

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ANTALYA İLİNDE ALMAN HAMAMBÖCEĞİ (*BLATTELLA GERMANICA* L.)
POPÜLASYONLARINDA FİPRONİL DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ANTALYA İLİNDE ALMAN HAMAMBÖCEĞİ (*BLATTELLA GERMANICA* L.)
POPÜLASYONLARINDA FİPRONİL DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA İLİNDE ALMAN HAMAMBÖCEĞİ (*BLATTELLA GERMANICA* L.)
POPÜLASYONLARINDA FİPRONİL DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ANTALYA İLİNDE ALMAN HAMAMBÖCEĞİ (*BLATTELLA GERMANICA* L.)
POPÜLASYONLARINDA FİPRONİL DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez/...../2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN (Danışman) [imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!! [imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!! [imza]

ÖZET

ANTALYA İLİNDE ALMAN HAMAMBÖCEĞİ (*Blattella germanica* L.) POPÜLASYONLARINDA FİPRONİL DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

Yüksek Lisans, Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN

Temmuz 2025; 34 sayfa

Bu çalışma, Antalya ilinin farklı bölgelerinden toplanan Alman hamamböceği (*Blattella germanica* L.) popülasyonlarında fipronile karşı gelişen direnç düzeylerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. *B. germanica*, kapalı yaşam alanlarında yaygın olarak bulunan, halk sağlığı açısından önemli bir zararlı olup, insektisitlere karşı hızla direnç geliştirme potansiyeline sahiptir.

Araştırma kapsamında, sahadan elde edilen 12 farklı popülasyona, duyarlılık düzeylerine göre seçilen ve 0,25–140 ng/ml aralığında değişen fipronil dozları laboratuvar koşullarında uygulanmıştır. Uygulamalardan 72 saat sonra ölüm oranları kaydedilmiş ve bu verilere dayalı olarak Probit analiziyle LD₅₀ değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, saha popülasyonlarına ait LD₅₀ değerlerinin, duyarlı referans popülasyona ait LD₅₀ değeri ile karşılaştırılması yoluyla direnç katsayıları (RR) belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, fipronilin genel olarak etkili bir insektisit olduğunu, ancak bazı popülasyonlarda düşük düzeyde direnç gelişimi bulunduğunu göstermiştir. On iki popülasyonun dokuzunda LD₅₀ değerleri 1–3 ng/ml aralığında bulunmuştur. Bu durum, fipronilin tek başına sürekli ve yoğun kullanımının direnç gelişimini teşvik edebileceğini; bu nedenle entegre zararlı yönetimi (IPM) ilkeleriyle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması, Türkiye'de *B. germanica* popülasyonlarında fipronil direncine yönelik yürütülen ilk sistematik araştırmadır. Elde edilen bulgular, hem yerel düzeyde insektisit kullanım politikalarının yeniden değerlendirilmesi hem de direnç izleme programlarının oluşturulması açısından bilimsel katkı sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELE: Antalya, Alman hamamböceği, *Blattella germanica*, Direnç, Fipronil

JÜRİ: Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN

Prof. Dr. Bülent KAYA

Prof. Dr. Erhan KOÇAK

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FIPRONIL RESISTANCE IN GERMAN COCKROACH (*Blattella germanica* L.) POPULATIONS IN ANTALYA PROVINCE

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

MSc Thesis in Biology

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN

July 2025; 34 pages

This study was conducted to determine the levels of resistance to fipronil in German cockroach (*Blattella germanica* L.) populations collected from various regions of Antalya Province. *B. germanica* is a significant public health pest commonly found in indoor environments and has a high potential to develop resistance to insecticides.

In this study, field populations collected from 12 different locations were exposed to fipronil solutions at doses ranging from 0.25 to 140 ng/ml, selected according to the susceptibility levels of each population. Mortality rates were recorded 72 hours after treatment, and LD₅₀ values were calculated using Probit analysis. Resistance ratios (RR) were determined by dividing the LD₅₀ values of field populations by the LD₅₀ value of a susceptible reference population.

The results showed that while fipronil remains an effective insecticide overall, low-level resistance has emerged in some populations. In nine out of twelve populations, LD₅₀ values ranged between 1 and 3 ng/ml. These findings indicate that the continuous and intensive use of fipronil alone may promote resistance development and emphasize the need for its integration into broader Integrated Pest Management (IPM) strategies.

This thesis represents the first systematic investigation of fipronil resistance in *B. germanica* populations in Türkiye. The findings provide valuable data for reassessing local insecticide use practices and highlight the importance of establishing resistance monitoring programs.

KEYWORDS: Antalya, *Blattella germanica*, German Cockroach, Fipronil, Resistance

COMMITTEE: Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN

Prof. Dr. Bülent KAYA

Prof. Dr. Erhan KOÇAK

ÖNSÖZ

Alman hamamböceği (*Blattella germanica* L.), insanların yaşadığı alanlarda yaygın olarak görülen ve halk sağlığı açısından önemli sorunlara yol açan bir zararlıdır. Bu türe karşı uzun yıllardır çeşitli insektisit uygulamalarıyla mücadele edilmektedir. En yaygın kullanılan insektisit gruplarından biri sentetik piretroitler olup, yoğun ve kontrolsüz kullanımları sonucunda *B. germanica* popülasyonlarında insektisit direncinin geliştiği birçok çalışmada ortaya konmuştur. Buna karşılık, fipronil etken maddesi daha geç kullanıma sunulduğu ve daha sınırlı bir süredir uygulanmakta olduğu için, bu popülasyonlarda fipronile karşı sentetik piretroitlere kıyasla daha düşük düzeyde direnç geliştiği düşünülmektedir.

Antalya ili, sahip olduğu iklimsel avantajlar ve coğrafi konumu nedeniyle Türkiye'nin tarım, hayvancılık ve turizm sektörlerinde öne çıkan önemli bir bölgesidir. Her yıl milyonlarca yerli ve yabancı turiste ev sahipliği yapması, ilin uluslararası düzeyde stratejik önemini ortaya koymaktadır. Antalya'nın sıcak ve nemli iklim koşulları, özellikle sinantropik türlerden biri olan Alman hamamböceğinin yıl boyunca aktif kalmasına uygun bir ortam sağlamaktadır. Bu durum, hem halk sağlığı hem de gıda güvenliği açısından önemli riskler doğurmakta; bu nedenle bölge genelinde entegre vektör kontrol stratejilerinin etkin şekilde uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Alman hamamböceğine karşı yürütülecek mücadele çalışmalarının, ilin ekolojik ve ekonomik yapısıyla uyumlu, sürdürülebilir yöntemler çerçevesinde planlanması büyük önem taşımaktadır.

Yüksek lisans tez çalışmamın tüm aşamalarında bilgi, deneyim ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇETİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Arazi çalışmaları ve laboratuvar ortamında hamamböceği kültürlerinin bakımı sürecindeki değerli katkılarından dolayı Burak POLAT ve Araş. Gör. Ayşegül CENGİZ'e; istatistiksel veri analizlerindeki desteklerinden dolayı Zeynep Nur GÜLTEKİN'e; böceklerin toplanması sürecindeki desteklerinden dolayı Yunus Yılmaz, Serhat Meşe, Zafer Saraç'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Alman Hamamböceklerinin Sınıflandırmadaki Yeri	4
2.2. Hamamböceklerinin Genel Özellikleri ve Biyolojisi	4
2.2.1. Alman Hamamböceklerinin Yaşam Döngüsü	5
2.3. Alman Hamamböceklerinin Halk Sağlığı Açısından Önemi	6
2.4. Alman Hamamböcekleri ile Mücadele Çalışmaları	7
2.4.1. Kültürel Mücadele	7
2.4.2. Fiziksel (Mekanik) Mücadele	7
2.4.3. Biyolojik Mücadele	7
2.4.4. Kimyasal Mücadele	8
2.5. Fipronil	8
2.6. İnsektisit Direnci	9
2.6.1. Direnç Mekanizmaları	10
2.6.2. İnsektisit direncinin gelişmesinde rol alan temel enzimler.....	11
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Araştırma Alanı	12
3.1.1. Genel Özellikleri.....	12
3.2. Arazi Çalışmaları.....	12
3.3. Laboratuvar Çalışmaları	14
3.3.1. Alman hamamböceklerinin kültüre alınmaları	14
3.4. Direnç Testleri.....	14
3.5. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi	15
4. BULGULAR.....	16
5. TARTIŞMA	24

6. SONUÇLAR	29
7. KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘Antalya ilinde Alman Hamamböceği (*Blattella germanica* L.) popülasyonlarında fipronil direncinin araştırılması’ adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

03/07/2025

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

±	: Artı eksi
>	: Büyüktür
°	: Derece
<	: Küçüktür
≤	: Küçük eşit
°C	: Santigrat derece
&	: Ve
46,6	: Kırk altı tam onda altı (Bu tezde ondalık ayraç olarak ‘,’ kullanılmıştır.)
%	: Yüzde

Kısaltmalar

ALT	: Altındağ mahallesi
ARP	: Arapsuyu mahallesi
<i>B. germanica</i>	: <i>Blattella germanica</i>
GR	: Gürsu mahallesi
LD ₅₀	: Lethal doz 50% (Popülasyondaki bireylerin %50'sini öldüren doz)
LD ₉₀	: Lethal doz 90% (Popülasyondaki bireylerin %90'ını öldüren doz)
ml	: Mililitre
ng	: Nanogram
SH	: Standart hata
SL	: Şelale mahallesi
Sp	: Species (Türler)
SPSS	: Statistical package for the social sciences
SR	: Şirinyalı mahallesi

THP-1 : Tahılpazarı mahallesi

THP-2 : Tahılpazarı mahallesi

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

vb. : Ve benzeri

vd : Ve diğerleri

WHO : World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 Fipronil aktif maddesinin kimyasal formülü (Anonim)	9
Şekil 3. 1 Hamamböceklerinin el süpürgesi yardımıyla kültüre alınması	13
Şekil 3. 2 Hamamböceklerinin kültüre alınması.....	13
Şekil 3. 3 a,b) Hamamböceklerine fipronil uygulanması.....	15



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1 Alman hamamböceklerinin sistematığı	4
Çizelge 3. 1 Hamamböceklerinin toplanma alanı	12
Çizelge 4. 1 Gürsu mahallesi (GR-1) Alman hamamböceği popülasyonu üzerinde fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	16
Çizelge 4. 2 Tahılpazarı mahallesindeki (THP-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	16
Çizelge 4. 3 Tahılpazarı mahallesindeki (THP-2) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	17
Çizelge 4. 4 Şelale mahallesindeki (SL-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	17
Çizelge 4. 5 Altındağ mahallesindeki (ALT-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	18
Çizelge 4. 6 Şirinyalı mahallesindeki (SR-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	18
Çizelge 4. 7 Arapsuyu mahallesindeki (ARP-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	19
Çizelge 4. 8 Antalya/Lara bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	19
Çizelge 4. 9 Antalya/Konyaaltı bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	20
Çizelge 4. 10 Antalya/Güllük bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	20
Çizelge 4. 11 Antalya/Dokuma bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	20
Çizelge 4. 12 Antalya/Ahatlı bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)	21

Çizelge 4. 13 Fipronil için LD₅₀ değerleri, direnç katsayıları ve direnç durumu21

Çizelge 4. 14 Fipronil için LD₉₀ değerleri, direnç katsayıları ve direnç durumu23

Çizelge 5. 1 Popülasyonların direnç durumu25



1. GİRİŞ

Dünya nüfusu günümüzde 8 milyara ulaşmış olup, bu nüfusun %55'i kentlerde yaşamaktadır. 2050 yılına kadar bu oranın %66'ya çıkması beklenmektedir (United Nations, 2018). Hızla artan nüfus, küresel iklim değişikliği, çarpık kentleşme ve çevresel kirlilik gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle kentleşmenin hız kazanması, şehir ekosistemlerinde yaşayabilen keneler, sivrisinekler, kum sinekleri ve hamamböcekleri gibi vektör türlerle mücadelenin önemini daha da artırmaktadır. Vektör canlılar, halk sağlığını tehdit eden kolera, tifo, dizanteri, sıtma, Batı Nil ateşi ve sarıhumma gibi hastalıkların taşınmasında kritik rol oynamaktadır. Çevresel sorunların derinleşmesiyle birlikte bu hastalıklar yaygınlaşmakta, vektör kaynaklı vakaların sayısı her geçen gün artmakta ve milyonlarca insanı etkilemektedir (WHO, 2006).

Hamamböcekleri, Arthropoda şubesine bağlı, Insecta sınıfında yer alan ve Blattodea takımı içinde sınıflandırılan böceklerdir (Naumann, 1991). Küresel ölçekte, yaklaşık 4.600 hamamböceği türü tanımlanmış olup, bu türlerin büyük bir kısmı tropikal ve subtropikal bölgelerde yayılım göstermektedir. Optimum sıcaklık koşullarına sahip alanlarda yoğun olarak bulunmalarına karşın, kutuplara ve kurak bölgelere gidildikçe tür çeşitliliği belirgin şekilde azalmaktadır. Ekolojik toleranslarının yüksek olması nedeniyle, tropik kökenli birçok tür ulaşım araçlarıyla farklı bölgelere taşınarak kozmopolit bir yayılım sergilemiştir. Türkiye'de Blattidae, Ectobiidae, Polyphagidae ve Blattellidae familyalarına ait toplam 23 hamamböceği türü tespit edilmiştir. Özellikle *Blattella germanica* (Alman hamamböceği) ve *Supella longipalpa* (Kahverengi şeritli hamamböceği) türleri mutfak, bodrum gibi kapalı alanlarda yaygın olarak bulunurken; *Periplaneta americana* (Amerikan hamamböceği) ve *Blatta orientalis* (Doğu hamamböceği) türleri daha çok rögarlar, kanalizasyon sistemleri ve buhar tünelleri gibi dış ortamları tercih etmektedir (Demirsoy, 2006). Hamamböcekleri, omnivor beslenme alışkanlığına sahiptir ve kanibalizm göstererek kendi türüne ait bireyleri de tüketebilirler. Fotonegatif özellikleri nedeniyle, gündüz saatlerinde duvar çatlakları, yarıklar ve diğer karanlık alanlara saklanarak çevresel tehditlerden korunurlar. Bu davranışları, onların uzun süre fark edilmeden varlıklarını sürdürebilmelerini sağlamaktadır.

Hamamböcekleri, besin ve dışkı atıklarının bulunduğu alanlarda yoğun olarak görülmekte ve yüksek adaptasyon yetenekleri sayesinde birçok çevresel koşula uyum sağlayabilmektedir. Hem mekanik hem de biyolojik vektör olarak hastalık etkenlerini yayabilmeleri ve hızlı üreme kapasiteleri, ekonomik ve sağlık açısından önemli sorunlara yol açmaktadır. Örneğin, gıda işletmelerinde yoğun şekilde bulunmaları, sürekli ilaçlama ihtiyacını artırarak işletme maliyetlerini yükseltirken, aynı zamanda patojen mikroorganizmaları gıda yoluyla insanlara bulaştırarak halk sağlığını tehdit etmektedir. Hamamböcekleri, mekanik vektör olarak dış ortamdan patojenleri vücut yüzeylerine ve ayaklarına bulaştırarak taşırken, aynı zamanda biyolojik vektörlük potansiyeline de sahiptirler. Sindirim sistemlerinde bazı patojenlerin çoğalabildiği ve dışkıları aracılığıyla yayılabildiği gösterilmiştir. *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella spp.* gibi bakteriler ile *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* gibi protozoonların taşınmasında rol oynayabilirler. Ayrıca, helmint yumurtalarının (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia spp.*) yayılmasına katkı sağlayarak enfeksiyon riskini artırır (WHO 1985; Koçak 2008, Çetin 2016).

Dünya genelinde yaklaşık 4.600 hamamböceği türü tanımlanmış olmakla birlikte, geniş yayılım alanı ve insanlarla yakın ilişkisi nedeniyle *Blattella germanica* L. (Alman hamamböceği) en önemli zararlı türlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu böcek halk sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturan bir tür olup, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu fırınlar, restoranlar, gıda işletmeleri, konutlar ve iş yerleri gibi ortamlarda sıkça rastlanmaktadır. Gece aktif olan bu tür, gündüzleri duvar çatlakları, mutfak dolaplarının arkaları, eşyaların altları gibi karanlık ve dar alanlara gizlenerek çevresel tehditlerden korunur. Beslenme açısından oldukça esnek bir yapıya sahip olup, organik besin atıkları, insan derisi döküntüleri ve tekstil ürünleri gibi çeşitli materyalleri tüketerek yaşamını sürdürebilir (Demirsoy 2006).

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), yarı başkalaşım (hemimetabol) geçiren böceklerdir ve yaşam döngüleri üç temel evreden oluşur; yumurta (ooteka-kapsül), nimf ve ergin. Uygun çevre koşullarında, ergin bireyler 150 ila 250 gün arasında yaşayabilir. Eşeyssel olgunluğa 7 ila 10 gün içinde ulaşan ergin bireyler, sıcaklık faktörüne bağlı olarak çiftleşmeden sonraki 24 ila 48 saat içinde ooteka oluşturmaya başlar (Çetin, 2016).

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda yayılım göstererek yalnızca hijyen ve sağlık sorunlarına değil, aynı zamanda entomofobi olarak bilinen psikolojik rahatsızlıklara da neden olabilmektedir. Mekanik vektör olarak sınıflandırılan bu tür, beslenme ve barınma alışkanlıkları nedeniyle halk sağlığı açısından önemli riskler taşımaktadır. Konutlar, iş yerleri ve gıda işletmeleri gibi alanlarda organik atıklarla beslenen Alman hamamböcekleri, gıda hijyenini tehdit ederek ciddi bir gıda güvenliği riski oluşturmaktadır. Bu türün taşıdığı patojenler, özellikle dizanteri, tüberküloz, kolera ve tifo gibi hastalıkların yayılmasında rol oynayarak halk sağlığı üzerinde doğrudan bir tehdit oluşturmaktadır (WHO, 2006).

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*) ile mücadelede günümüzde en yaygın yöntem kimyasal insektisitlerin kullanımıdır. Hızlı ve güçlü etki göstermeleri nedeniyle tercih edilen bu bileşikler, yaygın kullanımlarına rağmen çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bilinçsiz insektisit kullanımı, doğrudan insan sağlığını tehdit edebildiği gibi, ekosistem üzerinde de uzun vadeli riskler oluşturur. Uygulama sırasında meydana gelen maruziyet, akut ve kronik sağlık sorunlarına yol açabilirken, insektisitlerin toprak, su ve hava yoluyla çevrede kalıntı bırakması hedef dışı organizmaları etkileyerek ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, hatalı dozaj kullanımı ve yanlış uygulama yöntemleri, hedef organizmaların insektisitlere karşı direnç geliştirmesine yol açarak mücadeleyi daha da karmaşık hale getirmektedir (Fardisi, 2019).

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre direnç, "bir popülasyondaki bireylerin çoğunu öldürebilen belirli bir dozda zehirli bir maddeye karşı, aynı türün farklı popülasyonlarındaki bireylerin tolerans geliştirme yeteneği" olarak tanımlanmaktadır. Böceklerde direnç ilk olarak 1946 yılında *Musca domestica* (ev sineği) türünde DDT'ye karşı gelişmiş ve bu durum, insektisit direncinin önemli bir sorun haline gelmeye başladığını göstermiştir. İnsektisitlerin yaygın ve kontrolsüz kullanımı yalnızca böceklerde değil, aynı zamanda bitki patojenleri ve yabancı otlar üzerinde de direnç mekanizmalarının gelişmesine neden olmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), 1979 tarihli raporunda, 500'den fazla eklem bacaklı türün, yaklaşık 150 bitki

patojeninin ve 273 yabancı ot türünün pestisitlere karşı direnç geliştirdiğini bildirmiştir (Çakır & Yamaner, 2005).

Insektisitler; sentetik piretroitler (SP), organofosfatlar (OF), karbamatlar, organoklorlular (OK), neonikotinoidler ve böcek büyüme düzenleyicileri (kitin sentez inhibitörleri ve juvenil hormon analogları) olmak üzere farklı gruplara ayrılmaktadır. Bu insektisit grupları, böceklerin üreme, gelişme ve yaşam döngülerini farklı mekanizmalarla etkileyerek toksik etki göstermektedir. Türkiye’de Alman hamamböcekleri (*B. germanica*) ile mücadelede en yaygın kullanılan insektisit grubu sentetik piretroitlerdir. Ancak, bu bileşiklerin yoğun ve uzun süreli kullanımı, hedef organizmalarda direnç gelişimini tetiklemiş ve etkinliğini azaltmıştır. Alternatif olarak, fenilpirazol grubuna ait fipronil aktif maddesi, sentetik piretroitlerle birlikte Alman hamamböceklerine karşı kullanılmaktadır. Fipronil, yalnızca haşere mücadelesinde değil, aynı zamanda tarım zararlıları için bitki koruma ürünü olarak da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu bileşik, Alman hamamböceklerine karşı uygulanmadan önce, öncelikle çekirgeler ve diğer bazı zararlı böcek türlerinin kontrolünde kullanılmıştır (Öz, 2021).

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*) ile mücadele küresel düzeyde yürütülmekte olup, turizm bölgelerinde bu çalışmaların önemi daha da artmaktadır. Yüksek insan hareketliliği ve konaklama tesislerinin fazlalığı, bu zararlının yayılımını hızlandırarak hijyen ve sağlık açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Türkiye’de turizmin en yoğun olduğu bölgelerden biri olan Antalya, Alman hamamböceği mücadelesinde kritik bir noktada yer almaktadır. Bölgenin sıcak ve nemli iklimi, bu türün üremesi ve gelişmesi için ideal koşullar sunarak popülasyon artışına zemin hazırlamaktadır. Antalya genelinde yaygın olarak kullanılan sentetik piretroit grubu insektisitler, uzun süreli kullanımın bir sonucu olarak direnç gelişimine neden olmuştur. Bu soruna karşı, son yıllarda fipronil içeren jel formülasyonlar ve rezidüel uygulamalar alternatif mücadele yöntemleri olarak ön plana çıkmaktadır (Öz, 2023).

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Alman Hamamböceklerinin Sınıflandırmadaki Yeri

Halk sağlığı zararlısı olarak bilinen hamamböcekleri, kitinden oluşan vücut örtüleri ve eklemli uzuvlara sahip olmaları nedeniyle Arthropoda şubesine dahil edilmektedir. Eklem bacaklılar, vücutlarını saran sert kitin örtü ve eklemli yapılarıyla tanınmakta olup, bu gruba örümcekler, kabuklular, böcekler ve akarlar dahildir. Bu tez çalışmasının konusu olan Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), Hexapoda (altı bacaklılar) alt şubesinde ve Insecta sınıfında sınıflandırılmaktadır. Halk arasında "kalorifer böceği" olarak da bilinen bu tür, dünya genelinde yaygın bir zararlı olup, özellikle insan yerleşim alanlarında yüksek adaptasyon yeteneğiyle dikkat çekmektedir (Demirsoy 2006).

Çizelge 2. 1 Alman hamamböceklerinin sistematigi

Alem	Animalia
Şube	Arthropoda
Alt şube	Hexapoda
Sınıf	Insecta
Takım	Blattodea
Familiya	Blattidae
Cins	Blattella
Tür	<i>Blattella germanica</i>

2.2. Hamamböceklerinin Genel Özellikleri ve Biyolojisi

Hamamböcekleri, yaklaşık 350 milyon yıl önce Karbonifer döneminde ortaya çıkmış ve günümüze kadar varlığını sürdüren en eski böcek gruplarından biri olmuştur (Naumann, 1991). Dünya genelinde yaklaşık 4.000 türle temsil edilen bu canlılar, yayılışlarının büyük çoğunluğunu tropikal ve subtropikal bölgelerde gerçekleştirdiğinden, genellikle bu ekosistemlere özgü türler olarak bilinmektedir. Ancak, küresel ticaretin yaygınlaşması ve ulaşım araçlarının gelişmesi, hamamböceklerinin dünyanın hemen her yerine taşınarak kozmopolit türler haline gelmesine neden olmuştur (Rust ve ark., 1991). Ayrıca, biyolojik ve ekolojik toleranslarının yüksek olması, bu canlıların farklı çevresel koşullara hızla uyum sağlayarak geniş alanlara yayılmasını kolaylaştırmaktadır (Demirsoy, 2006).

Türkiye’de yayılış gösteren 23 hamamböceği türü tespit edilmiştir. Kuru ve sıcak ortamları tercih eden *Blattella germanica* (Alman hamamböceği) ve *Supella longipalpa* (Kahverengi şeritli hamamböcekleri), genellikle restoran mutfakları, bodrum katları gibi

iç mekânlarda yoğun olarak görülmektedir. Öte yandan, sıcak ve nemli ortamları tercih eden *Periplaneta americana* (Amerikan hamamböceği) ve *Blatta orientalis* (Doğu hamamböceği) ise genellikle rögarlar, fosseptikler, kazan daireleri ve kanalizasyonlar gibi dış mekânlarda yayılış göstermektedir (Demirsoy, 2006).

Hamamböcekleri, gece aktif (nokturnal) canlılar olup, gündüzleri duvar çatlakları, mutfak dolaplarının arkaları ve mobilya altları gibi karanlık ve dar alanlarda gizlenerek korunurlar. Beslenme açısından oldukça esnek bir yapıya sahip olan bu canlılar, omnivor olup nişasta, deri döküntüleri, çürümüş organik maddeler ve hatta ölü hayvan leşleriyle beslenebilirler. Ayrıca, hayatta kalma şanslarını artıran kanibalizm davranışı göstererek, aynı türden bireyleri de tüketebilirler (Cornwell, 1968).

Hamamböcekleri, halk sağlığı açısından önemli zararlılar arasında yer almakta olup, temel zararları beslenme ve barınma alışkanlıklarından kaynaklanmaktadır. Kanalizasyonlar, çöp sahaları ve rögarlar gibi patojen mikroorganizmaların yoğun olduğu ortamlarda yayılış göstermeleri nedeniyle vücut yüzeylerinde bakteri, virüs ve parazitleri mekanik olarak taşıyabilirler. Bu durum, dizanteri, diyare, kolera ve tifo gibi bulaşıcı hastalıkların yayılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, hamamböceklerinin dışkıları ve vücut parçacıkları havaya karışarak, insanlarda astım, hapşırma ve göz sulanması gibi alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir (WHO, 2006).

Özellikle *B. germanica* gibi türler, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanları tercih ettiğinden, fırın, restoran, kafe gibi gıda işletmelerinde sıklıkla rastlanmaktadır. Organik besin miktarının yüksek olduğu bu alanlar, Alman hamamböcekleri için ideal bir yaşam ve üreme ortamı oluşturmaktadır.

2.2.1. Alman Hamamböceklerinin Yaşam Döngüsü

Yumurta Evresi; hamamböcekleri, gelişim süreçlerini "ooteka" adı verilen yumurta kapsülleri içinde tamamlamaktadır. Her bir ooteka yaklaşık 6-12 mm uzunluğunda olup, içerisinde 30 ila 40 embriyo barındırmaktadır. Dişi hamamböcekleri, yaşamları boyunca 4 ila 8 ooteka üretebilir ve bunları genellikle çatlaklar, oyuklar veya korunaklı alanlara bırakmaktadır. Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), diğer hamamböceği türlerinden farklı olarak ootekalarını yumurtalar açılmaya yakın olana kadar abdomen uçlarında taşımakta ve ardından uygun bir ortama bırakmaktadır (WHO, 1985; Koçak, 2008).

Nimf Evresi; ootekaların açılmasıyla ortaya çıkan bireyler, ergin evreye ulaşana kadar geçen süre boyunca "nimf" (nimfal evre) olarak adlandırılmaktadır. Nimfler, morfolojik olarak ergin bireylere benzese de kanatsız olmaları ve olgunlaşmamış genital organlara sahip olmaları nedeniyle belirgin farklılıklar göstermektedir. Ootekadan yeni çıkan nimfler başlangıçta beyaz renkte olup, hormonların etkisiyle 1 ila 2 saat içinde koyulaşmaya başlar. Gelişim süresi çevresel koşullara bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle 30 ila 60 gün sürmektedir (WHO, 1985; Koçak, 2008).

Ergin Evresi; ergin Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), ortalama 12-16 mm uzunluğunda, kahverengi renkli ve dorsoventral olarak basık bir vücut yapısına sahiptir. Vücutları üç ana bölümden oluşur: baş (cephalon), göğüs (thorax) ve karın (abdomen).

Isırıcı-çiğneyici ağız yapısına sahip olan bu tür, hareket yeteneği yüksek, koşucu-yürüyücü tipte bacaklara sahiptir. Uygun çevre koşullarında ergin bir Alman hamamböceğinin yaşam süresi 150 ila 250 gün arasında değişmektedir. Kanatları olmasına rağmen iyi bir uçucu değildir. Dişi bireyler, erkeklere kıyasla daha iri ve daha koyu renkte olup, morfolojik olarak belirgin farklılıklar gösterir. Erkekler, dişilere göre daha az gömlek değiştirerek daha kısa sürede ergin evreye ulaşmaktadır. Eşeyssel olgunluğa 7 ila 10 gün içinde erişen ergin bireyler, sıcaklık koşullarına bağlı olarak çiftleşmeden sonraki 24 ila 48 saat içinde ooteka oluşturmaya başlar. Cinsiyetler arasındaki morfolojik farklılıklar, abdomen yapılarında belirginleşir. Erkeklerin vücudu daha ince ve abdomene doğru sivrilmiş bir yapıya sahipken, dişilerin abdomeni daha geniş, kavisli ve oval formdadır. Erkeklerde abdomenin terminal segmentleri kanatlar tarafından tamamen örtülmezken, dişilerde kanatlar terminal segmentleri tamamen kapatarak bu bölgenin görünmesini engeller. Alman hamamböcekleri gece aktif olup, gündüz saatlerinde genellikle buzdolaplarının arkaları, duvar çatlakları ve mutfak eşyalarının altı gibi karanlık ve korunaklı alanlarda saklanarak çevresel tehditlerden korunur.

2.3. Alman Hamamböceklerinin Halk Sağlığı Açısından Önemi

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*), kozmopolit yayılış gösteren bir böcek türü olup, kentsel yaşam alanlarının genişlemesiyle birlikte dünya çapında yaygın hale gelmiştir. Tarihsel süreç incelendiğinde, bu türün Afrika ve Asya'da tarım arazilerinden kentlere taşındığı ve kentsel alanlara uyum sağladığı düşünülmektedir. Alman hamamböceklerinin dünya genelinde geniş yayılım göstermesi, biyolojik ve ekolojik özelliklerinin sağladığı yüksek adaptasyon yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Tang, 2019).

Hamamböceklerinin insanlarla ortak habitat kullanımı, zamanla birçok sağlık ve hijyen problemine yol açmıştır. Alman hamamböcekleri, konutlarda en yaygın bulunan haşere türlerinden biri olup hem fiziksel görünüşleri hem de patojen taşıyıcı özellikleri nedeniyle insanlarda rahatsızlık hissi uyandırmaktadır. Doğrudan hastalık oluşturmaları da, alerjik reaksiyonlar, dermatit, kaşıntı, göz kapaklarında şişme ve ciddi solunum rahatsızlıklarına yol açabilen parazit yumurtalarını taşıyarak enfeksiyonların yayılmasında rol oynamaktadırlar.

Bu tür, evlerde, hastanelerde ve gıda işletmelerinde yaygın olarak bulunmakta olup, özellikle insanlarla ortak alanları paylaşmaları psikolojik rahatsızlıkların yanı sıra sağlık risklerini de artırmaktadır. Hastanelerde dolap içleri gibi izole alanlarda barınabilen Alman hamamböcekleri, hastane enfeksiyonlarının potansiyel taşıyıcısıdır. Yapılan araştırmalar, bu türün *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae* gibi patojenik bakterileri taşıyabildiğini göstermektedir. Bu bakterilerin solunum yolu, cilt, göz enfeksiyonları ve sindirim sistemi bozukluklarına neden olduğu bilinmektedir (Menasria, 2014). Bu bağlamda, hastaneler gibi bakteriyel

kontaminasyona açık ortamlarda Alman hamamböcekleri enfeksiyon hastalıklarının yayılmasına katkı sağlayabilmektedir.

Ek olarak, yapılan araştırmalarda *Cryptosporidium spp.* ve *Giardia lamblia* gibi protozoan türlerinin çocuklarda ishale neden olduğu belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada ise *Entamoeba histolytica*'nın Alman hamamböcekleri tarafından mekanik vektör olarak taşınmasının amipli dizanteriye neden olabileceği ortaya konmuştur (Debash, 2020).

2.4. Alman Hamamböcekleri ile Mücadele Çalışmaları

2.4.1. Kültürel Mücadele

Alman hamamböcekleri (*B. germanica*) ile mücadelede önemli bir yer tutan kültürel mücadele, fiziksel, biyolojik ve kimyasal mücadele yöntemlerini entegre eden ve eğitici metotlarla ilgili kişi ve kurumlara aktaran bir yaklaşımdır. Canlının üreme alanları, yaşam döngüsü ve biyolojik özelliklerinin bilinmesi, alınacak fiziksel tedbirlerin etkinliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, biyosidal ürün uygulayıcılarının bilinçlendirilmesi amacıyla eğitim programlarının düzenlenmesi, Alman hamamböcekleri hakkında bilgilendirici broşürlerin halka açık alanlarda dağıtılması ve devlet daireleri ile muhtarlık gibi idari birimlerde farkındalığın artırılması, kültürel mücadelenin etkinliğini artırmada önemli rol oynamaktadır (Çetin, 2016).

2.4.2. Fiziksel (Mekanik) Mücadele

Fiziksel mücadele yönteminde temel amaç, Alman hamamböceklerinin (*B. germanica*) doğal veya yapay üreme ortamlarını değiştirmek, beslenme alanlarını kısıtlamak ve böylece üreme ile gelişimlerini engellemektir. Bu yöntemin en çok uygulandığı alanlar konutlardır. Konut içinde bulunan çatlak ve oyukların kapatılması, varsa hamamböceği yumurtalarının süpürge yardımıyla toplanması önemli bir adımdır. Hamamböcekleri için kritik yaşam alanları arasında mutfak tezgâhları, buzdolabı arkaları ve giysi dolapları yer almaktadır. Bu alanlarda üreme ve gelişimin önlenmesi için ortamda bulunan gıda atıkları ve hamamböceklerinin beslenebileceği diğer materyallerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, konutlarda düzenli badana yapılması, gıdaların hijyenik koşullarda muhafaza edilmesi ve lavabo ile mazgalların çevresinin kapatılması, fiziksel mücadele yöntemlerinin etkinliğini artıran önemli uygulamalardır (WHO, 1985; Koçak, 2008).

2.4.3. Biyolojik Mücadele

Biyolojik mücadele yönteminde temel amaç, vektör canlıları biyolojik kökenli maddeler veya doğal düşmanları aracılığıyla kontrol altına almaktır. Bu yöntemde, belirli nematod, bakteri ve böcek türleri kullanılarak hamamböceği yumurtalarının tahrip edilmesi sağlanabilir. Yapılan araştırmalar, entomopatojen nematodların Alman hamamböceği (*B. germanica*) mücadelesinde etkili olduğunu göstermektedir (Susurluk & Ökten, 2000). Ayrıca, literatürde *Metarhizium anisopliae* adlı fungus türünün de Alman hamamböceklerine karşı biyolojik ajan olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Zurek ve ark., 2002). Bunun yanı sıra, bazı parazitoid arı türleri (*Hymenoptera* takımı), Alman hamamböceklerinin doğal düşmanları arasında yer almaktadır. Bu arılar, hamamböceği yumurtalarını delerek kendi yumurtalarını bırakmakta ve gelişen larvalar,

hamamböceği nimfleriyle beslenerek popülasyonun azalmasına katkı sağlamaktadır (Suiter ve ark., 1998).

2.4.4. Kimyasal Mücadele

Kimyasal mücadele, hamamböceklerinin kontrol altına alınmasında insektisitlerin kullanıldığı bir yöntemdir. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan insektisit grupları arasında karbamatlar, neonikotinoidler, sentetik piretroitler (SP) ve böcek büyüme düzenleyicileri (kitin sentez inhibitörleri ve juvenil hormon analogları) yer almaktadır. Bu insektisitler, farklı uygulama yöntemleriyle uygulanmaktadır. En yaygın yöntemler arasında sıcak sisleme (termal fogging), soğuk sisleme (Ultra Low Volume - ULV) ve kalıcı uygulamalar (sprey-rezidüel) bulunmaktadır. Ayrıca, kimyasal mücadelede jeller, yem tuzakları ve toz formülasyonlar da etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye’de hamamböceği mücadelesinde iki temel kimyasal uygulama stratejisi uygulanmaktadır: mevcut ergin ve nimf bireyleri doğrudan öldürmek veya insektisit uygulaması sonrası açılmamış yumurta kapsüllerinden çıkacak yeni nimflerin gelişimini engellemek. Her iki yaklaşım da popülasyon kontrolü açısından kritik öneme sahiptir (Öz, 2018).

2.5. Fipronil

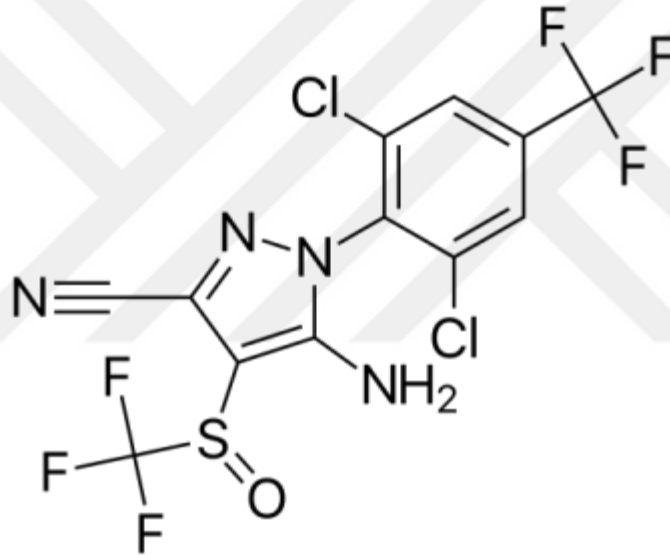
Insektisitlerin uzun süreli ve yaygın kullanımı, zararlı böcek popülasyonlarında direnç gelişimine yol açarak etkinliklerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, vektörel mücadelede kullanılan insektisitlerin yerini farklı bileşiklerin almasını zorunlu hale getirmiştir.

Fipronil, 1987 yılında Rhône Poulenc tarafından geliştirilen, triflorometilsülfonil grubuna sahip bir N-fenil-pirazol insektisittir. Tarımsal zararlılar için bir bitki koruma ürünü olarak da kullanılan bu bileşik, başlangıçta çöl çekirgelerinin kontrolünde kullanılmıştır. 1999 yılında ise Alman hamamböceği (*B. germanica*)’ne karşı yem formülasyonlarında uygulanmaya başlanmıştır. Fipronil içeren yemler, piyasaya sürülmelerinden bu yana geçen 20 yıl içinde hem tüketiciler hem de üreticiler arasında popüler hale gelmiş olup, günümüzde kalıcı ve lipofilik insektisitlerden biri olarak kabul edilmektedir (Tingle, 2003).

Fipronil, gama-aminobütirik asit (GABA) kapılı klorür kanallarını inhibe ederek böceklerin sinir sistemini etkiler ve paralize olmalarına neden olarak ölümlerini tetikler. GABA, sinir hücrelerinde inhibe edici bir nörotransmitterdir ve klorür kanalları, sinir hücrelerinin normal elektriksel iletimini düzenleyen kritik bileşenlerdir. Fipronil, bu kanalları bloke ederek sinir iletimini durdurur ve böylece böcekte felç ve ölüm meydana getirir. Bu mekanizma, fipronilin geniş spektrumlu etkinliğinin temelini oluşturur ve piretroidler, organofosfatlar ve karbamatlar gibi diğer insektisitlere karşı direnç geliştirmiş zararlı böcek türlerine karşı da etkili olmasını sağlar. Direnç genellikle böcek popülasyonlarında meydana gelen genetik mutasyonlar veya genetik varyasyonlar sonucu gelişmektedir. Fipronilin farklı etki mekanizmasına sahip olması, onu diğer insektisitlere direnç geliştirmiş birçok zararlıya karşı etkili bir alternatif haline getirmektedir. Ayrıca,

fipronil hem temas hem de besin yoluyla etki gösterdiğinden, çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilmektedir (Gunasekara, 2007).

Fipronil, çevresel faktörlere bağlı olarak bozunarak kendisinden daha toksik metabolitlere dönüşebilmektedir. pH seviyesi, sıcaklık, nem ve oksijen miktarı gibi etkenler, bu bileşiğin çevresel kalıcılığı ve toksik etkilerini doğrudan etkilemektedir. Toprakta bozunma hızı, çevresel koşullara göre değişiklik gösterirken, anaerobik ve aerobik ortamlarda farklı metabolitler oluşmaktadır. Aerobik koşullarda fipronil sülfon, anaerobik koşullarda ise fipronil sülfür başlıca bozunma ürünleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu metabolitlerin toksikolojik etkileri, ana bileşikten farklılık gösterebileceğinden, fipronilin çevresel etkilerinin kapsamlı şekilde değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2. 1 Fipronil aktif maddesinin kimyasal formülü (Anonim)

2.6. İnsektisit Direnci

Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre direnç, "normal bir popülasyondaki bireylerin çoğunu öldürebilen belirli bir dozda zehirli bir maddeye karşı, aynı türün diğer popülasyonlarında tolerans gelişmesi" olarak tanımlanmaktadır. İnsektisit direnci ise, böceklerin uygulamada kullanılan kimyasal bileşiklere karşı zaman içinde geliştirdiği uyum mekanizmalarını ifade etmektedir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra DDT'nin yaygın kullanımıyla birlikte, 1946 yılında ilk kez insektisit direnci rapor edilmiştir. Günümüzde yaklaşık 447 böcek türünün kullanılan insektisitlere karşı direnç geliştirdiği tespit edilmiştir. Direnç gelişimi, birçok faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıkmaktadır. Hedef organizmanın biyolojik ve ekolojik özellikleri, kullanılan insektisit uygulama yöntemi, dozu ve uygulama süresi direnç oluşumunu tetikleyen başlıca etkenlerdir.

Canlının üreme kapasitesi, nesil süresi gibi faktörler de direnç mekanizmasının şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır. İnsektisit uygulamalarının yapıldığı bölgenin iklimsel özellikleri de direnç gelişimini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca, uygulama sırasında ortaya çıkabilecek hatalar, direnç gelişimini doğrudan veya dolaylı olarak hızlandırabilir. Kullanılan insektisit hedef organizmaya uygun şekilde seçilmesi, uygulama bölgesindeki kalıcılık süresi, dozaj ve uygulama şekli gibi unsurlar, direnç yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır (Metcalf, 1989; Karaağaç, 2012).

2.6.1. Direnç Mekanizmaları

Metabolik direnç, insektisitlerin hedef organizmanın metabolizmasında yer alan enzimler üzerinde yapısal ve fizyolojik değişikliklere yol açtığı bir süreçtir. Bu süreçte, enzim aktivitesinin artması insektisit detoksifikasyonunu hızlandırarak direnç gelişimini tetiklemektedir. Literatürde yapılan çalışmalar, metabolik dirençten sorumlu başlıca enzimlerin monooksijenazlar (sitokrom P450), glutatyon-S-transferaz (GST) ve esteraazlar olduğunu göstermektedir (Pittendrigh ve ark., 2014; Çetin, 2016).

Hedef bölge direnci, insektisit hedef organizmada etki gösterdiği bölgenin genetik kökenli yapısal değişikliklere uğraması sonucu, aktif maddenin bu bölgeye bağlanamaması ve dolayısıyla etkisiz hale gelmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu direnç mekanizması, insektisit hedef bölgeye bağlanamaması veya yeterli süre boyunca tutunamaması nedeniyle biyolojik etkinliğinin azalmasına ya da tamamen ortadan kalkmasına yol açmaktadır (Çetin, 2016; Koç, 2019).

Penetrasyon direnci, insektisit hedef organizmanın vücuduna girişinin tamamen engellenmesi veya azaltılması ile oluşan bir direnç türüdür. Bu mekanizma, böceklerin genetik olarak geliştirdiği bir adaptasyon sonucu ortaya çıkmaktadır. Hedef organizmanın kütikula yapısındaki proteinler, lipitler ve enzimler, aktif maddenin emilimini yavaşlatarak insektisit hedef bölgeye ulaşmasını engelleyebilmektedir. Ayrıca, kütikula tabakasının kalınlığı, sertliği, yoğunluğu ve geçirgenliği de insektisit penetrasyonunu doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Pittendrigh ve ark., 2014; Çetin, 2016).

Davranışsal direnç organizmanın insektisit uygulamalarına karşı geliştirdiği kaçınma mekanizmaları ile tanımlanmaktadır. Bu direnç mekanizmasında, hedef organizma aktif maddeyi algılayarak çeşitli davranış değişiklikleri sergiler. Beslenmeme, stigmalarını uzun süre kapalı tutma, yumurta bırakmama ve ortamdan uzaklaşma gibi tepkiler, davranışsal direnç örnekleri arasında yer almaktadır (Karaağaç, 2012; Çetin, 2016).

Çapraz direnç, belirli bir insektisit grubundaki aktif maddeye karşı direnç geliştiren organizmanın, aynı etki mekanizmasına sahip farklı bir insektisit grubuna da direnç göstermesi durumudur (Çetin, 2016).

Çoklu direnç, bir organizmanın farklı etki mekanizmalarına sahip insektisitlere maruz kalması sonucu birden fazla direnç mekanizması geliştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Vektör mücadelesinde aktif maddelerin dönüşümlü olarak kullanılması, zamanla bu tür direnç oluşumunu tetikleyebilmektedir. Bu nedenle, hangi aktif maddenin ne zaman ve nasıl uygulanacağı dikkatle planlanmalı, bilinçsiz uygulamalar önlenerek direnç yönetimi stratejileri titizlikle uygulanmalıdır (Çetin, 2016; Koç, 2019).

2.6.2. İnsektisit direncinin gelişmesinde rol alan temel enzimler

Monooksijenazlar (Sitokrom P450), böceklerde direnç mekanizmalarında rol oynayan enzimlerden biri olup, bakteriler, böcekler, bitkiler ve memeliler dahil birçok organizmada bulunan geniş bir oksidatif enzim sınıfıdır. Sitokrom P450'ye bağlı monooksijenazlar, pestisitler ve bitki toksinleri gibi ksenobiotik bileşiklerin anabolik ve katabolik reaksiyonlarının düzenlenmesinde kritik bir rol oynayan metabolik sistemlerden biridir. Sitokrom P450, ökaryotik organizmalarda endoplazmik retikulum (E.R.) ve mitokondride bulunmaktadır. Bu enzimin varlığı ilk olarak 1967 yılında bir böcek türünde tespit edilmiş ve yapılan araştırmalar, çeşitli böcek türlerinde çok sayıda P450 enziminin bulunduğunu ortaya koymuştur. İlk olarak *Musca domestica* (ev sineği) türünden izole edilen P450 enzimi, memelilerde bulunan P450 enzimleriyle benzerlik göstermektedir. Böceklerdeki monooksijenaz enzimleri; pestisitlere karşı direnç, beslenme, büyüme ve gelişme süreçleri ile bitki toksinlerine tolerans gibi birçok fonksiyonda yer almaktadır (Çakır & Yamaner, 2005).

Glutatyon-S-Transferaz (GST), böceklerin bitkilerin salgıladığı allelokimyasallar veya pestisitler gibi toksik bileşiklere karşı korunma mekanizmaları, detoksifikasyon süreçleri ile sağlanmaktadır. Glutatyon-S-transferaz (GST) enzimi, insektisit detoksifikasyonunun yanı sıra hücresel membranların korunmasında da önemli bir role sahiptir (Yu, 2008). GST enzimi, detoksifikasyon işleminin Faz II basamağında görev almakta olup, insektisitlerin Faz I aşamasında ara bileşiklere dönüştürülen toksik maddeleri, hidrofilik bileşiklere çevirerek vücuttan atılmasını sağlamaktadır (Demiröz, 2015).

Hidrolazlar, insektisitlerdeki kimyasal bileşiklerin toksisitesini azaltmaya yardımcı olan ve ökaryotik organizmaların büyük bir kısmında bulunan bir enzim sistemidir. Ester, amid ve fosfat gruplarına sahip olmaları nedeniyle, piretroit ve organofosfat insektisitlerin kısa sürede detoksifiye edilmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Hidrolazlar içerisinde en önemli enzim grubu esterazlardır. Asetilkolinesterazlar ve karboksilesterazlar olarak bilinen bu enzimler, feromon ve hormon metabolizmasında, sindirim sisteminde, sinir iletiminde, üreme davranışlarında ve insektisitlere karşı direnç mekanizmalarında etkili olmaktadır (Baffi ve ark., 2005; Hollingworth & Dong, 2008).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırma Alanı

3.1.1. Genel Özellikleri

Antalya Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz Bölgesi'nin batısında 36° 53' kuzey enlemleri ile 30° 40' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Sahil şeridi 640 km uzunluğunda olan ilin güneyinde Akdeniz, kuzeyinde ise Toros Dağları bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2023 verilerine göre 2.696.249 nüfusa sahip olan Antalya, Türkiye'nin en kalabalık beşinci ili olarak belirlenmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Direnç araştırması kapsamında kullanılan Alman hamamböcekleri, 2023 yılının Temmuz ve Ekim ayları arasında Antalya ilinin Muratpaşa, Konyaaltı ve Kepez ilçelerindeki farklı lokasyonlardan toplanmıştır. Örnekleme, bu türün doğal gelişme ve üreme alanları olan restoran, fırın, pansiyon gibi ortamlardan şarjlı el süpürgesi yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 1 Hamamböceklerinin toplanma alanı

İLÇE	MAHALLE	TOPLANILAN ALAN
KEPEZ	Şelale	Market Deposu
KEPEZ	Kızıllık	Lokanta
KEPEZ	Dokuma	Fırın
KEPEZ	Ahatlı	Patane
KONYAALTI	Uncalı	Kafe
KONYAALTI	Gürsu	Kasap
KONYAALTI	Arapsuyu	Kafe
MURATPAŞA	Tahılpazarı	Pansiyon
MURATPAŞA	Güllük	Kafe
MURATPAŞA	Lara	Kafe
MURATPAŞA	Tahılpazarı	Pide Fırını
MURATPAŞA	Varlık	Pastane
MURATPAŞA	Yeşilbahçe	Pastane

Doğal üreme alanlarından toplanan hamamböcekleri 5 litrelik bidonlar içerisine konularak laboratuvar ortamına getirilmiştir. Hamamböcekleri fotonegatif canlılar olduğu için laboratuvara taşınırken doğrudan güneşe maruz kalmamaları ve gizlenmeleri için bidonların içlerine boş havlu kâğıdı ruloları, beslenmeleri için mısır unu, pudra şekeri, baldan oluşan bir besin karışımı ve su ihtiyaçlarını karşılamak için de su emdirilmiş pamuk yerleştirilmiştir. Bu böcekler laboratuvara kültüre alındığında F1 ve F2 nesilleri testlerde kullanılmıştır.



Şekil 3. 1 Hamamböceklerinin el süpürgesi yardımıyla kültüre alınması



Şekil 3. 2 Hamamböceklerinin kültüre alınması

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

3.3.1. Alman hamamböceklerinin kültüre alınmaları

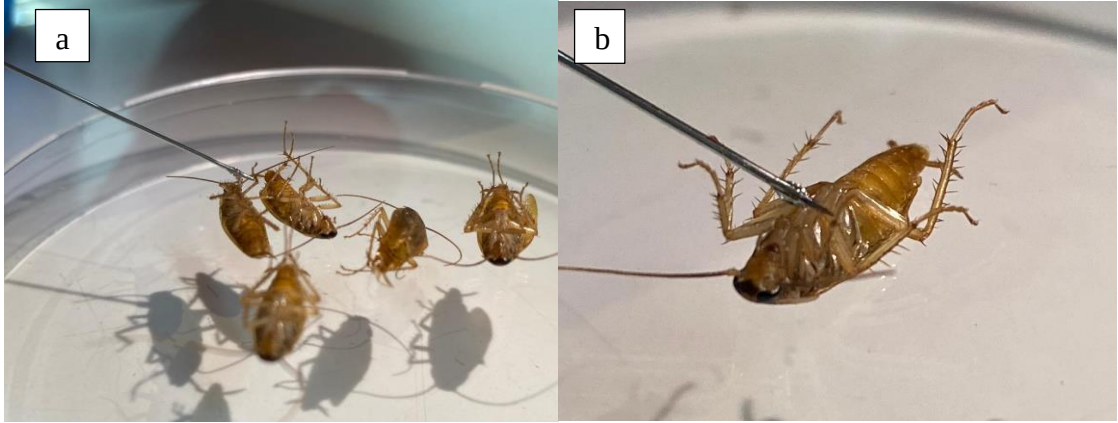
Yapılan arazi çalışmaları sonucunda laboratuvar ortamına getirilen bireyler 5-8 litrelik şeffaf bidonlar içerisinde kültüre alınmıştır. Bireylerin gelişimini ve kültürün sağlıklı olmasını sağlamak amacıyla yeterli oranda besin (balık yemi, mısır unu, pudra şekeri ve bal) ve su sağlanmıştır. Tüm bireyler 26 ± 2 °C sıcaklık, $60\pm 5\%$ nem, ve 12 saat aydınlık / 12 saat karanlık fotoperiyot koşullarında yetiştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Alman hamamböceği (*B. germanica*) hassas popülasyonu Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Danimarka kökenli bir soy olup, Hacettepe Üniversitesi'nden Dr. Oner Koçak tarafından temin edilmiş ve Akdeniz Üniversitesi, Biyoloji Bölümü laboratuvarlarında yaklaşık 10 yıldır yetiştirilmektedir.

3.4. Direnç Testleri

Direnç testlerinde Lethal doz değerlerini belirleyebilmek için popülasyonlara göre elde edilen ölüm oranları baz alınarak 0.25, 0.5, 1, 5, 10, 15, 20 ve 40 nanogram/ml konsantrasyonlarının tamamını veya bir bölümünü fipronil etken maddesi içeren çözeltiler kullanılmıştır. Uygulama fipronilli çözelti hacmi (1 µl), ikinci ve üçüncü abdominal sternitler arasındaki intersegmental zar bölgesine, 10 µl'lik Hamilton® marka hava geçirmez şırınga ile enjekte edilmiştir. (Zhu, 2012).

Tüm testler petri kaplarında yürütülmüş ve uygulamadan 72 saat sonraki ölüm oranları değerlendirmeye alınmıştır. Her bir doz denemesi için en az 15 adet ergin erkek *B. germanica* bireyi kullanılmıştır. Uygulama yapılan bireylerin 72. saatteki ölüm (knock-down) oranları kaydedilmiş; normal vücut pozisyonuna dönemeyen ve hareket edemeyen bireyler ölmüş olarak değerlendirilmiştir. Her bir doz için en az üç tekrar kullanılmıştır.

Denemeler, 26 ± 2 °C sıcaklık, $60\pm 5\%$ nem ve 12 saat aydınlık / 12 saat karanlık fotoperiyot koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubundaki ölüm oranı % 5-20 arasında olduğunda, elde edilen ölüm oranları Abbott (1925) formülü ile düzeltilmiş; % 20'yi aşması durumunda ise denemeler geçersiz sayılarak yeniden tekrarlanmıştır.



Şekil 3. 3 a,b) Hamamböceklerine fipronil uygulanması

3.5. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi

LD₅₀ değerleri SPSS istatistik analiz programı ile hesaplanmıştır. LD₅₀ değerlerinin hesaplanabilmesi için popülasyonlar hassasiyet durumlarına göre birbirinden farklı konsantrasyonlara maruz bırakılmıştır. Direnç katsayılarının (DK) belirlenmesi için duyarlı popülasyon ile araziden toplanan örneklerin LD₅₀ değerleri karşılaştırılmıştır. DK, araziden elde edilen LD₅₀ değerinin duyarlı popülasyondan elde edilen LD₅₀ değerine bölünmesiyle elde edilir. Direnç katsayısı 4 kategoride incelenecek olup, DK oranı <2 ise direnç yok ya da çok düşük direnç, 2-5 arası düşük direnç, 5-10 arası orta derece ve 10'dan büyük ise yüksek direnç vardır şeklinde yorumlanmıştır (Lee vd 1999). Her bölgeden elde edilen ölüm yüzdelerinin istatistiksel olarak birbirleriyle farklılığı olup olmadığı SPSS paket programında analiz edilmiş, değerlerin farklı olup olmadığı Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile $P \leq 0.05$ düzeyinde karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

Konyaaltı ilçesi, Gürsu mahalesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,5 ng/ml, 1 ng/ml, 5 ng/ml ve 10 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 10 ng/ml dozunda ölüm oranı %100 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 0,5 ng/ml dozunda ölüm oranı %6,6 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 1 Gürsu mahallesi (GR) Alman hamamböceği popülasyonu üzerinde fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,5	6,66 a	± 5,44
1	80 b	± 9,43
5	100 c	± 0
10	100 c	± 0
15	100 c	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Muratpaşa ilçesi, Tahılpazarı mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 1 ng/ml, 5 ng/ml, 10 ng/ml ve 15 ng/ml dozları kullanılmış denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 15 ng/ml dozunda ölüm oranı %100 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 1 ng/ml dozunda ölüm oranı %20 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 2 Tahılpazarı mahallesindeki (THP-1) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
1	20 b	± 9,43
5	100 c	± 0
10	100 c	± 0
15	100 c	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Muratpaşa ilçesi, Tahılpazarı mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 5 ng/ml, 10 ng/ml, 15 ng/ml ve 20 ng/ml dozları kullanılmış denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 20 ng/ml dozunda ölüm oranı %46,6 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 5 ng/ml dozunda ölüm oranı %6 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 3 Tahılpazarı mahallesindeki (THP-2) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
1	0 a	0
5	6,66 a	± 5,44
10	20 a	± 0
15	33,33 a	± 19,64
20	46,66 a	± 21,79

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Kepez ilçesi, Şelale mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 1 ng/ml, 5 ng/ml, 10 ng/ml, 15 ng/ml, 20 ng/ml ve 40 ng/ml dozları kullanılmış denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 20 ng/ml dozunda ölüm oranı %53,3 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 1 ng/ml dozunda ölüm oranı 13,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 4 Şelale mahallesindeki (SL) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
1	13,33 a	± 10,89
5	26,66 a	± 14,41
10	40 a	± 24,97
15	46,66 ab	± 14,41
20	53,33 ab	± 5,44
40	93,33 b	± 5,44

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Muratpaşa ilçesi, Altındağ mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 5 ng/ml, 10 ng/ml ve 20 ng/ml olmak üzere üç farklı doz kullanılmış ve denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 20 ng/ml dozunda ölüm oranı %26,6 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 5 ng/ml dozunda ölüm oranı %0 olarak bulunmuştur. Denemeler daha yüksek dozlara genişletilerek 100 ng/ml'ye kadar çıkarılmış, ancak bu dozda %46,6 ile sınırlı kalmıştır.

Çizelge 4. 5 Altındağ mahallesindeki (ALT) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
5	0 a	± 0
10	6,66 a	± 5,44
20	26,66 b	± 5,44
100	46,6 b	± 5,44

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Muratpaşa ilçesi, Şirinyalı mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 1 ng/ml, 5 ng/ml, 10 ng/ml ve 15 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 15 ng/ml dozunda ölüm oranı %100 olarak tespit edilirken, en düşük doz olan 1 ng/ml dozunda ölüm oranı %13,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 6 Şirinyalı mahallesindeki (SR) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
1	13,33 a	± 10,89
5	93,33 b	± 0
10	100 b	± 0
15	100 b	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Konyaaltı ilçesi, Arapsuyu mahallesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 1 ng/ml, 5 ng/ml, 10 ng/ml, 15 ng/ml ve 20 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 20

ng/ml dozunda ölüm oranı %100 olarak tespit edilirken 1 ng/ml dozunda ölüm oranı % 13,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 7 Arapsuyu mahallesindeki (ARP) Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
1	13,33 a	± 5,44
5	66,66 b	± 5,44
10	86,66 bc	± 10,89
15	100 c	± 0
20	100 c	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Laboratuvarında uzun yıllardır yetiştirilen popülasyonlara ait tablolara aşağıda verilmiştir.

Lara bölgesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,25 ng/ml, 0,5 ng/ml, 1 ng/ml ve 5 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 6 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 5 ng/ml dozunda ölüm oranı % 100 olarak tespit edilirken 0,25 ng/ml dozunda ölüm oranı % 33,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 8 Antalya/Lara bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,25	33,33 ab	± 10,18
0,5	60 bc	± 17,63
1	80 cd	± 12,62
5	100 d	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Konyaaltı bölgesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,25 ng/ml, 0,5 ng/ml, 1 ng/ml ve 5 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 6

tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 5 ng/ml dozunda ölüm oranı % 86,6 olarak tespit edilirken, 0,25 ng/ml dozunda ölüm oranı % 33,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 9 Antalya/Konyaaltı bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,25	33,33 ab	± 10,18
0,5	50 bc	± 16,15
1	55 bc	± 15,93
5	86,66 c	± 12,16

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Güllük bölgesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,25 ng/ml, 0,5 ng/ml, 1 ng/ml ve 5 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 6 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 5 ng/ml dozunda ölüm oranı % 91,6 olarak tespit edilirken 0,25 ng/ml dozunda ölüm oranı % 0 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 10 Antalya/Güllük bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,25	0 a	± 0
0,5	6,66 a	± 3,84
1	40 b	± 15,63
5	91,66 c	± 3,66

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Dokuma bölgesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,25 ng/ml, 0,5 ng/ml, 1 ng/ml ve 5 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 6 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 5 ng/ml dozunda ölüm oranı % 100 olarak tespit edilirken, 0,25 ng /ml dozunda ölüm oranı %15 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 11 Antalya/Dokuma bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,25	15 a	$\pm 7,35$
0,5	20 a	$\pm 6,66$
1	60 b	$\pm 17,63$
5	100 c	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Ahatlı bölgesinden toplanmış olan Alman hamamböcekleri ile yapılan denemelerde 0,25 ng/ml, 0,5 ng/ml, 1 ng/ml ve 5 ng/ml dozları kullanılmış, denemeler 6 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Denemenin sonucunda 5 ng/ml dozunda ölüm oranı % 100 olarak tespit edilirken, 0,25 ng /ml dozunda ölüm oranı % 13,3 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 12 Antalya/Ahatlı bölgesindeki Alman hamamböcekleri üzerindeki fipronilin toksik etkisi (72 saat sonraki % ölüm oranları ve standart hatalar)

Doz (ng/ml)	Ölüm Oranları (%)	Standart Hata
0 (Kontrol)	0 a	0
0,25	13,33 a	$\pm 12,16$
0,5	26,66 ab	$\pm 6,08$
1	51,66 b	$\pm 14,60$
5	100 c	± 0

* Bir sütundaki küçük harfler aynı ise istatistiksel olarak bir farklılık yoktur ($p>0,05$)

Çizelge 4. 13 Fipronil için LD₅₀ değerleri, direnç katsayıları ve direnç durumu

Örnekleme yapılan bölge	LD ₅₀ (ng/ml)	Kikare değeri	P değeri	LD ₅₀ bakımından direnç katsayısı	Direnç durumu
Lara (Laboratuvar)	0,405	2,228	0,328	0,888	Düşük direnç

Çizelge 4.13'ün devamı

Konyaaltı (Laboratuvar)	0,599	1,687	0,43	1,313	Düşük direnç
Güllük (Laboratuvar)	1,453	6,074	0,048	3,186	Düşük direnç
Dokuma (Laboratuvar)	0,795	110,661	0,005	1,743	Düşük direnç
Ahatlı (Laboratuvar)	0,831	6,43	0,04	1,822	Düşük direnç
Gürsu	0,779	0,003	1	1,708	Düşük direnç
Tahılpazarı-1	1,358	0,017	0,992	2,978	Düşük direnç
Tahılpazarı-2	22,144	0,191	0,979	48,561	Yüksek direnç
Şelale	12,05	30,095	0	26,425	Orta direnç
Altındağ	94,386	11,908	0,003	206,986	Yüksek direnç
Şirinyalı	1,962	0,478	0,787	4,302	Düşük direnç
Arapsuyu	3,018	9,88	0,02	6,618	Düşük direnç
WHO	0,456	136,679	0		

Antalya ilinin 12 farklı bölgesinden toplanarak oluşturulan kültürler ile DSÖ duyarlı popülasyonunun fipronil aktif maddesi için deney sonucunda elde edilen ölüm oranları probit analiz programı ile LD₅₀ değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek direnç Tahılpazarı-2 popülasyonu için 48,561 kat direnç seviyesinde çıkmıştır. Şelale popülasyonu için ise direnç katsayısı 26,425 seviyesinde orta direnç olarak hesaplanmıştır. Diğer popülasyonlar için sonuçlar direncin düşük olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. 14 Fipronil için LD₉₀ değerleri, direnç katsayıları ve direnç durumu

Örnekleme yapılan bölge	LD ₉₀ ng/ml	Kikare değeri	P değeri	LD ₉₀ bakımından direnç katsayısı	Direnç durumu
Lara (Laboratuvar)	1,592	2,228	0,328	1,010	Düşük direnç
Konyaaltı (Laboratuvar)	8,013	1,687	0,43	5,087	Düşük direnç
Güllük (Laboratuvar)	4,026	6,074	0,048	2,556	Düşük direnç
Dokuma (Laboratuvar)	2,377	110,661	0,005	15,509	Orta direnç
Ahatlı (Laboratuvar)	2,639	6,43	0,04	1,675	Düşük direnç
Gürsu	1,138	0,003	1	0,722	Düşük direnç
Tahılpazarı-1	2,164	0,017	0,992	1,373	Düşük direnç
Tahılpazarı-2	75,809	0,191	0,979	48,132	Yüksek direnç
Şelale	105,166	30,095	0	66,772	Yüksek direnç
Altındağ	729,918	11,908	0,003	463,44	Yüksek direnç
Şirinyalı	4,229	0,478	0,787	2,685	Düşük direnç
Arapsuyu	9,396	9,88	0,02	5,965	Düşük direnç
WHO	1,575	136,679	0		

Antalya ilinin 12 farklı bölgesinden toplanarak oluşturulan kültürler ile DSÖ duyarlı popülasyonunun fipronil aktif maddesi için deney sonucunda elde edilen ölüm oranları probit analiz programı ile LD₉₀ değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek direnç Tahılpazarı-2 popülasyonu için 48,132, Şelale popülasyonu için ise 66,772 kat yüksek direnç tespit edilmiştir. Dokuma popülasyonunda ise 15,509 seviyesinde orta direnç tespit edilmiştir. Diğer popülasyonlar için sonuçlar direncin düşük olduğunu göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Abiyotik ve biyotik faktörler, ekosistemlerin işleyişi ve sürdürülebilirliği açısından birbirini tamamlayan bir bütün olarak değerlendirilir. Bu faktörler arasında sürekli bir karşılıklı etkileşim söz konusudur. Herhangi bir faktörde meydana gelen bir değişim, diğer faktörleri doğrudan ya da dolaylı yoldan etkileyerek ekosistemin doğal dengesinde bozulmalara yol açabilir. Günümüzde tanımlanmış iki milyondan fazla canlı türü bulunmaktadır ve bu türlerin her biri, içinde bulundukları ekosistemde belirli işlevler üstlenerek sistemin dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır.

Eklembacaklılar (Arthropoda), ekolojik açıdan en önemli canlı gruplarından biridir. Özellikle böcekler; bitkilerin tozlaşması, madde döngüsü ve ayrıştırma gibi süreçlerde üstlendikleri rollerle ekosistem dengesinin korunmasında önemli işlevlere sahiptir. Eklembacaklılar içerisinde yer alan hamamböcekleri ise doğada organik atıkların parçalanmasına ve ayrıştırılmasına katkı sağlar. Ancak insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlara adapte olmuş bazı türler örneğin Alman hamamböceği *B. germanica* taşıdığı patojenler nedeniyle halk sağlığı açısından ciddi risk oluşturmaktadır. Bu tür, özellikle gıda işletmelerinde *Salmonella* spp., *Shigella* spp. ve *Escherichia coli* gibi bakterileri vücut yüzeyinde taşıyabilmekte; bu sayede tifo, kolera ve dizanteri gibi enfeksiyon hastalıklarının mekanik vektörlüğünü yapabilmektedir (Zurek, 2004).

Hamamböcekleri, halk sağlığı açısından oluşturdukları risklerin yanı sıra ekonomik açıdan da zararlara yol açmaktadır. Özellikle gıda işletmelerinde görülen yoğun popülasyonlar, hijyen standartlarının düşmesine ve ürünlerin kontaminasyonuna, ilgili kurumların marka değerinin azalmasına ve prestij kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle, hamamböceklerine karşı yürütülen mücadele çalışmalarında gün geçtikçe entegre yaklaşımlara olan ihtiyaç artmaktadır. Kültürel, biyolojik, fiziksel ve kimyasal mücadele yöntemlerinin birlikte planlandığı ve uygulandığı bu yöntemler, entegre zararlı yönetimi (IPM) olarak tanımlanmaktadır. Kültürel mücadele kapsamında halkın bilinçlendirilmesi ve hijyenin sağlanması gerekirken; fiziksel mücadelede doğrudan temas kurulabilecek alanlara müdahale edilmektedir. Biyolojik mücadelede entomopatojen funguslar ve nematodlar gibi doğal düşmanlardan yararlanılmakta; kimyasal mücadelede ise insektisitler kullanılmaktadır (Demirsoy, 2006; Çetin, 2016; Koç, 2019; Fardisi, Gondhalekar, Ashbrook, & Scharf, 2019).

Bu araştırmanın yürütüldüğü Antalya ili, yaklaşık 2,7 milyonluk nüfusuyla Türkiye'nin en kalabalık beş kentinden biridir (TÜİK, 2023). Tarım, hayvancılık ve özellikle turizm sektörünün önemli merkezlerinden biri olan Antalya, yıl boyunca milyonlarca yerli ve yabancı turisti ağırlamaktadır. Bu yoğun insan hareketliliği, kent genelinde gıda üretim ve tüketim noktalarının, özellikle kafe, restoran, fırın ve otel gibi işletmelerin sayıca artmasına neden olmuştur. İnsan etkinliklerinin yoğun olduğu bu alanlar, *B. germanica* (Alman hamamböceği) gibi sinantropik türler için ideal yaşam koşulları sunmakta; sıcaklık, nem, besin ve barınak açısından sürdürülebilir popülasyonların oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

Blattella germanica (Alman hamamböceği), yüksek ekolojik toleransa sahip bir türdür. Antalya gibi yıllık ortalama sıcaklığın 15 °C'nin üzerinde seyrettiği ve nem oranının yüksek olduğu bölgelerde, bu tür yıl boyunca aktif kalabilmekte ve hızla çoğalabilmektedir. Kent genelinde organik atık birikiminin yoğun olduğu alanlar, fırınlar,

kafeler, restoranlar türün üremesi ve yayılması için elverişli mikrohabitatlar sunmaktadır. Özellikle turizm sezonunun yoğunlaştığı dönemlerde artan insan nüfusu ve açık mutfak servislerinin yaygınlaşması, Alman hamamböceği için hem barınma hem de sürekli besin kaynağı sağlayarak popülasyonlarının desteklenmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında Antalya ilinin farklı bölgeleri olan Lara, Konyaaltı, Güllük, Dokuma, Ahatlı, Tahıl pazarı-1, Tahıl pazarı-2, Şelale, Altındağ, Şirinyalı ve Arapsuyu'ndan *B. germanica* bireyleri toplanmıştır. Arazi çalışmaları, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu gıda işletmeleri ve yaşam alanlarında yürütülmüştür. Toplanan böcekler laboratuvara getirilerek kültüre alınmış ve biyolojik etkinlik testlerinde kullanılmak üzere ergin evreye kadar geliştirilmiştir. Testlerde etken madde olarak fipronil kullanılmıştır. Uygulama, fipronil içeren 1 µl'lik çözelti hacminin, Hamilton® marka 10 µl'lik hava geçirmez mikrolitre şırınga aracılığıyla ikinci ve üçüncü abdominal sternitler arasındaki intersegmental zar bölgesine enjeksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Denemeler sırasında kontrol gruplarında %5'in üzerinde mortalite gözlemlenen veri setlerine Abbott düzeltmesi uygulanmıştır.

Popülasyonların mevcut direnç durumlarını anlamak için her bir popülasyonun direnç seviyesi hassas popülasyon (WHO) ile kıyaslanmıştır. WHO popülasyonu LD₅₀ değeri 0,456 ng/ml olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5. 1 Popülasyonların direnç durumu

Örnekleme yapılan bölge	LD ₅₀ (ng/ml) değeri	Direnç durumu
WHO	0,456	
Lara	0,405	Düşük direnç
Konyaaltı	0,599	Düşük direnç
Güllük	1,453	Düşük direnç
Dokuma	0,795	Düşük direnç
Ahatlı	0,831	Düşük direnç
Gürsu	0,779	Düşük direnç
Tahıl pazarı-1	1,358	Düşük direnç
Tahıl pazarı-2	22,144	Yüksek direnç
Şelale	12,05	Orta direnç
Altındağ	94,386	Yüksek direnç
Şirinyalı	1,962	Düşük direnç
Arapsuyu	3,018	Düşük direnç

Biyolojik etkinlik testlerinden elde edilen LD₅₀ değerlerine göre; Şelale popülasyonunda orta düzeyde, Tahıl pazarı-2 popülasyonunda ise yüksek düzeyde direnç tespit edilmiştir. Diğer tüm popülasyonlar düşük direnç sınıfında değerlendirilmiştir. Toplam on iki popülasyondan Konyaaltı, Lara, Güllük, Dokuma, Ahatlı, Gürsu, Tahıl pazarı-1, Şirinyalı ve Arapsuyu bölgelerine ait bireylerin LD₅₀ değerleri 1,0–3,0 ng/ml aralığında olup düşük direnç seviyesindedir. Bu bulgular, fipronil etken maddesinin bu bölgelerde halen etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca düşük direnç gözlemlenen bu alanların genellikle pansiyonlar ve bina bodrum katları gibi daha az insektisit uygulamasına maruz kalan yerler olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, yüksek direnç tespit edilen alanların çoğunlukla gıda işletmeleri olması, bu tür mekânlarda insektisit uygulamalarının daha yoğun ve sık yapıldığını, dolayısıyla direnç gelişiminin hızlandığını ortaya koymaktadır.

Tahıl pazarı-2 popülasyonunda LD₅₀ değeri 22,144 ng/ml olarak hesaplanmış ve bu değer, WHO referans popülasyonu ile karşılaştırıldığında yaklaşık 48,6 kat daha yüksek bulunmuştur. Şelale popülasyonuna ait LD₅₀ değeri ise 12,05 ng/ml olarak belirlenmiş olup, WHO popülasyonuna kıyasla yaklaşık 26,4 kat direnç tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Antalya'nın bazı bölgelerinde fipronil kullanımına bağlı olarak yüksek düzeyde direnç geliştiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu bölgeler, hem insan popülasyonunun yoğun olduğu hem de insektisit uygulamalarının sık gerçekleştirildiği alanlar olarak bilinmektedir. Bu durum, sürekli kimyasal maruziyetin etkisiyle direnç gelişimini hızlandırmakta ve entegre mücadele yaklaşımlarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Valles vd. (2003) tarafından yürütülen bir çalışmada, fipronilin sentetik piretroitlere karşı direnç geliştirmiş hamamböceği popülasyonları üzerinde etkili olduğu ve bu popülasyonlarda direnç katsayılarının 2-5 ng/ml arasında değiştiği bildirilmiştir. Bu bulgular, Antalya ili için elde edilen verilerle birlikte değerlendirildiğinde, fipronile karşı direncin genel olarak düşük seviyelerde olduğunu ve bu aktif maddenin kimyasal mücadele kapsamında etkili bir seçenek olabileceğini göstermektedir. Fipronile karşı düşük direnç oranlarının temel nedeni, bu bileşiğin piyasaya sentetik piretroitlere göre daha geç sürülmüş olmasıdır. Ayrıca, etki mekanizması bakımından da farklılık göstermektedir: Sentetik piretroitler voltaj bağımlı sodyum kanallarını hedef alırken, fipronil GABA-bağımlı klorür kanalları üzerinde etkilidir. Bu farklı hedef noktaları, çapraz direnç gelişimini geciktirmekte ve fipronilin etkinliğini korumasına katkı sağlamaktadır (Gondhalekar & Scharf, 2012).

Wei vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, arazi popülasyonlarında fipronile karşı LD₅₀ değeri 6,8 ng/ml olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, literatürdeki diğer çalışmalarla da uyumlu olup, fipronilin saha koşullarındaki etkinliğini desteklemektedir. Benzer şekilde, Koç (2019) tarafından *Türkiye Parazitoloji Dergisi*'nde yayımlanan bir çalışmada fipronil için direnç katsayısı 8,2 olarak rapor edilmiştir (Aydenizöz, 2019). Bu veriler, farklı coğrafi bölgelerde yürütülen araştırmaların sonuçlarıyla Antalya ili verilerinin örtüştüğünü ve fipronilin halen etkili bir kimyasal ajan olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Fardisi vd. (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, *B. germanica* türünün farklı insektisit gruplarına karşı direnç geliştirme kapasitesi değerlendirilmiştir. Çalışmada, sentetik piretroitlere karşı gelişen direncin zamanla fipronile karşı da tolerans

oluşturabileceği belirtilmiştir. Bu durum, farklı etki mekanizmalarına sahip insektisitler arasında çapraz direnç gelişiminin mümkün olabileceğini göstermektedir. Araştırma ayrıca, çapraz direnç oluşumunun özellikle insektisit kullanımının yoğun olduğu alanlarda daha hızlı geliştiğini vurgulayarak, kimyasal mücadelenin dikkatli ve planlı bir şekilde yürütülmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Wang vd. (2018) tarafından Çin'in kentsel bölgelerinde yürütülen bir çalışmada, *B. germanica* popülasyonlarında fipronile karşı LD₅₀ değerlerinin 3,2–8,9 ng/ml aralığında olduğu rapor edilmiştir. Araştırmada, fipronil kullanımının bu bölgelerde yaygın olmaması nedeniyle etken maddenin hâlen etkili olduğu, ancak bazı alanlarda orta düzeyde direnç geliştiği tespit edilmiştir. Bu durum, fipronilin kontrollü kullanıldığı bölgelerde etkisini sürdürebildiğini, ancak düzensiz veya tekrarlı uygulamaların zamanla direnç oluşumuna yol açabileceğini göstermektedir.

Halbrook vd. (2003) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen bir çalışmada, *B. germanica* popülasyonlarının fipronile karşı yüksek düzeyde direnç geliştirdiği rapor edilmiştir. Bu direnç, GABA-bağımlı klorür kanallarında meydana gelen mutasyonlarla ilişkilendirilmiştir. Özellikle daha önce dieldrin direnciyle ilişkilendirilen A302S mutasyonunun, fipronil direncinde de etkili olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular, fipronil direncinin genetik temelli olduğunu ve söz konusu mutasyonların popülasyonlar arasında yayılma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Gondhalekar ve Scharf (2012) çalışmalarında, fipronil direncinin ortaya çıkmasına neden olan biyokimyasal mekanizmaları incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, *B. germanica* bireylerinde fipronil metabolizmasında rol oynayan sitokrom P450 monooxygenaz enzimlerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Bu enzimlerin artan aktivitesi, insektisidin biyotransformasyonunu hızlandırarak toksik etkinliğinin azalmasına ve dolayısıyla direnç gelişimine katkı sağlamaktadır. Bu bulgular, fipronil direncinin sadece genetik mutasyonlarla değil, aynı zamanda enzimatik detoksifikasyon mekanizmalarıyla da ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında, *B. germanica* popülasyonlarının fipronil etken maddesine karşı duyarlılığı değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular, literatürde yer alan önceki çalışmalarla genel olarak uyumlu bulunmuştur. Konyaaltı, Lara, Dokuma, Ahatlı ve Gürsu bölgelerinde düşük düzeyde direnç gözlemlenirken; Şirinyalı, Güllük ve Arapsuyu bölgelerinde orta düzeyde, Tahıl pazarı-2 ve Şelale bölgelerinde ise yüksek düzeyde direnç tespit edilmiştir. Bu durum, insektisitlere karşı gelişen direncin bölgesel farklılıklar gösterebildiğini ve geçmişte uygulanan diğer pestisitlerin direnç düzeyleri üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle Tahıl pazarı-2 ve Şelale bölgelerinde gözlenen yüksek direnç seviyelerinin yalnızca fipronil kullanımıyla değil, önceki dönemlerde uygulanan farklı insektisitlerin kalıcı etkileriyle de ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu bulgular, söz konusu popülasyonlarda metabolik direnç mekanizmalarının da devreye girmiş olabileceğine işaret etmektedir.

Fipronil gibi güçlü etkili insektisitlerin uzun vadede etkinliğini koruyabilmek ve direnç gelişimini önleyebilmek amacıyla entegre zararlı yönetimi (IPM) yaklaşımı önerilmektedir. Bu kapsamda; fiziksel mücadele yöntemleriyle hamamböceklerinin yaşam alanlarının ortadan kaldırılması, biyolojik mücadelede *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae* gibi entomopatojen fungusların kullanımı, kimyasal mücadelede

ise insektisitlerin bilinçli, hedefe yönelik ve rotasyonlu olarak uygulanması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, kültürel mücadele kapsamında halkın bilinçlendirilmesi, hijyen alışkanlıklarının kazandırılması ve çevre eğitimi faaliyetlerinin yaygınlaştırılması da mücadele sürecinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.



6. SONUÇLAR

Alman hamamböceği (*B. germanica*), insan yerleşimlerine yüksek düzeyde adapte olmuş, sinantropik bir tür olup; başta *Salmonella* spp., *Shigella* spp. ve *Escherichia coli* olmak üzere çeşitli patojen mikroorganizmaları mekanik olarak taşıyabilen önemli bir halk sağlığı vektörüdür. Gıda işletmeleri, restoranlar, fırınlar ve konutlar gibi kapalı yaşam alanlarında yoğun popülasyonlar oluşturabilmekte, bu da hem sağlık hem de ekonomik açıdan ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, *B. germanica*'nın etkin kontrolü, vektör kaynaklı hastalıkların yayılımının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yürütülen mücadelelerde kullanılan insektisitlerin etkinliğinin ve hedef türde direnç gelişiminin izlenmesi, halk sağlığı açısından kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, Antalya ilinin farklı bölgelerinden toplam 12 farklı *B. germanica* popülasyonu toplanarak, fipronil etken maddesine karşı duyarlılık düzeyleri araştırılmıştır. Arazi çalışmaları, insan faaliyetlerinin yoğun olduğu restoran, fırın, pansiyon ve apartman bodrumu gibi yapılar hedeflenerek yürütülmüş; toplanan bireyler laboratuvar ortamında uygun koşullarda kültüre alınmış ve biyolojik etkinlik testlerine uygun hale getirilmiştir. Fipronilin farklı konsantrasyonlarda uygulandığı bu çalışmada, topikal uygulamalar aracılığıyla etken maddenin toksik etkisi değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, fipronilin genel olarak *B. germanica* popülasyonları üzerinde hâlen etkili bir insektisit olduğunu göstermektedir. On iki popülasyonun büyük çoğunluğunda LD₅₀ değerleri 1–3 ng/ml aralığında tespit edilmiş olup, bu değerler düşük düzeyde direnç varlığına işaret etmektedir. Ancak Şelale ve Tahıl pazarı-2 bölgelerine ait popülasyonlarda sırasıyla orta ve yüksek düzeyde direnç saptanmıştır. Bu farklılıklar, bölgesel insektisit kullanım geçmişinin direnç düzeylerinde belirleyici rol oynadığını ve sahada uygulanan mücadele programlarının lokal koşullara göre şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Antalya, iklim koşulları ve yapılaşma özellikleri bakımından halk sağlığı zararlılarının barınması ve çoğalması için elverişli koşullar sunmaktadır. Özellikle *B. germanica* gibi sinantropik türler, sıcak ve kuru ortamları tercih ederek restoran, konut ve gıda üretim alanları gibi yerlerde yoğun popülasyonlar oluşturabilmektedir. Bu alanlarda uzun yıllardır yürütülen insektisit uygulamaları, direnç gelişimini tetiklemiş; bu çalışmada gözlemlenen bölgesel direnç farklarının temel nedenlerinden biri olmuştur.

Fipronil, özellikle jel formülasyonlarıyla kapalı alanlarda yaygın olarak kullanılan bir insektisit olup, doğrudan hedef organizmaya uygulanması nedeniyle etkili ve güvenli bir mücadele aracıdır. Bununla birlikte, son yıllarda Antalya'nın bazı bölgelerinde fipronil içeren ürünlerin yeterli etki göstermediğine dair saha gözlemleri bildirilmiştir. Bu durum yalnızca çevresel faktörlerden (örneğin sıcaklık, nem) değil, aynı zamanda hedef organizmalarda gelişmiş biyokimyasal ve genetik direnç mekanizmalarından da kaynaklanıyor olabilir. Özellikle geçmişte yaygın olarak kullanılan sentetik piretroitlerin

ve diğer kimyasalların fipronil direnciyle potansiyel çapraz direnç ilişkisi taşıdığı düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, fipronilin tek başına sürekli kullanımı yerine entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri kapsamında değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Fiziksel mücadele ile yaşam alanlarının ortadan kaldırılması, biyolojik mücadelede entomopatojen funguslar (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*) gibi biyolojik ajanlardan faydalanılması ve kimyasal mücadelede ise insektisit rotasyonu ve doz kontrolü gibi uygulamaların entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Ayrıca halkın bilinçlendirilmesi, hijyen alışkanlıklarının kazandırılması ve çevre eğitimi gibi kültürel mücadele yöntemlerinin güçlendirilmesi de başarılı bir mücadele süreci için elzemdir.

Bu çalışmadan elde edilen veriler, başta Sağlık Bakanlığı olmak üzere Antalya'daki yerel yönetimler ve vektör kontrol birimleri için önemli bir başvuru kaynağı niteliğindedir. Ancak özellikle sahada uygulamaları doğrudan gerçekleştiren profesyonel haşere kontrol operatörleri (PCO'lar) ve biyosidal ürün uygulayıcıları açısından bu veriler daha da büyük önem taşımaktadır. Çünkü fipronil içeren jel formülasyonlar, sahada yaygın olarak PCO'lar tarafından kullanılmakta ve doğru şekilde uygulandığında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Jel formülasyonların, sprey formülasyonlara kıyasla çevre ve insan sağlığı açısından çok daha düşük risk taşıması da önemli bir avantajdır. Sprey uygulamalar özellikle kapalı alanlarda solunum yolu maruziyeti gibi riskler taşıırken, jel formülasyonlar yalnızca hedef alana uygulanarak bu tür olumsuzlukları minimize etmektedir. Bu nedenle, PCO'ların insektisit tercihlerinde yalnızca etkinliği değil, aynı zamanda formülasyon güvenliğini de göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması, *B. germanica*'nın fipronile karşı direnç profiline ilişkin ülkemizde sınırlı sayıda bulunan bilimsel verilerin artırılmasına katkı sağlamakta ve sahada uygulanan kimyasal mücadele stratejilerinin gözden geçirilmesine yönelik önemli bir bilimsel temel sunmaktadır. Direnç düzeylerinin izlenmesi, mücadele programlarının etkinliği açısından hayati öneme sahiptir. Tezden elde edilen bulguların ilerleyen süreçte ulusal ve uluslararası kongrelerde sunulması ve hakemli bilimsel dergilerde yayımlanması hedeflenmektedir. Bu sayede hem temel bilim literatürüne katkı sağlanacak hem de sahadaki uygulamalara doğrudan yansıyabilecek veriler paylaşılmış olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Aydenizöz, M., ve Gökpınar, S. 2019. Türkiye’de bir kobay (*Cavia porcellus*)’da *Chirodiscoides caviae* enfestasyonu ve fipronil ile tedavisi. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 43(4): 216-8.
- Baffi, M. A., C. D. Pereira, G. R. Souza, A. M. Bonetti, C. B. Ceron and L. R. Gourelart, 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.
- Cornwell, P. B. 1968. The cockroach. Volume 1. A laboratory insect and an industrial pest.
- Çakır, Ş., ve Yamaner, Ş. 2005. Böceklerde insektisidlere direnç. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6(1): 21-29.
- Çetin H. 2016. Kent Zararlıları, Biyoloji, Ekoloji ve Mücadele Yöntemleri (Vektörler ve diğerleri), Yıldız Ofset, Antalya, 203 s.
- Debash, H., Alemu, M., and Ayehu, A. 2020. Species Composition of Cockroaches, Their Potential as Mechanical Vectors of Intestinal Parasites and Associated Factors Among Households in Sekota Town, Northeast Ethiopia; A Community-based Cross-sectional Study. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(6): 3815–3820.
- Demiröz, D. A. 2015. Böcekler Neden Direnç Kazanıyor?. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2): 91-98.
- Demirsoy, A. 2003. Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar/Böcekler, Entomoloji. Meteksan A.Ş, Cilt 2/ Kısım 2, Ankara, 941 s.
- Demisoy, A. 2006. Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar/Böcekler, Entomoloji. Meteksan A.Ş, Cilt 2/Kısım 2, Ankara, 941 s.
- Fardisi, M., Gondhalekar, A. D., Ashbrook, A. R., and Scharf, M. E. 2019. Rapid evolutionary responses to insecticide resistance management interventions by the German cockroach (*Blattella germanica* L.). *Scientific reports*, 9(1): 1-10.
- Gondhalekar, A. D., and Scharf, M. E. 2012. Mechanisms underlying fipronil resistance. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 102(2): 109–116.
- Gunasekara, A. S., Truong, T., Goh, K. S., Spurlock, F., and Tjeerdema, R. S. 2007. Environmental fate and toxicology of fipronil. *Journal of Pesticide Science*, 32(3): 189-199.

- Halbrook, G.L., Roebuck, J., Moore, C.B., Waldvogel, M.G. and Schal, C. 2003. Origin and extent of resistance to fipronil in the German cockroach, *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, 96: 1548-1558.
- Hollingworth, R. M., and Dong, K. 2008. The biochemical and molecular genetic basis of resistance to pesticides in arthropods. *Global pesticide resistance in arthropods* (pp. 40-89). CABI.
- Karaağaç, S. U. 2012. Insecticide Resistance. In: F. Perveen (Ed.), *Insecticide Resistance, Insecticides - Advances in Integrated Pest Management* (pp. 469–478). InTech.
- Koç, S. 2019. Antalya ilinde *Rhipicephalus* spp. (Acari: Ixodidae) popülasyonlarının çeşitli akarisitlere karşı hassasiyet seviyelerinin araştırılması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 118 s.
- Koçak, O. 2008. Hamamböcekleri biyolojisi ve kontrol yöntemleri. T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Alanında Haşere Mücadelesinde Sorumlu Müdür Eğitimi, Antalya.
- Menasria, T., Moussa, F., El-Hamza, S., Tine, S., Megri, R., and Chenchouni, H. 2014. Bacterial load of German cockroach (*Blattella germanica*) found in hospital environment. *Pathogens and Global Health*, 108(3): 141-147.
- Metcalf, R. L. 1989. Insect resistance to insecticides. *Pesticide science*, 26(4): 333-358.
- Naumann, I.D. 1991. The Insects of Australia. Ed. By Csiro, 2nd Ed., Melbourne University Press, Vol. 1, pp. 916-1000, Carlton, Australia.
- Öz, E. 2018. Antalya ilinde, Alman ve Amerikan hamamböceği popülasyonlarında sentetik piretroitlere karşı direnç seviyelerinin araştırılması (Doktora tezi). Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
- Öz, E., Çetin, H., and Yanıkoğlu, A. 2021. Investigation of resistance to synthetic pyrethroids in *Blattella germanica* L., 1767 (Blattodea: Ectobiidae) and *Periplaneta americana* L., 1758 (Blattodea: Blattidae) populations in Turkey. *Turkish Journal of Entomology*, 45(3): 361-370.
- Oz, E., Polat, B., Cengiz, A., Kahraman, S., Gultekin, Z. N., Caliskan, C., and Cetin, H. 2023. Effects of solid and aqueous dietary diflubenzuron ingestion on some biological parameters in synthetic pyrethroid-resistant German cockroach, *Blattella germanica* L.(Blattodea: Ectobiidae). *Medical and Veterinary Entomology*, 38(2): 172-178.
- Pittendrigh, B. R., Margam, V. M., Walters Jr, K. R., Steele, L. D., Olds, B. P., Sun, L., and Clark, J. M. 2014. Understanding resistance and induced responses of insects to xenobiotics and insecticides in the age of “omics” and systems biology. *Insect Resistance Management* (pp. 55-98). Academic Press.

- Rust, M. K., Reiersen, D. A., and Hansgen, K. H. 1991. Control of American cockroaches (Dictyoptera: Blattidae) in sewers. *Journal of medical entomology*, 28(2): 210-213.
- Suiter, D.R., Patterson, R.S. and Koehler, P.G. 1998. Seasonal incidence and biological control potential of *Aprostocetus hagenowii* (Hymenoptera: Eulophidae) in treehole microhabitats. *Environmental Entomology*, 27: 434-442.
- Susurluk, İ.A. ve Ökten, M.E. 2000. Bazı entomopatojen nematodların *Blattella germanica* L. (Dictyoptera: Blattellidae) üzerindeki etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6 (4): 111-114.
- Tang, Q., Bourguignon, T., Willenmse, L., De Coninck, E., and Evans, T. 2019. Global spread of the German cockroach, *Blattella germanica*. *Biological Invasions*, 21: 693-707.
- Tingle, C. C., Rother, J. A., Dewhurst, C. F., Lauer, S., and King, W. J. 2003. Fipronil: Environmental fate, ecotoxicology, and human health concerns. In G. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 176, pp.1-66).
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2018. *World urbanization prospects: The 2018 revision*.
- Valles, S. M., Brenner, R. J., and Koehler, P. G. 2003. Fipronil resistance in the German cockroach. *Journal of Economic Entomology*, 96(5): 1548–1553.
- Wang, C., Eiden, A. L., Cooper, R., Zha, C., and Bennett, G. W. 2018. Comparative susceptibility of the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) field strains to fipronil and other insecticides. *Pest Management Science*, 74(6): 1323–1331.
- Wei, Y., Appel, A. G., and Moar, W. J. 2016. Insecticide resistance and cross-resistance in the German cockroach from Alabama. *Journal of Economic Entomology*, 109(2): 761–769.
- World Health Organization 1985. Vector control series: Training and information guide, cockroaches (37 pp). Vector Biology and Control Division, Switzerland.
- World Health Organization (WHO) 2006. Pesticides and Their Application. For the control of vectors and pests of public health importance (6th ed.). World Health Organization.
- Zhu, W. X., Zhao, K., Chu, S. S., and Liu, Z. L. 2012. Evaluation of essential oil and its three main active ingredients of *Chinese Chenopodium ambrosioides* (Family: Chenopodiaceae) against *Blattella germanica*. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 6(2): 90.

- Zurek, L., and Schal, C. 2004. Evaluation of the German cockroach (*Blattella germanica*) as a vector for verotoxigenic *Escherichia coli* F18 in confined swine production. *Veterinary Microbiology*, 101(4): 263-267.
- Zurek, L., Watson, D.W. and Schal, C. 2002. Synergism between *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycota : Hyphomycetes) and boric acid against the German cockroach (Dictyoptera : Blattellidae). *Biological Control*, 23 (3): 296-302.



ÖZGEÇMİŞ

Şevval KAHRAMAN KÖKTEN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2022-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2022	Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Koç S., Polat B., Cengiz A., Kahraman S., Tufan Çetin Ö., Çetin H. 2022. Pathogenicity of an Entomopathogenic Nematode, *Steinernema carpocapsae* on *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) Strains From Turkey. *Journal of Economic Entomology*. Doi: 10.1093/jee/toac100

Koç S., Polat B., Cengiz A., Kahraman S., Tufan-Cetin O., Çetin H. 2022. Effectiveness of some microbial biopesticides based on *Bacillus* against lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera:Tenebrionidae) under laboratory conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31: 1537-1540.

Koç, S., Cengiz, A., Polat, B., Kahraman Kökten, S., Gültekin, Z. N., Çalışkan, C., Tufan Çetin, Ö. and Çetin, H. 2025. Evaluating the repellent effects of major essential oil components (Lamiaceae) on brown dog tick *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato) using the larval repellent activity test, *Veterinary Parasitology* vol.333, 1-8. Doi: 10.1016/j.vetpar.2024.110361.

Koç, S., Gultekin, Z. N., Kahraman, S., Cengiz, A., Polat, B., Çalışkan, C., Yıldırım, T. Tufan Çetin Ö. and Çetin H. 2023. Exploring the larvicidal and repellent potential of Taurus Cedar (*Cedrus libani*) tar against the brown dog tick (*Rhipicephalus sanguineus* sensu lato). *Molecules*, vol.28, no.23, 1-12. Doi: 10.3390/molecules28237689

Koç, S., Gültekin, Z. N., Kahraman, S., Cengiz, A., Polat, B., Çalışkan, C., Tufan Çetin, Ö. and Çetin, H. 2024. Larvicidal and repellent effects of essential oils on the brown dog tick (*Rhipicephalus sanguineus* sensu lato) with description of new larval repellent activity test method, *Experimental and Applied Acarology*, vol.92, 263-273. Doi: 10.1007/s10493-023-00892-2

Öz, E., Polat, B., Cengiz, A., Kahraman, S., Gültekin, Z. N., Çalışkan, C. and Çetin, H. 2024. Effects of solid and aqueous dietary diflubenzuron ingestion on some biological parameters in synthetic pyrethroid-resistant German cockroach, *Blattella germanica* L. (Blattodea: Ectobiidae). *Medical and Veterinary Entomology*, vol.38, no.2, 172-178. Doi: 10.1111/mve.12704

Polat, B., Cengiz, A., Koç, S., Kahraman Kökten, Ş., Gültekin, Z. N., Çalışkan, C., Kocaoğlu Cenkcı, S., Yıldırım T., Tufan Çetin Ö. and Çetin H. 2024. Efficacy of *Steinernema feltiae* Nematode Against Lesser Mealworm (*Alphitobius diaperinus*) Populations from Poultry Farms in Türkiye, *Veterinary Sciences*, vol.11, no.567, 1-11. Doi: 10.3390/vetsci11110567

Tufan Çetin, Ö., Cengiz, A., Gültekin, Z. N., Kahraman, Ş., Polat, B., Koç, S. and Çetin, H. 2023. Total phenolic and flavonoid contents of oakmoss lichen *Evernia prunastri* extracts and their insecticidal activities against larvae of two vector mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. *International Journal of Tropical Insect Science*, vol.43, 1355-1363. Doi: 10.1007/s42690-023-01044-0

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Gültekin, Z. N., Kahraman, Ş., & Çetin, H. 2024. Larvicidal and Ovicidal Properties of Essential Oils Derived from *Origanum minutiflorum* and *Salvia dorystoechas* against the *Aedes aegypti*. *Commagene Journal of Biology*, 8(1): 18-23. <https://doi.org/10.31594/commagene.1445581>

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Gültekin Z. N., Cengiz A., Kahraman Ş., Çalışkan C., Polat B., Koç S., Çetin H. 2022. Türkiye Biyosidal Ürün Envanterinin İnsektisit ve Rodentisitler Açısından Değerlendirilmesi. V. Ulusal Vektör Mücadelesi Sempozyumu. (Özet Bildiri/Sözlü Bildiri).

Kahraman Ş., Gültekin Z. N., Çetin H. 2022. Biyopestisitlerden Spinosad ve *Bacillus thuringiensis israelensis*'ın Farklı Ortam Sıcaklıklarında *Culex pipiens* Sivrisineği Larvaları Üzerindeki Toksik Etkisi. V. Ulusal Vektör Mücadelesi Sempozyumu. (Özet Bildiri/Sözlü Bildiri).

Koç S., Gültekin Z. N., Kahraman Ş., Cengiz A., Polat B., Çalışkan C., Tufan Çetin Ö., Çetin H. 2023. Toros Sediri (*Cedrus libani*) Katranının Kahverengi Köpek Kenesi (*Rhipicephalus sanguineus sensu lato*) Erginleri Üzerindeki Toksik Etkisi. 23. Ulusal Parazitoloji Kongresi. (Özet Bildiri/Poster).

Öz E., Polat B., Cengiz A., Kahraman Ş., Gültekin Z. N., Çalışkan C., Çetin H. 2022. Alman Hamamböceği (*Blattella Germanica* L.) İle Mücadelede Böcek Gelişim Düzenleyicilerinden Diflubenzuron'un Kullanım olanakları. V. Ulusal Vektör Mücadelesi Sempozyumu. (Özet Bildiri/Sözlü Bildiri).