EMS uygulaması, yerel biberin 3 genotipinde en kayda değer genetik varyasyonu ürettiği belirtilmiştir. Cheng ve ark. (2019) çalışmalarında, biberde yaprak rengi mutantlarının fizyobiyokimyasal karakterizasyonunu belirlemek için etil metan sülfonat uygulaması yapmışlardır. Araştırmada etil metan sülfonat mutajenize edilmiş biber bitkisinde tanımlanan zylm soluk yeşil yaprak mutantı yabani biber popülasyonunda yaprak renginin biber üzerindeki etkisini incelenmiş; çalışmada doğal tarla koşullarında, zylm mutant bitkilerinin yaprakları bozulduğu, büyüme ve solgunluk sergilediği belirtilmiştir.

Pharmawati ve ark. (2018) biberde etil metan sülfonat (%0,5, %0,75 ve %1 EMS) ile muamele edilmiş tohumlardan elde edilen M2 bitkilerindeki morfolojik varyasyonu belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmalarında, EMS uygulamaları nedeniyle hem fide çıkışında hem de bitki sağ kalımında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar M2 neslinde, %1 EMS uygulanmış bitkilerin uzun boylu, soluk yeşil yaprak rengine sahip küçük bitkileri, bodur bitki ve iki gövdeli bitki ürettiğini rapor etmişlerdir. %0,75 EMS uygulanmış bitkilerin, birçok dalı olan kısa mutantla sonuçlanırken, %0,5 EMS soluk yeşil yaprak rengine sahip bitki ürettiği belirtilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak, EMS mutajenezinin biberde ıslah programlarında kullanılabileceğini ve kontrol bitkilerinden farklı ilginç morfolojik karakterlere sahip yeni bitkilerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Shah ve ark. (2016) etil metan sülfonat (EMS) mutajenik etkisini inceledikleri çalışmalarında, EMS'nin yüksek sıklıkta nükleotid ve substitüsyon varyasyonlarına neden olduğu için bitki sistemlerinde sıklıkla ve bol miktarda kullanıldığı belirtilmiştir. EMS'nin çok çeşitli genetik test sistemlerinde arzu edilen karakterlere sahip yeni mutantlar üretmek için biyolojik sistemler üzerinde daha

az etkiye sahip, kolayca bulunabilen bir mutajen olarak bulunduğunu belirtmişlerdir.

Devi ve Selvakumar (2013) Biberde kimyasal mutajenler yoluyla üretilen değişkenliği karşılaştırmak için yaptıkları çalışmalarında, etil metan sülfonat (10, 20, 30, 40 ve 50 Mm) ve dietil sülfat (5, 10, 15, 20 ve 25 Mm) farklı dozlarını uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek çimlenme yüzdesinin uygulama yapılmamış tohumlardan (kontrol) %75.3 olduğunu rapor etmişlerdir. Genel olarak, 40 ve 50 mM EMS ve 25 mM DES'in biber türlerinin çiçek gelişimi üzerine olumsuz etkisi olduğu belirtilmiştir. Lambat ve ark. (2012) gama ışınlarının (10 KR, 20 KR ve 30 KR) ve etil metan sülfonatın (%0,1, %0,2 ve %0,3) biber üzerindeki sitolojik ve morfolojik etkisini araştırdıkları çalışmalarında, çeşitli nükleer ve kromozomal anomallikleri indüklediğini rapor etmişlerdir.

Dhamayanthi ve Reddy (2000), acı biberde gama ışınları ve etil metan sülfonatın sitogenetik etkilerini inceledikleri çalışmalarında; 15, 25, 35 kR dozlarda gama ışını ve %0,8 ile %1 etil metan sülfonat (EMS) dozlarını uygulamışlardır. M2 safhasında mutajenik uygulamaların etkileri belirlenmiş; mayoz bölünmenin kromozomal anomolileri, polen kısırlığı, tohum kısırlığı ve hayatta kalma yüzdesini araştırmacılar incelemiştir. EMS'nin mayotik düzensizliklerin indüklenmesinde gama ışınları uygulamasına göre daha etkili bulunduğu rapor edilmiştir. Ayrıca tüm uygulamalarda mayotik anomalilerde doza bağlı bir artış olduğu rapor edilmiştir.

2. Sonuç ve Öneriler

Bitkilerin sahip olduğu üstün karakteristik özelliklerinden yararlanmak için ıslahçılar bu tohumlar üzerine çalışmalar yapmaktadır. Birim alandan yüksek oranda verim almanın yolu tohumun verimliliği ile yetiştiricilikte yapılacak kültürel işlemlerin etkinliği ile mümkün olabilmektedir. Ancak tohumun verimsiz olması halinde yapılacak en üst kültürel işlemlerde bile verim elde edilememektedir. Bu nedenle ıslahçılar sürekli yeni çeşitlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Çeşit geliştirmede zaman ve etkinlik bakımından etkili olan EMS uygulaması olumlu sonuçlar vermektedir.

Yapılan çalışmaların bir araya getirilmesi ve fakültemizde yapılan ön çalışmalarda elde edilen bulgular sonucunda EMS'nin biberde çeşit geliştirmede etkili olduğu tespit edilmiştir (Tepe ve ark., 2003; Kantoğlu ve ark., 2014; Soyam, 2021; Tantray ve ark., 2017).

Biberde çeşit geliştirmede uygulanacak etkili mutant dozu ile başarı paralel elde edilmektedir. Çalışmalara başlamadan önce ön çimlendirme çalışmalarının yapılması sonucu etkili dozun belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Biber çeşitlerine göre EMS'nin dozlarının etkinliği farklı olabileceğinden, kullanılacak çeşit ve kullanılacak dozların belirlenmesi başarıyı da etkilemektedir. Biber başta olmak üzere diğer sebze tür ve çeşitlerinde ilk etapta etkili dozun belirlenmesi önerilmektedir. Biber çeşitlerine göre, çalışmanın yapılacağı ekolojiye göre ve uygulanacak kültürel

işlemlere göre mutajen dozlarının etkinliğinin değişebileceği düşünülmektedir. Biberde ıslah amacıyla etil metan sülfonatın kullanımında uygulamaya yönelik protokol şöyle özetlenebilir;

- Kullanılacak tohumların açılım göstermeyen tek tip genotip veya çeşide ait olmasına özen gösterilmeli (aynı genotip veya çeşide ait farklı karakteristik özelliklerdeki biber tohumlarına uygulanacak EMS, ortaya çıkacak farklı bitkilerin neden kaynaklandığına yönelik bilinmezlik içerir. Bu nedenle saf tohumlar ile çalışma başlatılmalıdır). Yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde bitki materyali tohumların tamamı ya çeşit olarak veya da saflaştırılmış genotiplerden oluştuğu bilinmektedir. Omosun ve ark. (2022) iki farklı bamya çeşidine ait tohumlarda EMS uygulamalarının tohum çimlenmesi, büyümesi ve verimini araştırdıkları çalışmalarında artan konsantrasyonlarda EMS varlığı (%0,5) ile tohumların zarar gördüğünü rapor etmişlerdir. Benzer çalışma Baghery ve ark. (2015) tarafından bamya tohumlarında yapılan çalışmada da rapor edilmiştir.
- Tohumlara EMS uygulamadan önce 6-12 saat aralığında suda bekletilmeleri tohumların mutagen ile daha iyi muamelesine katkı sağlamaktadır.
- Biber ıslahında yeni çeşitlerin elde edilmesi için uygulanacak EMS dozu çeşitlere bağlı olarak %0,2, %0,3 ve %0,4 dozlarında genel olarak iyi sonuçlar verdiği birçok çalışmada rapor edildiğinden, bu dozların kullanımı da istenilen başarıya götüreceği düşünülmektedir (Arıraman ve ark., 2014; Omosun ve ark., 2022) . M1'deki farklı fiziksel ve kimyasal mutajenlerin bitkilerde oluşabilecek etkilerini tanımlamak için fide boyu çoğunlukla bir endeks olarak kullanılmaktadır (Upadhyaya ve ark., 2007; Talebi ark., 2012). Fide boyu ile fiziksel veya kimyasal mutajenlerin dozu arasında doğrusal bir bağımlılık olduğu belirtilmektedir. Bundan dolayı ıslah çalışmalarında fideliklerde oluşabilecek fide boyundaki kısalmalar EMS konsantrasyonundaki artışlardan kaynaklandığı bilinmelidir. ıslahçılar da istenilen boyutlardaki bitki boyları için dozları buna göre seçim yapması önerilmektedir.
- EMS' nin uygulama süreleri arttıkça tohumda oluşabilecek tahribatlar da (canlılığını yitirmesi gb.) artabileceğinden uygun sürenin 6 ile 12 saat aralığında olmasına özen gösterilmelidir.
- Biber bitkisinin çiçekleri büyük oranda erselik çiçek yapısına sahip olduğundan, yabancı tozlaşma ve dölleme oranı da çok yüksek değildir. EMS uygulanmış bitkilerde yabancı tozlaşma ile ortaya çıkabilecek farklılıkların önüne geçilebilmesi için, çiçeklenme başlangıcında pratik olması dolayısıyla tüm bitki hava geçiren ince tülben benzeri yapılarla örtülerek dışarıdan çiçeklere herhangi bir tozlaşma gerçekleşmesine engel olunmalıdır. Çünkü dışarıdan gelecek farklı bir çiçek tozu çeşit elde etmede yanıltıcı sonuçlara götürebilmektedir. Bu durum önüne geçebilmek için de ayrıca izolasyon mesafelerine dikkat

edilmelidir.

f. Uygulama yapacak kişi ve kişilerin bu kimyasalın yüksek zararlı etkisinin bilincinde olarak çalışması gerektiği bilinmelidir. Cilt ile temasın kesilmesi için vücudun herhangi açık yüzeyi bulunmamalı; önlük, eldiven ve gözlük kullanımına dikkat edilmelidir. Uygulama sonucunda geriye kalan kimyasallar lavabolara dökülmemeli; belediyelerin zararlı atık madde hizmetleri ile imha edilmelidir.

Sonuç olarak artan dünya nüfusunu besleyebilmek için gıda üretiminin sürdürülebilirliği ve artırılmasında biber başta olmak üzere diğer sebze türlerinde yapılacak olan mutasyon ıslahında, var olan genetik kaynakların çeşitliliğinin genişletilmesinde EMS önemli bir rol oynamaktadır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.A.	V.P.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, .VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Bu makalenin hazırlığı ve yazımında yazarların çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler. Ayrıca çalışmanın yapılmasında fon sağlayıcıların çalışmanın tasarımında, verilerin toplanmasında, analiz edilmesinde veya yorumlanmasında; makalenin yazılmasında veya sonuçların yayınlanması kararında herhangi bir rolü yoktur.

Kaynaklar

Akbay G. 1988. Farklı EMS dozlarının uygulandığı tokak 157/57 (*Hordeum vulgare* L.) iki sıralı arpa çeşidi tohumlarının farklı ortam ve farklı sürelerle bekletilmesinin M1 bitkilerinin bazı özellikleri üzerindeki etkileri. Ankara Ü Z Fak Yayınları, 1070, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler, s: 573.

Alcantara TP, Bosland PW, Smith DW. 1996. Ethyl methanesulfonate-induced seed mutagenesis of *Capsicum annuum*. J Hered, 87(3): 239-241.

Altıntaş D. 2020. Mutasyon ıslahı yoluyla pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) herbisitlere toleranslı genotip geliştirebilme olanaklarının değerlendirilmesi. Doktora tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Aydın, Türkiye ss: 147.

Ariramana M, Gnanamurthy S, Dhanavelb D, Bharathi T, Murugan S. 2014. Mutagenic effect on seed germination, seedling growth and seedling survival of pigeon pea (*Cajanus*

cajan L. Millsp). Int Lett Nat Sci, 21: 41-49.

Arisha MH, Liang BK, Shah SM, Gong ZH, Li DW. 2014. Kill curve analysis and response of first generation *Capsicum annuum* L. B12 cultivar to ethyl methane sulfonate. Genet Mol Res, 13(4): 10049-10061.

Arisha MH, Shah SN, Gong ZH, Jing H, Li C, Zhang HX. 2015. Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annuum* L.). Front Plant Sci, 6: 399.

Aziz S, Kantoglu Y, Tomlekova N, Staykova T, Ganeva D. Sarsu F. 2021. Characterization of tomato genotypes by simple sequence repeats (SSR) molecular markers. Biharean Biol, 15(2): 142-148.

Bado S, Forster BP, Nielen S, Ali AM, Lagoda PJ, Till BJ, Laimer M. 2015. Plant mutation breeding: current progress and future assessment. Plant Breed Rev, 39: 23-88.

Baghery MA, Kazemitabar SK, Kenari RE. 2015. Effect of EMS on germination and survival of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Int J Biol 24: 982-989.

Beşirli G, Göçmen M, Yanmaz R, Kantoğlu KY. 2006. bazı sarımsak genotiplerinin (*Allium sativum* L.) ve mutantların rapd belirleyiciler ile tanımlanması. VI Sebze Tarımı Sempozyumu Kitabı, 19-22 Eylül, Kahramanmaraş, Türkiye, ss: 49-54.

Büyükdinç TD, Kantoğlu KY, Karataş A, İpek A, Ellialtıoğlu ŞŞ. 2019. Determination of effective mutagen dose for carrot (*Daucus carota* ssp. sativus var. atropubens alef and D. carota) callus cultures. IJSTR, 5(3): 15-23.

Çancı H, İnci NE, Baloğlu FÖC, Yıldırım T. 2015. Inheritance of rose-flowered mutation in chickpea (*Cicer arietinum* L.). JAS, 23: 208-212.

Cheng GX, Zhang RX, Liu S, He YM, Feng XH, Haq SU, Gong ZH. 2019. Leaf-color mutation induced by ethyl methane sulfonate and genetic and physio-biochemical characterization of leaf-color mutants in pepper (*Capsicum annuum* L.). Sci Hortic, 257(108709): 1-12

Devi SA, Selvakumar G. 2013. Chemical mutagens induced alterations in chlorophyll mutants and flower development of chilli (*Capsicum annuum* L.). Int J Mod Agric, 2: 39-42.

Dhamayanthi KPM, Reddy VRK. 2000. Cytogenetic effects of gamma rays and ethyl methane sulphonate in chilli pepper (*Capsicum annuum* L.). Cytologia 65(2): 129-133.

Dongfu H, Jianwen H, Wenting F, Mingwen H, Hong Y. 2022. Phenotypic variation analysis of ethyl methane sulfonate induced mutant population of pepper. Pak J Bot, 54(1): 195-203.

Gaul H. 1963. Mutationen in der pflanzenzüchtung. Z Pflanzen 50: 194-207.

Gerami M, Abbaspour H, Ghasemiomran V, Pirdashti H. 2017. Effects of ethyl methanesulfonate on morphological and physiological traits of plants regenerated from *Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) Calli*. Appl Ecol Env Res, 15(3): 373-385.

Güvercin RŞ. 2020. Etil metan sülfonat mutageninin pamuk (*Gossypium hirsutum* L. ve *Gossypium barbadense* L.) tohumu çimlenmesine etkisi. UAZİMDER, 2(1): 24-29.

IAEA. 2021. Mutant variety database. URL: <https://mvd.iaea.org> (erişim tarihi: 20 Kasım 2023).

Jankowicz-Cieslak J, Till BJ. 2015. Forward and reverse genetics in crop breeding. Advn Plant Bree Strtg: Bree, Biotec Mlcr Tls, 2015: 215-240.

Jenks MA, Hasegawa PM, Jain SM, Foolad M. 2007. Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops. Springer Nature, Berlin, Germany, pp: 797.

Jeong HJ, Kwon JK, Pandeya D, Hwang J, Hoang NH, Bae JH, Kang BC. 2012. A survey of natural and ethyl methane sulfonate-

- induced variations of eIF4E using high-resolution melting analysis in *Capsicum*. *MOLB*, 29: 349-360.
- Juliandari RR, Mastuti R, Arumningtyas EL. 2019. Microsatellite marker for genetic variation analysis in local chili pepper (*Capsicum frutescens* L.) induced by ethyl methane sulfonate (EMS). *J Trop Life Sci*, 9(2): 189 –194.
- Kantoğlu Y, Seçer E, Erzurum K, Tutluer İ, Kunter B, Peşkirçioğlu H, Sağel Z. 2010a. Mass screening techniques for selecting crops resistant to disease. Improving tolerance to *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis in melon using tissue culture and mutation techniques. IAEA, Vienna, Austria, Chapter 14, pp: 235-244.
- Kantoğlu KY, Tepe A, Kunter B, Fırat AF, Ekiz H, Peşkirçioğlu H. 2010b. Farklı tip biberlerde mutasyon ıslahı. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Teknik Rapor, Ankara, Türkiye, ss:1-7.
- Kantoğlu KY, Tepe A, Kunter B, Fırat AF, Peşkirçioğlu H. 2014. Vegetable crops breeding by induced mutation and a practical case study of *Capsicum annuum* L. Mutagenesis: exploring genetic diversity in crops. Wageningen Academic Publishers, Amsterdam, Netherlands, 1: 41-56.
- Kantoğlu KY, Kantoğlu Ö, Özmen D, İç E, Özçoban M, Peşkirçioğlu H, Kunter M, Seçer E. 2018. Quality and yield traits of developed mutant tomato lines. İçinde: International Agriculture Congress, Abstract Book, 9- 12 Mayıs 2018, Van, Türkiye, ss: 429.
- Kazaz S, Kholmurotov M. 2022. Melezleme Yoluyla Gül Islahı. *Sci Innov*, 2022s: 268-275.
- Kodým A, Afza R. 2003. Physical and chemical mutagenesis. Methods and protocols. Methods in molecular biology. Humana Press, Inc., Totowa NJ. PlantFUNCO, New Jersey, USA, 236: 189-203
- Krupa-Mańkiewicz M, Kosatka A, Smolik B, Sędzik M. 2017. Induced mutations through EMS treatment and *In Vitro* screening for salt tolerance plant of *petunia x atkinsiana* D. Don. *NAPOCA*, 45(1): 190-196.
- Kökpinar Ş, Kantoğlu KY, Ellialtıoğlu ŞŞ. 2021. Bitkilerde mutagen uygulamaları ile genetik çeşitliliğin artırılması ve sebze ıslahında kullanımı. Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler-1, Gece Kitaplığı/Gece Publishing, Ankara, Türkiye, ss: 341- 362.
- Khursheed S, Laskar RA, Raina A, Amin RKS. 2015. Comparative analysis of cytological abnormalities induced in *Vicia faba* L. genotypes using physical and chemical mutagenesis. *Chrom Sci*, 18(3-4): 47-51.
- Lambat A, Gadewar R, Lambat P, Charjan S, Gulhane R. 2012. Effects of gamma rays and ethyl methane sulphonate on chilli (*Capsicum Annuum* L.). *Bion Front*, 5: 2.
- Masuda M, Agong S, Tanaka A, Shikazono N, and Hase Y. 2004. Mutation spectrum of tomato seed induced by radiation with helium ion beams and coal. *Acta Hort*. 637: 257-262.
- Minocha JL, Arnason TJ. 1962. Mutagenic effectiveness of ethyl methane sulphonate in barley. *Nature*, 196: 499.
- Okagaki RJ, Neuffer MG, Wessler SR, 1991. A Deletion common to two independently derived waxy mutations of maize. *Gntcs*, 127: 425-431.
- Omosun G, Akanwa FE, Lazarus B. 2022. Effect of ethyl methanesulfonate (EMS) on the germination, growth and yield of two Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) varieties. *Afr Scnst*, 22(2): 66-74.
- Pakyürek M. 2020. Mutasyon ıslahı: Meyvecilik alanındaki uygulamalar. ISPEC 5th International Conference Onengineering and Natural Sciences, July 10 - 12, Konya, Türkiye, pp: 718-725.
- Pharmawati M, Defiani MR, Wrsiati LP, Wijaya IMAS. 2018. Morphological changes of *Capsicum annuum* L. induced by ethyl methanesulfonate (EMS) at M2 generation. *Curr Agri Res J*, 6(1): 1.
- Pour AH, Tosun M, Haliloğlu K. 2021. Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) farklı süre ve dozlarda uygulanan etil metansülfonat (EMS)'in çimlenme ve fide ile ilgili bazı karakterler üzerine etkileri. *Atatürk Üni Zir Fak Derg*, 52(2): 190-200.
- Rao AV, Farooqui MA, Sadanandam A. 1997. Induction of lincomycin and streptomycin resistance by nitrosomethylurea and ethyl methanesulphonate in *Capsicum annuum* L. *Plant Cell Rep*, 16: 865-868.
- Ripley LS. 2013. Mutation. In *Brenner's Encyclopedia of Genetics: Second Edition*. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.01007-X> (erişim tarihi: 18 Aralık 2023).
- Sağel Z, Tutluer Mİ, Peşkirçioğlu H. 1994. Bitki ıslahında mutasyonlar. *Tarla Bitk Mrkz Arş Enst Drgs*, 3(1-2): 1-3
- Sağel Z, Tutluer Mİ, Peşkirçioğlu H, Kunter B, Kantoğlu Y. 2013. Mutasyon ıslahı ile geliştirilen soya, tütün, nohut çeşitleri ve özellikleri. İçinde: Uluslararası Bitki Islahı Kongresi, 10-14 Kasım 2013 Antalya, Türkiye, ss:1-8.
- Sağel Z, Pekıştiricioğlu H, Tutluer Mİ. 2003. Nükleer tekniklerin bitki ıslahında kullanılması. VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim, Kayseri, Türkiye, ss: 14.
- Salam CA, and Thoppil JE. 2010. Isolation of Induced Morphological Mutants in *Capsicum annuum* L. *J Phytol*, 2(2): 57–63
- Sanjay Gandhi E, Sri Devi A, Mullainathan L. 2014. The effect of ethyl methane sulphonate and diethyl sulphate on chilli (*Capsicum annuum* L.) in M1 generation. *ILNS*, 05: 18-23
- Sarıçam Ş, Kantoğlu KY, Ellialtıoğlu ŞŞ. 2017. Determination of effective mutagen dose for lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia cv. Cervantes) seeds. *EJAR*, 1(2): 106-113.
- Shah D, Kamili AN, Wani AA, Nazir N, Sajad N, Khan I, Parray JA, Shah S. 2016. Mutagenic action of ethyl methane sulphonate (EMS): A review. *J Res Dev (Srinagar)*, 16: 63-68.
- Shu QY, Forster BP, Nakagawa H, Nakagawa H. (Eds). 2012. Plant mutation breeding and biotechnology. CABI, Wallingford UK, pp: 608.
- Siddique MI, Back S, Lee JH, Jo J, Jang S, Han K, Venkatesh J, Kwon JK, Jo YD, Kang BC. 2020. Development and characterization of an ethyl methane sulfonate (EMS) induced mutant population in *Capsicum annuum* L. *Plants*, 9(3): 396.
- Spencer-Lopes MM, Forster BP, Jankuloski L. 2018. Manual on mutation breeding. FAO/IAEA Centre of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Plant Breeding and Genetics Subprogramme, Vienna, Austria , pp: 299.
- Soyam SR. 2021. Effect of EMS (Ethyl methane sulphonate) on chlorophyll content and ascorbic acid of chilli in M1 generation. *J Pharmacogn Phytochem*, 10(1): 331-332.
- Talebi AB, Talebi AB, Shahrokhifar B. 2012. Ethyl methane sulphonate (EMS) induced mutagenesis in Malaysian rice (cv. MR219) for lethal dose determination. *Am J Plant Sci*, 3: 1661-1665.
- Tanaka Y, Mitani A, Shimizu N, Goto T, Yoshida Y, Yasuba KI. 2021. Characterization and bulk segregant analysis of a novel seedless mutant tn-1 of chili pepper (*Capsicum annuum*). *Sci Hortic*, 276, 109729.
- Taner KY, Beşirli G, Kunter B, Yanmaz R. 2004. Sarımsakta (*Allium sativum* L.) mutasyon ıslahına yönelik olarak etkili mutasyon dozunun belirlenmesi. *Bahçe*, 33(1-2): 95-99.
- Tantray AY, Raina A, Khursheed S, Amin R, Khan S. 2017. Chemical mutagen affects pollination and locule formation in capsules of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Int J Agric Sci*, 8(1): 108-117.

- Tepe A, Kantoğlu KY, Kunter B, Peřkirciođlu H, Ekiz H. 2003. Sera Demre 8 biber çeşidinde mutasyon ıslahına yönelik olarak etkili mutasyon dozunun belirlenmesi. İçinde: IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 8-12 Eylül 2003, Antalya, Türkiye, s. 365-366.
- Upadhyaya NM, Bhat RS, Upadhyaya NM, Chaudhury A, Raghavan C, Qiu F, Comai L. 2007. Chemical-and irradiation-induced mutants and TILLING. Rice Functional Genomics: Challenges, Progress and Prospects, pp: 148-180.
- Van Harten AM. 1998. Mutation breeding theory and practical applications. Cambridge University (Press Cambridge United Kingdom), London, UK, 127-140.
- Walter RF, Elinor LF, Holly IJ. 1987. Mutation breeding principles of cultivar development, theory and technique. Macmillan Publishing Company. A Oivision of Macımi Han, Inc, New York, USA, pp: 287-303.