



## Genetiği Değiştirilmiş Bitkilerin Biyogüvenlik Riskleri

Yunus Emre ARVAS<sup>1\*</sup>, İsmail KOCAÇALIŞKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Yunus Emre ARVAS ORCID No: 0000-0001-6622-5083

İsmail KOCAÇALIŞKAN ORCID No: 0000-0002-7892-206X

\*Sorumlu yazar: [yunusearvas@gmail.com](mailto:yunusearvas@gmail.com)

(Alınış: 02.10.2020, Kabul: 18.12.2020, Online Yayınlanma: 30.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

Biyogüvenlik,  
GD bitki,  
Gen aktarımı,  
Biorisk,  
GDO,

**Öz:** Genetiği değiştirilmiş organizmalar ve ürünleri, artan dünya nüfusu ve gıda ihtiyacından dolayı son çeyrek asırda çağın teknolojik gelişmelerinin neticesinde geliştirilen rekombinant DNA teknolojileri kullanılarak elde edilmektedir. Organizmalara aktarılan yeni kalıtsal materyalden kaynaklanan potansiyel bir riske sahip olabildikleri düşünülmektedir. Bu riskler canlı sağlığına zarar verip vermediği bulaşma veya diğer türler üzerindeki olumsuz etkileri olup olmadığıdır. Söz konusu riskler bulunmasına rağmen çeşitli stres faktörlerine karşı etkin mücadelede başarılı sonuçlar elde edilmiş ve transgenik ürünler küresel olarak büyük bir ekim alanına ve ticaret hacmine ulaşmıştır. Bütün bu olumlu ve olumsuz yanları, kamuoyunun baskısı ile bu ürünlere yönelik biyogüvenlik risklerini ve önlemlerini kapsayan kanuni uygulamaların yürürlüğe girmesine neden olmuştur. Bu kanunların uygulanmasının nedenleri bu tarz çalışmaları belli bir etik çerçeve içine almak, gıda güvenliği ve kalitesini sağlayarak canlılara olumsuz etkilerinin önüne geçmektir. Biyogüvenlik kanunlarının yasal çerçeveleri oluşturulurken bilimsel ve teknolojik gelişmelerin yanı sıra bu ürünlerin avantaj, dezavantaj veya risklerinin açığa çıkarılması ile ilgili etkin bir kamuoyu algısı oluşturma dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada bitkisel üretimde genetiği değiştirilmiş organizmalar ve ürünleri ile ilgili yapılan bilimsel araştırma ve geliştirme, biyogüvenlik risk analizi ve önlemleri, biyogüvenlik risk yönetimi ve iletişimi, ürünlerin piyasaya sürülmesi ve izlenmesi, ithalat ve ihracatı gibi genel biyogüvenlik kurallarını kapsayan biyogüvenlik sorunları ve düzenlemeleri tartışılmaktadır.

## Biosafety Risks of Genetically Modified Plants

### Keywords

Biosafety,  
GM plant,  
Gene transfer,  
Biorisk,  
GMO

**Abstract:** Due to the increasing world population and food need, genetically modified organisms and their products are obtained by using recombinant DNA technologies developed as a result of the technological developments in the last quarter century. It is thought that they may have a potential risk from new genetic material transferred to organisms. It is whether it harms the health of living organism due to these risks, and These risks are whether there are any negative effects on other species. Despite successful results can be achieved against various stress factors, it has not been possible to prevent unintended consequences. In addition to this, productions of transgenic have reached a large plantation area and trade volume globally. All these positive and negative opinions cause legal practices covering the biosafety risks and measures for these products. The reasons for the implementation of these laws are to incorporate such studies into a certain ethical framework, prevent human health and ecological negativities by ensuring food safety and quality. Legal frameworks of biosafety laws should be taken into consideration in order to create an effective public perception regarding the discovery of the advantages, disadvantages or risks of these products as well as scientific and technological developments. In this study, the evaluation, management and communication of the biosafety risks including the research, development, placing on the market, monitoring, import and export of genetically modified organisms and their products are discussed.

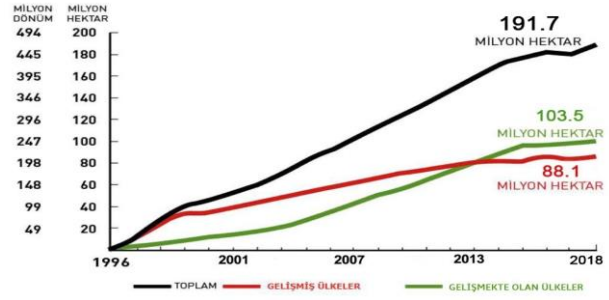
## 1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla bitkilerden öncelikli olarak faydalanmışlardır. Bitkisel üretimi ve verimi arttırmak için “seleksiyona dayalı ıslah” yöntemi kullanılarak istenilen özelliklere sahip bitkiler yetiştirilmişlerdir. Bitkisel üretimi ve verimi arttırmak için yapılan “geleneksel ıslah çalışmaları” ile birlikte ikinci dünya savaşından sonra mutagenез ve genetik mühendisliği gibi yeni biyoteknolojik yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır.

Bitkisel üretimin artırılması için kullanılan bu metotlar ile bitkilerin zararlılara ve hastalıklara karşı direnç kazanması öncelikli çalışma alanları olmuştur. Ayrıca istenmeyen yabancı otların kontrol altında tutulması için herbisitler gibi kimyasal ilaçlar da kullanılmıştır [1-3]. Günümüzde bitkisel ıslah ve gen aktarım çalışmaları genetik mühendisliği yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Genetik mühendisliği yöntemlerinin kullanımı ilk olarak 1970’li yıllarda başlamasına rağmen ilk ticari bitkisel ürünler 1990’lı yıllardan itibaren ortaya çıkmıştır [4]. Genetik mühendisliği yöntemleri diğer klasik yöntemlere göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bu yöntemde gen aktarım çalışmaları sonuçlarının geleneksel ıslah yöntemlerine nazaran daha kısa sürede alınması, daha az maliyetli olması, eşeysel uyum ve yakın akraba bitkilerinin melezlenmesi gibi kısıtlamalar bulunmaması sayılabilecek temel avantajlarıdır.

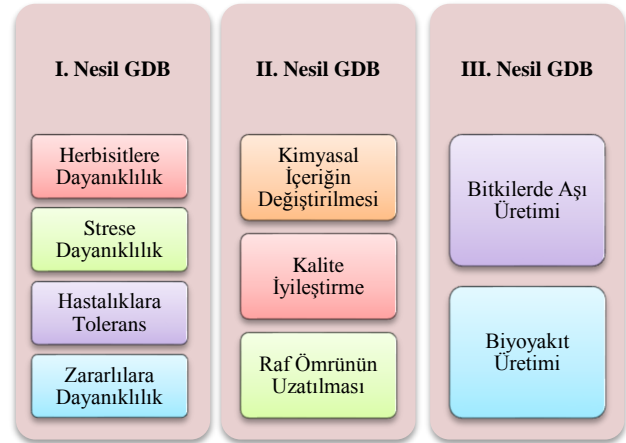
Genetik mühendisliği; modern biyoteknolojik yöntemlerle bitkilere kazandırılmak istenen özellikleri (hastalık direnci, kuraklık direnci vs.) doğadaki yabancı formlarından izole edilerek transfer etmesine ya da var olan bir özellikte değişiklik yapılmasına izin vermektedir [1, 5-7]. Günümüzde genetik mühendisliği yöntemleri ile geliştirilen birçok ürün ticari olarak temin edilebilmektedir. Ticareti yapılan en önemli transgenik ürünler; kabayonca (*Medicago sativa*), elma (*Malus domestica*), kanola (*Brassica napus*), mısır (*Zea mays* L.), pamuk, (*Gossypium hirsutum* L.) papaya (*Carica papaya*), patates (*Solanum tuberosum* L.), soya fasulyesi (*Glycine max* L), kabak (*Cucurbita pepo*), çeltik (*Oryza sativa* L.) ve şeker pancarıdır (*Beta vulgaris*) [8].

Günümüzde transgenik ürünlerin doğrudan veya dolaylı olarak ithalat ve ihracatını yapan 70 ülke bulunmaktadır. Dünya genelinde 2018 yılında 88.18 milyon hektar alanda herbisitlere dayanıklılık gösteren transgenik ürün ekimi 80.5 milyon hektar alanda kombine genler (stacked) olarak adlandırılan birden fazla gen aktarılan transgenik ürünler, 23.3 milyon hektar alanda ise böcekler dirençlilik gösteren transgenik ürün ekimi gerçekleştirilmiştir ve toplamda 191.7 milyon hektarda genetiği değiştirilmiş transgenik bitkisel ürün ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1) [9].



Şekil 1. Dünya genelinde üretimi gerçekleştirilen genetiği değiştirilmiş (GD) ürünlerin yıllara göre değişim grafiği (noktadan sonraki kısım yuvarlanmıştır)[10]

Rekombinant DNA teknolojisinin ilk uygulama alanları bitkisel ürünlere biyotik ve abiyotik stres faktörlerine tolerans sağlamak olmuştur. Fakat günümüzde altın pirinç örneğinde olduğu gibi besin içeriğinin artırılması, bitkilerde aşı üretimi ve biyoyakıt elde edilmesi gibi farklı uygulama alanlarına yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. Bundan dolayı transgenik bitkiler üç sınıfta sınıflandırılmaktadır (Şekil 2) [11].



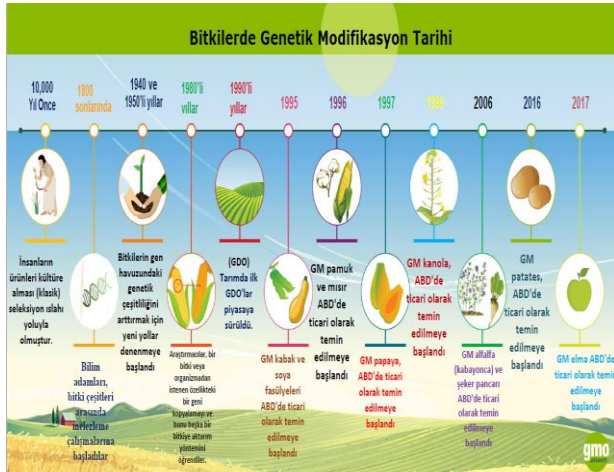
Şekil 2. GD bitkilere aktarılan özelliklere göre sınıflandırılması [11]

## 2. GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ BİTKİLER (GD BİTKİLER)

1990’lı yıllarda transgenik ya da genetiği değiştirilmiş olarak adlandırılan bitkisel ürünleri elde etmeye yönelik bir artan eğilim gerçekleşmiştir [12]. Çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörleri ile mücadele etmeye yönelik gen aktarım çalışmaları yapılmıştır [11, 13, 14]. Biyotik stres faktörlerine karşı yapılan çalışmalar çoğunlukla herbisitlere [15, 16], böcekler [17-19], virüslere ve bakterilere [20-23] karşı dirençli transgenik bitkiler elde etmeye yönelik olmuşken, abiyotik stres faktörlerine karşı dirençli transgenik ürün çalışmaları kuraklık [24] ve tuzluluk [25, 26] gibi stres faktörlerine yönelik yapılmıştır. Bunlarla beraber gen susturma yöntemleri [27] kullanılarak da bazı transgenik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan transgenik çalışmalar incelendiği zaman yapılan çalışmaların sadece belirli patojenlere yönelik olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise fungal, bakteriyel ve viral patojenlerin farklı karakteristik özellikte çok büyük bir genetik varyasyona (taksonomik ve fizyolojik) ya da genetik çeşitliliğe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile bütün hastalıklar veya zararlılar ile mücadele etmeyi sağlayan

bir çözüm bulunması henüz mümkün olmamıştır [28, 29]. Bundan dolayı birden fazla stres faktörüne veya zararlılara karşı etkin dayanıklı ürün elde etmek için kombine genler olarak adlandırılan birden fazla gen aktarım çalışmaları yapılmıştır. Özellikle çeltik bitkisinde bu tarz gen aktarımlarına daha çok rastlanmaktadır [11, 13, 30, 31].

Ticareti yapılan genetiği değiştirilmiş ilk ürün "Flavr Savr" adı verilen domates olmuştur. Domates bitkisine meyvenin olgunlaşması sırasında pektin metabolizmasında rol oynayan en önemli enzimlerden birisi olan poli-galaktronaz (PG) enziminin gen anlatımını düzenleyen bir antisens RNA kullanılmıştır [11, 32-34]. Genetiği değiştirilmiş domatesi ise daha sonra soya, mısır, pamuk, kanola takip etmiştir. 2016 yılında tüm yasal izinleri alınıp piyasaya sürülmesi beklenen patates takip etmiştir [35]. En son bilim dünyasına yapılan açıklamada ise GD elmanın çalışmalarının tamamlandığını ve piyasaya sürülmesi için gerekli karar mercilerine başvuruda bulunduğu ifade edilmiştir (Şekil 3) [1].



Şekil 3. GD ürünlerin kısa tarihçesi [1]

1996-2018 yılları arasında genetiği değiştirilmiş ürünlerin üretimi yaklaşık 113 kat artarak toplam üretim alanı 191.7 milyon hektara ulaşmıştır. Bu nedenle genetiği değiştirilmiş ürünler son yıllarda tarım alanlarına en hızlı adapte olan teknolojik ürünler olarak görülmektedir. 2018 yılında toplam 26 ülkede GD ürün ekimi yapılmıştır (Tablo 1) [8].

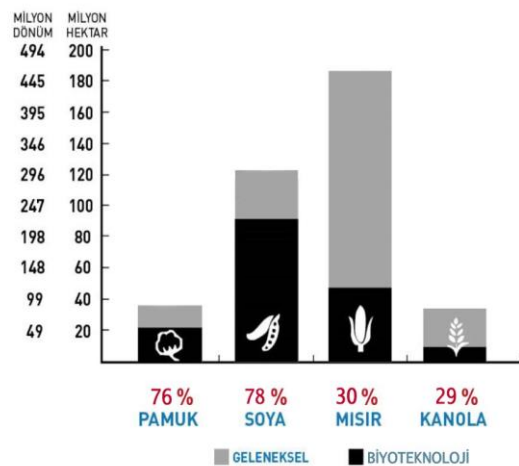
Uluslararası Tarımsal Biyoteknoloji Uygulamalarının Kazanımı Servisi (ISAAA) raporuna göre son 10 yıllık süreçte GD bitkilerden en fazla üretilen ve üretimi en fazla artış gösteren ürün soya olmuştur. GD soya çeşitleri, küresel biyoteknoloji alanının yüzde 50'sini oluşturmaktadır. 2018 yılı verilerine göre ürün bazında ise küresel olarak ekim, soya fasulyesinin yüzde 78'si, pamuğun yüzde 76'sı, mısırın yüzde 30'u ve kanola'nın yüzde 29'u GD ürünlerden oluşmaktadır (Şekil 4) [36].

Tablo 1. Dünyada en fazla GD ürün üretimi yapılan ülkeler [36]

Sayı	Ülke	Ekim alanı (milyon hektar)**	Biyoteknolojik ürün
1	ABD*	75.0	Mısır, soya, pamuk, kanola, şeker pancarı, yonca, papaya, kabak, patates, elma
2	Brezilya*	51.3	Soya, mısır, pamuk, şeker Pancarı
3	Arjantin*	23.9	Soya fasulyesi, mısır, pamuk
4	Kanada*	12.7	Kanola, mısır, soya, şeker pancarı, yonca, elma
5	Hindistan*	11.6	Pamuk
6	Paraguay*	3.8	Soya, mısır, pamuk
7	Çin*	2.9	Pamuk, Papaya
8	Pakistan*	2.8	Pamuk
9	Güney Afrika*	2.7	Mısır, soya, pamuk
10	Uruguay*	1.3	Soya, mısır
11	Bolivya*	1.3	Soya
12	Avustralya *	0.8	Pamuk, kanola
13	Filipinler*	0.6	Mısır
14	Myanmar*	0.3	Pamuk
15	Sudan*	0.2	Pamuk
16	Meksika*	0.2	Pamuk
17	İspanya*	0.1	Mısır
18	Kolombiya*	0.1	Pamuk, mısır
19	Vietnam	<0.1	Mısır
20	Honduras	<0.1	Mısır
21	Şili	<0.1	Mısır, soya, kanola
22	Portekiz	<0.1	Mısır
23	Bangladeş	<0.1	Brinjal / Patlıcan
24	Kosta Rica	<0.1	Pamuk, soya
25	Endonezya	<0.1	Şeker pancarı
26	eSwatini (Svaziland)	<0.1	Pamuk
	<b>TOPLAM</b>	<b>191.7</b>	Mısır, soya, pamuk, kanola, şeker pancarı, yonca, papaya, kabak, patates, elma

\* 18 ülke, en az 50.000 hektar biyoteknolojik ürün ekimini gerçekleştirmektedir. 2017 yılında genetiği değiştirilmiş ürünlerin üretimi 189.8 milyon hektar iken bu oran 2018 yılında 191.7 milyon hektar olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılına göre %1'lik bir artış gerçekleşmiştir.

\*\* En yakın yüz bine yuvarlanmış hali.



Şekil 4. En fazla üretilen 4 transgenik ürün [8]



### 3. BİYOGÜVENLİK

Genetiği değiştirilmiş ürünlerin dünya pazarlarında yaygınlaşması ile birlikte bu ürünlerin doğal çevreye karşı risklerini gösteren olumsuz durumlar söz konusu olmuştur [11, 37, 38]. GD ürünlerin hedeflenen özelliklerin çevre, insan ve hayvan sağlığına olumsuz etkilerinin olduğunun anlaşılması üzerine dünya genelinde bu ürünlere karşı biyogüvenlik sistemi uygulanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir [39]. Küresel anlamda genetiği değiştirilmiş ürünler için 2000 yılında “Cartagena Biyogüvenlik Protokolü” oluşturulmuştur [40]. Bu protokolün ortaya çıkış nedeni; GD ürünlerin biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kullanımı üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğidir. Protokol gereğince; genetiği değiştirilmiş ürünlerin; nakli, üretimi, taşınması ve kullanılması için yeterli koruma düzeyinin sağlanmasına katkıda bulunmak amacıyla kurallar bulunmaktadır. Türkiye, protokole 2004 yılında taraf olmuştur [41]. Türkiye’de bu protokolün taraf olmasından sonra mevzuat ve yasal çerçevelerini oluşturmaya başlamıştır ve 2010 yılında “biyogüvenlik kanunu” olarak adlandırılan kapsamlı bir kanun yürürlüğe girmiştir [42]. Biyogüvenlik “Modern biyoteknoloji tekniklerinin uygulamalarının ve ürünlerinin insan, hayvan ve çevre sağlığı ile biyolojik çeşitlilik üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin belirlenmesi ve belirlenen risklerin meydana gelmemesi için nasıl önlemler alınacağını, belirlenen risklerin meydana gelme durumunda oluşacak zararların nasıl kontrol altında tutulması gerektiğini belirten tedbirleri” ifade etmektedir (Şekil 5) [43].



Şekil 5. Biyogüvenlik yasası ile kuralları belirlenen hususlar [39]

Bu tanım ve kanun çerçevesinde amaç; modern biyoteknoloji yöntemleri kullanılarak elde edilen GD ürünlerden dolayı ortaya çıkabilecek riskleri engellemekle birlikte insan, hayvan ve bitki sağlığı ile çevrenin ve biyolojik çeşitliliğin korunması ve bunların sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır. Dolayısı ile Devlet Planlama Teşkilatı tarafından biyogüvenlik “risk değerlendirme” ve “risk yönetimi” olarak tanımlanmaktadır [44].

Biyogüvenlik; GD ürünlerin biyolojik çeşitlilik ve insan sağlığına yönelik olarak doğurabileceği olumsuz sonuçların belirlenmesi sürecini (değerlendirme-izleme-kontrol sistemleri), ortaya çıkabilecek risklerin ortadan kaldırılmasını ya da ortaya çıkan olumsuz sonuçların denetim altında bulunmasını sağlayan önlemleri içerisinde bulunduran bir kavram olarak tanımlanmaktadır [42, 45-49]. Sonuç itibarıyla transgenik ürünlerin olası risk değerlendirmelerinin yapılar, kontrol altında tutulması ve bu ürünlere doğabilecek risklerin minimize edilmesi ya da ortadan kaldırılması ve beklenen azami faydanın sağlanması mümkün hale gelmiştir [39, 50]. Ayrıca genetiği değiştirilmiş ürünlerin üretimi, ithalatı ve ticareti yapılırken transgenik ürünlerin faydaları ve olası riskleri göz önünde bulundurularak, sosyo-ekonomik etkilerinden dolayı etiketlenmeleri sağlanarak tüketicinin tercihleri ve talepleri yasal güvence altına alınmıştır [39, 51, 52]. Biyogüvenlik yasası genel olarak; risk tanımı, risk analizi, risk değerlendirme, risk yönetimi ve risk iletişimi olmak üzere beş önemli ana maddeden oluşan tedbirleri ihtiva etmektedir [53-55].

### 4. BİYOGÜVENLİK RİSKLERİ

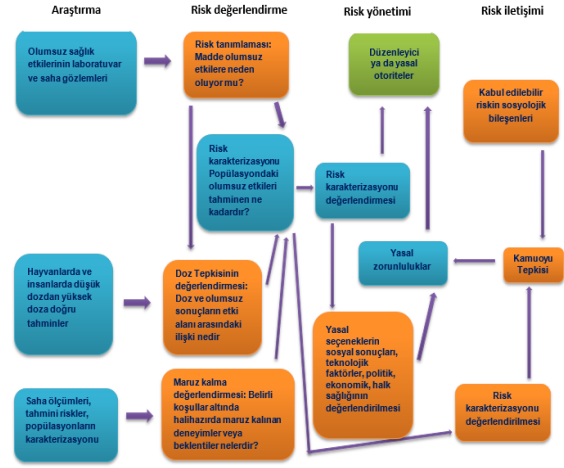
Genetiği değiştirilmiş ürünlerin biyogüvenlik risklerinin olduğu ortaya çıkan olumsuz sonuçlarla tespit edilince bazı yasal düzenlemeler yapılması gerekmiştir [55-57]. Yasal düzenlemelerde ayrıntılı olarak belirtilen en önemli madde “risk”tir. Risk kavramının elbette ki küresel olarak ortak bir tanımının olduğunu söylemek güç olsa da yapılan veya yapılabilecek tanımları mevcuttur. Risk kavramı kısaca “GD bitkilerin ve ürünlerin belli bir süre sonra nasıl bir tehlike oluşturabileceğinin belirlenmesi” olarak tanımlanabilir. Risk olumsuz bir sonuç gerçekleşmesi durumunda büyüklüğünün ve potansiyel sonuçlarının ne olabileceği tahmin edilip önlem alınmasını gerektirir [58-60]. Risk EFSA (European Food Safety Authority) tarafından; zehirlenme gibi hayati olabilecek ani sağlık riskleri, kanserojenler gibi hayati olabilecek ani olmayan riskler, alerjenler ve obezite hastalıkları gibi kronik ve uzun vadeli sağlık riskleri ve son olarak risk olmadığına inanılan ürünler olarak dört kategoride tanımlanmıştır [59]. Risk değerlendirilmesi “tehlike” olarak adlandırılan gerçekleşebilecek olası zararlı özellikleri ve ortaya çıkan tehlikenin etkileri ile büyüklüğünü dikkate almaktadır. Bu nedenle “Risk” bir tehlikenin “büyüklük” ve “muhtemel sonuçlarının” bir ürünüdür [58, 60].

#### 4.1. Risk Değerlendirilmesi

Biyogüvenlik protokolünde risk değerlendirmesi dört aşamalı bir süreç olarak tanımlanmıştır. Belirtilen bu süreçler; olası risklerin ve risk kaynaklarının test, analiz, deneme gibi bilimsel yöntemlerle tanımlanması, niteliklerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve risk unsurlarının belirlenmesidir. Amaç; Genetiği değiştirilmiş ürünlerin yapısında meydana gelen genetik değişiklikten dolayı, insan, hayvan ve bitki sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve çevre üzerinde sebep olabileceği muhtemel etkiler değerlendirilmekte ve sürdürülebilir kullanım için tedbirler alınmasıdır [3, 42, 53, 61, 62].

GD bitkilerinden üretilen ve türetilen ürünler ile ilgili bazı temel endişeler veya problemler bulunmaktadır. Endişelerden bazıları patojenite, toksisite veya alerjenler sebebiyle insan, hayvan veya çevre sağlığına zarar verip vermediği ve süreklilik, bulaşma veya aynı ekolojik bölgede bulunan diğer türler üzerindeki olumsuz etkileri olup olmadığıdır [39, 57, 58, 63-65]. GD ürünlerin geliştirilmesi ve yaygınlaşmasında gıda güvenliği ve çevre sağlığı bakımından bahsi edilen risklerin değerlendirilmesi ve önlemlerin alınması büyük önem arz etmektedir. Risk değerlendirmesinin anlamlı olması için bilimsel dayanaklar içermeli ve yüksek bilimsel standartlar kullanılmalıdır. Tarımsal üretimde Genetiği Değiştirilmiş organizmalar (GDO) ve ürünlerinin kullanımı veya varlığından kaynaklanan risklerin değerlendirmeleri bilimsel yöntemler ve çağın teknolojik imkânları kullanılarak, ilgili konularda disiplinler arası uzman bilim insanlarının karar vermeleri gerekmektedir [11]. Yaygın olarak kullanılan en eski risk değerlendirme yöntemi "vaka- durum" ya da "duruma göre" kabul görmüştü. Bu yöntemde öncelikle problemin ortaya çıkması beklenmekte daha sonra ise bu problemin ortadan kaldırılması sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu değerlendirme yöntemi aşamalı olarak azalan fiziksel önlemeye yönelik bir "adım adım" prosedürü içeren risk analizi olarak da görülebilir. Risk değerlendirmesi, sadece ortaya çıkması muhtemel risklerin önlemine almak için değil aynı zamanda olumsuz bir olayın tekrarını önlemek için, nedenini belirlemek veya muhtemel tehlikeli sonuçları tahmin etmek gibi nedenlerden dolayı geriye dönük olabilir [50, 58].

Son yıllarda uygulanan yasal protokoller ve mevzuatlarda belirtilen diğer bir husus ise; bir problem olması durumunda, bütün GD ürünlerin çevreye verilen hasarı geriye döndürmek /elimine etmek ya da tersine çevirmek mümkün olmayabilir bunun için bu ürünlerin ticaretinin yapılması için bazı tedbirler öngörülmektedir [42, 66]. Bu tedbirin uygulanmasının amacı ise GDO'ların genetik özelliklerini ve bulunduğu çevre ekolojisi gibi bazı özellikleri temel alınarak sonuçları doğru bir şekilde tahmin edilebilmesidir [59]. GD ürün eldesi için bazı basamaklar belirlenip çalışmaların aşamalı olarak yapılması sağlanmaktadır [18, 52, 67]. Bu aşamalar ise şu şekildedir; İlk önce laboratuvar şartlarında testler yapılır ve düzey belirlenir. Sonraki aşamalarda ise testler daha büyük çapta yapılır. Bu ön testlerden sonra küçük ölçekli bir arazi denemesinin ardından daha geniş ölçekli arazi denemesi yapılır ve yasal düzenleyici otoritenin değerlendirmesine sunulur. Buna göre izin alınabilirse piyasada serbest satışlarına izin verilir (Şekil 6) [32, 39, 58].



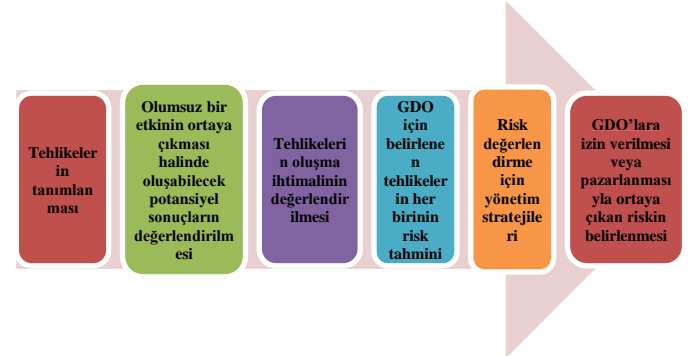
Şekil 6. GD ürünlerde kullanılan risk analizi şeması [58]

Birleşmiş Milletler Çevre Programı Biyoteknoloji Güvenlik Yönergesi (UNEP) organizmaların kullanımını ihtiva eden biyoteknoloji bağlamında, risk değerlendirmesinde aşağıdaki bileşenleri ve aralarındaki etkileşimi içerdiğini düşünmektedir [40].

1. Yeni katılan özelliklerin de dâhil olduğu organizmaların özellikleri
2. Organizmaların nasıl kullanılacağı
3. Etkilenebilecek alanın ve diğer organizmaların özellikleri.

#### 4.1.1. GDO üretiminde risk değerlendirme aşamaları

Netice itibarı ile risk değerlendirmesi yapılırken GDO'ların hem doğrudan (örn; toksik etki ve alerji) hem de dolaylı etkileri (örn; çevredeki diğer organizmalar ile etkileşimden dolayı) göz önünde bulundurulmalıdır. Genelde uygulanan bu adımlar Şekil 7'de belirtilmiştir.



Şekil 7. GDO üretiminde 6 aşamalı risk değerlendirme süreci (UNEP 2003)

#### 4.1.2. Tehlikelerin tanımlanması

Tarımsal üretimde genetiği değiştirilmiş organizmaların rekombinant DNA teknolojileri kullanılarak "yabancı" gen eklendiği göz önünde bulundurularak GDO oluşturulmasında kullanılan vektör ve yöntem, dikkate alınarak olumsuz etkilere sebep olabilecek özelliklerin tespiti yapılır [68]. Transfer edilen genlerin ve/veya kalıtsal materyallerin potansiyel tehlikelerinin tanımlanması yapılır.

#### 4.1.3. Olumsuz bir etkinin ortaya çıkması halinde oluşabilecek potansiyel sonuçların değerlendirilmesi

Bu adımda, GD ürünlerin insanlara veya başka bir türe toksik veya alerjen etkiye sebep olabilecek maddeler tahmin edilmektedir. Ayrıca, toprak / su kimyasındaki değişiklikler veya azot ve karbon geri dönüşümündeki değişiklikler gibi çevresel etkiler, GDO'nun ayrışma süreçleri ile ortaya çıkmaktadır [69]. Aynı derecede endişe duyulan başka bir özellik ise, çevredeki kalıcılığın devam edip etmeyeceğidir yani GDO'ya aktarılan genin herhangi bir ekolojik denge için avantaj sağlayıp sağlayamayacağı ve böylece alıcı ortamın ekolojik dengesini değiştirip değiştirmeyeceğidir [58, 70].

#### 4.1.4. Tehlikelerin oluşma ihtimalinin değerlendirilmesi

Bu basamakta da GDO'ların ıslah çalışmalarının yanı sıra, dikey gen aktarımı ve yatay gen aktarımına neden olup olmayacağıdır. Dolayısı ile genin kaynağı ve muhtemel etkilerinin ne/ler olacağı hakkında net bilgilere sahip olunmalıdır [71]. Ayrıca, gen ifadesinin nesiller boyunca sabit olup olmadığı da anlaşılmalıdır. Aktarılan genin kararlılığı yani nesiller boyunca kalıtımda sürekli görülmesi GDO'nun ortamdaki kalıcılığının ve diğer canlılara olası etkilerinin tahmininde kullanılmaktadır [54, 59, 72].

#### 4.1.5. GDO için belirlenen tehlikelerin her birinin risk tahmini

Risk, tehlikenin büyüklüğünün ve ortaya çıkabilecek muhtemel tehlikelerin bir birleşimidir. Risk büyüklüğü derecelendirilmesi ihmal edilebilir, düşük, orta ve ciddi olarak tanımlanabilir. Ayrıca, tehlikenin gerçekleşme ya da ortaya çıkma ihtimali de aynı şekilde derecelendirilmektedir. Bu derecelendirmeye göre belirlenen "risk yönetim stratejisi" karar vermede yardımcı olmaktadır [59, 67]. Bu değerlendirmeler ülkeden ülkeye farklılık göstermekle birlikte minimum sonuçların görüldüğü GDO'ların marketlerde satılmasına bazı ülkeler izin vermektedir. Örneğin, bazı ülkelerde ortaya çıkabilecek ciddi bir olumsuz etki bile göz ardı edilme ihtimaline sahiptir [60]. Dolayısıyla düşük/orta düzeyler dâhil hatta serbest bırakılan GDO'lar dâhil bütün GD ürünler "risk" kapsamındadırlar. Çünkü herhangi özel bir yönetim uygulamasını garanti edemeyebilirler. Bu nedenle, risk değerlendirmesi çoğu GDO için vaka bazında yapılması gerekmektedir [67].

#### 4.1.6. Risk değerlendirilme için yönetim stratejileri

GDO'larla çalışırken güvenlik sağlamak için fiziksel ve biyolojik koruma stratejileri tasarlanmıştır. Laboratuvar ortamında GDO elde edilirken güvenlik ve performans bakımından kapalı alanlar (seralar), küçük ölçekli saha testleri için alanlar ve son olarak piyasaya sürülmeden önce büyük ölçekli saha denemelerine kadar farklı aşamalar geliştirilmiştir. Risk yönetimi için genellikle bu aşamalar "adım adım prosedür" kullanılır. Bu aşamalardan herhangi birinde olumsuz etki tespit edilmesi halinde transgenik çalışma daha yüksek koruma

şartları oluşturularak geri alınıp tekrar çalışılır veya deneme durdurularak çalışma sonlandırılmalıdır [73].

#### 4.1.7. GDO'lara izin verilmesi veya pazarlanmasıyla ortaya çıkan riskin belirlenmesi

Risk kapsam olarak "riskin değerlendirilmesi" ve "etkin risk yönetimi"ni içermektedir. Bu bir anlamda "genel risk" olarak da adlandırılabilir. GDO'ların veya ürünlerinin kasti salınımindan kaynaklanan genel risk, GDO'nun alıcı ortamdaki diğer organizmalar ile etkileşimi nedeniyle hem kısa hem de uzun vadeli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, genel riskin tahmini, GDO'nun zaman içindeki etkilerinin dikkatli bir şekilde izlenmesine ve belgelenmesine bağlıdır [44].

### 4.2. Risk Yönetimi

Risk yönetimi ise risk değerlendirme sonucunda öngörülen olumsuz etkilerin ortaya çıkması halinde etki alanının yayılmasını önlemek, oluşacak zararı en aza indireyecek şekilde ortadan kaldırmak, ortadan kaldıramayacak şekilde ise kontrol altında tutmaktır. Ayrıca transgenik olduğu belli olan ürünün izin verilen amaç ve kurallar içerisinde kullanılmasını sağlamak amacıyla alınan tedbirleri ifade etmektedir [74]. Risk yönetiminin amacı, GDO'ları veya ürünlerini piyasaya sürmek için değerlendirilen riskin asgariye indirilmesi veya azaltılmasıdır [59]. Risk yönetimi ile ilgili yapılan uygulamaların en önemli parçasını ise izleme ve belgeleme (kayıt tutma) oluşturmaktadır. GDO'ların alıcı ortamdaki öngörülemeyen etkilerini ve/veya uzun vadeli etkilerini tanımlamak ve kontrol etmek için bu yöntem kullanılmaktadır. İzleme ve belgelemenin diğer önemli bir boyutu ise sosyo- ekonomik boyuttur ki doğrudan tüketicilerin talepleri doğrultusunda kullanılmaktadır [59, 75].

### 4.3. Risk İletişimi

GDO çalışmalarının en önemli aşamalarından birisini risk iletişimi oluşturmaktadır. Risk iletişimi kısaca kamuoyu algısı olarak ifade edilebilmektedir. Kullanımda güvenlik sorunları olan ancak yüksek güvenilirli gizli tesislerde geliştirilmiş olan nükleer teknolojinin aksine, rekombinant DNA teknolojisinin önde gelen bilim insanları, gelişimin gidişatını ve teknolojinin uygulamalarını belirlemeye halkın katılımını teşvik etmiştir [60]. Bu teşvikler neticesinde özellikle Türkiye gibi bazı ülkelerin kamuoylarında yüksek kaygının oluşması sağlanmış ve GDO'ların düzenlenmesinde, GDO'lardan kaynaklanan ürünlerinin piyasaya güvenli bir şekilde sürülmesinde önemli bir rol oynamıştır [58]. 2000 yılında düzenlenen biyogüvenlik protokolü ve sonrasında geliştirilen veya düzenlenen bütün yasal düzenlemelerde kamuoyunun etkisi çok büyük olmuştur [76]. Çünkü bitkisel üretimde genetiği değiştirilmiş ürünler doğrudan ve/veya dolaylı insan hayatını ve diğer canlı hayatlarını önemli şekilde etkilemektedir. Bundan dolayı tüm paydaşlarla risk iletişimi kamuoyundaki risk algısı için çok önem arz etmektedir. Bu sürecin etkili olması için ister istemez bu süreç amacına uygun, şeffaf ve kesin olmalıdır [58]. GD

ürünler ve genetiği değiştirilmeyen ürünlerin karşılaştırmalı analizleri yapılmalı ve sonuçların açık bir şekilde paylaşılması sağlanmalıdır [77]. Günümüzde yapılan bu tarz çalışmalar neticesinde bir çok ülkede GD ürünlerin etiketlenmeleri sağlanmıştır ve tüketimi tüketicinin tercihinin bırakılmıştır [11, 13, 58, 78].

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkisel üretimde kalite ve verimin artırılması tarih boyunca hep önemini muhafaza etmiştir. Son yüzyılda özellikle ikinci dünya savaşından sonra bitkisel üretim sistemli ve dinamik bir yapıya kavuşmuştur. Tarihte görülen kıtlık ve yokluklardan dolayı ortaya çıkan felaketlerin tekrar etmemesi için kamu otoriteleri sürekli olarak tarımsal stratejiler geliştirmekte ve arz talep dengesini korumaya çalışmaktadırlar. Bundan dolayı mevcut ekilebilir alanların arttırılmaya çalışılması ile beraber bitkisel verim artışı daha önemli hale gelmiştir. Rekombinant DNA teknolojileri kullanılarak elde edilen GD bitkiler de verim artırmak için ortaya çıkan en önemli biyoteknolojik ürünlerdendir. İlk ticareti yapılan transgenik ürünün günümüze kadar devam edegelen genetiği değiştirme çalışmaları, beraberinde birçok olumlu ve olumsuz durum getirmiştir. İlk yıllarda gıda güvenliği ile beraber insan, hayvan ve çevre sağlığını tehdit eden çalışmaların yapılması bu transgenik çalışmalar için bazı güvenlik önlemlerinin alınmasını gerekli kılmıştır. 2000 yılında Cartagena Biyogüvenlik Protokolünün imzalanması ile resmen bütün dünya ülkelerinde gen aktarım çalışmalarının dikkat edilmesi gereken çalışmalar olduğu ilan edilmiş ve gerekli tedbirlerin alınması önerilmiştir. Bu kapsamda gıda ve tohum ticareti için yeni bir süreç başlatılmış ve GD ürünlerin kontrolleri daha sıkı bir şekilde takip edilmeye başlanmıştır. Nitekim 2015 yılında 28, 2016 yılında 26, 2017 yılında 24, 2018 yılında 26 (ülke sayısı 2018 yılında artmasına rağmen bazı ülkeler GD ürün ekimini durdurmuş ve farklı ülkeler ilk kez GD ürün ekimi yapmıştır) ülkenin ürün ekimi yapması gösteriyor ki transgenik çalışmaların insan, hayvan ve çevre sağlığı üzerinde istenmeyen yan etkileri bulunmaktadır. Fakat ürün verimi bakımından avantajları bulunduğu transgenik ürün ekim alanı yıllar geçtikçe artış göstermektedir. Ülkemiz 2003 yılında “Cartagena Biyogüvenlik Protokolü”ne taraf olmuştur. Ayrıca 2010 yılında yürürlüğe giren ve “*GDO ve ürünleri ile ilgili olarak araştırma, geliştirme, işleme, piyasaya sürme, izleme, kullanma, ithalat, ihracat, nakil, taşıma, saklama, paketleme, etiketleme, depolama ve benzeri faaliyetlere dair hükümlerini*” kapsayan biyogüvenlik kanunu gereğince ülkemizde GD ürünlerin ithal edilmesi, ekiminin ve satışının yapılması kanun ile kurulan “biyogüvenlik kurulu”nun iznine tabi tutulmuş olup kanun gereği GD ürünlerin ekimi ve satışı ise yasaklanmıştır. Netice itibari ile Türkiye’de genetiği değiştirilmiş ürünlerden dolayı insan, hayvan ve çevre sağlığı üzerinde kısa vadede ortaya çıkması beklenen herhangi bir olumsuz durum öngörülmektedir. Fakat yurt dışından ithal edeceğimiz her bir ürünün GD ürün olma ihtimali her geçen gün artış göstermektedir. Bundan dolayı ülkemiz içerisinde ekim yapılabilen alanların tekrar gözden geçirilmesi ve gerekli olan

tedbirlerin alınması için yeni bir tarım reformuna ihtiyaç bulunmaktadır. Son yıllarda küresel çapta meydana gelen Coronavirüs (COVID-19) gibi aynı salgın hastalıklar problemin artık bir ülkenin meselesi olmaktan çıkabildiğini göstermektedir. GD bitkiler kıtlık gibi önemli güncel sorunları çözmek için çok etkili yöntemler olarak ortaya çıkmaktadır; ancak biyogüvenlik de aynı derecede önemli bir konudur. Tarımsal Biyoteknoloji araştırmalarının, bilinçli ve güvenli bir şekilde kullanılması durumunda insan yaşamının kalitesini artıracığı bu çalışmamızda belirtildiği gibi çok iyi anlaşılmıştır. Fakat kontrolsüz, sorumsuzca ve biyogüvenlik riskleri dikkate alınmadan kullanılması durumunda; çevre ve insan hayatı başta olmak üzere ekolojik denge üzerinde yıkıcı olumsuz etkileri olabilmektedir. GD bitkilerinde biyogüvenlik sadece güvenli ürün geliştirme açısından değil aynı zamanda teknolojinin güvenli kullanımı için de önem arz etmektedir. Bu nedenle tarımsal üretimde rekombinant teknolojinin yararlarını en üst düzeye çıkarmak için biyogüvenlik risklerinin ve önlemlerinin kabul edilmesi sağlanmalıdır. GD bitkiler üretiminde karşılaşılabilecek genel riskler ve tehlikeler; sağlık, sürdürülebilir ekoloji ve sürdürülebilir tarımsal üretim için uzun vadeli biyogüvenlik risklerinin uygun bir şekilde ortadan kaldırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Folta K. What is a GMO? 2018 [Available from: <https://gmoanswers.com/what-gmo> [Erişim tarihi: 06.07.2018].
- [2] Schütte G, Eckerstorfer M, Rastelli V, Reichenbecher W, Restrepo-Vassalli S, Ruohonen-Lehto M, et al. Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. *Environmental Sciences Europe*. 2017;29(1):5.
- [3] Tappeser B, Reichenbecher W, Teichmann H. Agronomic and environmental aspects of the cultivation of genetically modified herbicide resistant plants. A joint paper of BfN (Germany), FOEN (Switzerland) and EAA (Austria). *BfN-Skripten (Bundesamt für Naturschutz)*. 2014(362).
- [4] Rangel G. GMOs SEo, editor. Harvard University 2015. [cited 2019]. Available from: <http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2015/from-corgis-to-corn-a-brief-look-at-the-long-history-of-gmo-technology/>.
- [5] Kaya Y, Yılmaz S, Marakli S, Gozukirmizi N, Huyop F. Transformation of *Nicotiana tabacum* with *dehE* gene. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2013;11(3-4).
- [6] Kaya Y, Marakli S, Gozikirmizi N, Mohamed E, Javed M, Huyop F. Herbicide tolerance genes derived from bacteria. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 2013;23(1):85-91.
- [7] Aksoy HM, Kaya Y, Tengku Abdul Hamid TH. Expression of the *dspA/E* gene of *Erwinia amylovora* in non-host plant *Arabidopsis thaliana*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2017;31(1):85-90.



- [8] ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. Ithaca, NY: The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). 2019.
- [9] ISAAA. GM Approval Database 2019 [Available from: <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp> [Erişim Tarihi: 10.12.2020].
- [10] James C. Global status of commercialized biotech/GM crops 2017 [Available from: <http://www.isaaa.org/default.asp> [Erişim Tarihi: 10.12.2020].
- [11] Arvas YE. Genetiği Değiştirilmiş Bitkiler ve Tanısı: LAP Lambert Academic Publishing; 2017.
- [12] Haspolat I. Genetiği değiştirilmiş organizmalar ve biyogüvenlik. Ankara Üniv Vet Fak Derg. 2012; 59:75-80.
- [13] Arvas YE, Kaya Y. Genetiği Değiştirilmiş Bitkilerin Biyolojik Çeşitliliğe Potansiyel Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi. 2019;29(1):168-77.
- [14] Ansari MuR, Shaheen T, Bukhari S, Husnain T. Genetic improvement of rice for biotic and abiotic stress tolerance. Turkish Journal of Botany. 2015; 39(6):911-9.
- [15] Messeguer J, Marfa V, Catala M, Guiderdoni E, Melé E. A field study of pollen-mediated gene flow from Mediterranean GM rice to conventional rice and the red rice weed. Molecular Breeding. 2004;13(1):103-12.
- [16] Zhang JZ, Creelman RA, Zhu J-K. From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. Plant physiology. 2004; 135(2):615-21.
- [17] Wang Y, Li Y, Romeis J, Chen X, Zhang J, Chen H, et al. Consumption of Bt rice pollen expressing Cry2Aa does not cause adverse effects on adult *Chrysoperla sinica* Tjeder (Neuroptera: Chrysopidae). Biological Control. 2012; 61(3):246-51.
- [18] Wang Y, Zhang L, Li Y, Liu Y, Han L, Zhu Z, et al. Expression of Cry1Ab protein in a marker free transgenic Bt rice line and its efficacy in controlling a target pest, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). Environmental entomology. 2014; 43(2): 528- 36.
- [19] Rahman M, Zaman M, Shaheen T, Irem S, Zafar Y. Safe use of *cry* genes in genetically modified crops. Environmental chemistry letters. 2015; 13(3): 239-49.
- [20] Tu J, Datta K, Khush G, Zhang Q, Datta S. Field performance of Xa21 transgenic indica rice (*Oryza sativa* L.), IR72. TAG Theoretical and Applied Genetics. 2000;101(1):15-20.
- [21] Tu J, Zhang G, Datta K, Xu C, He Y, Zhang Q, et al. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis*  $\delta$ -endotoxin. Nature biotechnology. 2000; 18(10):1101-4.
- [22] Rai A, Singh A, Syiem M. Plant Growth-Promoting Abilities in Cyanobacteria. Cyanobacteria: Elsevier; 2019. p. 459-76.
- [23] Mukhtar Z, Hasnain S. Transgenic basmati rice transformed with the Xa21 gene shows resistance against bacterial leaf blight. Turkish Journal of Botany. 2017;41(1):1-10.
- [24] Jung S, Chung JS, Chon S-U, Kuk YI, Lee HJ, Guh JO, et al. Expression of recombinant protoporphyrinogen oxidase influences growth and morphological characteristics in transgenic rice. Plant growth regulation. 2004;42(3):283-8.
- [25] Hur J, Jung K-H, Lee C-H, An G. Stress-inducible OsP5CS2 gene is essential for salt and cold tolerance in rice. Plant Science. 2004; 167(3):417-26.
- [26] Matsumura H, Nirasawa S, Kiba A, Urasaki N, Saitoh H, Ito M, et al. Overexpression of Bax inhibitor suppresses the fungal elicitor-induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) cells. The Plant Journal. 2003;33(3):425-34.
- [27] Gupta M, Ram R. Development of genetically modified agronomic crops. The GMO Handbook: Springer; 2004. p. 219-41.
- [28] Dickey AS, Spada ARL. Huntington's Disease and Other Polyglutamine Repeat Diseases: Molecular Mechanisms and Pathogenic Pathways. In: Wolfe MS, editor. The Molecular and Cellular Basis of Neurodegenerative Diseases, Underlying Mechanisms: Academic Press. Elsevier; 2018. p. 145-88.
- [29] Sandberg MK, Al-Doujaily H, Sigurdson CJ, Glatzel M, O'Malley C, Powell C, et al. Chronic wasting disease prions are not transmissible to transgenic mice overexpressing human prion protein. Journal of General Virology. 2010; 91(10): 2651.
- [30] Kok EJ, Pedersen J, Onori R, Sowa S, Schauzu M, De Schrijver A, et al. Plants with stacked genetically modified events: to assess or not to assess? Trends in biotechnology. 2014;32(2):70
- [31] Agapito-Tenfen SZ, Vilperte V, Benevenuto RF, Rover CM, Traavik TI, Nodari RO. Effect of stacking insecticidal cry and herbicide tolerance epsps transgenes on transgenic maize proteome. BMC plant biology. 2014;14(1):346.
- [32] Arvas YE. Türkiye'deki Yabancı Çeltik ve İşlenmiş Çeltik Ürünlerinde Genetiği Değiştirilmiş Organizmalarla İlgili Genetik Analizler. Yüksek lisans tezi. Samsun- Türkiye: Ondokuz Mayıs Üniversitesi; 2017.
- [33] Brady C, McGlasson W, Pearson J, Meldrum S, Kopeliovitch E. Interactions between the amount and molecular forms of polygalacturonase, calcium, and firmness in tomato fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science (USA). 1985.
- [34] Sheehy RE, Pearson, Judith., Brady, Colin J., Hiatt, William R. Molecular characterization of tomato fruit polygalacturonase. Molecular and General Genetics MGG. 1987;208(1):30-6.
- [35] Arvas, YE., Aksoy, HM, Kaya, Y., Patates Bitkisinde Biyoteknolojik Çalışmalar. International



- Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2018. 1(1): p. 37-47..
- [36] ISAAA. Brief 53: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2019.
- [37] Falkner R. Biosafety. Essential Concepts of Global Environmental Governance: Routledge; 2020. p. 24-.
- [38] Mahmood-ur-Rahman NM, Shahid A, Rao A, Husnain T. Field performance and biosafety studies of segregating generations of transgenic basmati rice (*Oryza sativa* L.) containing multiple genes from *Bacillus thuringiensis*. *Annals of Agriculture Science (Special Issue)*. 2014; 1:39-42.
- [39] Yılmaz F. Bitkisel Üretimde Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar ve Ürünleri ile Biyogüvenlik. Uzmanlık tezi. Kalınma bakanlığı. Ankara 2014.
- [40] UNEP (n.d.) Biosafety and the environment An Introduction to the Cartagena Protocol on Biosafety United Nations Environmental Programme, Nairobi. 2003 [Available from: <http://www.unep.org/resources/report/biosafety-and-environment-introduction-cartagena-protocol-biosafety> [Erişim Tarihi:10.12.2020].
- [41] Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi. Temel Dış Politika Konuları, Türkiye'nin Çevre Politikası, Uluslararası Süreçler ve Türkiye. Biyolojik Çeşitlilik. Dışişleri Bakanlığı. 2011 [Available from: <http://www.mfa.gov.tr/biyolojik-cesitlilik.tr.mfa> [Erişim Tarihi: 10.12.2020].
- [42] Resmi Gazete Biyogüvenlik Kanunu, Sayı: 27533 (2010).
- [43] Kefi S. Modern Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik. Bitki Biyogüvenlik Araştırmaları Uygulamalı Eğitim Programı III. Kocaeli: Gebze TÜBİTAK Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Araştırma Enstitüsü; 2002.
- [44] Anonim. (DPT) VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Biyoteknoloji Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Ulusal Moleküler Biyoloji Modern Biyoteknoloji ve Biyogüvenlik Atılım Projesi Önerisi, Ankara. DPT; 2000.
- [45] Kuvılcım Z. Cartagena Protokolü ve Türkiye Biyogüvenlik Mevzuatı. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*. 2012;1(20):99-121.
- [46] Anonim. (DPT) Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Kırsal Kalkınma Özel İhtisas Komisyonu Raporu. In: Devlet Planlama Teşkilatı KKÖİK, editor. Ankara: DPT; 2000.
- [47] Eryurt OM. GDO'lu Gıda ve Yem Ticaretinde Yaşanan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Ankara 2015.
- [48] Güngören AV. Genetiği Değiştirilmiş Tarım Ürünlerinin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi. Ankara: Ankara Üniversitesi; 2012.
- [49] Alamnie G, Andualem B. Biosafety Issues of Unintended Horizontal Transfer of Recombinant DNA. *Genetic Transformation in Crops: Intech Open*; 2020.
- [50] Domingo JL. Safety assessment of GM plants: An updated review of the scientific literature. *Food and chemical toxicology*. 2016;95:12-8.
- [51] Erdoğan MS. Cartagena Biyogüvenlik Protokolünün Getirdikleri ve Türk Mevzuatına Etkileri. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2004.
- [52] Schnell J, Steele M, Bean J, Neuspiel M, Girard C, Dormann N, et al. A comparative analysis of insertional effects in genetically engineered plants: considerations for pre-market assessments. *Transgenic research*. 2015;24(1):1-17.
- [53] Başkaya R, Keskin Y, Karagöz A, Koç Hİ. Biyogüvenlik. *TAF Preventive Medicine Bulletin*. 2009;8 (2) s 177-86.
- [54] Layton R, Smith J, Macdonald P, Letchumanan R, Keese P, Lema M. Building better environmental risk assessments. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2015;3:110.
- [55] ACRE. Advisory Committee on Releases to the Environment (ACRE) Report 3 (2013). Towards a more effective approach to environmental risk assessment of GM crops under current EU legislation. 2013 [Available from: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/239893/more-effective-approach-gmo-regulation.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/239893/more-effective-approach-gmo-regulation.pdf). [Erişim Tarihi: 10.12.2020].
- [56] Kaya Y, Yılmaz S, Gozukirmizi N, Huyop F: Evaluation of transgenic *Nicotiana tabacum* with *dehE* gene using transposon based IRAP markers. *American Journal of Plant Sciences* 2013, 4(08):41.
- [57] De Schrijver A, De Clercq P, de Maagd RA, van Frankenhuyzen K. Relevance of Bt toxin interaction studies for environmental risk assessment of genetically modified crops. *Plant biotechnology journal*. 2015;13(9):1221-3.
- [58] Nambisan P. An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology: Academic Press; 2017.
- [59] EFSA. When Food is Cooking up a Storm. Proven Recipes for Risk Communications 2012 [Available from: [https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate\\_publications/files/riskcommguidelines170524.pdf](https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/riskcommguidelines170524.pdf) [Erişim Tarihi: 10.12.2020].
- [60] Aytekin ND. AB Gıda Güvenilirliğinde Risk İletişimi, Kamuoyunun Bilgilendirilmesi ve Türkiye'nin Durumu. Ankara 2015.
- [61] Bardocz S, Pusztai A. Post-commercialization testing and monitoring (or post-release monitoring) for the effects of transgenic plants. *Biosafety First Holistic Approaches to Risk and Uncertainty in Genetic Engineering and Genetically Modified Organisms* (edited by Traavik T, Ching LL) Trondheim, Tapir. 2007:507-20.
- [62] Heinemann JA, Agapito-Tenfen SZ, Carman JA. A comparative evaluation of the regulation of GM crops or products containing dsRNA and suggested improvements to risk assessments. *Environment International*. 2013; 55:43-55.
- [63] Séralini G-E, Clair E, Mesnage R, Gress S, Defarge N, Malatesta M, et al. Republished study: long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Environmental Sciences Europe*. 2014;26(1):14.

- [64] Samsel A, Seneff S. Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases. *Entropy*. 2013;15(4):1416-63.
- [65] Baktavachalam GB, Delaney B, Fisher TL, Ladics GS, Layton RJ, Locke ME, et al. Transgenic maize event TC1507: Global status of food, feed, and environmental safety. *GM crops & food*. 2015;6(2):80-102.
- [66] ICH. Guideline for good clinical practice E6(R1). International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. [http://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Efficacy/E6/E6\\_R1\\_Guideline.pdf](http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Efficacy/E6/E6_R1_Guideline.pdf) [Erişim Tarihi: 10.12.2020]
- [67] Institute T. Protocol risk assessment and monitoring guidelines. Clinical and Translational Research Center 2008 [Available from: [https://tracs.unc.edu/docs/regulatory/CTRC\\_Protocol\\_Risk\\_Assessment\\_Guidelines.pdf](https://tracs.unc.edu/docs/regulatory/CTRC_Protocol_Risk_Assessment_Guidelines.pdf). [Erişim Tarihi:10.12.2020].
- [68] Bergeson LL, Campbell LM, Dolan SL, Engler RE, Baron KF, Auerbach B, et al. The DNA Of the U.S. Regulatory System: Are We Getting It Right for Synthetic Biology? 2015 [http://www.synbioproject.org/site/assets/files/1388/synbio\\_reg\\_report\\_final.pdf](http://www.synbioproject.org/site/assets/files/1388/synbio_reg_report_final.pdf)? [Erişim Tarihi:10.12.2020].
- [69] Kesselman VSG, Ojeda ODC. Risk assessment of a genetically modified *Escherichia coli* bacteria to a biosensor for the detection of copper in water for educational and research purposes. 2014.
- [70] Pellegrino E, Bedini S, Nuti M, Ercoli L. Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific reports*. 2018;8(1):1-12.
- [71] Krimsky S. Risk assessment of genetically engineered microorganisms: From genetic reductionism to ecological modelling. *Coping with Deliberate Release: The Limits of Risk Assessment*, Tilberg, ICHPA. 1996:33-45.
- [72] Ellstrand NC. Is gene flow the most important evolutionary force in plants? *American journal of botany*. 2014;101(5):737-53.
- [73] Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council (2001). Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC - Commission Declaration., (2001).
- [74] Gözükrımı N. Biyogüvenlik Sistemlerinin oluşmasında Türkiye'deki durum., Bitki Biyogüvenlik Araştırmaları Uygulamalı Eğitim Programı III. Gebze-Kocaeli: TÜBİTAK Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Araştırma Enstitüsü; 2002.
- [75] Türkoğlu S. Avrupa Birliğinde Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar ve Yeni Gıdalara İlişkin Yasal Düzenlemeler. Ankara2007.
- [76] Myhr AI. The precautionary principle in GMO regulations. *Biosafety First*. 2007:457.
- [77] Querci M, Mazzara M. Characteristics of RoundUp Ready Soybean, MON810 maize and Bt-176 maize. *The Analysis of Food Samples for the Presence of Genetically Modified Organisms* (Querci M, Jermini M and Eede Den GV, eds) European Commission Joint Research Centre, Luxembourg. 2006:11-6.
- [78] Anonymous. (United Nations) World Urbanization Prospects: The 2017 Revision Population Database, New York. 2017 <https://esa.un.org/unpd/wpp/DVD/> Erişim Tarihi [10.12.2020].