



Böcekler Neden Direnç Kazanıyor?

Duygu Atmaca Demiröz^{1*}

¹Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Yenimahalle/Ankara.

*Sorumlu yazar: duygudemiroz@ziraimucadele.gov.tr

Geliş Tarihi: 29.01.2016

Kabul Tarihi: 25.03.2016

Öz

İnsektisitler tarımsal mücadele de önemli bir yere sahip olsa da, zararlı böceklerde direnç gelişimi nedeniyle kullanılabilirlikleri sınırlandırılmıştır. İnsektisit uygulamalarında zararlı böceklerin hassasiyeti göz önünde bulundurulmalı ve direnç gelişimi ihtimali dikkate alınmalıdır. Direnç gelişimini önlemek için fitofag böceklerdeki direnç etki mekanizmaları aydınlatılmalı ve etkili direnç yönetimi programlarına başvurulmalıdır. Zararlı böceklerde popülasyon genetiğinin ve ekolojisinin iyi bilinmesi de direnç yönetimi programlarının etkili sonuç vermesi için son derece önemlidir.

Anahtar kelimeler: İnsektisit, Fitofag Böcek, Direnç.

Abstract

Why Insects are Gaining Resistance?

Although insecticides have an important role in agricultural protection, it is limited availability due to development of resistance in pests. Susceptibility of pests and possibility of resistance development and should be considered during the insecticide applications. Resistance mechanisms in phytophagous insects to prevent the development of resistance should be enlightened and should be appealed effective resistance management programmes. Pest populations genetics and ecology are also extremely important to get effective results of resistance management programmes.

Keywords: Insecticide, Phytophagous, Insect, Resistance.

Giriş

İnsektisit direnci, bir zararlıya karşı belirli bir pestisit uzun süre kullanılması sonucunda bu zararlı popülasyonunda pestiside karşı hassasiyet kaybının oluşması durumudur. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) insektisitlere direnci; normal bir popülasyondaki bireylerin çoğunu öldürdüğü tespit edilen zehirli bir maddenin belirli bir dozuna karşı, aynı türün diğer popülasyonundaki bireylerin tolerans kazanma yeteneğinin gelişmesi şeklinde tanımlamıştır. Açıkçası zararlı popülasyonlar hızlı ürediği için, özellikle insektisitlerin hatalı ya da aşırı kullanılması durumunda direnç gelişebilme riski her zaman vardır.

Farklı araştırmacılar direnci farklı şekillerde tanımlamışlardır. Ünal ve Gürkan (2001)'a göre, direnç pestisit önerildiği zararlıların popülasyonlarının baskı altına alınmasında, yanlış depolama, hatalı uygulama ve uygun olmayan çevre koşulları gibi problemler dışında bir hassasiyet azalmasıdır. Diğer bir tanımda ise, bir zararlıya karşı aynı pestisit veya etki mekanizması aynı olan pestisitlerin artarda uzun süre kullanılması sonucunda, bu zararlı popülasyonunda pestisit(ler)e karşı önce hassasiyet azalışı görülmesi ve sonrasında da hassasiyeti az olan bireylerin popülasyonda artışı ile dayanıklı bireylerin çoğalması ve bu pestisitlere karşı dayanıklı ırkların meydana gelmesi, direnç olarak tanımlanmıştır (Öncüer ve Durmuşoğlu, 2008).

Böcek direnci ilk olarak 1947 yılında karasineklerle uygulanan (sentetik organikli) DDT'ye karşı bulunmuştur. Günümüzde 600'den fazla zararlı türünün en az bir insektisite karşı dayanıklılık geliştirilmiş olduğu belirlenmiştir (Anonymous, 2015). Direnç gelişimi sonucunda savaşmada başarısızlık görülmesi nedeniyle aşırı dozda ve sık ilaçlama yapılmakta, bu da ürün maliyetini arttırmaktadır. Taze olarak tüketilen sebzelerde kalıntıya neden olmakla birlikte insan sağlığını tehdit ederek ihracatta sıkıntı yaratmaktadır. Ayrıca çevre kirliliği ve tozlayıcıların etkilenmesi gibi pek çok soruna da yol açmaktadır. Direnç oluşumunu önlemek meydana gelmiş dayanıklılığı yönetmekten daha ucuzdur olabilmektedir. Direnç gelişiminin hızı; böceğin üreme hızına, göç durumuna ve konukçu genişliğine, yakınındaki hassas popülasyon varlığına, bitki koruma ürünün özelliğine ve kalıcılığına, pestisit uygulama dozuna bağlıdır. Zararlı böceklerde davranışsal, morfolojik, fizyolojik, çok yönlü ve çapraz direnç olmak üzere 5 tip direnç ortaya çıkmaktadır (Yu, 2008).



Tarımsal üretimde yanlış uygulamalar sonucu oluşan zararlı böcek direncini, bu konuda yapılan çalışmaların yanı sıra, farklı verileri kullanarak da ispatlamak mümkündür. Örneğin; 1800’lü yıllarda İngiltere’de endüstriyel devrimle birlikte doğal seleksiyon sonucu; doğada yalnızca koyu renkli güvelerin kalması ‘Güvelerde Endüstriyel Melanizm’ in evrimi olarak isimlendirilmektedir. Böylece zararlı böceklerde direncin oluşumunda görülen doğal seleksiyon baskısının bir örneğinin, endüstriyel kirlilikle birlikte güvelerde de görüldüğü ispatlanmıştır. Bir süre sonra da doğadaki popülasyonun tamamen melanik formlardan oluştuğu belirlenmiştir. Bu türlerden biri *Biston betularia* (Linnaeus) (Lepidoptera: Geometridae)’dır. Yine aynı yıllarda, bitkilerde görülen ağır metal toleransı da doğal seleksiyon sonucu oluşmuştur. Özellikle zararlı ve hastalıklarda direncin evrimini anlamak son derece önemlidir. Çünkü bu anlayış bize bu süreci önlemeyi veya tersine çevirmeyi mümkün kılabilir. Arthropodlar (Eklem bacaklılar) kimyasal mücadelesi en zor yapılan zararlılar arasındadır. Dünyada yaygın olarak görülen ve anofel cinsi sivrisineklerin vektörü olduğu sıtma hastalığını yok etmek için, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nün başlattığı program, anofel cinsi sivrisineklerin programda kullanılan insektisitlere karşı dirençli hale gelmesi nedeniyle geniş ölçüde başarısız olmuştur. (Bruce–Chwatt,1979; Metcalf, 1983).

İnsektisitler böcek vücuduna girdiği anda etkili olan bazı enzimler vardır. P450, glutathion–S–transferaz (GST) ve hidrolaz gibi bu enzimler, insektisitlerdeki kimyasalların toksisitesinin giderilmesine yardımcı olurlar (Tsagkarakou ve ark., 2009). P450 enzimi böceklerde büyüme, gelişme ve beslenmeyi etkiler, insektisitlere karşı direnç geliştirir (Pottelberge ve ark., 2008). P450 enzim engelleyicileri hormon sentezini dolaylı yoldan etkiler, böceklerin morfolojisi ve yaşam sürelerinde değişikliklere neden olurlar (Soderlund, 1997). Böceklerde dokuların çoğunda (orta barsak, malpigi tüpleri vs.) P450 belirlenmiştir. P450 enzim seviyesi böceklerin ergin dönemlerinde yüksektir. Yumurta ve larva döneminde artan P450 seviyesi pupa döneminde azalmaktadır. Ayrıca böceklerde monooksijenaz seviyesi arttığında, imidacloprid ve carbaryl gibi birçok insektisitlerin etki mekanizmasının engellendiği tespit edilmiştir. P450 enzim seviyesi böceklerin ergin dönemlerinde yüksek iken, pupa döneminde daha azdır (Feyereisen, 1999).

Böceklerin pestisitlere veya bitkilerden salgılanan allelokimyasallar gibi toksinlere karşı kendilerini korumak için geliştirdikleri mekanizmalara detoksifikasyon mekanizmaları denilmektedir. Glutathion–S–transferaz (GST) enzimi insektisit detoksifikasyonunun yanında hücrel membranların korunmasına da yardımcı olmaktadır (Yu, 2008). GST’ler böceklerde organik fosforlu insektisitlere karşı gelişen dirençte önemli bir role sahiptir (Susurluk, 2008). Hidrolazlar ise böceklerde dâhil bir çok çoğu organizmada bulunmakta ve böceklerde enzim aktivitesi direnç arttıkça artmaktadır (Hollingworth ve Dong, 2008). Ester, amid ve fosfat yapılarına sahip olduklarından dolayı piretroitli ve organik fosforlu insektisitler kısa sürede hidrolazlar tarafından detoksifike edilirler. Hidrolazlar içerisindeki en önemli enzim grubu esterazlardır (Yu, 2008). Esteraz enzimleri (asetilkolinesterazlar ve karboksilesterazlar) böceklerde feromon ve hormonlarda, sindirim sisteminde ve sinir iletiminde, üreme ve insektisitlere dirençte etkilidir. Bu esteraz gruplarının organik fosforuların engellenmesindeki rolleri büyüktür (Baffi ve ark., 2005).

Dünyada pamuk üretiminde de zararlılara karşı geniş ölçüde insektisit uygulaması yapılmaktadır. Bizim ülkemizde de durum farklı değildir. Amerika’da bu oranın %20–50 arasında olduğu ve birçok bölgede zararlıların direnç kazanması sonucunda finansal bir kriz ortaya çıkmıştır (Georghiou ve Mellon, 1983; Sawicki ve Denholm, 1987). Özellikle *Heliothis virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)’in piretroitlere karşı dirençli hale gelmesi ABD’de pestisit pazarında rekabet halindeki firmaların direnç yönetimi konusunda işbirliği yapmasına neden olmuştur (Collins, 1988). İkinci dünya savaşından sonra insektisit kullanımının patlama yaptığı 1950 ve 1960’lı yıllarda, direnç yönetimi açısından böyle bir işbirliği olacağını düşünmek olasılık dâhilinde bile değildi. Bu yüzyılın sonunda pestisitlere direnç geliştiren zararlı böceklerin sayısında ciddi bir artış görülmüştür. Aynı zamanda pestisitlerin çevrede meydana getirdikleri zararları sınırlandırmak için getirilen ruhsatlandırma önlemleri, ilaçların geliştirilme maliyetlerini arttırdığı için yeni insektisitlerin pazara girişi yavaşlamıştır. Hatta zararlıların biyo-insektisitlerden *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) karşı bile direnç geliştirdiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (McGaughey, 1985; Tabashnik, 1994; McGaughey ve ark., 1998). Gassman ve ark. (2014)’na göre, *Bt* geni aktarılmış transgenik mısırla beslenen *Diabrotica virgifera virgifera* (LeConte) (Coleoptera: Chrysomelidae)’da bile direnç geliştiği bildirilmiştir. Çevreye olumsuz etkilerinin az olduğu bilinen bu biyo-insektisitlerin geniş alanlarda kullanılmasıyla, zararlı böcekler arasında direnç gelişimini daha da yaygınlaştırmıştır (Meeusen ve



Warren, 1989). Ayrıca zararlı böceklerin zaman içerisinde kimyasallara karşı geliştirdiği farklı direnç mekanizmaları da, kimyasal mücadelenin zararlı böcekler üzerindeki başarısını sorgulatmaya itmiştir. Fitofag böceklerde insektisitlere karşı oluşan direnç problemi, tarımsal üretimde verimliliği ve kârı etkileyen en önemli sorunların başında gelmektedir.

Direncin doğası

İnsektisitlerin yoğun olarak kullanılması sonucunda birçok zararlıda direnç gelişimi meydana gelir. Direnç mekanizmalarının bilinmesi çapraz direnç oluşumunu belirlemeye yardım etmekte ve alternatif insektisitlerin seçimini kolaylaştırmaktadır. İkinci dünya savaşı öncesinde, inorganik insektisitler yaygın olup (HCN, arsenikler, kireç sülfür) bu grup insektisitlerin çoklu etki mekanizmasına sahip olmaları, direnç gelişimini önleyebilmekteydi. Bu nedenle 1946 yılından önce sadece 12 böcekte insektisit direnci görüldüğü bildirilmiştir (Georghiou, 1986). Yağda çözünen organik insektisitler (organik klorlular, organik fosfatlılar, karbamatlılar ve sentetik piretroitliler) genellikle daha güvenli ve yalnızca tek bir biyokimyasal alanı etkiledikleri için böcekler için daha seçici insektisitler olarak kabul edilmişlerdir. Ancak hedef bölge spesifikliği hızlı direnç gelişimine neden olabilmektedir (Georghiou ve Mellon, 1983). Hedef bölge, böcekte toksinin bağlandığı yerdir ve insektisit davranışına karşı korunmak için genetik olarak değişmiştir. Böylece insektisit etkisini azaltır, yok eder veya bağlanmaz. Organik fosforlu ve piretroitlere karşı görülen direncin bazı durumlarda değiştirilmiş etki yeri mekanizmasıyla ilişkili olduğu belirtilmektedir.

Böceklerin neredeyse bütün insektisitlere başarılı bir şekilde karşı koyabileceğini düşünebiliriz. Bu konuda böceklerin en iyi adaptasyonlarına örnek verilecek olursa kaçma davranışı, kütikula geçirgenliğinin azalması, insektisitleri polar bileşiklere dönüştürme hızı, ya da biyokimyasal hedefin duyarlılığının azaltılması sayılabilir (Georghiou, 1986).

Herbivor böcekler, özellikle polifag olanlar, çoğu kez parazitoit ve predatörlerinden daha önce direnç geliştirirler. Bu durum herbivor böceklerde var olan detoksifikasyon enzimlerinin yüksek aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek detoksifikasyon enzim aktivitesi doğal bir durumdur. Çünkü bitkilerdeki sekonder kimyasalları da bu enzimler sayesinde parçalarlar. Dolayısıyla herbivor böcekler doğal düşmanlara oranla direnç geliştirmeye daha yatkındırlarve sahip oldukları detoksifikasyon sistemlerinin aktivitesi seleksiyon sonucu artmaktadır (Bottrell ve Adkisson, 1977; Georghiou ve Mellon, 1983; Sawicki ve Denholm, 1987). Bilinen en dirençli zararlılar; yaprakbitleri, beyazsinekler, akarlar ve lepidopterler gibi primer zararlılardır. Sivrisineklerde de direnç görülme olasılığı çok fazladır. Sivrisinekler larva döneminde sulardaki bitkisel materyallerden sızan organik kimyasalları parçalamakta kullandıkları detoksifikasyon mekanizmalarını kimyasal ilaçlar için de kullanırlar.

Modern Sentetik Teorisine (Neo-darwinizm) göre yeni bir kimyasal, hedef zararlıda birçok lokus üzerinde etkiliyse de direnç gelişimi üzerindeki etkisi çok az olur. Ancak bu mekanizma sadece bir ya da iki gen ile ilgiliyse, tarla uygulamalarında hızla gelişecek direnci göz önünde bulundurmak gerekir (Roush ve Mckenzie, 1987). Tarla koşullarında seleksiyon baskısı çok yoğundur ve çok az sayıda zararlı böcek hayatta kalmayı başarır. Buna karşın laboratuvarındaki seleksiyon baskısı daha düşüktür ve bu durum poligenik dirence neden olabilir (Crow, 1957). Çünkü birçok gen zayıf direnç etkisi gösteren allellere sahiptir (Roush ve McKenzie, 1987). Benzer bir tez de mimikrinin evriminde rol alan ana genlerde vardır. Çünkü mimikriyi oluşturan poligenik varyasyonlardır. Ancak tek genden kaynaklanan insektisit direnci, modern insektisitlerin etki mekanizmalarına karşı oldukça spesifik olmasından da kaynaklanabilir. Hedef bölgedeki değişim dirence neden olur. Başlangıçta direnç allellerinin azlığı insektisit direnci için seçilmiş alleller olduğunu göstermektedir (Georghiou, 1983). Ancak bu konudaki laboratuvar çalışmaları çok yeterli değildir. Laboratuvarında sadece dirençli ve hassas popülasyonların karşılaştırmaları yapılır. Oysa arazi çalışmaları çok daha karmaşıktır, çünkü arazideki popülasyon seleksiyonundan sonra, direnç sıklığını azaltan ve göz ardı edilen hassas bireylerin göçünden etkilenir. Bazı durumlarda direnç genlerinin negatif yan etkilerini azaltabilen değişkenlerin arttığı görülmektedir (Curtis ve ark., 1978; Wood, 1981; Clarke ve Mckenzie, 1987).

Direnç evrim teorisi

İnsektisit direnci, güçlü seleksiyon baskısı altında gelişen hızlı bir evrimleşme olarak da tanımlanmaktadır. Buna karşın birçok analitik tek lokus ve kantitatif genetik modeller zayıf bir seleksiyon baskısıyla sonuçlanır ve bu durumun direnç evrimine uygulanması çok zordur (Via, 1986).



Buradaki diğer bir handicap insektisit direncini oluşturan seleksiyonun beklenmedik bir şekilde ortaya çıkmasıdır. Bu nedenle standart kültürlerden daha çok, laboratuvarında seleksiyon baskısına maruz bırakılan kültürler kullanılır (Taylor, 1983). Laboratuvarında eğer insektisit uygulamasında hassaslardaki ölüm %100 olursa, direnç için resesif bir allel bir dölde artabilir. Bu durum arazi koşullarında bu şekilde gerçekleşmez, arazide her zaman ilaçlanmayan bir böcek popülasyonu vardır ve hassaslarda ölüm %100'den daha azdır (Curtis, 1987).

Bu böcek rezervuarı bulunduğu sürece çok nadir olarak görülen, tek lokus mutasyonu hızlı bir şekilde resesif geni dominant hale getirir. Böylece popülasyonda etkinliği artan dominant direnç alleli doz artışıyla birlikte azalır (Curtis, 1987). Arazideki bu böcek popülasyonu iki faktöre bağlıdır. İlk olarak alanı tamamıyla insektisit ile kaplamak mümkün değildir. Örneğin pamuk yapraklarının altında ve üstündeki pestisit konsantrasyonları arasında farklılıklar vardır. İkincisi de, bir popülasyon ilaçlanmış alanın dışında olabilir ancak dağıldıkları için kısmen ilaçlanmış popülasyonla karışırlar. Eğer böcek popülasyonu çok genişse, direnç asla uygulama öncesi derecesinin üzerine çıkamaz. Göç olmayan alana göre ilaçlanmış alanda çok daha az direnç gelişecektir. Bununla birlikte çok düşük orandaki bir göçün gerçekleşmesi direnç seviyesini artıracaktır. Çünkü ilaç uygulanmış popülasyondan bağımsız olarak gelişmesine devam edecektir (Comins, 1977; May ve Dobson, 1986). Daha doğrusu söz konusu olan böcek popülasyonu kalmayacak ve direnç çok geniş bir alanda sabitlenecektir. Çünkü dirençli bireyler buraya göç edeceklerdir. Ancak bu durum dirençteki artışı oldukça geciktirecektir (Comins, 1977).

Direnç evrimini etkileyen diğer bir faktör de popülasyon yoğunluğunda meydana gelen değişimlerdir. Bir zararlı popülasyonunun predatör ve parazitoidler tarafından haftalık olarak değiştirildiğini düşünelim. Popülasyon yalnızca insektisit uygulamasından sonra denge seviyesine dönecektir. Bu durumda ilaca maruz kalan popülasyonda direnç gelişimi ivme kazanacak iken, popülasyonunun büyük bir bölümünü oluşturan hassas göçmen türler direnç gelişimini engelleyeceklerdir. Buna karşılık popülasyon denge seviyesinin üzerine çıktığında göçmen türlerin etkisi azalacak ve direnç gelişimi hızlanacaktır.

Bir popülasyonun kontakt etkili bir ilaca maruz kaldığında o popülasyonda bulunan hem zararlıların hem de doğal düşmanların sayısı azalacaktır. Bu durumda zararlı popülasyonunun üzerindeki doğal düşman baskısı kalkacağı için zararlı popülasyonunun doğal artış kapasitesi artacaktır ve popülasyondaki direnç eğilimi de hızlanacaktır. Bu arada ilaçlama sonrası kalan doğal düşman popülasyonu ilaçlama öncesine nazaran av ya da konukçu bulmakta zorlanacağı için, doğal düşman popülasyonunun doğal artış kapasitesi azalacaktır. Bu durum da doğal düşmanların zararlılara göre çok daha uzun sürede direnç geliştirdiği gerçeğini ortaya koyar. Zararlı popülasyonunun detoksifikasyon mekanizması da zararlıların doğal düşmanlardan önce direnç kazanmasını destekler (Tabashnik ve Croft, 1982; May ve Dobson, 1986). Geniş spektrumlu insektisitler adeta zararlı popülasyonunda direnç gelişimini hızlandırmak için dizayn edilmiş gibi görünmektedirler.

İnsektisit direnç yönetimi

İnsektisit direnç yönetim stratejisinde, direncin gelişimini önlemeye ya da yavaşlatmaya yönelik metotlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi yoğun insektisit kullanımından uzaklaşmaktır. Böylece popülasyondaki hassas türler de daha az sayıda ölecektir (Georghiou, 1983; Erdoğan ve Gürkan, 1997). Ancak bu yöntemde daha az ilaç kullanırken zararlılarla mücadele etmek için yüksek dozda uygulama yapmak gerekmektedir. Burada çelişkili görünen bir diğer yöntem ise direncin resesif alleller ile yönetilmesi için yeterli derecede yüksek dozda insektisit uygulanmasıdır (Curtis, 1987). Ancak bu yöntemin direnç yaygınlaşmadan her direnç genotipinin hassasiyetinin bilinmesiyle etkili olabileceği bildirilmiştir (Georghiou, 1983). Bu nedenle bu yöntem hiçbir zaman geçerlilik kazanamamıştır. Direnç yönetiminde resesif allellerin etkili olabilmesi nadir karşılaşılan bir durumdur. Yüksek dozda ilaç uygulaması yapıldığında ikinci bir ilaçlamadan mümkün olduğu kadar uzak durmalıyız. Eğer ikinci bir ilaç uygulaması gerekiyorsa hassas bireylerin yaşamasına izin verecek dengeli bir yüksek doz tercih edilmelidir.

Direnç yönetiminde bir diğer yöntem, farklı etki mekanizmasına sahip insektisitlerin kullanılmasıyla direnç seleksiyonunun azaltılmasıdır. İki ilaç uygulamasında aynı insektisit seçimi, popülasyondaki hassas bireylerin göç etmesine ve dirençli böceklerin sayısını kabul edilebilir bir seviyeye kadar inmesine neden olur. Bir görüşe göre; söz konusu tarımsal ürün olduğu için ilaç uygulaması altında zararlıların direnç gelişimi, hiç ilaç uygulaması yapılmamasına göre daha avantajlı



olarak görülmekte ve farklı etki mekanizmalarına sahip inseksit rotasyonu istikrarlı bir strateji olarak kabul edilmektedir (Georghiou, 1983; McCord ve ark., 2002). Genellikle direnç uzun sürede gelişen bir durumdur. Herhangi bir önlemin alınmadığı stratejiler (direnç gelişene kadar inseksit uygulaması gibi) ile iyi planlanmamış bir inseksit rotasyonunda direnç gelişimi hemen hemen aynı sürede gerçekleşir. Bu nedenle inseksit rotasyonunun çok iyi planlaması gerekir (Curtis, 1987). Bununla birlikte inseksit rotasyonu benzer etki mekanizmasına sahip inseksitlerde (organofosfatlılar ve karbamatlar gibi) zararlı popülasyonu üzerinde seleksiyon baskısını arttırdığı için direnç gelişim oranını da artırabileceği bildirilmiştir (McCord ve ark., 2002; Ware ve Whitacre, 2004; Yu, 2008). Ancak bazı durumlarda yine de rotasyonlar tek bir ilaca karşı direnci sınırlandırmada tek yol olarak tercih edilebilmektedir (Comins, 1977; Tabashnik ve Croft, 1982; May ve Dobson, 1986; Curtis, 1987). Diğer taraftan inseksit karışımları, inseksit rotasyon stratejisine göre direnç evrimini geciktirebilir (Comins, 1977; Tabashnik ve Croft, 1982; Mani, 1985; May ve Dobson, 1986; Curtis, 1987). İseksit karışımlarında böcekler bir ilaçtan letal dozu aldığı anda diğer inseksitlerden de benzer letal dozu aldığı için etkili olurlar. Karışım uygulamasından sonra her iki inseksite de direnç geliştiren bireyler hayatta kalacaktır. İlaçlanmamış böcek popülasyonundaki bireylerle ya da göçmen bireylerle rastgele çiftleşme ya da rekombinasyon dirençli genotipin iki katına çıkma eğilimini kısıtlayacaktır. Bu durumda direncin evriminin yavaşlamasına neden olacaktır (Curtis, 1987). İseksit rotasyonları ile inseksit karışımlarının faydaları tartışılmalıdır. İseksit rotasyonunda karışıma göre, böcek iki ilacı aynı anda alamayacağı için direnç daha hızlı gelişecektir (Comins, 1977; Tabashnik ve Croft, 1982; May ve Dobson, 1986; Curtis, 1987). Ancak inseksit rotasyonları bütün direnç yönetimi programlarının temel bir bileşeni durumundadır. Örneğin pamukta pembe kurt ve yeşil kurda karşı sentetik piretroitlerin etkili olduğu bilinmektedir. Sentetik piretroitlere karşı direnç yönetimi programlarında organik fosforlarla rotasyon önerilmektedir. Tabi direnç yönetimi programlarının üretici açısından ekonomik olması da önemlidir. İseksit karışımında her iki ilaç aynı anda alınacağı ve tam doz uygulaması yapılacağı için inseksit rotasyonu üretici için daha ekonomik bir uygulamadır. Avustralya'da *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)'nin direnç yönetimi programlarının planlanması, düzenlenmesi ve izlenmesi ile bu problem önemli ölçüde aşılmıştır. Avustralya'nın bu konudaki tecrübesi dünya çapında inseksit direnç yönetim programlarının oluşturulmasında öncü olmuştur (Forrester ve Cahill, 1987). Direnç yönetim programı spesifik bir zararlı için, pestisit direncini yönetmeyi ya da engellemek için alınması gereken önlemleri içerir. Burada amaç zararlı popülasyonundaki dirençli genlerin seleksiyonunu azaltmaktır. Direnç yönetim programındaki taktikler zararlı kontrolünün istenen düzeyde olmasını sağlamaya yarar. Bu taktikler her zararlı grubu için farklı olacaktır, ancak genel prensipler tüm direnç yönetim programlarında geçerlidir.

Horowitz ve Ishaaya (1994)'ya göre; 1991 ve 1992 yılları arasında tatlı patateslerde beyazsineklerin, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae)'nin inseksitlere direnci izlenmiştir. Beyazsinekler toplanarak buprofezin ve pyriproxyfene maruz bırakılmıştır. Denemeler sonucunda ergin beyazsinekler buprofezine 4 kat, pyriproxyfene ise 10 kat dirençli bulunmuştur. Buna karşılık pyriproxyfen ile yapılan bir uygulama *B. Tabac*'nin hassasiyetini gözle görülür oranda değiştirmemektedir. Direncin gelişimini önlemek için, zararlıların aktivitesinin yüksek olduğu dönemde pyriproxyfen ve buprofezinin her ikisini kullanmak gerektiğini belirtilmiştir. Direnç gelişiminin hızını belirlemek için inseksit direnç yönetimi stratejilerine ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir.

Ülkemizde ise pestisit direnci ve direnç yönetimi ile ilgili ilk çalışmalar yaklaşık 1970'li yıllarda başlamış ve başlangıç çalışmalarının çoğu direnç düzeyini belirleme ile ilgilidir. İren (1966) tarafından yapılan bir çalışmada, elma iç kurdunda *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) inseksitlere karşı direnç bulunmuştur. Öden (1972) tarafından yapılan bir araştırma da ise kımıl, *Aelia rostrata* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)'nin inseksitlere karşı duyarlılıkları araştırılmıştır. Temizer (1972) tarafından, süne *Eurygaster integriceps* (Puton) (Hemiptera: Scutelleridae)'nin değişik hayat dönemlerinin ilaçlara karşı dirençli olduğu belirtilmiştir. Dörtbudak ve ark. (1987)'na göre; depolanmış tahıllarda zarar yapan Buğday biti, *Sitophilus granarius* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae)'un uygulamada kullanılan koruyucu ilaca karşı dirençli oldukları tespit edilmiştir. Erkam ve Gürkan (1983)'a göre; *Panonychus ulmi* (Koch) (Arachnida: Tetranychidae)'nin ilaçlara dayanıklılık durumu incelenmiştir. Dindar ve Kılınçer (1992)'e göre de,



Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)’nın malathiona karşı direnci araştırarak ilk biyoassay yöntemini kullanmışlardır.

Ülkemizde son yıllarda ise pestisitlere direnç ve direnç mekanizmaları konularındaki çalışmalarda artış olmuştur. Bu çalışmalar *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae), *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera: Aphididae), *Panonychus ulmi* (Koch) (Trombidiformes: Tetranychidae), *Stethorus gilvifrons*, (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae), *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae), *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae), *Tetranychus cinnabarinus* (Dufour) (Acari: Tetranychidae) üzerinde yoğunlaşmıştır. (Dağlı ve Tunç, 2001; Uğurlu ve ark., 2007; Kumral ve Kovancı, 2007; Velioglu ve ark., 2007; Erdoğan ve ark., 2008; Velioglu ve ark., 2008a, Velioglu ve ark., 2008b; Velioglu ve ark., 2009; Kumral ve ark., 2009; Velioglu ve ark., 2010; Yorulmaz ve Ay, 2010; Ay ve Kara, 2011; Kumral ve ark., 2011; Erdoğan ve ark., 2012).

Sonuç ve Öneriler

“Neden Böcekler Direnç Kazanıyor?” sorusunun cevabı yukarıda verilen bilgilerle ortaya konulmuştur. Direnç yönetimi programlarının en zorlu bileşeni aslında insan kaynağıdır. Çünkü insanların bu konudaki hassasiyet dereceleri birbirinden farklıdır. Örneğin bir pamuk tarlası göz önüne alındığında ilaç firmaları, satış elemanları ve üreticilerin maksimum fayda değerleri birbirinden farklı olabilmektedir.

Peki, zararlı böceklerde gelişen bu direnç karşısında biz ne yapabiliriz? Kullanılan tarım ilaçlarına zamanla direnç gelişimi olması kaçınılmaz bir sonuçtur. Ancak bizler oluşturulacak farklı programlarla direnci yönetebiliriz. Direnç yönetiminde dikkat etmemiz gereken en önemli husus, tarım ilaçlarının önerilen dozda kullanılmasıdır. Bunun yanı sıra zararlı bir böceğe karşı aynı etken maddeli tarım ilaçlarının uzun süre kullanılmaması gerekmektedir. Zararlı böcekler ile mücadelede kimyasal tarım ilaçlarının en az ölçüde kullanılmasını hedefleyen ve diğer mücadele yöntemlerini (kültürel önlemler, biyolojik mücadele, biyoteknik mücadele, kimyasal mücadele) de içine alan “Entegre Mücadele” stratejisinin benimsenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Zararlı böceklerde “Direnç Yönetimi” de “Entegre Mücadele”(IPM) stratejisinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Burada pestisitlerin mümkün olduğu kadar çevre dostu diğer yöntemlerle entegre edilmesi gerekmektedir (Wood 1981; Metcalf, 1983; Georghiou, 1986). Ayrıca mümkün olduğu kadar farklı birçok mücadele yöntemlerinin bir arada kullanılması anlamına gelmektedir. Örneğin insektisitlerle birlikte biyolojik insektisitler, faydalı böcekler (predatör/ parazitoit), kültürel önlemler, ürün rotasyonu, dayanıklı çeşit kullanımı ve cezbedici ile uzaklaştırıcılar kullanılmalıdır. “Entegre Zararlı Yönetimi”, basit ilaçlama programlarına göre daha fazla Ar-Ge çalışmaları gerektirdiği için daha karmaşıktır. Bununla birlikte başarılı bir “Entegre Zararlı Yönetimi” pestisit maliyetini kısa dönemde azaltarak üreticiye önemli ölçüde fayda sağlamaktadır. Diğer önemli bir avantajı da diğer mücadele metotları başarısız olduğunda insektisit uygulamasının devreye girmesidir. Ancak “Entegre Zararlı Yönetimi” programlarında da zararlı böceklerin ilaçlara karşı olan duyarlılığı maalesef göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu duyarlılığın iyi yönetimi için böcek ekolojisi ve popülasyon genetiği hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir. Bunun yanında direnç yönetim stratejilerini geçerli ve sürdürülebilir kılabilecek bitki koruma politikalarının uygulanması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Anonymous, 2015. www.irac-online.org Insecticide Resistance Action Committee. IRAC susceptibility test methods series. Method no:019. (Erişim tarihi: 01.11.2015).
- Ay, R., Kara, F.E., 2011. Toxicity, inheritance of fenpyroximate resistance, and detoxification–enzyme levels in a laboratory–selected fenpyroximate resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Crop Protect. 30: 605–610.
- Baffi, M.A., Pereira, C.D., Souza, G.R., Bonetti, A.M., Ceron, C.B., Goullart, L.R., 2005. Esterase profile in a pyrethroid–resistant Brazilian strain of the cattle tick *Boophilus microplus* (Acari, Ixodidae). Genetics and molecular biology. 28 (4): 749–753.
- Bottrell, D.G., Adkisson, P.L., 1977. Cotton insect pest management ann. review of ent. 22: 541–582.
- Bruce–Chwatt, L.J., 1979. The Manson Oration,. Man against malaria: conquest or defeat. Trans. R. Soc. Trop. Med Hyg. 73 (6): 605–617.



- Clarke, G.M., McKenzie, J.A., 1987. Developmental stability of insecticide resistant phenotypes in blowfly: a result of canalizing natural selection. *Nature (London)*. 325: 345–346.
- Collins, M.D., 1988. *Brighton Crop Protect.* 1079–1088.
- Comins, H.N., 1977. The Management of Pesticide Resistance. *J. Theor. Biol.* 65: 399–420.
- Crow, J.F., 1957. Genetics of Insect Resistance to Chemicals. *Annual Rev. Entomology*. 2: 227–246.
- Curtis, C., Cook, L.M., Wood, R.J., 1978. Selection for and against insecticide resistance and possible methods of inhibiting the evolution of resistance in mosquitoes. *Ecol. Entomol.* 3: 273–287.
- Curtis, C., 1987. Genetic Aspects of Selection For Resistance. (In Ford, M.G., Holloman, D.W., Khambay, B.P.S. and Sawicki, R.M., eds), *Combating Resistance to Xenobiotics*, Ellis Horwood. 150–161. Chichester, UK.
- Dağlı, F., Tunç, İ., 2001. Dicofol resistance in *Tetranychus cinnabarinus* Boisd.: resistance and stability of resistance in populations from Antalya, Turkey. *Pest Man. Sci. (=Pesticide Sci.)*. 57 (7): 609–614.
- Dindar, Ö.N., Kılınçer, N., 1992. Farklı yapay beslenme koşullarında *Ceratitidis capitata* (Wied) (Diptera: Tephritidae) erginlerine malathion'un toksisitesi üzerinde bir araştırma. Türkiye II. Entomoloji Kongresi Bildirileri, 329–334. Entomoloji Derneği Yayınları No: 5. Bornova–İzmir, 747 s.
- Dörtbudak, N., Yılmaz, D., Aydın, M., 1987. Ankara ve Eskişehir illerinde depolanmış tahılda zarar yapan buğday biti (*Sitophilus granarius* L.)'nin uygulamada kullanılan koruyucu ilaca karşı direnç durumunun araştırılması. *Bitki Koruma Bülteni*. 27 (1–2): 101–109.
- Erdoğan, C., Gürkan, M.O., 1997. *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae)'nın değişik popülasyonlarının, bazı insektisitlere karşı duyarlılığının belirlenmesi üzerinde araştırmalar. *Türk Entomoloji Dergisi*. 21 (4): 299–309. ISSN 1010–6960.
- Erdoğan, C., Moores, G.D., Gürkan, M.O., Gorman, K.J., Denholm, I., 2008. Insecticide resistance and biotype status of populations of the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Turkey. *Crop Protection*. 27: 600–605.
- Erdoğan, C., Velioğlu, A.S., Gürkan, M.O., Denholm, I., Moores, G.D., 2012. Chlorpyrifos ethyl–oxon sensitive and insensitive acetylcholinesterase variants of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*(Westw.) (Hemiptera : Aleyrodidae) from Turkey. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 104 (3): 273–276.
- Erkam, B., Gürkan, S., 1983. Marmara Bölgesi Meyve Ağaçlarında Zararlı Avrupa Kırmızı Örümceği (*Panonychus ulmi* Koch.)'nin Akarisitlere Karşı Direnci Üzerinde Ön Çalışmalar.
- Feyereisen, R., 1999. Insect P450 Enzymes. *Annual Review of Entomology*, 44: 507–533.
- Forrester, N.W., Cahill, M., 1987. Management of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Hubner) in Australia.: In (Ford, M.G., Holloman, D.W., hambay, B.P.S. and Sawicki, R.M., eds), *Combating Resistance to Xenobiotics: Biological and Chemical Approaches*. Ellis Horwood, U.K. 127–137.
- Gassman, A.J., Petzold–Maxwell, J., Clifton, E.H., Dunbar, M.W., Hoffmann, A.M., Ingber, D.A., Keweshan, R.S., 2014. Field–evolved resistance by western corn rootworm to multiple *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic maize. *PNAS*. 5141–5146.
- Georghiou, G.P., Mellon, R., 1983. Pesticides Resistance In Time and Space. In *Pest Resistance to Pesticides* pp: 1–46. G. P. Georghiou and T. Saito, eds. New York: Plenum.
- Georghiou, G.P., 1983. Management of Resistance in Arthropods, in: *Pest Resistance to Pesticides* (Georghiou, G.P. and Saito, T., eds). 769–792, Plenum Press, New York.
- Georghiou, G.P., 1986. In *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Academy Press, pp. 14–43, Washington DC.
- Hollingworth, R.M., Dong, K., 2008. The Biochemical and Molecular Genetic Basis of Resistance to Pesticides in Arthropods. (*Global Pesticide Resistance in Arthropods*, Ed: Whalaon, M.E., Mota–Sanchez, D. and Hollingworth, R.M.). 40–90, Cromwell, UK.
- Horowitz, A.R., Ishaaya, I., 1994. Managing resistance to insect growth regulators in the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 87: 866–871.
- İren, Z., 1966. Bazı İllerimizde Elma İçkurdu (*Cydia pomonella*)' na Karşı Mücadele, DDT'ye Mukavemet Konusu Vesevin'in Meyve Seyreltmesini Tetkik Bakımından Yapılan Çalışmalar. *Bitki Koruma Bülteni*. 6 (2): 2. ZMMAE, Ankara.
- Kumral, N.A., Kovancı, B., 2007. Susceptibility of female populations of *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae) to some acaricides in apple orchards. *Journal of Pest Science*. 80 (3): 131–137.
- Kumral, N.A., Susurluk, H., Gençer, N.S., Gurkan, M.O., 2009. Resistance to chlorpyrifos and lambda–cyhalothrin along with detoxifying enzyme activities in field–collected populations of European red mites. *Phytoparasitica*. 37 (1): 7–15.
- Kumral, N.A., Gencer, N.S., Susurluk, H., Yalcin, C., 2011. A comparative evaluation of the susceptibility to insecticides and detoxifying enzyme activities in *Stethorus gilvifrons* and *Panonychus ulmi*. *International Journal of Acarology*. 37 (3): 255–268.



- May, R.M., Dobson, A.P., 1986. Population Dynamics And The Rate Of Evolution Of Pesticide Resistance. In: Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management. National Research Council (U.S.) Committee on Strategies for the Management of Pesticide Resistant Pest Populations, National Academy Press, pp. 170–193. Washington DC.
- Mani, G.S., 1985. Genetics. 109: 761–783
- McGaughey, W.H., 1985. Insect Resistance to the Biological Insecticide *Bacillus thuringiensis* Science 229 (4709): 193–195.
- McGaughey, W.H., Gould, F., Gelernter, W., 1998. Bt resistance management. Nat. Biotech. 16: 144–6.
- McCord, E., Price, J.F., Nagle, C.A., 2002. Pesticide mode of action codes to aid ornamental growers in developing control programs to manage pest resistance. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 115: 130–133.
- Meeusen, R.L., Warren, G., 1989. The Magnitude of the Resistance Problem. Insect Control with Genetically Engineered Crops. Annual Review Entomology. 34: 373–381.
- Metcalf, R.L., 1983. Implications and Prognosis of Resistance to Insecticides. In Pest Resistance to Pesticides. pp: 703–733. G. P. Georghiou and T. Saito, eds. New York.
- Öden, T., 1972. Bitki koruma ilaçlarının faydasını arttırmak için dikkat edilecek esaslar. 1–V. Tar. Tic., 2 (22): 9–13; 2 (23): 12–15; 2 (24): 9–11; 3 (25): 25–29; 3 (27): 19–23.
- Öncüler, C., Durmuşoğlu, E., 2008. Tarımsal Zararlılarla Savaş Yöntemleri ve İlaçları. Adnan Menderes Üniversitesi Yayınları, Aydın. No: 28, 472 s.
- Pottelberge, S.V., Leeuwen, T.V., Amermaet, K.V., Tirry, L., 2008. Induction of Cytochrome P450 Monooxygenase Activity in the Two-spotted Spider Mite *Tetranychus urticae* and Its Influence on Acaricide Toxicity. Pesticide Biochemistry and Physiology. 91: 128–133.
- Roush, R.T., Mckenzie, J.A., 1987. Ecological Genetics of Insecticide and Acaricide Resistance. Annual Review Entomology. 32: 361–380.
- Sawicki, R.M., Denholm, I., 1987. Tropical Pest Management. 33 (4): 262–272.
- Soderlund, D.M., 1997. Molecular Mechanisms of Insecticide Resistance. (Molecular Mechanisms of Resistance to Agrochemicals, Volume Ed: Sjut, V., Chemistry of Plant Protection, Ed: Ebing, 13: 21–73, Springer Germany.
- Susurluk, H., 2008. İki benekli Kırmızıörümcek *Tetranychus urticae* Koch (Acarina:Tetranychidae)'de Piretroid İnektisitlere Karşı Oluşan Direncin Moleküler Karakterizasyonu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Tabashnik, B.E., Croft, B.A., 1982. Managing Pesticide Resistance in Crop–Arthropod Complexes: Interactions Between Biological and Operational Factors. Environmental Entomology. 11: 1137–1144.
- Tabashnik, B.E., 1994. Evolution of Resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annual Review of Entomology. 39: 47–79.
- Taylor, C.E., 1983. Evolution of Resistance to Insecticides. The Role of Mathematical Models and Computer Simulations. Pest Resistance to Pesticides (Georghiou, G.P. and Saito, T., eds), pp. 163–173. Plenum, New York.
- Temizer A., 1972. Süne (*Eurygaster integriceps* Put.)'nin değişik hayat dönemlerinin ilaçlara karşı direnci konusunda çalışmalar. Ank. Zir. Müc. İlaç ve Alet Ens. Çalışması (basılmamış).
- Uğurlu Karaağaç, S., Konuş, M., İşgör, B., İşcan, M., 2007. Pyrethroid Resistance and Possible Involvement of Glutathione S–transferases in *Helicoverpa armigera* from Turkey. Phytoparasitica. 35 (1): 23–26.
- Ünal, G., Gürkan, M.O., 2001. İnektisitler: Kimyasal Yapıları, Toksikolojileri ve Ekotoksikolojileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. Ankara, 159 s.
- Velioğlu, A.S., Erdoğan, C., Gürkan, M.O., 2007. Sebzelerde Zarar Yapan *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) Populasyonlarının İnektisitlere Direnci İle Karboksilesteraz Aktivitesi Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. Türkiye II. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri, 27–29 Ağustos 2007, Isparta. 57.
- Velioğlu, A.S., Erdoğan, C., Gürkan, M.O., Moores, G.D., 2008a. Neonicotinoid resistance status of green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) in Turkey. XXIII. International Congress of Entomology. Durban–South Africa.
- Velioğlu, A.S., Erdoğan, C., Gürkan, M.O., Moores, G.D., 2008b. Sebzelerde Zarar Yapan *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) Populasyonlarının İnektisitlere Direnci ile Biyokimyasal Mekanizmalarının İncelenmesi, (Tübitak Tovag 105 O 576'nolu proje sonuç raporu), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 110 sayfa.
- Velioğlu, A.S., Erdoğan, C., Gürkan, M.O., Moores, G.D., 2009. *Myzus persicae* (Sulz.) (Hemiptera: Aphididae)'de İnektisit Direncinin Enzim İmmunoassayı ile İncelenmesi. Türkiye III. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri. 19 s, 15–18 Temmuz 2009, Van.
- Velioğlu, A.S., Erdoğan, C., Gürkan, M.O., Moores, G.D., 2010. Insecticide Resistance Status of *Trialeurodes vaporariorum* (Westw) (Hemiptera: Aleyrodidae) and *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: