

BİTKİLERDE MUTAGEN UYGULAMALARIYLA GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİN ARTIRILMASI VE SEBZE ISLAHINDA KULLANIMI

Şule KÖKPİNAR¹

K. Yaprak KANTOĞLU²

Ş. Şebnem ELLİALTIOĞLU³

- 1 Dr. Öğrencisi, Geçit Kuşığı Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Eskişehir, sulesaricam@gmail.com
- 2 Dr., Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü, Ankara (<https://orcid.org/0000-0002-7247-9116>)
- 3 Prof. Dr. Ellialtıoğlu Tarım Teknolojileri, Ankara (<https://orcid.org/0000-0002-3851-466X>)

1. GİRİŞ

Mutasyon ıslahı, bitkinin çeşitli kalitatif ve kantitatif karakterlerini geliştirmek üzere tahıl, baklagil, yağlı tohum, sebze, meyve, tıbbi bitki, süs bitkileri ve yem bitkilerinde başarıyla uygulanmakta olan bir metottur. Mutasyon ıslahı ile birlikte kullanılan biyoteknolojik yöntemlerin geliştirilmesiyle, bu yöntem dünyanın beslenme sorununu iyileştirmeye yönelik olarak günün ihtiyaçlarına uygun yeni çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayarak küresel gıda ve tarım üretimindeki artışa katkıda bulunmaktadır.

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve gıda güvenliği 21. yüzyılın en büyük endişesi durumuna gelmektedir. BM'nin Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesinin 2017'de yayınladığı Dünya Nüfus Tahminleri Raporu'na göre 2050 yılına gelindiğinde, dünya nüfusunun 9.8 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla sürekli artan insan popülasyonunun ihtiyaçlarını karşılamak için gıda üretiminin en az iki katına çıkarılması gerektiği tahmin edilmektedir (Spencer-Lopes vd., 2018; Ray vd., 2013; Tester ve Langridge 2010; FAO, 2009).

Artan nüfusun talebini karşılamak için, %70 oranında daha fazla gıda üretimi gereksinimi bulunmakta olup bu durum mevcut iklim ve tarım üretimi üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır (Kumar vd., 2012; Charles vd., 2014). Gıda gereksinimini karşılayabilmek için ürün çeşitliliğini artırmak, yüksek verimli, farklı iklim ve çevre koşullarına adapte olmuş çeşitler geliştirmek zorunludur (Spencer-Lopes vd., 2018; FAO, 2011). Bu uygulamaların yanı sıra, 2050 yılında dünyayı besleyebilmek için tarımsal üretime özenli davranmak gerekmekte; pestisitlerin, gübrelerin aşırı kullanımının azaltılması; bitki ve hayvan yetiştiriciliğinde antibiyotikler ve büyüme düzenleyicilerin minimum seviyelerde kontrollü kullanılması, yeraltı suyu kullanımının düzenlenmesi gündemde tutulmalıdır (Van Harten 1998; Ehrlich ve Harte, 2015, Kantoğlu vd. 2021a).

İstenilen özelliklere sahip çeşitlerinin geliştirilmesinde kullanılacak genetik tabanın aşırı dar olması, verimliliği artırmak ve gıda güvenliğini sağlamak için önemli düzeyde engel teşkil etmektedir (Spencer-Lopes vd., 2018; Khursheed vd., 2019). Özellikle küresel iklim değişikliğine uyum sağlayabilecek çeşit geliştirmek üzere planlanacak ıslah programları öncelikle ele alınarak, bu açıdan genetik tabanın genişletilmesine, varyasyonun artırılmasına çaba gösterilmelidir (Kumar vd. 2012; Raina vd., 2016; Laskar vd., 2018, Kantoğlu vd., 2021a).

Islah çalışmalarında geliştirilmek istenilen bitkisel varyasyon; türler arasındaki morfolojik, fizyolojik, sitolojik ve davranışsal farklılıkları içermektedir. Melezleme ıslahı en önemli varyasyon kaynaklarından biri olup genetik havuzda meydana gelen tıkanıklıkların çözümünde mutasyon ıslahı, yararlanılan bir diğer önemli kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hugo de Vries isimli araştırmacı, mutasyonun babası olarak bilinmektedir. İlk mutasyona yönelik tanımlamayı yapan araştırmacıdır. 1900 yılında, ilk defa kalıtsal fenotipik değişiklikleri tanımlamak için 'mutasyon' terimi kullanılmıştır. Bugün mutasyon, bir organizmanın genom dizisindeki kalıcı bir değişiklik olarak tanımlanmaktadır (Ripley, 2013).

Mutasyon iki şekilde ortaya çıkmaktadır; birincisi spontan (doğal) mutasyon: İkincisi, uyartılmış mutasyondur. Uyartılmış mutasyonun bitki ıslahı amacına yönelik kullanımı, mutasyon ıslahı olarak bilinmektedir (Pathirana, 2011). Uyartılmış mutasyon veya mutagenesis, genetik rekombinasyon veya segregasyondan kaynaklanmayan, ancak fiziksel, kimyasal veya biyolojik ajanlar tarafından uyartılan, bir organizmanın genomundaki ani kalıtsal değişiklikler olarak tanımlanmaktadır (Roychowdhury ve Tah, 2013). Çeşitli bitkilerde genetik varyasyon için çeşitli ıslah yöntemleri arasında mutasyon ıslahı, genetik varyasyonun ortaya çıkmasında rasyonel ve etkin araçlardan biri durumundadır. Türler arasında varyasyonu artırmak ve arzu edilen özelliklerin daha geniş genetik tabana sahip olmalarını sağlamak için farklı mutagenler kullanılmaktadır (Kantoğlu ve Kunter, 2021).

Rekombinasyonun yanı sıra, bitki materyallerinin kimyasal veya fiziksel mutagenlerle uygulamaya tâbi tutulması, yeni varyasyonlar oluşturmak üzere çok sık kullanılmaktadır. Işınlama yoluyla veya kimyasal maddelerle oluşturulan mutasyonlar, genellikle rastgele mutasyon oluşumu olarak kabul edilmektedir, çünkü DNA lezyonlarının yeri önceden etkili bir şekilde tahmin edilememektedir (Greene vd., 2003; Kantoğlu ve Kunter, 2021). Mutasyon ıslahı için hangi tip mutagenin kullanılacağına seçimi genellikle türler için bildirilen geçmiş başarıların yanı sıra mutagenlerin mevcudiyeti, maliyetler ve altyapı gibi diğer hususlara dayanmaktadır (Bado vd., 2015).

İyonize radyasyonla- özellikle gama ışınları- geliştirilen mutant çeşitlere ait IAEA (International Atomic Energy Agency) bünyesinde, kayıtlı mutant çeşitlere ait bir veri tabanında mevcuttur. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (FAO/IAEA) tarafından yürütülen ortak çalışma programları kapsamında mutasyon ıslahı çalışmalarının yürütülmesinin teşviki ve bu programlarda özellikle fiziksel mutagen uygulamasının aktif olarak kullanımının sağlanması ile yürütülen çalışmaların sonuçlarının gönüllülük esasına göre kayıt altına alınması ile oluşturulmuş olan bir veri bankasıdır. Fiziksel mutagen uygulamaları uygulanan genomun cevabına da bağlı olarak daha baskın veya daha kolay gözlemlenebilir özelliklerde daha yüksek bir frekansta mutasyon oluşturulabilmekte ve kimyasal mutagenlere göre daha büyük genomik sapmalara neden olma eğiliminde olmaları nedeni ile biyolojik olarak da önemli olabilmektirler (Jankowicz-Cieslak ve Till, 2015).

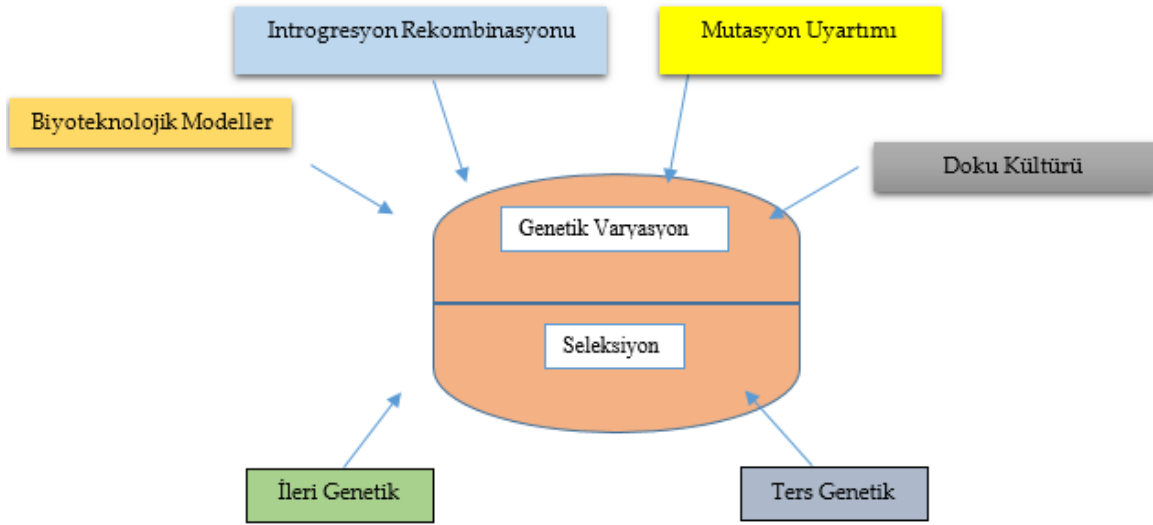
Bitki mutasyon ıslahında en büyük darboğaz; arzu edilen özelliklere sahip bir varyantı tanımlama şansını artırmak için, geniş bitki sayılarını kapsayan mutant populasyonları yetiştirme ve değerlendirme zorunluluğudur. Özellikle vejetatif çoğaltılan bitkilerde karşılaşılan kimerik oluşumlar ve bunların doğru sınıflandırılarak kalıtımının bilinmesi önem arz etmektedir. Vejetatif çoğaltılan bitkilerde, genotipik olarak homojen materyal üretmek için birkaç rejenerasyon döngüsü gerekebilmektedir. DNA dizisinde kimerizm olasılığı hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Örneğin, Etil metan sülfat (EMS) mutagenesi alkilasyona neden olmakta, bu sayede orijinal baz fiziksel olarak değiştirilmemektedir (Van Harten, 1998; Kantoğlu ve Kunter, 2021). Çizelge 1’de özetlenen farklı fiziksel ve kimyasal mutagenler bitki ıslahında yeni ticari çeşitlerin elde edilmesinde kullanılabilmektedir.

Çizelge 1. Farklı mutagen türleri ve özellikleri

Mutagenler	Özellikleri
X-ışını	Elektromanyetik radyasyon; iyonlaştırıcı, dokulara birkaç milimetreden birçok santimetreye kadar nüfuz eder.
Gama ışını	Elektromanyetik radyasyon, iyonlaştırıcı, dokulara çok nüfuz eder; kaynakları ^{60}Co ve ^{137}Ce ’dir.
Nötronlar	Yüksüz parçacıklar; dokulara birçok santimetreye kadar nüfuz eder; kaynak ^{235}U ’tir.
Beta parçacıkları	Negatif yüklü elektronlar; iyonize ; sığ nüfuz eder; ^{32}P ve ^{14}C kaynakları.
Alfa parçacıkları	Ağır iyonizasyon yapabilen helyum çekirdeği; çok sığ nüfuz eder.
Proton	Pozitif yüklü parçacıklar; dokulara birkaç santimetreye kadar nüfuz eder.

2. UYARTILMIŞ BİTKİ MUTAGENESİS'İN ELDE EDİLMESİ

Mutasyon ıslahı, (a) mutasyonların uyarılması, (b) varsayılan mutant adaylarının taranması ve (c) mutant testinden oluşan üç aşamalı bir süreçtir (Şekil 1). Son adım, belirli ülkelerde elde edilen hat ve çeşitlerin karakterize edilerek tescil edilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Mutasyon uyarımı, çoğu bitki türünde yaygın olarak kullanılmış ve oldukça başarılı olmuştur. Mutantların taranması ve istenen varyantların seçimi, işlem basamakları arasında en yoğun adım olmaya devam etmektedir. Son yıllarda fenotipleme, genotipik seçimden daha önemli duruma gelmiş ve emek yoğun bir şekilde devam etmektedir (Spencer-Lopes vd., 2018; Fiorani ve Schurr, 2013).

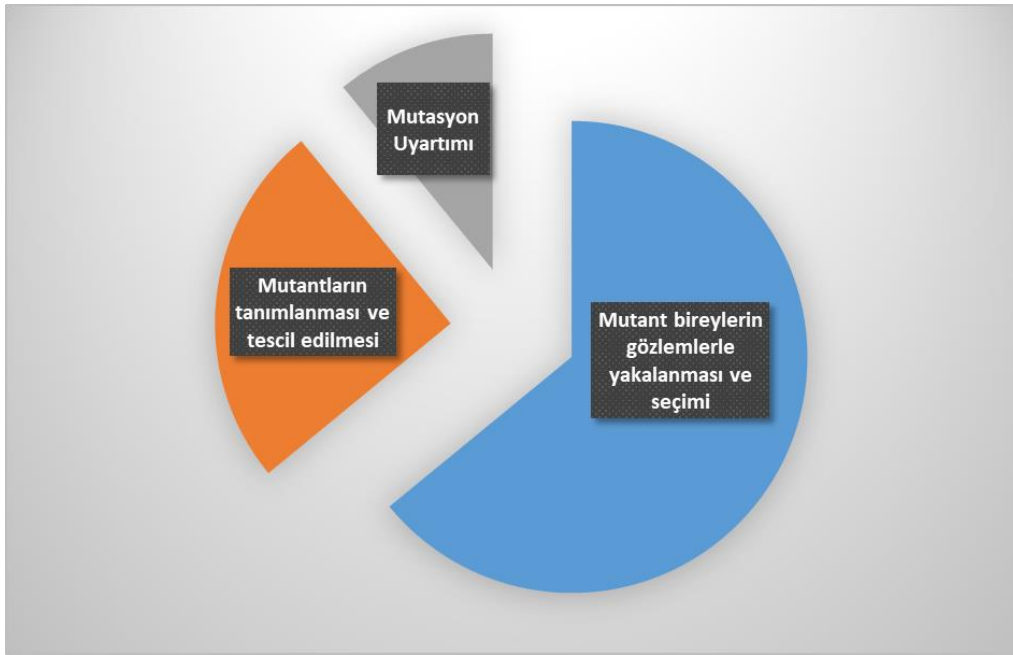


Şekil 1. Genetik çeşitliliğin üretilmesi ve kullanılmasına dayalı ürün geliştirme stratejileri (Jankowicz-Cieslak vd., 2017'den modifiye edilmiştir)

Kalıtsal varyasyonun mevcudiyeti, bitkilerin genetik gelişimi için ön şarttır. Yeterli varyasyonun doğal olarak mevcut olmadığı durumlarda, rastgele veya hedeflenmiş süreçlerle oluşturulabilir (Şekil 1). Yeni genetik varyasyonu oluşturmanın veya açığa çıkarmanın birçok yöntemi vardır. Türler arası veya tür içindeki melezlemeler bilinen en eski çeşitlilik oluşturma yöntemidir. Hücrelerin doku kültüründen geçirilmesi ise, somaklonal varyasyon olarak bilinen oluşumu bizzat açığa çıkaran ve oluşturan bir sistemdir. Bilindiği gibi *in vitro* koşullarda arka arkaya yapılan alt kültürlerde hücreler arasında varyasyonların oluşma ve ortaya çıkma olasılığı artmaktadır. Transgenik veya genom düzenleme gibi yöntemler de varyasyon kaynağı olabilmektedir (Biyoteknolojik Modeller). İhtiyaç duyulan genetik varyasyonun oluşturulmasından sonraki adım, istenen mutasyona veya fenotipe sahip olan bitkileri seçmektir. Burada araştırmacı genlerin önceki bilgisine ve gen fonksiyon hipotezlerine bağlı olarak ileri ve ters genetik yaklaşımlar arasında seçim yapabilmektedir (Cobb vd., 2013). Doğrudan geleneksel fenotiplemeye ek olarak, moleküler tekniklerin kullanıldığı genomik ve fenomik alanları, istenen varyantlara ulaşma süresini azaltmaktadır (Novak ve Brunner, 1992; Ranjith ve Rao, 2021).

Tohumla çoğaltılan bir ürünün mutasyon ıslahı ile geliştirilmesi için gereken tahmini süre 7-10 yıldır (Şekil 2). İlk adım, etkili mutasyon dozunun belirlenmesi ve mutant populasyonun yaratılması için etkili dozla ışınlatma yapılmasıdır. En çok zaman alan ve karmaşık adım ise mutant bireylerin seçimidir. Kararlı olan ve kalıcı özellikteki arzu edilen özellikleri tanımlamak için genellikle birkaç yıla ihtiyaç vardır. Üçüncü adım olan mutant çeşidin tescil edilmesi için, bitkilerin yetiştirildiği ülkenin standart prosedürlerinin takip edilmesi gerekliliğidir. Genellikle çiftçilerin katılımı ile türlere

göre değişiklik göstermekle birlikte çoklu lokasyon verim denemeleri gerekli olmaktadır. Bunun zamanlaması değişebilirken, genellikle seçim ve test aşamasından bir miktar daha kısa süreye ihtiyaç vardır (şekil 2).

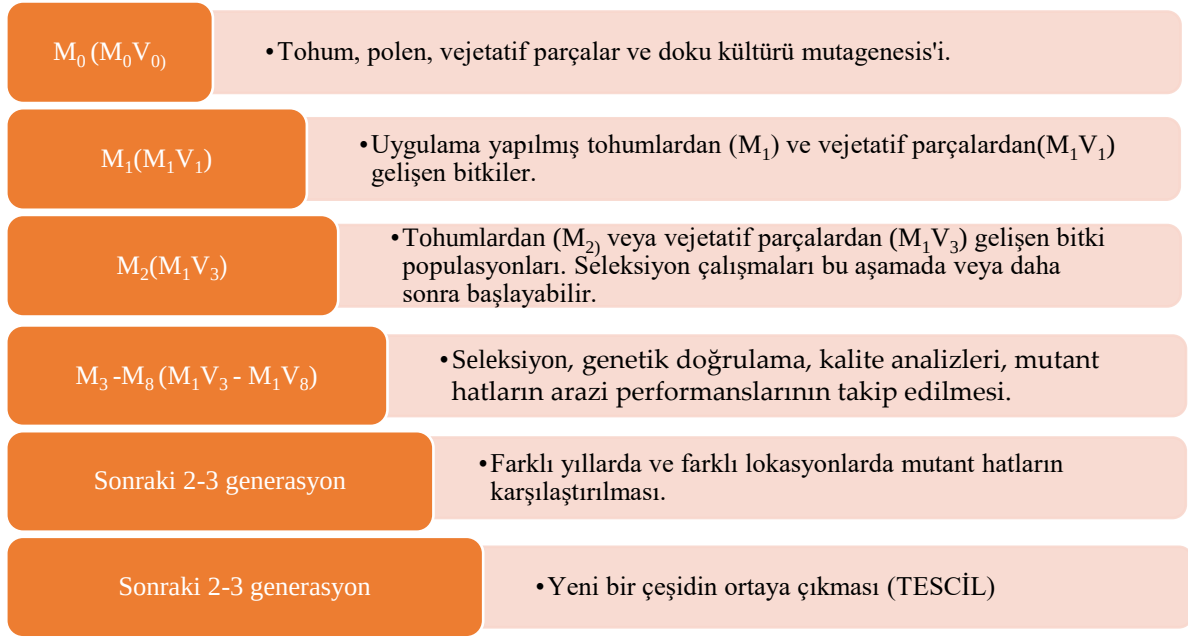


şekil 2. Geliştirilmiş ürünlerin doğrudan ortaya çıkması için üç aşamalı bir mutasyon yetiştirme şeması (Jankowicz-Cieslak vd., 2017)

3. UYARTILMIş MUTASYON TEKNİğİNİ KULLANARAK ÇEşİTLERİN GELİşTİRİLMESİ

Mutant bir popülasyon geliştirildikten sonra, mutasyon ıslahı, yetiştirme sürecinin geleneksel ıslah aşamalarını takip etmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir (şekil 3). Burada dikkate alınması gereken en önemli husus, istenilen özelliklerde elde edilen mutantlar için seçimin hangi generasyonda başlayacağıdır. Mutasyonların yoğunluğuna bağlı olarak, M_2 'de stabil fenotiplerin seçimi zor olabilmektedir. Fenotiplerin çok erken seçilmesinin bir sonucu olarak, gözlemlenen özellik sonraki generasyonlarda kaybolabilmektedir. Bunun nedeni, bağlı olmayan allellerin dölleri boyunca bağımsız olarak ayrılmalarıdır. Araştırmacılar bu riski kabul etmeyi seçebilir ve daha fazla karakterizasyon için M_2 generasyonunda ilgi çekici olan her şeyi seçebilir. Öte yandan, benzersiz mutasyonların keşfini en üst düzeye çıkarmak için moleküler markırların kullanılması tercih edilebilir (Kantoğlu vd., 2014b; Jankowicz-Cieslak ve Till 2015). Ayrıca, istenen fenotipleri seçmek için kullanılan yöntem de kritik öneme sahip olmaktadır.

Farklı mutagenlerin DNA dizisi üzerindeki etkisi de mutagen tipine ve dozuna göre değişmektedir. Yeterli genetik çeşitlilik için uyartım sağlandıktan sonra, istenen özelliklere sahip materyallerin seçilmesi gerekir. şekil 3'te görüldüğü üzere, her satır, belirli bir generasyon için adımları açıklamaktadır. Generasyon isimlendirmesi, tohum veya polen mutagenesi için M_0 ve vejetatif organlar için M_0V_0 ile başlar; burada M, mayotik ve V vejetatif generasyon anlamına gelmektedir. Tüm materyaller mutasyon oluşumundan önce '0' ve mutagenesis sağlandıktan sonra '1' ile belirtilmektedir.



Şekil 3. Geleneksel mutasyon ıslahı şeması (Jankowicz-Cieslak vd., 2017'den modifiye edilmiştir)

Çok hücreli bitkisel materyal mutasyona uğratıldığında, birinci generasyon değerlendirme için uygun değildir, çünkü elde edilen bitkiler genotipik olarak heterojen (kimerik), fiziksel anlamda mutagen etkisi nedeni ile zayıf olacaktır. Tohumla çoğaltılan materyalde ilk kimerik olmayan (homohistont) generasyon M_2 'dir. Vejetatif olarak çoğaltılan bir materyali genotipik olarak homojen hale getirmek ve mutant alellerin kalıtımını kalıcı hali getirmek için birkaç generasyona ihtiyaç vardır. Sonraki generasyonlar genellikle mutant fenotiplerin değerlendirilmesi için seçim aşamalarını içermektedir. Bu işlem tamamlandıktan sonra, materyaller çeşitli arazi denemelerine alınmaktadırlar. Alternatif olarak, materyaller ıslah programlarında ebeveyn olarak kullanılabilir. Resmi olarak yayımlanan mutant ürün çeşitleri, FAO / IAEA Ortak Programına bildirilmekte ve Mutant Çeşit Veri Tabanına araştırmacıların gönüllülük esasına göre kaydedilmektedir (Novak ve Brunner, 1992; Kantoğlu ve Kunter, 2021).

4. DÜNYA ÜZERİNDE ELDE EDİLEN MUTANT ÇEŞİTLER VE ÖZELLİKLERİ

Genetik çeşitlilik bitki ıslahının yapılabilmesi için gerekli en önemli faktörlerden biridir ve mutasyon ıslahı (uyartılmış mutasyon), çeşitli ıslah yöntemleri arasında genetik çeşitliliğin oluşturulmasında önemli bir yer tutmaktadır. IAEA 2021 yılı verilerine göre, farklı mutagen uygulamaları ile geliştirilen mutant çeşitlerin sayısı Çizelge 2'de verilmiştir. Ortaya çıkan tabloya baktığımız zaman fiziksel mutagen uygulamasında 2652 adet, kimyasal mutagen uygulamasında 677 adet, Kimyasal+fiziksel mutagen uygulamasında 36 adet çeşit tescil edilmiştir.

Çizelge 2. Farklı mutagen uygulamaları ile geliştirilen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA 2021)

Mutagen Uygulaması	Mutant Çeşit Sayısı
Kimyasal	677
Fiziksel	2.652
Kimyasal+Fiziksel	36
Toplam	3.365

Geçtiğimiz 50 yıl boyunca mutasyon ıslahı popüler olmuş ve birçok ülke tarafından benimsenmiştir. Çizelge 3'te bildirildiği gibi 6 farklı kıtada toplam 3365 adet mutant çeşit geliştirilmiştir. Bu oranın en fazla Asya kıtasında (2052 adet) olduğu karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 3. Çeşitli kıtalarda resmi olarak piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Kıtalar	Mutant Çeşit Sayısı
Afrika	82
Asya	2.052
Avustralya ve Pasifik	9
Avrupa	960
Latin Amerika	53
Kuzey Amerika	209
Toplam	3.365

Dünya genelinde 21 farklı sebze türünde toplam 172 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 4). 30 farklı meyve türünde ise 96 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 4. Sebze türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

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

Çizelge 5. Meyve türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Ahududu	<i>Rubus idaeus</i> L.	1	Limon	<i>Citrus limon</i> L. Burm.	1
Ananas	<i>Ananas comosus</i>	1	Luffa	<i>Luffa acutangula</i> Roxb.	1
Armut	<i>Pyrus communis</i>	5	Mandarin	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	3
Badem	<i>Prunus dulcis</i> Webb	1	Manyok	<i>Manihot esculenta</i> L. Crantz	2
Çilek	<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i>	5	Muz	<i>Musa</i> sp.	4

Çizelge 5 (devamı). Meyve türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Elma	<i>Malus pumila</i> Mill.	13	Nar	<i>Punica granatum</i> L.	2
Erik	<i>Prunus domestica</i> L.	1	Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	1
Frenk Üzüümü	<i>Ribes</i> sp.	2	Portakal	<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck	6
Greyfurt	<i>Citrus paradisi</i> Macf.	2	Şeftali	<i>Prunus persica</i> L.	7
Hünnap	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	2	Taro	<i>Colocasia esculenta</i>	3
İncir	<i>Ficus carica</i> L.	1	Üzüm	<i>Vitis vinifera</i> L.	1
Japon Armudu	<i>Pyrus pyrifolia</i> Nakai	3	Vişne	<i>Prunus cerasus</i> L.	5
Kayısı	<i>Prunus armeniaca</i> L.	1	Yalancı İğde	<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	1
Kiraz	<i>Prunus avium</i> L.	16	Yenidünya	<i>Eriobotrya japonica</i> Lindl	1
Klement	<i>Citrus clementina</i>	3	Zeytin	<i>Olea europaea</i> L.	1

Dünya genelinde 15 farklı tahıl türünde 1.648 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Tahıl türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Arpa	<i>Hordeum vulgare</i> L.	311
Buğday	<i>Triticum aestivum</i> L.	265
Çavdar	<i>Secale cereale</i> L.	4
Darı	<i>Coix lachryma-jobi</i> L.	3
Darı	<i>Pennisetum</i> sp.	5
Darı	<i>Setaria</i> sp.	22
Durum Buğdayı	<i>Triticum turgidum</i> ssp. durum Desf.	31
Kara Buğday	<i>Fagopyrum esculentum</i> Gili	10
Kavılca Buğdayı	<i>Triticum dicoccum</i>	2
Mısır	<i>Zea mays</i> L.	96
Parmak Darı	<i>Eleusine coracana</i>	2
Pirinç	<i>Oryza sativa</i> L.	853
Sorgum	<i>Sorghum</i> sp.	20
Yabani Arpa	<i>Psathyrostachys juncea</i> (F.) Nevski	1
Yulaf	<i>Avena sativa</i> L.	23

Dünya genelinde 18 farklı baklagil türünde 424 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 7). 23 farklı çayır mera ve yem bitkilerine ait türde 69 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 7. Baklagil türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Ateş Fasulyesi	<i>Phaseolus coccineus</i> L.	1
Azuki Fasulyesi	<i>Vigna angularis</i> Willd.	3
Bakla	<i>Lupinus consentini</i> Guss.	1

Çizelge 7 (devamı). Baklagil türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Bakla	<i>Vicia faba</i> L.	20
Beyaz Bakla	<i>Lupinus albus</i> L.	13
Börülce	<i>Vigna unguiculata</i> Walp.	16
Güve Fasulyesi	<i>Vigna aconitifolia</i> (Jack.) Marechal	1
Güvercin Bezelyesi	<i>Cajanus cajan</i> Millsp.	7
Mavi Bakla	<i>Lupinus angustifolius</i> L.	2
Mercimek	<i>Lens culinaris</i> Medik.	18
Mung Fasulyesi	<i>Vigna radiata</i> (L.) Wil.	39
Mürdümük	<i>Lathyrus sativus</i> L.	3
Nohut	<i>Cicer arietinum</i> L.	27
Sarı Bakla	<i>Lupinus luteus</i> L.	3
Siyah Börülce	<i>Vigna mungo</i> L.	9
Soya	<i>Glycine max</i> L.	181
Sümbül Fasulyesi	<i>Dolichos lablab</i> L.	1
Yer Fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i> L.	79

Çizelge 8. Çayır mera ve yem bitkilerine ait türlerde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Üçgül	<i>Trifolium</i> sp.	5	Fiğ	<i>Vicia sativa</i> L.	3
Adi Korunga	<i>Onobrychis vicifolia</i> Scop.	2	Gine Otu	<i>Panicum miliaceum</i> L.	4
Bermuda çimi	<i>Cynodon dactylon</i>	4	Japon Çimi	<i>Zoysia japonica</i> Steud.	3
Beyaz Dut	<i>Morus alba</i> L.	9	Juncus	<i>Juncus effusus</i> L.	4
Brom Otu	<i>Bromus inermis</i> Leyss.	1	Kırkayak Otu	<i>Eremochloa ophiuroides</i> Hack	2
Çayır Kelp Kuyruğu	<i>Festuca pratensis</i> Huds.	3	Lespedeza	<i>Lespedeza cuneata</i> Dum.	2
Çayır tilki kuyruğu	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	2	Otlak Ayırığı	<i>Agropyron cristatum</i> L.	1
Çim	<i>Cyperus malaccensis</i> Lam.	1	Serradella	<i>Ornithopus compressus</i> L.	1
Çim	<i>Lolium</i> sp.	2	St. Augustine otu	<i>Stenotaphrum secundatum</i> Kuntze	2
Çim	<i>Agrostis</i> sp.	3	Yem Pancarı	<i>Beta vulgaris</i> L.	7
Çin Geveni	<i>Astragalus huangheensis</i>	5	Yonca	<i>Medicago sativa</i> L.	2
Fiğ	<i>Coronilla varia</i> L.	1			

Dünya genelinde endüstri bitkilerine ait türlerde 13 farklı türde 169 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 9).

Çizelge 9. Endüstri bitkilerine ait türlerde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	2
Ay Çiçeği	<i>Helianthus annuus</i> L.	6
Beyaz Hardal	<i>Sinapis alba</i> L.	4
Beyaz rami	<i>Boehmeria nivea</i>	1
Hardal	<i>Brassica juncea</i> L.	12
Hint Yağı	<i>Ricinus communis</i> L.	5
Keten	<i>Linum usitatissimum</i> L.	12
Kolza	<i>Brassica napus</i> L.	21
Pamuk	<i>Gossypium</i> sp.	48
Susam	<i>Sesamum indicum</i> L.	30
Şeker Kamışı	<i>Saccharum officinarum</i> L.	13
Tütün	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	15

Dünya genelinde 12 farklı tıbbi bitki türünde 54 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 10).

Çizelge 10. Tıbbi bitkileri türlerinde piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Citronella	<i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt	6
Çay	<i>Camelia sinensis</i> Kuntze	2
Dulavratotu	<i>Arctium lappa</i> L.	5
Ebegümeci	<i>Hibiscus</i> sp.	26
Gojiberi	<i>Lycium chinense</i> L.	3
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i> L.	1
Horozibiği	<i>Amaranthus</i> sp. L.	3
Khasianum	<i>Solanum khasianum</i> Clarke	1
Kudret Narı	<i>Momordica charantia</i> L.	1
Mayıs Papatyası	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1
Şerbetçi Otu	<i>Humulus lupulus</i> L.	3
Zerdeçal	<i>Curcuma domestica</i> Val.	2

Dünya genelinde 66 farklı süs bitkileri türlerinde 708 adet mutant çeşit tescil edilmiştir (Çizelge 11).

Çizelge 11. Süs bitkileri türlerine ait piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Abelya	<i>Abelia</i> sp.	1	Lale	<i>Tulipa</i> sp.	9
Adaçayı	<i>Lantana depressa</i>	3	Leylak	<i>Syringa vulgaris</i> L.	1
Afrika Menekşesi	<i>Saintpaulia</i> sp.	1	Lisianthus	<i>Eustoma grandiflorum</i>	3
Aibika (Gün Batımı)	<i>Albelmoschus manihot</i>	4	Melastoma	<i>Melastoma</i> sp.	1

Çizelge 11 (devamı). Süs bitkileri türlerine ait piyasaya sürülen mutant çeşitlerin sayısı (IAEA, 2021)

Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı	Tür Adı	Latince Adı	Çeşit Sayısı
Aslanagzı	<i>Antirrhinum</i> sp.	5	Meryem Asması	<i>Clematis</i> sp.	2
Aster Çiçeği	<i>Aster savatieri</i>	2	Mum Çiçeği	<i>Hoya carnosa</i>	4
Ateş Çiçeği	<i>Salvia</i> sp.	1	Orkide	<i>Cymbidium</i> sp.	6
Azalea	<i>Rhododendron</i> sp.	15	Orkide	<i>Oncidium</i> sp.	6
Bambu	<i>Dracaena sanderiana</i>	2	Oya Ağacı	<i>Lagerstroemia indica</i>	2
Begonvil	<i>Bougainvillea</i> sp.	17	Paşa Kılıcı	<i>Sansevieria trifasciata</i>	1
Begonya	<i>Begonia</i> sp.	25	Petunya	<i>Petunia</i> sp.	1
Biden	<i>Bidens</i> sp.	1	Saray Çiçeği	<i>Delphinium</i> sp.	2
Butterbur	<i>Petasites</i> sp.	1	Sardunya	<i>Pelargonium</i> sp.	3
Centiyana	<i>Gentiana</i> sp.	2	Semizotu	<i>Portulaca grandiflora</i>	17
Coleus	<i>Solenostemon</i>	1	Sonerila	<i>Sonerila picta</i>	1
Freycinetia	<i>Freycinetia multiflora</i>	1	Statice	<i>Limonium</i> sp.	6
Gerbera	<i>Gerbera jamesonii</i> Bolus	1	Streptokarpus	<i>Streptocarpus</i> sp.	30
Glâyöl	<i>Gladiolus</i> sp.	4	Sümbül	<i>Hyacinthus</i> sp.	1
Gül	<i>Rosa</i> sp.	67	Sümbülteber Çiçeği	<i>Polyanthes tuberosa</i> L.	2
Hint Lotusu	<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertner	3	Süpürge otu	<i>Cytisus scoparius</i>	9
Hor Çiçeği	<i>Forsythia x intermedia</i>	2	Süs İnciri	<i>Ficus benjamina exotica</i>	2
Kâğıt Çiçeği	<i>Achimenes</i> sp.	8	Süsen	<i>Iris</i> sp.	5
Kaladyum	<i>Caladium</i> sp.	1	Sütleğen	<i>Euphorbia fulgens</i> Karw.	1
Kalanşo	<i>Kalanchoe</i> sp.	4	Sütleğen	<i>Triadica sebifera</i>	1
Kaletya	<i>Calathea crocata</i>	1	Şeflera	<i>Schefflera</i> sp.	1
Kanna Gülü	<i>Canna indica</i> L.	8	Ti-Bitkisi	<i>Cordyline fruticosa</i>	2
Karanfil	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.	28	Weigela	<i>Weigela thunb</i>	3
Kavak	<i>Populus trichocarpa</i> L.	1	Yasemin	<i>Gardenia jasminoides</i>	1
Gypsophyla	<i>Gypsophyla elegans</i> M. Bieb.	3	Yıldız Çiçeği	<i>Dahlia</i> sp.	36
Köri Ağacı	<i>Murraya paniculata</i>	1	Lades Çiçeği	<i>Torenia fournieri</i>	3
Krizantem	<i>Chrysanthemum</i> sp.	274	Zambak	<i>Alstroemeria</i> sp.	35
Krizantem	<i>Dendranthema grandiflorum</i> (Ramat) Kitamura	11	Zambak	<i>Lilium</i> sp.	6

5. TÜRKİYE’DE SEBZELERDE YAPILAN MUTASYON ÇALIŞMALARI

Türkiye’de dünyada olduğu gibi tarla bitkileri (susam, buğday ve arpa), baklagil (nohut, fasulye, soya) türlerinde, çok yıllık bahçe bitkilerinde (elma, üzüm, kiraz, portakal, mandarin, zeytin, kayısı, antep fıstığı, maviyemiş) ve süs bitkilerinde (gül, kasımpatı, çim, kalanşo) mutasyon ıslahından yararlanılarak, ülke ihtiyaçları da göz önüne alınarak daha nitelikli ve günümüzün değişen koşullarını daha iyi değerlendirecek yeni çeşitler geliştirmek üzere ıslah çalışmaları yapılmaktadır.

Dünya genelinde 2021 yılı IAEA mutant bitki veri tabanı verilerine göre sebze türlerinde toplamda 168 çeşit mutasyon ıslahı ile farklı sebze türlerinde geliştirilmiştir. Türkiye özelinde ise durum incelendiği zaman özellikle son yıllarda sebze türlerinde mutasyon ıslahı ile yüksek verimli, ürün kalitesi ve besin değeri yüksek yeni çeşitlerin geliştirilmesine yönelik olarak biber (Tepe vd.,

2003; Kantoğlu vd., 2014b), sarımsak (Taner vd., 2004; Beşirli vd., 2006), domates (Aziz vd., 2021, Kantoğlu vd., 2018; Kantoğlu vd., 2014a), kavun (Kantoğlu vd., 2010, Kantoğlu vd., 2009; Kantoğlu vd., 2008), marul (Sarıçam vd., 2017) ve havuç (Büyükdinç vd., 2019) gibi türlerde çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Şekil 4). Bu türlerin dışında yine başka sebze türlerinde de mutasyon ıslahı ile yeni çeşit geliştirmeye yönelik olarak gerek enstitülerde gerekse özel sektör ve üniversitelerde yeni çalışmaların hayata geçirilmesine yönelik planlamalar ortaya çıkan olumlu neticelerle orantılı olarak artmaktadır. Özellikle küresel ısınma ile birlikte günden güne yoğunluğu artan biyotik ve abiyotik strese yönelik olarak planlanan çalışmalarda mutasyon ıslahı alternatif bir varyasyon kaynağı oluşturmak üzere dikkate alınan bir ıslah yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4. Türkiye’de farklı sebze türlerinde yürütülen çalışmalarda elde edilen varyasyonlar

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

1950 yılında Endonezya’da geliştirilen ilk tescilli mutant çeşidi takiben, bitki ıslahı çalışmaları kapsamında kullanılan mutasyon ıslahının çok önemli bir rol oynadığı ve aynı zamanda geleneksel bitki ıslahı yöntemlerine göre daha hızlı bir modern ıslah tekniği olarak kullanım alanı bulduğu görülmektedir (Aziz vd., 2021; Shu vd., 2012). Farklı çeşitlerin yetiştirilmesi ve geliştirilmesine yönelik olarak mutagen uygulamalarıyla varyasyon oluşturmak, tüm dünyada başarıyla kullanılmaya devam etmektedir. Bitkide uyarılmış mutantların elde edildiği ıslah programları, dünya genelinde 75'ten fazla ülkede 240 farklı bitki türünden 3.365 mutant bitki çeşidinin resmi olarak piyasaya sürülmesine yol açmıştır (IAEA, 2021). Mutasyon ıslahı ile geliştirilen çeşitler, geleneksel bitki ıslahı için temel teşkil etmekte ve bitki genetik kaynaklarının korunmasına ve kullanılmasına doğrudan katkıda bulunmakta ve kendi aralarındaki biyoçeşitliliği artırmaktadır. Çeşitli bitkilerde genetik değişkenliği teşvik etmek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından farklı mutagenler kullanılmıştır. 1920'lerde X ışınlarının mutasyon etkisinin keşfedilmesi ve yapay mutasyonların metodolojik olarak ıslah çalışmalarında kullanımının 1927 yılında kabulünden bu yana mutasyon ıslahı, tarımsal ürünlerin ıslah edilmesi için potansiyeli yüksek bir teknik olarak tanımlanmıştır (Kunter vd., 2012). Yapılan çalışmaları incelediğimiz zaman ilk hastalığa dayanıklı mutantın 1942'de arpada elde edildiği görülmektedir (Usharani ve Ananda Kumar, 2015).

Hızlı nötron ışınlama uygulaması sayesinde Afrika'da yetiştirilen bir biber türünde (*Capsicum annuum* var. *acuminatum*) verimin arttığı (Daudu vd., 2012), mercimek türünde ise düşük konsantrasyonda uygulanan metil metanesülfonat uygulaması sonrasında elde edilen hattın 100 tohum ağırlığının arttığı Khursheed (2014) tarafından belirlenmiştir. Doğada heksaploid olan buğdaylarda diploid ve triploid genotiplere göre mutasyon oranının üç kat daha fazla olduğu (Rajarajan vd., 2014) belirtilmektedir.

Fiziksel mutagenler dışında çalışmalarda kullanılmakta olan kimyasal mutagenler öncelikle tek nokta mutasyonunu uyarmakta, ıslah programlarında yüksek verim, kısa bitki boyu ve hastalığa karşı dayanıklılık gibi gelişmiş özelliklere sahip yeni çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadırlar (van Harten 1998; Khursheed, vd., 2015; Jankowicz-Cieslak ve Till, 2016; Tantray vd., 2017). Yine bugüne kadar olan çalışmalarda fiziksel mutagen kaynağı olarak gama ışınından ağırlıklı olarak yararlanıldığı görülmektedir. Ancak radyasyon teknolojisinde meydana gelen ilerlemeler sonucunda bugün pek çok türde hızlı nötron, elektron hızlandırıcısı ile yapılan ışınlamalar ağırlık kazanmaya başlamıştır. Özellikle hızlı nötronlarla yapılan uygulamalarda türlerin mutasyona yatkınlığına da bağlı olmakla birlikte genetik çeşitliliğin artışında daha etkili farklılıkların ortaya çıktığı görülmektedir (Kumawat vd., 2019).

Mutasyon ıslahı, vejetatif olarak çoğaltılan bitkilerin iyileştirilmesi için de önemli bir yöntemdir. Biyoteknolojideki ilerlemeyeyle birlikte son yıllarda, özellikle vejetatif olarak çoğaltılan bitkilerde mutasyon ıslahı için etkin yöntem sağlayan doku kültürü tekniklerinden faydalanılmaktadır (Kantoğlu ve Kunter, 2021; Kantoğlu vd., 2021b; Spencer-Lopes vd., 2018; Bado vd., 2015). Bu şekilde laboratuvar koşullarında hızla mutant popülasyonun geliştirilerek çoğaltımı gerçekleştirilmektedir. Bunların yanı sıra gerek *in vitro* gerekse *in vivo* koşullarda geliştirilen mutantlarda; özellikle İleri Generasyon Dizi Analizi (NGS) çalışmalarına yönelik olarak yürütülen projelerde elde edilen mutant genlerin önemi günden güne daha da artmaktadır. Moleküler karakterizasyon ve CRİSPR Cas-9 çalışmalarında mutasyon ile elde edilen hedef genlerin kullanımı çok daha anlam kazanmıştır.

Sonuç olarak mutasyon ıslahı; genetik çeşitliliğin genişletilmesinde, dünya nüfusunun hızla arttığı günümüz koşullarında gıda üretiminin artırılmasında ve sürdürülebilir beslenmenin sağlanmasında ekonomik açıdan önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Aziz, S., Kantoglu, Y., Tomlekova, N., Staykova, T., Ganeva, D. and Sarsu, F. 2021. Characterization of tomato genotypes by simple sequence repeats (SSR) molecular markers. *Biharean Biologist*. Vol.15, no.2, pp.142-148.
- Bado, S., Forster, B. P., Nielen, S., Ali, A. M., Lagoda, P. J. L., Till, B. J. and Laimer, M. 2015. Plant mutation breeding: current progress and future assessment. *Plant Breeding. Reviews*. <https://doi.org/10.1002/9781119107743.ch02>.
- Beşirli, G., Göçmen, M., Yanmaz, R. ve Kantoğlu K. Y. 2006. Bazı Sarımsak Genotiplerinin (*Allium sativum* L.) ve mutantların rapd belirleyiciler ile tanımlanması. In: Çağlar, G., Abak, K., Akinci, I.E. (eds). VI Sebze Tarımı Sempozyumu Kitabı, Kahramanmaraş, 49-54s.
- Büyükdinç, T. D., Kantoğlu, K. Y., Karataş, A., İpek, A. and Ellialtıoğlu, Ş. Ş. 2019. Determination of effective mutagen dose for carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens alef* and *D. carota*) callus cultures. *International Journal of Scientific and Technological Research*. ISSN 2422-8702 (Online), DOI: 10.7176/JSTR/5-3-02 Vol.5, No.3.
- Charles, H., Godfray, H. and Garnett, T. 2014. Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society. B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>.
- Cobb, J. N., Declerck, G., Greenberg, A., Clark, R. and McCouch, S. 2013. Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype-phenotype relationships and its relevance to crop improvement. *Theor Appl Genet (Theoretische und angewandte Genetik)*. 126(4):867–887.
- Daudu, O. A. Y., Falusi, O. A., Dangana, M.C., Bello, I. M. and Muhammad, L. M. 2012. Mutagenic effects of fast neutron irradiation on selected morphological characters and yield of african long pepper (*Capsicum annum* var. *accuminatum*). *International Journal of Applied Biological Research*. 4(1&2), 19–24.
- Ehrlich, P. R. and Harte, J. 2015. Opinion: To feed the world in 2050 will require a global revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519841112>
- FAO, 2009. FAO's Director-General on how to feed the World in 2050. *Popul Dev Rev*, 35 (4):837–839
- FAO, 2011. State of Food and Agriculture 2010-2011. In *Lancet*. <https://doi.org/ISSN 0081-4539>.
- Fiorani, F. and Schurr, U. 2013. Future scenarios for plant phenotyping. *Annu Rev. Plant Biol.* 64:267–291
- Greene, E. A., Codomo, C. A., Taylor, N. E., Henikoff, J. G., Till, B. J., Reynolds, S. H., Enns, L. C., Burtner, C., Johnson, J. E., Odden, A. R., Comai, L. and Henikoff, S. 2003. Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in *Arabidopsis*. *Genetics*. 164(2):731–740.
- IAEA, 2021. Mutant Variety Database, Link: <https://mvd.iaea.org>.
- Jankowicz-Cieslak, J. and Till, B. 2015. Forward and reverse genetics in crop breeding. In: JM A-K, SM J, DV J (eds) *Advances in plant breeding strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools*, vol 1, 1 edn. Springer, Switzerland, pp. 215–240.
- Kantoglu, Y., Seçer, E., Erzurum, K., Kunter, B., Şekerci, S., Kayabaşı, N., Özçoban, M., Tutluer, İ., Peşkırcioğlu, H., Sağel, Z., Maden, S. and Yanmaz, R. 2008. Researches About selecting resistant melon types to *Fusarium oxysporium* f. sp. *melonis* race 1,2 by using tissue culture and mutation techniques. *FAO/IAEA International Symposium on Induced Mutations in Plants Abstract Book*. 166p. 12-15 August 2008, Vienna, Austria.
- Kantoglu, K.Y., Seçer, E., Erzurum, K., Kunter, B., Şekerci, S., Kayabaşı, N., Özçoban, M., Tutluer, İ., Peşkırcioğlu, H., Sağel, Z., Maden, S. ve Yanmaz, R. 2009. Kavun solgunluk etmeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *Melonis* Irk 1,2'ye Karşı doku kültürü ve mutasyon teknikleri kullanılarak dayanıklı kavun tiplerinin seçilmesi üzerinde araştırmalar. *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*. 6-9 Ekim Muğla, Cilt 1: 302-311s.
- Kantoglu, Y., Seçer, E., Erzurum, K., Tutluer, İ., Kunter, B., Peşkırcioğlu, H. and Sağel, Z. 2010. 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 (Chapter 14.) Edited by IAEA, Vienna-Austria, pp:235-244.

- Kantoğlu, K. Y., Sağıl, Z., Tutluer, İ., Peşkircioğlu, H., Kunter, B., Özçoban, M., Işık, Z., Özmen, D., İç, E., Şekerci, S., Günçağ, N., Seçer, E., Şenay, A., Aydın, G., Durna, Y., Babahanoğlu, N., Şirin, H., Akın, A., Uslu, N., Şirin, C. and Karamanav, Z. 2014a. Mutasyon ıslahı ile geliştirilen domates hatların verim ve kalite özellikleri. Uluslararası Mezopotamya Tarım Kongresi. 22-25 Eylül 2014 Diyarbakır- Türkiye, Bildiri Özetleri Kitabı,, s: 40-41.
- Kantoğlu, K. Y., Tepe, A., Kunter, B., Fırat, A. F., and Peşkircioğlu, H. 2014b. Vegetable crops breeding by induced mutation and a practical case study of *Capsicum annuum* L., N.B. Tomlekova, M.I. Kozgar and M.R.Wani (eds.) Mutagenesis: Exploring Genetic Diversity in Crops. 41-56 p. ISBN 978-90-8686-244-3.
- Kantoğlu, K. Y., Kantoğlu, Ö., Özmen, D., İç, E., Özçoban, M., Peşkircioğlu, H., Kunter, M. and Seçer, E. 2018. Quality and yield traits of developed mutant tomato lines. International Agriculture Congress Abstract Book. pp: 429, 9- 12 Mayıs 2018, Van.
- Kantoğlu, K., Y. ve Kunter, B. 2021a. Mutasyon ıslahı. Ed: N., Y., Mendi ve S. Kazaz. Süs Bitkileri Islahı (Klasik ve Biyoteknolojik Yöntemler). 145-202, Gece Kitaplığı. ISBN 978-625-7478-51-9.
- Kantoğlu, K., Y., Kuşvuran, Ş. ve Ellialtıoğlu, Ş., Ş. 2021b. Doku kültürü yöntemlerinin stres çalışmalarında kullanımı. Ed: Ş.Ş. Ellialtıoğlu, H., Y., Daşkan, Ş. Kuşvuran Sebzelede Stres Toleransı ve Islah Stratejileri. 708-741, Gece Kitaplığı. ISBN 978-625-8449-01-3 (Baskıda).
- Khursheed, S. 2014. Mutagenic effects of methyl methanesulphonate on the growth and yield characteristics in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) var . DPL-15 . 2, (March 2016), 943–947.
- Khursheed, S., Laskar, R. A., Raina, A., Amin, R. and K. S. 2015. Comparative analysis of cytological abnormalities induced in *Vicia faba* L. genotypes using physical and chemical mutagenesis. Chromosome Science. 18(3–4), 47–51.
- Khursheed, S., Raina, A., Parveen, K., ve Khan, S. 2019. Induced phenotypic diversity in the mutagenized populations of faba bean using physical and chemical mutagenesis. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.03.001>.
- Kumar, R., Shekhar, S., S. and Singh, M. 2012. Breeding for drought tolerance in vegetables. Vegetable Science (2012). 39 (1) : 1-15.
- Kumawat, S., Rana, N., Bansal, R., Vishwakarma, G., Mehetre, S. T., Das, B. K., Kumar, M., Kumar Yadav, S., Sonah, H., Sharma, T. R. and Deshmukh, R. 2019. Expanding avenue of fast neutron mediated mutagenesis for crop improvement. Plants. 8, 164.
- Kunter, B., Baş, M., Kantoğlu, Y., Burak, M.. 2012. Mutation breeding of sweet cherry (*Prunus avium* L.) var. 0900 Ziraat. Mutation Breeding and Biotechnology (Ed: Q. Y. Shu, B. P. Foster and H. Nakagawa), p 453-459.
- Laskar, R. A., Laskar, A. A., Raina, A., Khan, S. and Younus, H. 2018. Induced mutation analysis with biochemical and molecular characterization of high yielding lentil mutant lines. International Journal of Biological Macromolecules. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.067>.
- Novak, F.J. and Brunner, H. 1992. Plant breeding: induced mutation technology for crop improvement. IAEA Bull 4:25.
- Pathirana, R. 2011. Plant mutation breeding in agriculture. In CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20116032>.
- Raina, A., Laskar, R., Khursheed, S., Amin, R., Tantray, Y., Parveen, K. and Khan, S. 2016. Role of mutation breeding in crop improvement- past, present and future. Asian Research Journal of Agriculture. <https://doi.org/10.9734/arja/2016/29334>.
- Rajarajan, D., Saraswathi, R., Sassikumar, D. and Ganesh, S. K. 2014. Effectiveness and efficiency of gamma ray and ems induced chlorophyll mutants in rice ADT (R) 47. Global Journal Of Biology, Agriculture And Health Sciences. 3(3), 211–218.
- Ranjith, P. ve Rao, M., S. 2021. Breeding for drought resistance. Plant Breeding - Current and Future Views. 1-11pp, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.97276>
- Ripley, L. S. 2013. Mutation. In Brenner's Encyclopedia of Genetics: Second Edition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.01007-X>.
- Ray, D. K, Mueller, N. D, West, P. C. and Foley, J. A. 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PLoS One 8(6), e66428.

- Roychowdhury, R. and Tah, J. 2013. Mutagenesis-a potential approach for crop improvement. In Crop Improvement: New Approaches and Modern Techniques. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7028-1_4.
- Sarıçam, Ş., Kantoğlu, K.Y. and Ellialtıoğlu, Ş. Ş. 2017. Determination of Effective Mutagen Dose for Lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia* cv. Cervantes) Seeds. Eurasian Journal of Agricultural Research. Vol.1 Issue 2, p 106-113.
- Shu, Q. Y., Forster, B. P. and Nakagawa, H. 2012. Plant mutation breeding and biotechnology. In Plant Mutation Breeding and Biotechnology. <https://doi.org/10.1079/9781780640853.0000>.
- Spencer-Lopes, M. M., Forster, B. P. and Jankuloski, L. 2018. Manual on mutation breeding and introduction to plant breeding and selection. Plant Breeding and Genetics Subprogramme Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture Vienna, Austria.
- Taner, K.Y., Beşirli, G., Kunter, B., ve Yanmaz, R. 2004. Sarımsakta (*Allium sativum* L.) Mutasyon ıslahına yönelik olarak "Etkili Mutasyon Dozunun Belirlenmesi. Bahçe. 33 (1-2), 95-99.
- Tantray, A.Y., Raina, A., Khursheed, S., Amin, R. and Khan, S. 2017. Chemical mutagen affects pollination and locule formation in capsules of black Cumin (*Nigella sativa* L.). International Journal of Agricultural Sciences. 8(1), 108–117.
- Tepe, A., Fırat, A.F., Taner, K.Y., Kunter, B., Peşkircioğlu, H. ve Ekiz, H. 2003. Sera demre 8 biber çeşidinde mutasyon ıslahına yönelik olarak etkili mutasyon dozunun belirlenmesi. IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi. 8-12 Eylül 2003, Antalya-Türkiye, 365-366p.
- Tester, M., and Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science 327(5967):818–822.
- Usharani, K.S. and Ananda Kumar, C.R. 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. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i10/54201>.
- Van Harten, A.M. 1998. Mutation Breeding: Theory and Practical applications. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 353p.