Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 13(6): 1675-1685, 2025
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i6.1675-1685.7558

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Non-Spinning Syndrome in Silkworm (*Bombyx mori* L.) Rearing and Its Possible Causes

Fehmi Gürel[1,a,*]

[1]*Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 07058, Antalya, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 10.02.2025
Accepted : 09.04.2025

Keywords:
Silkworm
Non-spinning syndrome
Pesticides
Contamination
Insect growth regulators

ABSTRACT

The silkworm (*Bombyx mori* L.) is an economically important domesticated insect that has been traditionally raised for silk production for nearly five thousand years. The silkworm undergoes complete metamorphosis, passing through four life stages; egg, larva, pupa, and adult. At the end of its larval stage, the silkworm spins a cocoon made of silk filament, the main product of the silk industry. Non-spinning syndrome, is characterized by larvae appearing healthy and developing normally until they reach the cocoon-spinning stage, but they are unable to spin cocoons and die after living for another one or two weeks. This problem, which has become widespread in cocoon-producing countries in recent years, causes silkworm farmers to lose the larvae they have raised for about a month at the cocoon-spinning stage, resulting in significant economic losses. In many studies, even very low doses of new-generation, broad-spectrum pesticides with insect growth regulator properties, especially juvenile hormone analogs like pyriproxyfen, fenoxycarb and methoprene are reported to cause non-spinning syndrome in silkworms. Silkworms are exposed to pesticides mainly through leaf contamination. This is mostly due to the transfer of pesticides from non-mulberry crops, or from pesticide applications in vector control to mulberry trees and their leaves. This paper provides an overview of examples of non-spinning syndrome in silk-producing countries, the non-spinning behavior of silkworm larvae and the biochemical changes observed during this process, the effects of insect growth regulators on silkworm larvae and cocoon production, and studies conducted on non-spinning syndrome, and offers suggestions.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(6): 1675-1685, 2025

İpekböceği (*Bombyx mori* L.) Yetiştiriciliğinde Koza Örememe Sendromu ve Olası Sebepleri

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makalesi

Geliş : 10.02.2025
Kabul : 09.04.2025

Anahtar Kelimeler:
İpekböceği
Koza örememe sendromu
Pestisit
Bulaşma
Böcek büyüme düzenleyicileri

ÖZ

İpekböceği (*Bombyx mori* L.), yaklaşık beş bin yıldır geleneksel olarak ipek üretimi için yetiştirilen, ekonomik öneme sahip evcilleştirilmiş bir böcektir. İpekböceği, tam başkalaşım geçirerek yumurta, larva, pupa ve ergin olmak üzere dört yaşam evresini tamamlar. İpekböceği, larva döneminin sonunda ipek sanayinin ana ürünü olan kozasını salgıladığı ipekle örer. Koza örememe sendromu, larvaların genellikle olumsuz bir belirti göstermeden koza örme aşamasına kadar sağlıklı olarak gelişmesine karşın koza örememesi ve bir iki hafta daha yaşayıp ölmesi olarak tanımlanmaktadır. Koza üretimi yapılan ülkelerde son yıllarda yaygın olarak görülen bu sorun, ipekböceği yetiştiricilerinin yaklaşık bir ay besledikleri larvalarını koza örme aşamasında kaybetmelerine ve çok büyük ekonomik kayıplar yaşamalarına yol açmaktadır. Yapılan birçok çalışmada böcek büyümesini düzenleyici özellikleri olan pestisitlerin özellikle pyriproxyfen, fenoxycarb, methoprene gibi jüvenil hormon etkisine benzer etkiler gösteren yeni nesil geniş spektrumlu jüvenil hormon analoglarının çok düşük dozlarının bile ipekböceklerinde koza örememe sendromuna yol açtığı gözlenmiştir. İpekböcekleri, pestisitleri çoğunlukla bulaşık dut yapraklarını tüketerek almaktadır. Bulaşma da genellikle pestisitlerin dut ağaçları dışındaki bitkilere uygulanmalarından veya vektör kontrolü için yapılan pestisit uygulamalarından pestisitlerin taşınarak dut ağaçlarına ve yapraklarına ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu makalede koza üretimi yapılan ülkelerde koza örememe sendromunun durumu ve yaşanan sorunlar, ipekböceği larvasının koza örememe davranışı ve bu süreçte gözlenen biyokimyasal değişiklikler, böcek büyüme düzenleyicilerinin ipekböceği larvasına ve koza üretimine etkileri ve koza örememe sendromu konusunda yapılmış çalışmalar özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.

[a] *fgurel@akdeniz.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0003-1492-8910*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Yaklaşık beş bin yıl önce Çin'de ipek üretimi amacıyla evcilleştirilen ipekböceği, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae), ekonomik açıdan önemli ve kitlesel yetiştiriciliği en çok yapılan böcek türlerinden birisidir. İpek, ipekböceği larvalarının koza örmek için salgıladıkları çok ince ipek liflerinden elde edilmektedir. Tarih boyunca çok değerli olan ipek ipliği, yumuşaklığı, parlaklığı, dayanıklılığı ve iyi boya tutma özelliğinden dolayı günümüzde de en değerli doğal lif olarak kabul edilmektedir (Xiang ve ark., 2005; Şahan, 2011; Reddy ve ark., 2021). İpekböceği yetiştiriciliği, ipekböceği larvalarını dut yaprakları ile besleyerek koza üretmeyi amaçlayan tarımsal bir faaliyettir. Bu tarımsal faaliyet ipekböceğinin tek besin kaynağı olan dut yaprağının üretilmesi, damızlık ipekböceği yumurta (tohum) üretimi, yumurtalardan larvaların çıkışı (kuluçka), larvaların bakım ve beslenmesi, koza hasadı, koza boğma ve kurutma, kozadan ipek çekilmesi ve ipeğin işlenmesi ve ürüne dönüştürülmesi gibi birçok aşamayı da kapsamaktadır (Akbay, 1986; İpekböcekçiliği Araş. Ens., 1997; Şahan, 2011). Yaygın olarak Asya ülkelerinde yapılan ipekböceği yetiştiriciliği, özellikle toprak sahibi olmayan yoksul insanlar için önemli bir iş ve gelir kaynağıdır (Stanley & Preetha, 2016; Kumar & Naika, 2019).

İpekböceğinin yaşam döngüsü yumurta, larva, pupa (krizalit) ve ergin olmak üzere 4 gelişim aşamasında tamamlanmaktadır. Yumurtadan yeni çıkan larvalar çok hızlı büyürler, sadece dut yapraklarıyla beslenirler ve yaklaşık 25 gün süren larva dönemi sonunda olgun larva haline gelerek koza örmeye başlarlar (Akai, 1979). Larvalar kısa sürede hızlı büyüdükleri için deri değiştirirler. Larva döneminde ipekböcekleri 4 defa deri değiştirir. İpekböceği larvası deri değiştirirken beslenme olmaksızın en az 24 saat hareketsiz kalır. Bu devre deri değiştirme ya da uyku devresi olarak adlandırılır. Deri değiştirerek uyku dönemini tamamlayan larvalar yeni bir yaşa girerek dut yaprağı yemeye devam ederler. Ticari yetiştiriciliği yapılan ipekböcekleri 4 uyku ve 5 yaş dönemi geçirirler. Yaklaşık 8 gün süren beşinci yaş dönemi en uzun süren yaş dönemidir. İpekböceği larvası beşinci yaşın sonunda yem tüketmeyi sonlandırır ve 2-3 günde vücudunun her iki tarafındaki ipek bezlerinden salgıladığı ipek lifi ile kendisini içine hapsettiği ve 1000-1400 metre uzunluğundaki ipek ipliğinden oluşan kozasını örer. Koza örme işlemi bitince ipekböceği larvası koza içerisinde metamorfoz (başkalaşım) geçirerek pupa dönemine geçer. İpekböceği çevre koşullarına bağlı olarak koza örmeye başladıktan yaklaşık 15 gün sonra koza içerisinde (ergin) kelebek formuna dönüşür ve kelebek kozayı delerek koza dışına çıkar. Erkek ve dişi kelebekler çiftleşir. Dişi kelebekler yumurtlar ve birkaç gün içerisinde erkek ve dişi kelebekler ölürler. Binlerce yıldır evcilleştirmenin bir sonucu olarak kelebekler uçma yeteneklerini yitirmişlerdir ve beslenmezler. Ticari koza üretiminde ise kozanın delinmesini önlemek için larvaların koza örmeye başladıklarından sonraki 8.-10. günlerde pupa aşamasında, kozalar hasat edilir, pupalar uygun yöntemlerle öldürülür, kozalar kurutulur ve daha sonra çekilerek ipek ipliği elde edilir (Akbay, 1986; FAO, 1987; İpekböcekçiliği Araş. Ens., 1997; Şahan, 2011; Shahzadi ve ark., 2022; Gürel 2023, 2024).

Koza, ipekböceğinin pupa döneminden önce kendisini dış koşullardan korumak için ördüğü protein yapısında, uzun ve kesiksiz ipek ipliklerinden oluşan koruyucu bir gömlektir ve ipek sanayinin de hammaddesidir. Çekilen ipek ipliğinin kalitesi büyük ölçüde ipeği çekilen kozanın kalitesine bağlıdır. Koza kalitesi hem ipek sanayi için hem de ipekböceği yetiştiricilerinin başarısı ve kazancı için çok önemlidir. Bu nedenle ipekböceği yetiştiriciliğinde öncelikli olarak uygun çevre koşulları sağlanarak ipek miktarı yüksek kaliteli kozalar üretmek amaçlanır. İpekböceği yetiştiriciliğinde koza verim ve kalitesini etkileyen faktörler üç ana başlık altında özetlenebilir. Bunlar yetiştirme odalarında çevre koşullarının kontrolü (yetiştirme odalarının sıcaklığı, nemi, havalandırması, aydınlatması vb.), ipekböcekleri için uygun ve yeterli besinin sağlanması (ipekböceklerine verilen yaprak miktarı, kalitesi, yemleme sıklığı vb.) ve hastalıkların kontrolü (besleme yerinin izolasyonu, temizlenmesi, dezenfeksiyonu vb.) olarak sıralanabilir. Larvanın sağlık durumu koza örme davranışını, koza ağırlığını, koza büyüklüğünü ve pupa ve erginin (kelebeğin) hayatta kalma yeteneğini belirlemektedir. Yüksek sıcaklık ve nem, düşük sıcaklık ve nem, yetersiz havalandırma yetersiz ve kalitesiz dut yaprağı ile besleme ve bazı hastalık ve zararlılar larva ölümü, larvaların yavaş gelişmesi, larvaların koza örememesi, çok küçük koza örmesi ve koza içerisinde başkalaşımını tamamlayamaması gibi çok önemli kayıplara yol açabilmektedir. Asırlardan beri evcilleştirilmesinin bir sonucu olarak ipekböceği, çevre koşullarına karşı çok hassastır. Bu nedenle yetiştirme döneminde sıcaklık, nem, havalandırma, ışık, yaprak kalitesi ve miktarı, yemleme, seyreltme, temizleme gibi çeşitli çevre koşulları ipekböceğinin isteği doğrultusunda sağlanması gerekmektedir (Akbay, 1986; Şahan, 2011; Rahmathulla, 2012; Gupta & Dubey, 2021; Gürel 2023, 2024).

İpekböceği yetiştiriciliğini ve ticari koza üretimini önemli ölçüde olumsuz etkileyen diğer bir faktör de tarımsal üretimde hastalık ve zararlıların ve yabancı otların kontrolü için son elli yılda sürekli artan miktarlarda kullanılan pestisitlerdir. İpekböcekleri binlerce yıldır evcilleştirilmiş olmalarından dolayı pestisitlere karşı son derece hassastırlar. Pestisit zehirlenmesi, pestisitlerin türüne ve dozuna bağlı olarak ipekböceklerinde çeşitli kayıplara yol açmaktadır. Ağır zehirlenmeler ölümcüldür. Hafif zehirlenmelerde bile larva gelişiminin yavaşlaması ve uzaması, tam gelişememiş larvalar, hafif ve küçük kozalar, kozalardan zayıf ipek ipliği çekilebilirliği, ipek ipliğinin kısalması, yumurta sayısının azalması vb. gibi önemli birçok özellikte kayıplar yaşanabilmektedir. Pestisitlerden zehirlenen larvalarda ise vücudun bükülmesi, şiddetli bir şekilde sallanması, yumuşaması, kusma, yem yememe, hareketsizlik, büyümenin yavaşlaması, sürünme, felç, deri değiştirememe ve koza örememe gibi pestisitlerin türüne ve dozuna bağlı olarak çeşitli belirtiler görülmektedir (Kuribayashi, 1988; Stanley & Preetha, 2016; Kumar & Naika, 2019).

Pestisitler değişik yollarla ipekböceklerine temas edebilir. Pestisitlerin ipekböceği yetiştirme tesislerinde kullanılması veya ipekböceği hastalık ve zararlılarına karşı ipekböcekleri üzerinde kullanılması da zehirlenmelere yol

açsa da bu yöntemler yaygın değildir. İpekböceklerinin pestisitlerle zehirlenmesinde en yaygın ve önemli bulaşma yolu pestisitle bulaşmış dut yaprakları ile beslenmeleri sonucunda pestisitleri vücutlarına almaları ile olmaktadır. Dut ağaçlarının hastalık ve zararlıları ile mücadele etmek amacıyla dut ağaçlarına pestisit uygulaması önemli bir bulaşma yolu olsa da ipekböceği yetiştiricileri bu konuda bilinçli oldukları için genellikle dut ağaçlarını ilaçlamazlar. En yaygın ve önlenmesi zor bulaşma yolu, dut ağacı dışında diğer meyve ve sebzeler veya farklı amaçlarla yapılan pestisit uygulamaları sonucu ortamdaki pestisitlerin dut ağaçlarına ve yapraklarına taşınması ile gerçekleşmektedir (Stanley & Preetha, 2016). İpekböceği yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapıldığı Çin, Hindistan, Kore, Japonya, İran gibi birçok ülkede ve son yıllarda ülkemizde ipekböceği yetiştiricilerini çok üzen ve ekonomik kayıplara yol açan çok ilginç zehirlenme vakaları yaşanmaktadır. Koza örememe sendromu olarak adlandırılan bu zehirlenme vakalarında ipekböceği larvaları, genellikle larva döneminin sonuna kadar sağlıklı ve normal şekilde gelişip olgunlaşmakta ancak tam koza örme aşamasında koza örme eylemine başlayamamakta, çok az yem tüketerek 10-15 gün daha olgun larva olarak yaşamakta ve koza örmeden ölmektedirler. Sonuç olarak ipekböceği yetiştiricileri yaklaşık bir ay besledikleri larvalarını koza örme aşamasında kaybetmektedir ve bütün emekleri boşa gitmektedir. Bazı pestisitlerin ipekböcekleri üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Koza örememe sendromuna yol açan etmenle ile ilgili yaygın görüş böcek büyümesini düzenleyici özellikte olan bazı pestisitlerin dut yapraklarına taşınması ve bunların çok düşük dozlarının bile ipekböceklerinin koza örmesine engel olmasıdır (Akai ve ark., 1988; Cappellozza & Burlini, 1992; Park ve ark., 2007; Jyothi ve ark. 2019; Şahan ve ark 2019). Ülkemiz ipekböceği yetiştiriciliğinde koza örememe sendromu giderek yaygınlaşmakta ve koza üretimimize çok ciddi kayıplar yaşatmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yaşanan koza örememe sendromu ile ilgili vakaların ayrıntılı olarak incelenmesi, ivedilikle kesin sebeplerinin bulunması ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu derlemede ipekböceği yetiştiriciliğinde yaşanan koza örememe sendromu ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu konu ile ilgili güncel bilgiler sunulmuştur.

Dünyada ve Türkiye'de Koza Örememe Sendromu

Böcek büyüme düzenleyici özellikleri olan insektisitler, hormonların anormal çalışmasına yol açarak bazı hedef alınan böcekleri öldürmekte bazılarında ise gelişim dönemlerini uzatarak doğal yaşam döngüsünü bozmakta ve dolaylı olarak ölümlerine yol açmaktadır (Tunaz & Uygun, 2004). Böcek büyüme düzenleyici özelliği olan tarım ilaçları 1980'li yıllardan itibaren bitkisel üretimde özellikle meyve bahçeleri ve bağlarda kullanılmaktadır (Kamimura, 1995). Çok az miktarda lokal olarak koza üretimi yapılan Fransa ve Kuzey İtalya'da 1990-2010 yılları arasında bağ ve meyve yetiştiriciliğinde kullanılan fenoxycarb içeren böcek büyüme düzenleyici özelliğindeki ilaçların (Insegar vb.) rüzgârla taşınarak dut yapraklarına ulaştığı ve koza örememe sendromuna yol açtığı, bu ilaçların çok düşük dozlarda bile çok etkili olduğu ve bu bölgelerde ipekböceği yetiştiriciliğinin tamamen durmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Tzenov, 2011; Tzenov ve ark., 2022). Benzer şekilde Japonya'da da fenoxycarb'ın ilk kullanılmaya başlandığı 1991 yılında ipekböceklerinde koza örememe sendromu görülmüş ve bu durumun fenoxycarb'tan kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Kamimura, 1995). Kore'de ilk kez 1995 yılı ilkbaharında koza öremeyen ipekböcekleri görülmeye başlanmış ve sonraki yıllarda da bu sendrom yaygınlaşarak ekonomik kayıplara yol açmıştır. Koza örememe sendromunun ipekböceği yetiştiriciliği yapılan çiftliklerin etrafındaki tarımsal alanlara püskürtülerek kullanılan böcek büyüme düzenleyici özellikleri olan ilaçlardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Kore'de 2000'li yılların başında 13 böcek büyüme düzenleyici özellikteki ilaç tescil edilmiş ve satışa sunulmuştur. Bu ilaçların ipekböcekleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve iki ilacın ipekböceği yetiştiricilerinin yaşadığı koza örememe sendromuna benzer etkiler gösterdiği saptanmıştır. Bu ilaçların uygulandığı ipekböcekleri son yaşın yirminci gününden sonrasına kadar koza örmeden larva olarak kalmışlardır (Sohn ve ark., 2005). Hindistan'daki ipekböceği yetiştiricilerinde de koza örememe vakaları son yıllarda yaygın olarak görülmeye başlanmıştır. Hindistan'ın Tamil Nadu Bölgesinde 180 ipekböceği koza üreticisi ile yapılan bir anket çalışmada ipekböceği yetiştiricilerinin %32'sinin ya dut ağaçlarına ya da dut bahçelerindeki diğer ağaçlara yapılan sprey pestisit uygulamalarından olumsuz olarak etkilendiği ve ipekböceklerinde koza örememe sendromunun da %2,6 ile %16,3 arasında değiştiği bildirilmiştir. Özellikle patlıcan yetiştirilen ve periyodik olarak chlorantraniliprole etken maddeli ilaç (Coragen %18,5 SC) kullanılan alanlarda daha sonra dut ağaçları dikilip ipekböceği yetiştiriciliği yapıldığında, yeni kurulan dut bahçelerine hiç ilaç atılmamasına karşın ipekböcekleri 2-3 yıl boyunca koza örememe sendromu göstermiştir. Bu sorun Hindistan'ın diğer bazı bölgelerinde aynı etken maddeli ilaç kullanılarak lahana, karnabahar yetiştiriciliği yapılıp daha sonra ipekböceği yetiştiriciliğine dönülen alanlarda da tespit edilmiştir (Sakthivel & Sivaprasad, 2018). Hindistan'da benzer bir çalışma da Karnataka bölgesinde yapılmıştır. Bu bölgede ipekböceği yetiştiricileri ilk kez 2015 yılında koza örememe sorunu ile karşılaşmışlar ve daha önce başka bitkileri yetiştiren ve sonra ipekböceği yetiştiriciliğine başlayan 55 ipekböceği işletmesi incelenmiş ve dut fidanları dikilmeden önce yetiştirilen bitkilere püskürtülen pestisitlerin toprakta kaldığı ve bu bahçelerde dut ağacı dikimi yapıldığında ilacın dut bitkisinin kökleri tarafından alınarak topraktan yapraklara taşındığı saptanmıştır. Larva ölüm oranı %25 ile %100 arasında değişim göstermiş, sorun yaprakların ilk hasadından itibaren azalarak 36 ay süresince devam etmiştir (Jyothi ve ark., 2019). Çin'de ise Jiangsu, Guangxi ve Yunan gibi bazı önemli ipekböceği yetiştiriciliği yapılan bölgelerindeki dut bahçelerinde ve bu bahçelerin çevresinde pyriproxyfen uygulanması nedeniyle, ipek veriminde azalmanın yaşandığı ve koza örememe sorunlarının da her geçen yıl daha da arttığı bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2020a, 2020b).

Ülkemizde ipekböceği yetiştiriciliği uzun yıllardır Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından desteklenmesine karşın bir türlü istenilen düzeye ulaşamamıştır. Ayrıca son yıllarda özellikle ilaçlamalardan ve yaprak kalitesi ve diğer çevre koşulları ile ilgili sorunlardan dolayı da yaş koza üretiminde çok önemli düşüşler yaşanmaktadır. Son 20

yılda dağıtılan yıllık tohum (yumurta, larva) miktarı hemen hemen aynı olmasına karşın (5000-6000 kutu/yıl) üretilen yaş koza miktarı %50 azalmıştır. Son 5 yılda ise yaş koza üretiminde azalış oranı yaklaşık %25 düzeyindedir (Hayvancılık Genel Müdürlüğü, 2024). Yaş koza üretiminde yaşanan kayıplarda ülkemizde kullanılan pestisitlerin çok önemli rol oynadığı tahmin edilmektedir. Ülkemizde kullanılan pestisit miktarı son 20 yılda yaklaşık %50 artmış ve 57 766 tona ulaşmıştır (Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, 2024). Özellikle insektisit, herbisit ve böcek gelişimini düzenleyici ilaçların kullanım miktarındaki artış ipekböceği yetiştiriciliğini olumsuz etkilemektedir. Ülkemizde koza örememe sendromunun ilk görüldüğü tarih ve yıllar içindeki durumu ve yaygınlığı ile ilgili veriler bulunmamaktadır. Sahada çalışan teknik elemanlar, koza örememe sendromunun ülkemizde 2000 yılından ibaren görülmeye başladığını, son yıllarda giderek yaygınlaştığını, ülke genelinde koza üretimini çok olumsuz etkilediğini ve bazı illerde de ipekböceği yetiştiriciliğinin tamamen durmasına yol açtığını bildirmektedirler. Bursa il merkezinde Tarım ve Orman Bakanlığı Bursa İl Müdürlüğü ve Bursa Koza Tarım Satış Kooperatifleri Birliği'ne (Kozabirlik) ait yumurta üretim tesislerinin bulunduğu yerleşkedeki dut bahçelerinden toplanan dutlarla beslenen ipekböceklerinde uzun zamandır koza örememe sendromunun yaşandığı ve bu durumun yerleşkede bulunan Kozabirliğe ait tüm hatlarda görüldüğü ve ticari koza üretiminin yanında damızlık hatların korunmasında da sorunlara yol açtığı bildirilmiştir (Şahan ve ark., 2019, 2020). Bursa ilinde yaşanan bu sorunla ilgili yapılan bir araştırmada Bursa'da koza örememe sorunu yaşayan 4 ve Bolu'da koza örememe sorunu yaşamayan 2 yetiştiriciden rastgele 15 larva örneği alınmış ve larvaların hemolenfinde böcek gelişimini düzenleyici bir ilaç olan hydroprene miktarına bakılmıştır. Bursa ve Bolu'dan alınan larva örneklerinin hemolenfindeki hydroprene miktarı 0,003 ile 0,382 mg/L arasında değişim göstermiş ve Bursa'daki üreticilerden alınan böcek larvalarının hemolenfindeki hydroprene miktarı Bolu örneklerinden önemli ölçüde yüksek çıkmıştır (Şahan ve ark., 2019). Antalya ili Serik ilçesinde 2016 yılında 10 dönüm narenciye bahçesini bozup dut fidanı diken ve 7 kutu ile ipekböceği yetiştiriciliğine başlayan bir üretici larvaları çok sağlıklı büyütmesine karşın larvaları koza örememiş ve başarısız olmuştur. Benzer şekilde Antalya ili şehir merkezinde bulunan Akdeniz Üniversitesi yerleşkesi içerisindeki ipekböceği yetiştirme laboratuvarlarında 2024 yılında yürütülen bir çalışmada yerleşke içindeki dut ağaçlarının yaprakları ile ipekböceği larvaları beslenmiş, larvalar sağlıklı gelişmiş, beşinci yaşın sekiz dokuzuncu günlerinde koza örmeleri beklenen larvaların hiç birisi koza örmemiş ve beşinci yaşın yirminci gününde binlerce larva imha edilmiştir.

İpekböceği Larvasının Koza Örememe Davranışı

İpekböceği, *B. mori*, Lepidoptera takımı, Bombycidae familyası içerisinde yer alan tam başkalaşım geçiren ve kozalarının çekilmesiyle ipek üretimi yapılan, ekonomik olarak önemli yararlı bir böcektir. Yaşam döngüsü yumurta, larva pupa ve ergin olmak üzere dört aşamada tamamlanır. Yumurtadan yeni çıkan larvalar, sadece dut yapraklarıyla beslenerek çok hızlı büyürler ve yaklaşık 25 gün sonra, son yaş (beşinci yaş) evresinin sonunda olgun larva haline gelerek vücutlarının her iki tarafında bulunan ipek bezlerinden salgıladıkları protein yapısındaki ipek ipliği ile kozalarını örerler. İpek bezleri birinci ile dördüncü yaşlar arasında larva vücut ağırlığının %5'inden daha azını kaplarken, beşinci yaşta çok hızlı gelişerek beşinci yaş sonunda %40–45'ini kaplamaktadır. İpekböcekleri toplam tükettikleri dut yaprağı miktarının yaklaşık %89'unu sadece son yaşta tüketmektedirler. Bu nedenle son yaş döneminde verilen yaprak miktarı ve kalitesi elde edilecek koza miktarını doğrudan etkilemektedir (Akbay, 1986; FAO, 1987; Şahan, 2011). Uygun çevre koşullarında, yeterli ve kaliteli dut yaprakları ile beslenen ipekböceği larvaları dördüncü deri değiştirmeden sonra girdikleri beşinci yaşlarının yaklaşık sekizinci gününde iştahları iyice azalır ve sonuçta yaprak yemeye son verirler. Yumuşak bir dışkı bırakarak sindirim sistemini boşaltırlar. Vücutları baştan itibaren karın bölgesine doğru şeffaflaşmaya başlar. Ağızlarından bir miktar ipek salgılarlar ve koza örmek için uygun bir yer bulmak amacıyla besleme yatağında hareket ederler. Bu belirtileri gösteren böceklere olgun böcek adı verilir ve olgun böcekler düzgün kozalar örmelerini sağlayacak materyaller (askılar) yardımıyla 1-2 gün içerisinde koza örme işlemini tamamlarlar. Koza örmeye başlama süresi özellikle kaliteli ve yeterli yaprak verilmemesi, düşük sıcaklık, böcek yoğunluğu ve havasız, temiz olmayan ortamlar gibi uygun olmayan çevre koşullarında uzamaktadır (Akbay, 1986; Şahan, 2011).

Koza örememe sendromu larvaların, genelde herhangi bir olumsuz belirti göstermeden koza örme aşamasına kadar sağlıklı olarak gelişerek, koza örme aşamasında ulaşması gereken larva büyüklüğü ve ağırlığına ulaşmasına karşın koza örememesidir. Uygun bir koza örme yeri bulmak için hareke geçmeyen ve ipek salgılamayan larvalar genelde hareketsiz bir şekilde günlerce beklemektedirler. Bu süreçte az da olsa yaprak tüketmektedirler. Bazı larvalarda kusma, derinin şişmesi ve kabarması, vücudun büzülmesi ve kopça şeklinde dönmesi gibi çeşitli semptomlar görünmektedir. Çok nadir de olsa yapraktaki kalıntı miktarına bağlı olarak üçüncü dördüncü yaşlarda bazı larvalarda da herhangi bir patojen varlığı olmamasına karşın bu semptomlar ve ölümler görülebilmektedir. Son yaşta tükettikleri pestisitle bulaşık yaprak miktarına bağlı olarak bazı larvaların koza örmeyi başardığı da gözlenmiştir. Koza örenler de genel olarak ince, hatalı kozalar örmekte ve larvalar koza içerisinde ölmektedir (Bhuvaneswari ve ark., 2022). Jüvenil hormon analogları uygulanan çalışmalarda doza bağlı olarak normal koza örme zamanına ek olarak15 güne kadar larvaların yaşadığı görülmüştür (Akai ve ark., 1988). Bursa'da yapılan araştırmada, koza ören larvalar beşinci larva yaşının sekizinci gününde kozalarını örmeye başlamışlar, koza öremeyen larvalarda ise beşinci yaş dönemi on sekizinci güne kadar uzamış ve bu sürenin sonunda larvalar kozalarını örmeden ölmüşlerdir (Şahan ve ark., 2020). Antalya'da 2024 yılında yaşanan koza örememe vakasında ise yaklaşık dört bin larva koza örme aşamasında ulaşması gereken larva büyüklüğü ve ağırlığına normal olarak beşinci yaşın sekizinci ve dokuzuncu günlerinde ulaşmasına karşın hiçbiri koza örememiş ve bu larvalar 15 gün daha yaşamışlar bazıları ölmeye başlamış ölmeyenler de imha edilmiştir.

İtalya'da koza ören ve öremeyen ipekböceği larvalarının kolesterol içeriklerinin incelendiği araştırmada (Girgenti ve ark., 1998) normal koza ören larvalarda kolesterol düzeyi deri değiştirme dönemlerinden hemen sonra, yaş başlangıçlarında çok yüksek değerlere ulaşmış yaş sonlarında ise en düşük düzeye gerilemiştir. Koza öremeyen gruptaki larvalarda ise kolesterol düzeyi larvaların ölümüne kadar artış göstermiştir. Kolesterol düzeyi ile koza örememe davranışı arasında açık bir ilişki saptanamamış, deri değiştirme dönemlerinin hemen başında kolesterol düzeyinde gözlenen yüksek değerler, ipekböceği larvalarında deri değiştirmede etkili olan ekdisteroidlerin kolesterol üretiminde de önemli rol üstlenmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer kurguda Türkiye'de yapılan bir çalışmada ise (Şahan ve ark., 2020) üre metabolizmasının koza örememe sendromundaki rolünü araştırmak amacıyla koza ören ve öremeyen ipekböceği larvalarının hemolenfindeki üreaz aktivitesi ve L-arginin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Koza ören grubun hemolenfindeki üreaz aktivitesi koza örmeyen gruba oranla iki kat daha yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Koza ören larvaların hemolenfinde üre konsantrasyonu son yaş döneminin son günlerinde önemli seviyede azalırken koza öremeyen larvalarda hemen hemen sabit kalmıştır. Diğer taraftan ise koza öremeyen larvaların hemolenf örneklerinde L-arginin konsantrasyonu koza ören larva grubundan anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur. Hemolenfteki üreaz aktivitesi ve L-arginin düzeylerinde gözlemlenen değişiklikler benzer şekilde dut yapraklarında da saptanmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar üre metabolizmasındaki olası bir baskılanmanın ipekböceklerinde görülen koza örememe sendromunda rol oynayabileceğini belirtmektedirler. Bhuvaneswari ve arkadaşlarının (2022) Hindistan'da koza ören ve öremeyen larvalarda biyokimyasal değişimleri inceldikleri çalışmalarında aspartat, alanin aminotransferaz, glutamat ve süksinat dehidrogenaz enzimleri koza öremeyen larvaların hem ipek bezinde hem de hemolenfinde daha yüksek bulunmuş, ancak koza ören larvalarda ise serbest amino asitler koza öremeyen larvalara oranla ipek bezlerinde %94,63 hemolenflerinde ise %13,34 daha yüksek değerler almıştır .

Böcek Büyüme Düzenleyicilerinin Koza Örememe Sendromuna Etkileri

Böceklerin büyümesi, gelişimi ve başkalaşımında hormonların rolü ve kimyasal yapısı anlaşıldıktan sonra değişik bitkilerden ve sentetik olarak da çeşitli kimyasalların karışımından hormonlara benzer etkiler gösteren bileşikler üretilmiştir. Genel olarak böcek büyüme düzenleyicileri (insect growth regulators, IGRs) olarak adlandırılan ve böcek gelişimini engelleyici ve düzenleyici özellikleri olan bu bileşikler, hücre ve organların gelişiminde rol alan hormonları etkileyerek doğal hormon dengesini bozmakta ve hedef alınan böceklerin büyüme ve gelişmesini (deri değiştirme, başkalaşım, üreme vb.) engelleyici veya durdurucu etki göstererek ölmelerine yol açmaktadırlar. Bu yeni nesil insektisitler, seçici ve özel etki şekilleri, çevreye ve yararlı böceklere karşı daha az istenmeyen yan etkilere sahip olmaları, düşük direnç gelişimi ve memelilere karşı düşük zararlı etki göstermeleri nedeniyle klasik insektisitlere karşı önemli üstünlükleri bulunmaktadır ve bu nedenlerle kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Böcek büyüme düzenleyicileri etki biçimlerine göre genel olarak kitin sentezini engelleyenler ve jüvenil hormon ve ekdisteroid hormonlarının etkisini engelleyen veya artıranlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Dhadialla ve ark., 1998; Tunaz & Uygun, 2004).

Böcek yaşam döngüsünün düzenlenmesinde sinir sistemi ve endokrin sistemi önemli rol oynamaktadır. Böceklerde her beyin lobundaki bir çift nöron protorasikotropik hormon üretir ve bu hormon ipekböceklerinde beynin arkasında corpora allata adı verilen iç salgı bezinden salgılanan jüvenil hormon ve protoraks iç salgı bezinden salgılanan ekdizon (20 (hidroksiekdizon-20E) hormonunun böcek hemolenfindeki varlıklarını ve düzeylerini etkiler. Jüvenil hormon ekdizon hormonu ile karşılıklı etkileşerek özellikle ipek bezi büyümesi ve ipek üretimi, larvanın büyümesi, deri değiştirmesi ve pupa aşamasına geçmesinde çok önemli rol oynamaktadır. İpekböceklerinde jüvenil hormon salınımı ve yüksek düzeyi özellikle larvanın büyümesinde ve başkalaşımın engellenmesinde etkili olurken ekdizon hormonu salınımı ve yüksek düzeyi larvanın deri değiştirmesinde ve başkalaşım geçirmesinde, pupaya geçmesinde etkili olmaktadır (Khyade & Gaikawad, 2016; Keskin & Turanlı, 2021; Pan ve ark., 2021). İpekböceği larvasının beşinci yaşında hemolenfindeki jüvenil hormon miktarı giderek azalmakta buna karşın ekdizon hormonu miktarı ise artmaktadır. Bu hormonal değişiklik ipekböceğinin koza örmesi ve pupa evresine geçmesini sağlamaktadır (Akai, 1979, 1988; Akai ve ark., 1988). Ekdizon ve jüvenil hormonun kimyasal yapıları belirlenmiş ve hem sentetik olarak hem de bazı bitkilerden bu hormonlara benzer özellikler gösteren çeşitli ürünler geliştirilmiştir. Böylece ipekböceği hemolenfindeki ekdizon ve jüvenil hormon miktarı ve dengesi değiştirilerek larva dönemini uzatmak, koza büyüklüğünü artırmak, deri değiştirme sıklığını kontrol etmek amacıyla bazı çalışmalar yapılmıştır. İpek bezlerinin gelişimi ve ipek proteini üretimi büyük ölçüde son larva döneminde olduğu için son larva yaşında larva süresi uzatılarak larva ağırlığı, koza ağırlığı ve dolayısıyla ipek üretimi artırılmaya çalışılmıştır. İlk çalışmalarda sentetik olarak üretilen hormonlar ipekböceği larvaları üzerine belirli dozlarda topikal olarak uygulanmış daha sonra araştırmacılar geliştirilen sentetik hormonları belirli dozlarda dut yapraklarına püskürerek ipekböceklerinin bu hormonları almasını sağlamışlardır (Akai, 1979, 1988; Akai ve ark., 1988; Miranda ve ark., 2002; Wilai & Pabuddee, 2015). Ekdizon türevi ektisteroid uygulaması, ipekböceğinde son larva döneminin kısaltılmasına ve dolayısıyla daha erken koza örmeye yol açabileceği için (Akai ve ark., 1988) çalışmalar genellikle larva dönemini uzatacak sentetik jüvenil hormon analoglarının uygulamalarında yoğunlaşmıştır.

İpekböceği yetiştiriciliğinde ilk uygulanan sentetik jüvenil hormon bileşiği methoprene olmuştur. Japonya'da yapılan araştırmalar sonucunda 1977 yılında methoprene içeren Manta adında ticari bir ilaç da kullanıma sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda son yaş evresinin ilk üç günü içerisinde Manta uygulaması koza kabuk ağırlığında %10-20 oranında bir artış sağlanmıştır (Akai, 1979, 1988). Son larva yaşında ipekböceklerine yüksek dozda sentetik

jüvenil hormon uygulaması sonucu larvalar koza örememişler ve normal koza örme zamanına ilave 15 gün daha koza örmeden yaşamışlardır. Akai ve ark. (1988) yaptıkları çalışmada son yaş evresinin ikinci gününde (48. saatte) topikal olarak 100µg / 5µl ve 50µg / 5µl methoprene uyguladıkları larvaların son yaşının sırasıyla 23 ve 28. gün sürdüğünü ve ölümlerine kadar herhangi bir koza örme belirtisi olmadan larva halinde kaldıklarını aynı grubun bir bölümünü methoprene uygulamasından 1-2 gün sonra 20 mg/L ekdizon içeren dut yaprakları ile beslendiklerinde ise 1-2 gün sonra büyük kozalar örmeye başladıklarını saptamışlardır. Bu araştırma ekdizon uygulamasının koza öremeyen larvaların koza örme yeteneğini geri kazanmalarını sağlayabileceğini göstermiştir. Miranda ve ark. (2002) da methoprene uygulamasının ipekböceği larvalarına etkisini belirlemek amacıyla 5 ml etanolle seyreltilmiş 0 ila 20 ng arasında 7 farklı methoprene dozunu son yaşın ikinci gününden hemen sonra larvalara topikal olarak uygulamışlar ve bu araştırmada 1 ng methoprene uygulanan grupta koza ağırlığı, koza kabuk ağırlığı ve pupa ağırlığı kontrol grubuna göre önemli derecede yüksek bulunmuş, beşinci yaş larva süresi 3-4 gün daha uzun sürmüştür. Wilai & Pabuddee (2015) ise Tayland'da ipekböceği larvalarına yaptıkları topikal methoprene uygulamasında son larva yaşın 48, 72 ve 96. saatlerinde ve 0,003, 0,005 ve 0,01 mg/L konsantrasyonlarında methoprene uyguladıkları grupları karşılaştırmışlar 96. saate methoprene uygulanan gruplardaki larvalar koza örememişler ve ölmüşlerdir. Diğer gruplarda larva süresi kontrol grubuna göre 2 gün uzamış ve 48. saate 0,01 mg/L konsantrasyonda methoprene uyguladıkları grupta koza ağırlığı ve koza kabuğu ağırlığı kontrol grubun oranla artış göstermiştir.

Methoprene ve hydroprene den sonra geliştirilen ve jüvenil hormon benzeri etkiler gösteren geniş spektrumlu böcek büyüme düzenleyicileri olan fenoxycarb ve pyriproxyfen'in 1990'lı yıllarda itibaren halk sağlığında ve bitkisel üretimde zararlılarla mücadele amacıyla yaygın olarak kullanılması, ipekböceği yetiştiriciliği yapılan birçok ülkede koza örememe sendromu ile ilgili vakaların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sentetik olarak geliştirilen bu yeni nesil insektisitler dünya genelinde elma, armut, badem, kayısı, kiraz, muz, turunçgiller, çilek, mango papaya, üzüm, kavun, karpuz, domates, biber, patlıcan, fasulye, lahana, pamuk gibi birçok bitkide çeşitli böcek takımlarına ait zararlılara karşı kullanılmaktadır. Ayrıca birçok ev sineği, sivrisinek, hamamböceği mücadelesinde ve kediler ve köpeklerde pire kontrolü amacıyla da kullanılmaktadırlar (Dhadialla ve ark., 1998; Biale ve ark., 2017; Devillers, 2020). Özellikle dünya yaş koza üretiminin %95'ini sağlayan Çin ve Hindistan'da bu kimyasalların yaygın kullanımı sonucu koza üretiminde önemli kayıpların yaşandığı belirtilmiştir (Jyothi ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2020a, 2020b). Bu nedenle fenoxycarb ve pyriproxyfen'in hedef dışı canlı olan ipekböceğine etkisini saptamak üzere çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Fenoxycarb'ın ipekböceği pupa ve ergin gelişimine etkisini incelemek amacıyla Dedos ve ark. (1993) koza ören larvalara pupa döneminin başlangıcında farklı dozlarda fenoxycarb uygulamışlar ve doza bağlı olarak fenoxycarb'ın hem pupanın ergine geçişini hem de ergin yumurtalık gelişimini engellediği saptanmıştır. Cappellozza ve ark. (1995) de yaptıkları çalışmada İtalya'da meyve zararlılarına karşı kullanılan ve %25 fenoxycarb içeren Insegar adlı ilaçtan hazırlanan çözeltiyi (4 ng/L) dut yapraklarına püskürterek son yaştaki larvaları farklı günlerde başlayarak farklı sürelerde ilaçlı yapraklarla beslemişlerdir. Kısa sürelerde fenoxycarb'lı yapraklarla beslenen larvaların bazıları koza örmeyi başarmış ancak pupa aşamasında ölmüşler, uzun süre ilaçlı yaprakla beslenen larvaların hiçbiri koza örememiştir. Sonuçta araştırmacılar, ipekböcekçiliğinde fenoxycarb kullanılarak hiçbir ekonomik avantaj elde edilemeyeceğini ve aksine kimyasalın ipekböceği larvaları için çok tehlikeli olduğunu vurgulamışlardır. Kamimura (1995) ise yaptığı araştırmada %98,5 saflıkta fenoxycarb'ı asetonla seyreltmiş ve larva yaşına bağlı olarak farklı dozlarda topikal olarak her yaştaki larvaya uygulamıştır. Birinci ve ikinci yaşlardaki larvalarda fenoxycarb'ın etkisi düşük olmuştur. Birinci yaşta 1 µg ikinci yaşta 10 µg uygulaması sonucunda birkaç gün içinde tüm larvalar ölmüş daha düşük dozlar önemli bir etki yapmamıştır. Diğer taraftan üçüncü yaştan sonra yapılan uygulamalarda ise son yaştaki besleme periyodu uzamış, koza örme ve pupaya geçiş engellenmiştir. Monconduit & Mauchamp (1998) ipekböceği larvalarında fenoxycarb'ın koza örmeme sendromuna yol açabilecek en düşük dozunu pikogram düzeyinde belirlemek amacıyla beşinci larva yaşında kontrol ve 5 g dut yaprağı başına 0,01 pg, 0,1 pg, 1 pg, 10 pg, 100 pg ve 1 ng fenoxycarb içeren dut yaprağı ile beslenen larvalarda 100 pg/5 g doz uygulana grupta tüm larvalar koza örememiş ve beşinci yaşın 15-20. günleri arasında ölmüşlerdir. Koza ören kontrol grubunda 20-hidroksiekdizon (20E) düzeyi koza örme aşamasında zirve yapmış fenoxycarb uygulanan gruplarda böyle bir 20E zirvesi hiç gözlemlenmemiştir. Methoprene ve fenoxycarb'ın ipekböceği larvalarında enzimatik aktiviteler üzerindeki etkisini saptamak ve karşılaştırmak amacıyla Mamatha ve ark. (2008) son larva yaşının 48. saatinde 1,0 µg dozunda methoprene ve 3,0 fg (femtogram) dozunda fenoxycarbı topikal olarak uygulamışlar ve son yaşın dördüncü ve altıncı günlerinde larvaların kas ve ipek bezi dokularını çıkartarak enzim aktivitesini incelemişlerdir. Kas ve ipek bezi proteazı, aspartat aminotransaminaz, alanin amino transaminaz, adenozin trifosfat sentaz ve sitokrom-c-oksidaz aktivite seviyelerinde kontrol grubuna oranla artış saptanmıştır. Methoprene grubunda fenoxycarb grubundan daha yüksek düzeyde artış görülmüştür. İzzetoğlu ve ark. (2018) ise fenoxycarb'ın son larval evredeki ipekböceği testisleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Erkek ipekböceği larvaları beşinci yaşın altıncı gününde iki gruba ayrılarak bir gruba 1ng fenoxycarb uygulanmış, geriye kalan larvalar kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Kontrol ve uygulama grubu larvalar, koza örme davranışı gösterdikleri günden itibaren pupa evresine kadar takip edilmiştir. Testisler disekte edilerek incelenmiş ayrıca karbonhidrat ve glikojen içeriği belirlenmiştir. Uygulama grubunda fenoxycarb'ın ekdizon salınımını baskılayarak spermatogenezi azalttığı ve olgun spermlerin azalmasına yol açtığı saptanmıştır.

Thai hibrit ipekböceği hattında koza ve ipek ile ilgili ekonomik özellikleri iyileştirmek amacıyla en uygun pyriproxyfen dozunu bulmak için Magnussen & Promma (2015) beşinci yaşın üçüncü gününde larvalara 0,00 (kontrol) 0,01, 0,05, 0,1, 0,5, 1 ve 5 mg/litre dozunda sulandırılmış 2,5 µl pyriproxyfen çözeltisini topikal olarak

uygulamışlardır. Sonuçlar pyriproxyfen'in 0,05 mg/litre dozunun büyüme ve ekonomik karakterler üzerinde en etkili doz olduğunu göstermiştir. Bu grupta larval beslenme süresi kontrol grubuna göre 2-4 gün uzamış ve koza ağırlığı ve ipek filamentinin uzunluğu sırasıyla %3,86 ve %12,86 artış göstermiştir. Pupa ağırlığının artışından dolayı her iki cinsiyette kontrol grubuna oranla koza gömlek oranı azalmıştır. Pyriproxyfen'in 0,1 mg/litre dozunda, koza ve ipek özellikleri kontrol grubuna oranla çok az düşüş gösterirken 0,5 mg/litre dozunda koza ören larvaların oranı %40,66 ve pupaya dönüşebilen larvaların oranı ise % 38,66'ya düşmüştür. Pyriproxyfen'in 1 ve 5 mg/litre dozlarında ise son yaş larva beslenme süresi sırasıyla 18 ve 23 gün sürmüş her iki grupta da koza örebilen ve pupa dönemine geçen larva olmamıştır. Çin'de yapılan benzer kurgudaki iki araştırmadan ilkinde (Zhao ve ark., 2020a) pyriproxyfen uygulamasının koza örmeye ve ipek protein genlerine etkisini incelemek amacıyla son larva yaşının dördüncü gününde larvaların bir bölümü normal yapraklarla beslenmeye devam edilmiş, diğer bölümü ise 0,01 µg/L konsantrasyonunda pyriproxyfen içeren çözeltide 1 dakika bekletilmiş ve sonra kurutulmuş dut yaprakları ile beslenmişlerdir. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında pyriproxyfen bulaştırılan yaprakla beslenen grupta koza örme oranı önemli ölçüde düşük (kontrol %96,11 ± 4,26, pyriproxyfen %30,56 ± 1,87) pupa ölüm oranı ise daha yüksek bulunmuştur (kontrol %2,91 ± 0,13, pyriproxyfen %8,32 ± 0,24). Koza gömlek oranı ise birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Ayrıca pyriproxyfen, ipek protein senteziyle ilgili genlerin ifade seviyeleri önemli ölçüde azaltmış, detoksifikasyon enzimlerinin (P450, GST ve CarE) aktivitesini ve detoksifikasyon genlerinin ifade düzeylerini ise yükseltmiştir. İkinci araştırmada ise (Zhao ve ark., 2020b) pyriproxyfen'in larva vücut yağı ve vücut yağı ile ilgili detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesine ve bu konu ile ilgili genlerin ifade düzeylerine etkisi incelenmiş ve pyriproxyfen bulaştırılan yaprakla beslenen grupta kontrol grubuna oranla koza örme oranı önemli ölçüde düşük, larva süresi daha uzun, yağ ile ilgili detoksifikasyon enzimlerinin aktiviteleri ve detoksifikasyon genlerinin ifade düzeyleri ise yüksek bulunmuş ve vücut yağ dokularında hasarlar tespit edilmiştir.

İpekböceği larvalarının son yaşında çok düşük dozda pyriproxyfen uygulamasının ipek protein sentezi, metamorfoz ve koza verim ve kalitesine etkisinin incelediği araştırmada ise beşinci yaşın başlangıcında larvalar kontrol ve pyriproxyfen olmak üzere iki gruba ayrılmış, pyriproxyfen grubunda dut yaprakları çok düşük dozda (0,1 µg /L) pyriproxyfen solusyonuna 1 dakika batırıldıktan sonra kurutulmuş ve larvalar beslenmiştir. Her iki grupta uygulamadan sonraki her 24 saate hemolenf örneği alınmış ve arka ipek bezi disekte edilmiş, larva ağırlığı, koza ağırlığı, larva ve pupa ölüm oranları ve koza örme oranları karşılaştırılmıştır. İpekböceği larvalarında belirgin zehirlenme semptomları görülmemesine karşın pyriproxyfen'in ipek bezinin arka bölümünde birikmesi nedeniyle ipek bezlerinin gelişimi ve koza oluşturma işlevinin ciddi şekilde zarar gördüğünü saptanmıştır. Pyriproxyfen grubunda koza örme oranı (%15,86 ± 0,04) kontrol grubuna (100,00 ± 0,00) göre çok düşük düzeyde, pupa ölüm oranı ise çok yüksek düzeyde gerçekleşmiştir (pyriproxyfen %44,44 ± 0,27, kontrol %3,33 ± 0,03). Pyriproxyfen grubunda koza ağırlığı daha yüksek olmasına karşın koza gömlek oranı kontrol grubunda önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Bu durum da pyriproxyfen grubunda son yaş larva süresinin uzaması ve larva ve pupa ağırlığının daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Ayrıca pyriproxyfen grubundaki larvaların hemolenfinde jüvenil hormon miktarı artmış 20-hidroksiekdizon (20E) miktarı ise azalmıştır (Li ve ark., 2021).

Pyriproxyfen'in son yaştaki ipekböceği larvalarında neden ölüme yol açmadığını ve aynı zamanda vücut ağırlığını da artırma eğiliminde olduğunu araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada ise son yaşın ikinci gününde larvalar kontrol ve pyriproxyfen olmak üzere iki gruba ayrılmış, pyriproxyfen grubunda dut yaprakları çok düşük dozda (0,1 µg/L) pyriproxyfen çözeltisine 1 dakika batırıldıktan sonra kurutulmuş ve larvalar beslenmiştir. Pyriproxyfen uygulamasından 24 saat sonra yapılan diseksiyonda pyriproxyfen kalıntısının, ipekböceğinin orta bağırsak mikrovilluslarında, goblet hücrelerinde ve çekirdeklerinde ciddi hasara neden olduğu gözlenmiş diğer taraftan pyriproxyfen ipekböceğinin dört temel sindirim enziminin (a-amilaz, trehalaz, trypsin ve lipaz) aktivitelerini artırmış ve larvaların besin sindirimini ve emilimini desteklemiştir. Pyriproxyfen grubundaki larvaların vücut ağırlığı kontrol grubuna oranla daha yüksek bulunmuş fark 6. günde %24,75 artışla en üst düzeye ulaşmıştır. Kontrol grubundaki larvalar 5. yaşın 10. gününde normal koza oluşumunu tamamlamışlarken pyriproxyfen grubundaki larvalar zehirlenme ve koza örmeye ilişkin semptomlar göstermeden larva formunu korumuşlar ve koza örememişlerdir. Sonuçlar ayrıca pyriproxyfen'in ipekböceğinin üç ana detoksifikasyon enzim sistemini aktive ederek detoksifikasyon etkisini gösterebildiğini ve aynı zamanda ekdizon sentezini de bloke edebildiğini göstermiştir (Xu ve ark., 2022). Bu bulgular özetle, eser miktarda pyriproxyfen'in son yaş ipekböceği larvalarında hormon bozukluğuna neden olabileceğini, larvadan pupaya geçişi (başkalaşımı) engelleyebileceğini ve son larva yaş dönemini uzatabileceğini göstermektedir. Qian ve ark. (2020) ise pyriproxyfen'in ipekböceklerinde üreme ve üremeyle ilgili genlerin ifadesine etkilerini inceledikleri çalışmalarında son larva yaşının dördüncü gününde larvaların bir bölümü normal yapraklarla beslenmeye devam edilmiş, diğer bölümü ise üç farklı dozda pyriproxyfen (0,001 mg/L, 1mg/L ve 100 mg/L) çözeltisinde bir dakika bekletilen ve sonra kurutulan dut yaprakları ile beslenmişlerdir. Pyriproxyfen uygulaması üreme ile ilgili genlerin transkripsiyon seviyelerindeki değişiklikler yol açarak, enerji metabolizmasını, yumurtalık gelişimini ve yumurta oluşumunu olumsuz etkilemiştir. Ergin dişi bireylerden elde edilen ortalama yumurta sayısı, döllenmiş yumurta oranı, yumurtalardan larva olarak çıkanların oranı en yüksek kontrol grubunda gerçekleşmiş, pyriproxyfen dozu artıkça bu özelliklerde çok önemli düşüşler gözlenmiştir.

Belediyeler Tarafından Yapılan Pestisit Uygulamalarının Koza Örememe Sendromu Üzerine Olası Etkileri

Her ne kadar pestisit denildiğinde akla önce kültür bitkileri yetiştiriciliğinde zararlılarla mücadele gelse de özelikle yerel yönetimler tarafından halk sağlığını

korumak amacıyla yerleşim yerlerinde de yaygın olarak pestisit uygulamaları yapılmaktadır. Tarım dışı uygulamalarda kullanılan pestisitler biyosidal ürün olarak adlandırılmaktadır. Biyosit kelime olarak biyolojik bir varlığı, canlıyı öldüren anlamını taşısa da biyosidal ürünler genel olarak içerdikleri aktif madde ya da maddeler sayesinde zararlı olarak kabul edilen bakteri, virüs, mantar gibi mikroorganizmalar (patojenler) ve bu patojenlerin insan ve hayvanlara bulaşmasına aracılık eden ve vektör olarak adlandırılan sivrisinek, karasinek, tatarcık, pire, hamam böceği, kene ve fare gibi canlılar üzerinde kimyasal veya biyolojik etki gösteren maddeler olarak tanımlanmaktadır. Pek çok il, ilçe, belde ve köy gibi yerleşim yerleri ve etrafı hem tarımsal amaçlı hem de halk sağlığını koruma amaçlı pestisit uygulamalarının etkisi altındadır. Büyükşehir yasası ile birlikte ülkemizin birçok ilinde bazı uygulamalar için kentsel alan ve kırsal alan ayrımı yapmak da mümkün olmamaktadır. Halk sağlığında kullanılan biyositler tarımda kullanılanlarla aynı olmakla birlikte halk sağlığında kullanılanlarda önemli kısıtlamalar ve farklı kontrol mekanizmaları bulunmaktadır. Ülkemizde biyosidal ürünlerin izni, ruhsatlandırılması ve denetimi Sağlık Bakanlığı tarafından yapılmaktadır ve biyosidal ürünler ile ilgili yasal mevzuat ve yönetmenlik Avrupa Birliği mevzuatına uygun bir şekilde düzenlenmiştir. Ancak son yıllarda sıklıkla gündeme gelen pestisitlerin hedef dışı canlılar üzerindeki olumsuz etkileri ve biyolojik çeşitliliğe verdiği zararlar dikkate alındığında sadece yasal düzenlemelerin yeterli olamayacağı, pestisit uygulamalarının sıkı ve etkin bir şekilde denetlenmesi gerektiği de önemle vurgulanmaktadır (Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, 2017; İlter ve ark., 2018; Akbaba ve ark., 2023). Türkiye ipekböceği yetiştiriciliğinde kullanılan dut ağaçları büyük ölçüde kapama bahçelerde değil meyve ve sebze bahçelerinin yanında ve/veya içinde, yerleşim yerlerinin yanında, yol kenarlarında olmak üzere çok farklı alanlarda bulunmaktadır. Bu nedenle dut ağaçları hem tarımsal amaçlı ilaçlamalardan hem de belediyelerin yaptığı biyosidal ilaçlamalardan etkilenebilmektedir.

Ülkemizde belediyeler hemen hemen her yıl vektör (sivrisinek, karasinek, tatarcık, pire, hamam böceği, kene, fare vb. mücadelesinde kullanılmak üzere) kontrolü için çok büyük ölçeklerde biyosidal ürün alımı yapmaktadırlar ve bu ilaçları yıl içinde kullanmaktadırlar. Biyosidal ürün alım ilanları incelendiğinde en önemli grubu çevreye ve yararlılara karşı daha az istenmeyen yan etkileri olduğundan dolayı böcek gelişimini engelleyici ve düzenleyicilerin ve özellikler jüvenil hormon analoglarının oluşturduğu görülmektedir. Ancak böcek gelişimini engelleyici ve düzenleyiciler ve özellikle yaygın kullanılan jüvenil hormon etkisi gösteren pyriproxyfen, hedef dışı organizmalar ve özellikle arı ve ipekböceği gibi yararlı böcekler üzerine ciddi olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Pyriproxyfen'in ipekböceklerinde tespit edilen olumsuz etkilerinin yanı sıra bal arılarında da arı sütü üretimini azaltabildiği, anormal şekilde pupaya geçmesine yol açabildiği (Chen ve ark., 2016) ve uçuş yetenekleri ve yaşama gücü azaltabildiği saptanmıştır (Naiara Gomes ve ark., 2020). Ülkemizde litresinde 100 gram pyriproxyfen aktif madde içeren çok sayıda ruhsatlı ilaç çok sayıda meyve ve sebze, pamuk, gül, zeytin gibi kültür bitkilerinin zararlıları ile mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle bu tarım ilaçlarının 50 ml'si 100 litre su ile seyreltilip zararlı larvalarla mücadelede kullanılmaktadır. Son ilaçlama ile hasat arasındaki süre kullanıldığı kültür bitkisine bağlı olarak birkaç günle bir ay arasında değişmektedir. Benzer şekilde Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü tarafından biyosidal ürün olarak ruhsatlandırılan ve sivrisinek ve karasinek larva mücadelesi için kullanıma izin verilen litresinde 200-250 gram pyriproxyfen aktif madde içeren çok sayıda ürün de bulunmaktadır. Sivrisinek larva mücadelesi için pyriproxyfen aktif madde içeren biyosidal ürünler sivrisineklerin üreme alanları olan bataklık, göl, gölet, drenaj kanalı, sulu otlak alanlar, durgun su birikintileri ile kaplı alanlar, binaların bodrum katlarındaki su birikintileri, foseptik çukurlar vb. alanlarda sivrisinek larvalarına karşı yaklaşık ayda bir hektar başına 10 gram aktif madde içerecek dozda uygulanmaktadır. Karasinek larva mücadelesinde ise pyriproxyfen aktif madde içeren biyosidal ürünler özellikle tavuk çiftlikleri, kümesler, küçükbaş ve büyükbaş hayvan barınakları, gübrelikler, çöp depolama alanları gibi alanlarda yaklaşık ayda bir m^2 ye 0,05 gram (hektar başına 500 gram) aktif madde içerecek uygulama dozunda kullanılmaktadır. Sonuç olarak karasinek larva mücadelesinde sivrisinek larva mücadelesine oranla birim alana çok daha fazla miktarda pyriproxyfen aktif maddesi uygulanmaktadır. Bu nedenle karasinek larva mücadelesi, ipekböceği larvalarının koza örememe sendromunda daha fazla zarara yol açabilir. Sivrisinek ve karasinek larva mücadelesinde yaygın olarak ve çok büyük miktarlarda kullanılan pyriproxyfen, methoprene içeren jüvenil hormon analogları ve karasinek larva mücadelesi için kullanılan diflubenzuron gibi kitin sentezi inhibitörü ilaçların ipekböceklerinde giderek yaygın görülen koza örememe davranışına etkilerinin incelenmesine acil ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak bu yeni nesil ilaçlar sivrisinek ve karasinek yumurta ve larvalarının bulunduğu su birikintileri, dere yatakları, gübrelikler, çöplükler, foseptik çukurları gibi üreme alanlarına atılmalarına karşın bu alanlardan rüzgâr, su vb. yollarla dut yapraklarına veya dut ağaçlarının bulunduğu topraklara taşınma riski oldukça yüksektir. Ayrıca yerleşim yerlerinde açık alanda soğuk sisleme (ULV) ile sivrisinek ve karasinek ergin mücadelesinde kullanılan ilaçların dut yapraklarına taşınma olasılığı da oldukça yüksektir. Bu mücadele için çok farklı insektisitler kullanılmaktadır. Bu insektisitlerin de ipekböcekleri üzerine olası etkileri incelenmelidir.

Sonuç

Pestisitler kolay uygulanmaları, hızlı ve etkili sonuçlar vermeleri nedeniyle hem dünyada hem de ülkemizde bitkisel üretimde önemli kayıplara yol açan zararlı organizmalarla mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır. İpekböcekleri binlerce yıllık evcilleştirilme geçmişleri nedeniyle pestisitlere karşı çok duyarlıdırlar ve pestisitlerin çok düşük dozları bile önemli kayıplara yol açabilmektedir. İpekböcekleri pestisitleri büyük çoğunlukla pestisitlerle bulaşık dut yapraklarını tüketerek almaktadırlar. Özellikle Çin, Hindistan ve Kore'de tarımsal üretimde kullanılan birçok pestisitin ipekböceklerine olası etkileri, pestisit uygulamasından sonra dut yapraklarının güvenli bir şekilde toplanması için gereken minimum süreler saptanmış ve yayınlanmıştır.

Ancak sürekli yeni pestisitlerin geliştirilmesi ve uygulanması ipekböceklerinde zehirlenme tehditlerini artırmakta ve zehirlenme semptomlarının teşhisini ve önleyici tedbirlerin alınmasını giderek zorlaştırmaktadır. Özellikle böcek büyüme düzenleyici grubunda yer alan ve jüvenil hormona benzer özellikler gösteren methoprene, fenoxycarb, pyriproxyfen gibi geniş spektrumlu insektisitlerin geliştirilmesi ve 1990'lı yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılması ile eş zamanlı olarak ipekböceği yetiştiriciliği yapılan ülkelerde çok önemli kayıplara yol açan koza örememe sendromu yaşanmaya başlamıştır.

Koza örememe sendromunun en yıkıcı etkisi larvaların genellikle hiçbir belirti göstermeden koza örme aşamasına kadar ulaşmasına karşın koza örememeleri ve sonuçta yapılan bütün emek ve masrafa karşın ürün alınamamasıdır. Yapılan çalışmalar jüvenil hormon etkisi gösteren yeni nesil bu insektisitlerin çok düşük dozlarının bile koza örememe sendromuna yol açtığını göstermiştir. Bu nedenle ancak çok hassas analizlerde dut yapraklarındaki ilaç kalıntıları saptanabilmektedir. Bu durum da teşhisi ve önlem almayı zorlaştırmaktadır. Böcek büyüme düzenleyicilerinin ve özellikle jüvenil hormon analoglarının yaralı böcekler ve diğer hedef dışı organizmalar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde yalnızca akut ölüm oranları değil davranış ve fizyoloji üzerindeki toksik etkileri de dikkate alınmalıdır. İpekböcekleri özellikle son larva yaşında çok yoğun miktarda günde 3-5 öğün dut yaprağı ile beslenmektedir. Bu nedenle insektisitlerin ipekböcekleri için olası zararlı dozları belirlenirken çözelti içerisindeki pestisit miktarından (mg/ml su) çok dut yaprağının birim ağırlığı başına pestisit miktarı (mg/kg yaprak) dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmalıdır. Böcek büyüme düzenleyicilerinin ve özellikle jüvenil hormon analoglarının yaprakta ve toprakta parçalanma süreci ve dut yaprağının güvenli bir şekilde böcek beslemede kullanılması için gerekli minimum süre ile ilgili bilimsel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. İpekböceği yetiştiriciliğinde yaşanan koza örememe sendromu, genellikle pestisitlerin dut ağaçlarının yakınında bulunan diğer meyve ağaçlarına havadan püskürtme yoluyla uygulanması, sürüklenerek dut yapraklarına ulaşması ve bulaşık yaprakların böceklerin beslenmesinde kullanılması sonucu oluşmaktadır. Pestisit türü, dozu, uygulama şekli, uygulama zamanı, arazi yapısı, iklim koşulları (rüzgâr, sıcaklık vb.) pülverizatörün püskürtme hızı ve diğer ayarları gibi birçok faktör pestisitlerin diğer ağaçlara, topraklara ve su kaynaklarına yayılmasına etki etmektedir. Pestisitlerin yanlış kullanımı çevre üzerinde ve özellikle faydalı böcekler üzerinde olumsuz sonuçlara yol açmaktadır.

Ülkemizde yaşanan koza örememe sendromunda belediyelerce yapılan pestisit uygulamalarının da önemli bir etkisinin olduğu tahmin edilmektedir. Belediyeler ülke genelinde her yıl yaygın bir şekilde özellikle sivrisinek ve karasinek mücadelesinde jüvenil hormon analogları kullanmaktadırlar. Ülkemizde belediyelerce yapılan pestisit uygulamaları ile ilgili yasal düzenlemeler olmakla birlikte pestisit uygulama faaliyetlerinin sürekli ve etkin bir şekilde denetlenmesi gerekmektedir. Pestisit uygulayıcıları mutlaka gerekli eğitimleri almalıdırlar. Hedef türler için yüksek seçicilik ve özellikle yararlı böcekler de dikkate alınarak hedef dışı organizmalar için en düşük zararlı etkiyi gösteren, kolay parçalanabilir özellikte pestisitler seçilerek en uygun zamanda, dozda, iklim koşullarında ve en uygun yöntemle uygulanması gerekmektedir.

Ülkemizde ipekböceği yetiştiriciliği ile ilgili faaliyetler kurumsal olarak Kozabirlik tarafından yürütülmektedir. Kozabirlik ülkemizde ipekböceği yetiştirmek isteyen herkese ücretsiz larva dağıtımı yapmakta, üretilen yaş kozaları her yıl belirlenen fiyatla satın almakta, ücretsiz dut fidanı dağıtmakta ve eğitim çalışmaları düzenlemektedir. Bu nedenle ülkemizde her yıl kaç ailenin koza üretimi yaptığı, ne kadar koza hasadı yapıldığı, dağıtılan birim kutu başına kaç kg yaş koza üretildiği gibi çok sayıda eksiksiz gerçek veriler Kozabirlik'de bulunmaktadır. Uzun yıllardır kutu başına yaş koza üretimimiz 14-15 kg'ı geçememektedir. Koza üretiminde yaşanan verimlilik kaybının sebepleri ayrıntılı olarak açıklanmamaktadır. Ülkemizde koza örememe sendromunun yaygınlığı, yıllar içindeki seyri ve iller ve bölgeler göre değişimi ile ilgili birçok verinin Kozabirlik tarafından açıklanması bu sorunun çözümüne önemli katkı sağlayacaktır. İpekböceği yetiştiricilerinin yaşadığı her koza örememe sendromu çok ayrıntılı olarak incelenmeli ve dut yapraklarındaki ilaç kalıntısının kaynakları belirlenmelidir. Örneğin yaşanan koza örememe sendromu ülkemizde 2008 yılında ruhsatlandırılan elma, armut, ayva, şeftali, kayısı, erik, ceviz, üzüm, yerfıstığı, pamuk, mısır, fasulye, patates, domates gibi çok sayıda kültür bitkisindeki zararlılarla mücadelede yaygın olarak kullanılan chlorantraniliprole etken maddeli ilaçlardan mı veya benzer şekilde çok sayıda kültür bitkisinde zararlılarla mücadele amacıyla kullanılan fenoxycarb ve pyriproxyfen gibi jüvenil hormon analoglarından mı kaynaklandığı veya belediyeler tarafından vektör kontrolü için yapılan biyosidal ilaçlardan mı kaynaklandığı araştırılmalıdır. Özellikle ilk defa ticari koza üretimi yapacak yetiştiriciler küçük ölçekli ön denemeler yaptıktan sonra yetiştiriciliği başlamaları önemli kayıplar yaşamalarını önleyecektir. Ülkemizde 1500 yıldan beri geleneksel olarak yapılan ve kültürel boyutu da önemli olan bu tarımsal faaliyetin ekonomik olarak sürdürülebilmesi ve sağlanan kamu desteğinin amacına ulaşması için koza örememe sendromu ve ipekböceği yetiştiriciliğinde verimliliği etkileyen diğer konular daha çok gündeme getirilerek, bilimsel çalışmaların yoğunlaştırılması ve uygulamaya aktarılabilecek çözümlerin bulunması gerekmektedir.

Beyan

Bu çalışmanın bir bölümü 2. Uluslararası Modern ve İleri Araştırmalar Kongresi'nde (Konya, ICMAR, 2025) online ortamda sözel olarak sunulmuştur.

Etik Kurul Onayı

Bu makale etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Çıkar Çatışması

Bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Akai, H. (1979). Hormonal control of silk production in silkworm, *Bombyx mori. Japan Agricultural Research Quarterly, 13*(2), 116-122.

Akai, H. (1988). Hormonal regulation of larval development and its utilization in silk production by *Bombyx* silkmoth. *Japan Agricultural Research Quarterly, 22* (2), 128-134.

Akai, H., Takabayashi, K., & Kiuchi, M. (1988). Induction of spinning from JH-treated eternal larvae of *Bombyx mori* by ecdysteroid administration. *The Journal of Sericultural Science of Japan, 57* (4), 341- 344. https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.57.341

Akbaba, M., Şehirlioğlu, B., & Nayır, T. 2023. Belediyeler için zararlılarla zehirsiz mücadele rehberi. Sena Ofset Matbaacılık.

Akbay, R. (1986). Arı ve İpekböceği Yetiştirme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 956.

Bhuvaneswari, E., Thirupathaiah, S.A.Y., & Mallikarjuna Babulal, G. (2022). Biochemical alterations in the energy metabolism of spinning and unspun larvae of silkworm, *Bombyx mori. Sericologia, 62* (1), 18 - 27.

Biale, H., Geden, C.J., & Chiel, E. (2017). Effects of pyriproxyfen on wild populations of the housefly, *Musca domestica*, and compatibility with its principal parasitoids. *Pest Management Science, 73* (12), 2456-2464. https://doi.org/10.1002/ps.4638

Cappellozza, L., & Burlini, F. (1992). Action of fenoxycarb on non-spinning syndrome on silkworm in North - Eastern Italy. *Tropicultura, 10* (4), 160-162.

Cappellozza , L., Cappellozza, S., & Sbrenna, G. (1995). Changes in the developmental programme of *Bombyx mori* caused by oral treatment with fenoxycarb during the last larval instar. *Sericologia, 35*(3), 427-436.

Chen, Y.W., Wu, P.S., Yang, E.C., Nai, Y.S., & Huang, Z.Y. (2016). The impact of pyriproxyfen on the development of honey bee (*Apis mellifera* L.) colony in field. *Journal of Asia-Pacific Entomology, 19* (3), 589-594. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.06.005

Dedos, S.G., Asahina, M., & Fugo, H. (1993). Effect of fenoxycarb application on the pupal-adult development of the silkworm, *Bombyx mori*. *The Journal of Sericultural Science of Japan, 62* (4), 276-285.https://doi.org/10.11416/kontyushigen1930.62.276

Devillers, J. (2020). Fate of pyriproxyfen in soils and plants. *Toxics, 8*, 20. https://doi.org/10.3390/toxics8010020

Dhadialla, T.S., Carlson, G.R., & Lee, D. (1998). New insecticides with ecdysteroidal and juvenile activity. *Annual Review of Entomology, 43*, 545-569. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.545

FAO. (1987). Silkworm Rearing. Food Agriculture Organization, Italy.

Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü. (2024). Yıllar itibarıyla bitki koruma ürünlerinin kullanım miktarları. Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü. https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Menu/115/Resmi-Tarimsal-Ilac-Istatistikleri

Girgenti, P., Sandroni, D., Vighi, M., Bolchi Serini, G., & Suss, L. (1998). Cholesterol cycle during development of normal and nonspinning *Bombyx mori* L. (Lep., Bombycidae) larvae. *Journal of Applied Entomology, 122*, 533-536. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01539.x

Gupta, S.K., & Dubey, R. K. (2021). Environmental factors and rearing techniques affecting the rearing of silkworm and cocoon production of *Bombyx mori* Linn. *Acta Entomology and Zoology, 2* (2), 62-67. https://doi.org/10.33545/27080013.2021.v2.i2a.46

Gürel, F. (2023). İpekböceği (*Bombyx mori* L.) yetiştiriciliğinde yapay yem karışımlarının kullanımı. *European Journal of Science and Technology, 51,* 173-180. https://doi.org/10.31590/ejosat.1274467

Gürel, F. (2024). İpekböceği pupalarının besin değeri ve kullanımı. *Journal of Animal Science and Products, 7*(2), 153-165. https://doi.org/10.51970/jasp.1446220

Hayvancılık Genel Müdürlüğü. (2024). Yıllara göre ipekböceği üretim verileri. Tarım ve Orman Bakanlığı, Hayvancılık Genel Müdürlüğü. https://www.tarimorman.gov.tr/HAYGEM/Menu/10/Ipek-Bocekciligi

İlter, H., Çamur, D., & Topbaş, M. (2018). Türkiye'deki belediyelerde biyosidal ürün uygulamaları ve bu konudaki belediye çalışanlarının bilgileri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 75*(1), 65-76. https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2018.79836

İpekböcekçiliği Araş. Ens. (1997). İpekböceği ve Dutçuluk. Bursa İpekböcekçiliği Araştırma Enstitüsü Yayınları, 97.

İzzetoğlu, G.T,, Pak, A., Zülfikaroğlu, T.,& Özürk, T.K. (2018). The effects of juvenile hormone analogue, fenoxycarb on the last instar testes of *Bombyx mori. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 46* (2), 297-305. https://doi.org/10.15671/HJBC.2018.237

Jyothi, N.B., Prashant, N., Bavachikar, M.V.G., & Radhakrishna, P.G. (2019). Effect of pesticide residue in soil on silkworm, *Bombyx mori* L- survey analysis. *International Journal of Industrial Entomology, 38*(2), 31-37. http://dx.doi.org/10.7852/ijie.2019.38.2.31

Kamimura, M. (1995). Effects of a juvenile hormone analogue,fenoxycarb, on larval growth of the silkworm, *Bombyx mori. Applied Entomology and Zoology, 30*, 487-489. https://doi.org/10.1303/aez.30.487

Keskin, N., & Turanlı, F. (2021). Metamorfoz hormonları, oluşumları ve böcek başkalaşımındaki rolleri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58* (1), 295-304. https://doi.org/10.20289/zfdergi.838266

Khyade, V.B., & Gaikawad, D.R. (2016). Insect juvenile hormone. *World Scientific News, 44*, 216-239.

Kumar, T.S., & Naika, R. (2019). Effect of toxicity of various insecticides on the rearing performance of *Bombyx mori* L. *Mysore Journal of Agricultural Science, 53* (3), 36-42.

Kuribayashi, S. (1988). Damage of Silkworms caused by pesticides and preventive measures. *Japan Agricultural Research Quarterly, 21* (4), 274-283.

Li, G., Lan, H., Lu, Q., He, C., Wei, Y., Mo, D.,…& Xu, K. (2021).The JH-Met2-Kr-h1 pathway is involved in pyriproxyfen-induced defects of metamorphosis and silk protein synthesis in silkworms, *Bombyx mori. Pesticide Biochemistry and Physiology, 179*,104980. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104980

Magnussen, K., & Promma, S. (2015). A preliminary study of juvenile hormone analogue, pyriproxyfen, on growth and economic characters of Thai hybrid silkworm, *Bombyx mori* L. (Nanglai x J108 strain) by topical application. *International Journal of Wild Silkmoth and Silk, 19*, 37-44. https://doi.org/10.51011/ijwss.19.0_37

Mamatha, D.V., Kanji, V.K., Cohly, H.H.P., & Rao, M.R. (2008). Juvenile hormone analogues, methoprene and fenoxycarb dose- dependently enhance certain enzyme activities in the silkworm *Bombyx mori* (L). *International Journal of Environmental Research and Public Health, 5*(2), 120-124. https://doi.org/10.3390/ijerph5020120

Miranda, J.E., Bortoli, S.A., & Takahashi, R. (2002). Development and silk production by silkworm larvae after topical application of methoprene. *Scientia Agricola, 59* (3), 585-588.

Monconduit, H., & Mauchamp, B. (1998). Effects of ultralow doses of fenoxycarb on juvenile hormone-regulated parameters in the silkworm, *Bombyx mori. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 37*, 178-189.
https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1998)37:2<178

Naiara Gomes, I., Ingred Castelan Vieira, K., Moreira Gontijo, L., & Canto Resende, H. (2020). Honeybee survival and flight capacity are compromised by insecticides used for controlling melon pests in Brazil. *Ecotoxicology, 29* (1), 97-107. https://doi.org/10.1007/s10646-019-02145-8

Pan, X., Connacher, R.P., & O'Connor, M.B. (2021). Control of the insect metamorphic transition by ecdysteroid production and secretion. *Current Opinion in Insect Science, 43*, 11-20. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.09.004

Park, K.H., Kim, B.S., Park,Y.K., Lee, H.D., Jeong, M.H., You, A.S., …. & Kyung, K.S. (2007). Relationship between the nonspinning syndrome of silkworm *Bombyx mori* and pesticides. *The Korean Journal of Pesticide Science, 11*(4), 238-245.

Qian, H.Y., Zhang, X., Zhao, G.D., Guo, H.M., Li, G., & Xu, A.Y. (2020). Effects of pyriproxyfen exposure on reproduction and gene expressions in silkworm, *Bombyx mori*. *Insects, 11,* 467. https://doi:10.3390/insects11080467

Rahmathulla, V.K. (2012). Management of climatic factors for successful silkworm *(Bombyx mori)* crop and higher silk production. *Psyche, 1*,1-12. https://doi.org/10.1155/2012/121234

Reddy, R., Jiang, Q., Aramwit, P., & Reddy, N. (2021). Litter to leaf: The unexplored potential of silk byproducts. *Trends in Biotechnology, 39*(7), 706-717. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.11.001

Sakthivel, N., & Sivaprasad,V. (2018). Chlorantraniliprole induced chronic non-spinning syndrome in silkworms: A field report from Tamil Nadu, India. *Proceedings of Conference on Recent Trends in Pesticides Development and Registration*, India, 59-60.

Shahzadi, N., Tahir, H.M., Ali, S., Bhatti, M.F., Azizullah Khan, S.Y,, & Khaliq, A. (2022). An overview of sericulture and enhanced silk production in *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae) through artificial diet supplementation. *Punjab University Journal of Zoology 37*(1), 07-17. https://dx.doi.org/10.17582/journal.pujz/2022.37.1.07.17

Sohn, B.H., Park, K.H., An, N.H., Kang, P.D., Lee, S.W., Kim, Y.S., ….& Ju, I.S. (2005).The poisoning of silkworm influenced by insect growth regulators which are registered and on the market in Korea. *Toxicology Letters, 158S,* 143.

Stanley, J., & Preetha, G. (2016). Pesticide Toxicity to Non-Target Organisms. Springer.

Şahan, Ü. (2011). İpekböcekçiliği. Dora Yayıncılık Ltd. Şti.

Şahan, Ü., Buyukuysal, L.R., & Erdemir, A. (2019). A survey possible reasons of non-spinning syndrome in sericulture industry and its incidence in Turkey. *Proceedings of 9th Bacsa International Conference of Sericulture Preservation and Revival - Problems and Prospects,* Georgia, 171.

Şahan , U., Gül, Z., & Büyükuysal, L.R. (2020). Biochemical changes in hemolymph of spinning and non-spinning silkworm larvae, *Bombyx mori* (L., 1758) (Lepidoptera: Bombycidae), reared on fresh mulberry leaves: possible reasons for nonspinning syndrome. *Turkish Journal of Entomology, 44* (4), 571-579. http://dx.doi.org/10.16970/entoted.737773

Tunaz, H., & Uygun, N. (2004). Insect growth regulators for insect pest control. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 28* (6), 377-387. https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol28/iss6/1

Türkiye Halk Sağlığı Kurumu. (2017). Belediyeler için biyosidal ürün uygulamaları rehberi. T.C. Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, Bakanlık Yayın No: 1060.

Tzenov, P. (2011). Black, Caspian Seas and Central Asia Silk Association activities for revival and development of sericulture in Europe and Central Asia. *Proceedings of the Sericulture for Multi Products-New Prospects for Development*, Romania, 13-19.

Tzenov, P., Cappellozza, S., & Saviane, A. (2022). Black, Caspian Seas and Central Asia Silk Association for the future of sericulture in Europe and Central Asia. *Insects, 13*, 44. https://doi.org/10.3390/insects13010044

Wilai, S., & Pabuddee, K. (2015). Effect of juvenile hormone analogue, methoprene, on economic characters of Dok Bua, Thai hybrid strain of the silkworm, *Bombyx mori* L. *International Journal of Wild Silkmoth and Silk, 19*, 33-36. https://doi.org/10.51011/ijwss.19.0_33

Xiang, Z., Huang, J., Xia, J., & Lu, C. (2005). Biology of Sericulture. China Forestry Publishing House.

Xu, K., Lan, H., He, C., Wei, Y., Lu, Q., Cai, K.,…& Lv, J. (2022). Toxicological effects of trace amounts of pyriproxyfen on the midgut of non-target insect silkworm. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 188*, 105266. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105266

Zhao, G., Zhang, X., Wang, C., Zhang, H., Guo, H., Qian, H.,…&. Xu, A. (2020a). Effect of pyriproxyfen exposure on cocooning and gene expression in the silk gland of *Bombyx mo*ri (Linnaeus, 1758). *Ecotoxicology and Environmental Safety, 202*, 110914. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110914

Zhao, G., Guo, H., Zhang, H., Zhang, X., Qian, H., Li, G., & Xu, A. (2020b). Effects of pyriproxyfen exposure on immune signaling pathway and transcription of detoxification enzyme genes in fat body of silkworm, *Bombyx mori*. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 168*, 104621. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104621