T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

TURUNÇGİLLERDEN ELDE EDİLEN BAZI UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN TURUNÇGİL UNLUBİTİ *PLANOCOCCUS CİTRİ* RİSSO (HEMİPTERA: PSEUDOCOCCİDAE)'NİN DOĞAL DÜŞMANLARI *CRYPTOLAEMUS MONTROUZİERİ* MULSANT (COLEOPTERA: COCCİNELLİDAE) VE *LEPTOMASTİX DACTYLOPİİ* HOWARD (HYMENOPTERA: ENCYRTİDAE) ÜZERİNE CEZBEDİCİ ETKİLERİ

Hazırlayan
Saif M.Taki Essa KHATTAWI

Danışman
Prof. Dr. Murat MUŞTU

Doktora Tezi

Şubat 2026
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

TURUNÇGİLLERDEN ELDE EDİLEN BAZI UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN TURUNÇGİL UNLUBİTİ *PLANOCOCCUS CİTRİ* RİSSO (HEMİPTERA: PSEUDOCOCCİDAE)'NİN DOĞAL DÜŞMANLARI *CRYPTOLAEMUS MONTROUZİERİ* MULSANT (COLEOPTERA: COCCİNELLİDAE) VE *LEPTOMASTİX DACTYLOPİİ* HOWARD (HYMENOPTERA: ENCYRTİDAE) ÜZERİNE CEZBEDİCİ ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Saif M.Taki Essa KHATTAWI

Danışman
Prof. Dr. Murat MUŞTU

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2022-12386 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Şubat 2026
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Saif M.Taki Essa KHATTAWI

İmza

"Turunçgillerden elde edilen bazı uçucu organik bileşiklerin turunçgil unlubiti *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae)'nin doğal düşmanları *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) ve *Leptomastix dactylopii* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae) üzerine cezbedici etkileri" adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Saif M.Taki Essa KHATTAWI	Prof. Dr. Murat MUŞTU
İmza	İmza

Bitki Koruma ABD Başkanı

Prof. Dr. H. Handan ALTINOK

İmza

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan,

Doktora eğitimim boyunca hoşgörü ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen kocaman yürekli danışmanım ve bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi ve tecrübesi ile her türlü yardımcı olan değerli danışmanım Prof. Dr. Murat MUŞTU'ya,

Tez izleme komitesinde jüri olarak katkı sağlayan Prof. Dr. Ramazan CANHİLAL ve Prof. Dr. Aydın Şüzü TUNÇBİLEK'e,

Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'nın FDK-2022-12386 kodlu proje ile tezimi maddi açıdan desteklemesine,

Beni doktora öğrencisi olarak gönderen ve bu çalışmada maddi olarak destekleyen Bağdat Üniversitesi (Baghdad University)'ne,

Hayatım boyunca beni destekleyen ve dualarını eksik etmeyen annem ve babama,

Yol arkadaşım ve benimle zor yola çıkan güzel eşime

Manevi destekleri ile her an yanımda olan kızlarıma,

Çalışmada bana yol gösteren sayın Dr. Khalid Omairy Mohammed'e

Hayatımda olduğunuz ve beni desteklediğiniz için sonsuz teşekkürler....

Saif M.Taki Essa KHATTAWI

Şubat 2026, KAYSERİ

TURUNÇGİLLERDEN ELDE EDİLEN BAZI UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN TURUNÇGİL UNLUBİTİ *PLANOCOCCUS CİTRİ* RİSSO (HEMİPTERA: PSEUDOCOCCİDAE)'NİN DOĞAL DÜŞMANLARI *CRYPTOLAEMUS MONTROUZİERİ* MULSANT (COLEOPTERA: COCCİNELLİDAE) VE *LEPTOMASTİX DACTYLOPİİ* HOWARD (HYMENOPTERA: ENCYRTİDAE) ÜZERİNE CEZBEDİCİ ETKİLERİ

Saif M.Taki Essa KHATTAWI

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Şubat 2026
Danışman: Prof. Dr. Murat MUŞTU

ÖZET

Bu çalışmada *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae) ile bulaşık ve bulaşık olmayan turunçgil (portakal, mandalina, greyfurt ve limon) fidanlarında bulunan uçucu bileşikler araştırılmıştır. Ayrıca, avcı *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) ve parazitoit *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encrytidae)'nin *P. citri* ile bulaşık ve bulaşık olmayan turunçgil fidanlarına ve bazı uçucu bileşiklere olan davranissal tepkileri incelenmiştir. Yüksek miktarda değişiklik gösteren bileşikler olarak (z)-3-hexenyl acetate, p-cymene, limonene, gamma-terpinene ve linalyl acetate seçilmiş ve bu bileşiklerin avcı ve parazitoite olan cezbedici etkisi ilk olarak bir Y-olfaktometre kullanılarak laboratuvarda, daha sonra da sarı yapışkan tuzak ile uçucu bileşikler kombine edilerek bir mandalina bahçesinde, sarı yapışkan tuzak ile linalyl acetate kombine edilerek bir limon bahçesinde test edilmiştir. Olfaktometre testlerinde (z)-3-hexenyl acetate, limonene, gamma-terpinene ve linalyl acetate'ın avcı ve parazitoit için cezbedici olduğu belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında, p-cymene hariç diğer tüm uçucu bileşikler içeren tuzaklarda, sadece parafin yağı içeren tuzaklara göre yakalanan avcı ve parazitoitin sayısı artmıştır. Sonuçlarımız, (z)-3-hexenyl acetate, limonene, gamma-terpinene ve linalyl acetate'ın hem avcıyı hem de parazitoiti çekmede rol oynayabileceğini ve biyolojik mücadele çalışmalarında bu doğal düşmanlarla kombine edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Cryptolaemus montrouzieri*, *Leptomastix dactylopii*, *Planococcus citri*, Uçucu Organik Bileşikler, Y-olfaktometre

ATTRACTANT EFFECTS OF SOME VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS FROM CITRUS TREES ON *CRYPTOLAEMUS MONTROUZIERI* MULSANT (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) AND *LEPTOMASTIX DACTYLOPII* HOWARD (HYMENOPTERA: ENCYRTIDAE), NATURAL ENEMIES OF CITRUS MEALYBUG *PLANOCOCCUS CITRI* RISSO (HEMIPTERA: PSEUDOCOCOCCIDAE)

Saif M.Taki Essa KHATTAWI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
PhD Thesis, February 2026
Supervisor: Prof. Dr. Murat MUŞTU

ABSTRACT

In this study, the volatile compounds found in citrus (orange, mandarin and grapefruit) saplings infested and uninfested with *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae) were studied. In addition, the olfactory attractiveness of the predator *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) and the parasitoid *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encrytidae) to *P. citri* infested and uninfested citrus saplings and some volatile compounds were studied. (z)-3-Hexenyl acetate, p-cymene, limonene, gamma-terpinene and linalyl acetate were selected as highly variable compounds and their attractiveness to predators and parasitoids was tested first in the laboratory using a Y-olfactometer. The yellow sticky trap in combination with volatile compounds was tested in a mandarin orchard and the yellow sticky trap in combination with linalyl acetate was tested in a lemon orchard. Olfactometer tests showed that (z)-3-hexenyl acetate, limonene, gamma-terpinene, and linalyl acetate were attractive to predators and parasitoids. In field studies, the number of predators and parasitoids increased in traps containing all volatile compounds except p-cymene compared to traps containing only paraffin oil. Our results suggest that (z)-3-hexenyl acetate, limonene, gamma-terpinene, and linalyl acetate may play a role in attracting both predators and parasitoids and can be combined with these natural enemies in biological control studies.

Keywords: *Cryptolaemus montrouzieri*, *Leptomastix dactylopii*, *Planococcus citri*, Volatile Organic Compounds, Y-olfaktometer

İÇİNDEKİLER

TURUNÇGİLLERDEN ELDE EDİLEN BAZI UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN TURUNÇGİL UNLUBİTİ *PLANOCOCCUS CİTRİ* RİSSO (HEMİPTERA: PSEUDOCOCCİDAE)'NİN DOĞAL DÜŞMANLARI *CRYPTOLAEMUS MONTROUZİERİ* MULSANT (COLEOPTERA: COCCİNELLİDAE) VE *LEPTOMASTİX DACTYLOPİİ* HOWARD (HYMENOPTERA: ENCYRTİDAE) ÜZERİNE CEZBEDİCİ ETKİLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK iii

KABUL VE ONAY iv

TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

KISALTMALAR xii

TABLOLAR LİSTESİ xiii

ŞEKİLLER LİSTESİ xv

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler 6

1.1.1. Problem Durumu 6

1.1.2. Araştırmanın Amacı 6

1.1.3. Araştırmanın Önemi 7

1.1.4. Turunçgiller Önemi 7

1.1.5. Turunçgil ve Uçucu Organik Bileşikleri 8

1.1.5.1. Turunçgildeki Uçucu Bileşiklerin Ayırılması Teknikleri 8
1.1.5.2. Turunçgil Uçucu Bileşiklerinin Analizinde Kullanılan Teknikler 10
1.1.6. Turunçgil Bahçelerinde *Cryptolaemus Montrouzieri* ve *Leptomastix Dactylopii*'nin Kullanımı 12
1.1.7. Uçucu Organik Bileşikler (VOCs) 12
1.1.8. Bitkilerden Salınan Uçucu Bileşikler 13
1.1.9. Turunçgillerin Tarafından Salınan Uçucular 14
1.1.10. Herbivore Kaynaklı Bitki Uçucu Maddeleri 15
1.1.11. Sentetik Herbivore Kaynaklı Bitki Uçucularının Doğal Düşmanları Çekmesi 15
1.1.12. Uçucu Bileşikleri İzolasyon Teknikleri 16
1.1.12.1. Katı Fazlı Mikro Ekstraksiyon (SPME) 16
1.1.12.2. Uçucu Karışımların Tanımlanması 19
1.1.12.2.1. Gaz Beslemesi 21
1.1.12.2.2. Enjektör 21
1.1.12.2.3. Kolon 21
1.1.12.2.4. Gaz Kromatografisinde Algılama 23
1.1.12.2.5. Çalışmada Kullanılan Kütle Spektroskopisi (MS) 24
1.1.13. Olfaktometre Cihazları 26
1.2. Literatür Çalışması 28

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Materyal 50
2.1.1. Turunçgil Fidanlarının Temin Edilmesi 50
2.1.2. *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae) 51
2.1.3. Doğal Düşmanların Üretimi 51

2.1.4. HS-SPME ve GC-MS 53
2.1.5. Uçucu bileşikler (VOC) 53
2.1.6. Y-Olfaktometre 54
2.2. Yöntem 54
2.2.1. Uçucu Organik Bileşik (VOC) Elde Edilmesi 54
2.2.2. Olfaktometre Testi 55
2.2.3. Arazi Denemesi 56
2.2.3.1. Mandalina Bahçesi 56
2.2.3.2. Limon Bahçesi 58
2.2.4. İstatistiksel Analizler 59

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Uçucu Organik Bileşikler (VOC) Sonuçları 60
3.1.1. Portakal Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi 60
3.1.2. Mandalina Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi 62
3.1.3. Greyfurt Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi 65
3.1.4. Limon Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi 67
3.2. Olfaktometre Sonuçları 69
3.2.1. Olfaktometre Bitki Testleri 69
3.2.1.1. Portakal Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları 69
3.2.1.2. Mandalina Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları 71
3.2.1.3. Greyfurt Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları 73
3.2.1.4. Limon Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları 75
3.2.2. Olfaktometre VOC Testleri 77
3.2.2.1. *Leptomastix Dactylopii* Dişisinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi 77

3.2.2.2. *Leptomastix Dactylopii* Erkeğinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi 79
3.2.2.3. *Cryptolaemus Montrouzieri* Dişisinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi 81
3.2.2.4. Cryptolaemus Montrouzieri Erkeğinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi 83
3.3. Arazi Denemeleri 85
3.3.1. Mandalina Bahçesinin Sonuçları 85
3.3.1.1. Leptomastix Dactylopii Sonuçları 85
3.3.1.2. *Cryptolaemus Montrouzieri* Sonuçları 86
3.3.2. Limon Bahçesinin Sonuçları 87

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma 91
4.2. Sonuç ve Öneriler 94
KAYNAKÇA 96
EKLER 125
EK 1. Portakal Fidanları 125
EK 2. Limon Fidanları 127
EK 3. Mandalina Fidanları 129
EK 4. Greyfurt Fidanları 131
EK 5. Portakal Fidanları ile (*Planococcus citri*) 133
EK 6. Limon Fidanları ile (*Planococcus citri*) 135
EK 7. Mandalina Fidanları ile (*Planococcus citri*) 137
EK 8. Greyfurt Fidanları ile (*Planococcus citri*) 139
ÖZGEÇMİŞ 141

KISALTMALAR

%	: Yüzde
♂	: Erkek
♀	: Dişi
ANOVA	: Varyans analizi
^{o}C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
EO	: Uçucu Yağları (Essential oils)
GC-MS	: Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi
HIPV	: Herbivore kaynaklı bitki uçucularının (Herbivore-Induced Plant Volatiles)
ml	: Mililitre
µl	: Mikrolitre
µm	: Mikrometre
NIST	: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
PCA	: Temel Bileşen Analizleri
sn	: Saniye
SPME	: Katı fazlı mikro ekstraksiyon
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Türkiye'de 2023'te ürünlere göre turunçgil üretim miktarı (Ton) 1
Tablo 2. Portakal, mandalina, greyfurt ve limon bitkilerinde tanımlanan yaygın uçucu bileşikler 14
Tablo 3. Ticari olarak temin edilebilen yaygın SPME fiberlerinin özeti. 17
Tablo 4. Duvar kaplı kılcal, destek kaplı açık borulu ve dolgulu kolonların karşılaştırılması. 22
Tablo 5. Yaygın GC dedektörleri. 24
Tablo 6. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş portakal fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı 61
Tablo 7. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş mandalina fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı 63
Tablo 8. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş greyfurt fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı 66
Tablo 9. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş limon fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı 68
Tablo 10. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli portakal bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 71
Tablo 11. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli mandalina bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 72
Tablo 12. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli greyfurt bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 74
Tablo 13. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli limon bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 76
Tablo 14. *Leptomastix dactylopii* dişisinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 78

Tablo 15. *Leptomastix dactylopii* erkeğinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 80
Tablo 16. *Cryptolaemus montrouzieri* dişisinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 82
Tablo 17. *Cryptolaemus montrouzieri* erkeğinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri 84
Tablo 18. Mandalina bahçesinde yakalanan *Leptomastix dactylopii* sayısı 86
Tablo 19. Mandalina bahçesinde yakalanan *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı 87
Tablo 20. Limon bahçesinde yakalanan *Leptomastix dactylopii* sayısı 88
Tablo 21. Limon bahçesinde yakalanan *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı 90

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Denemede kullanılan turunçgil çeşitleri 50
Şekil 2. Denemede kullanılan SPME (a) ve GC-MS (b) cihazlari 53
Şekil 3. Denemede kullanılan maddeler 53
Şekil 4. (a) VOC'lerin dengelenmesi. (b) SPME'nin fiberi ile VOC'leri toplanması. (c) GC-MS enjeksiyon portu sistemine SPME'nin fiberi yerleştirilmesi 55
Şekil 5. Adana'da mandalina bahçesi 57
Şekil 6. Adana'da limon bahçesi 58
Şekil 7. Portakal fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6) 62
Şekil 8. Mandalina fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6) 64
Şekil 9. Greyfurt fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6) 66
Şekil 10. Limon fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6) 69
Şekil 11. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş portakal fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği 70
Şekil 12. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş mandalina fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği 72
Şekil 13. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş greyfurt fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği 74
Şekil 14. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş limon fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği 76

Şekil 15. *Leptomastix dactylopii* dişisinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi 78
Şekil 16. *Leptomastix dactylopii* erkeğinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi 80
Şekil 17. *Cryptolaemus montrouzieri* dişisinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi 82
Şekil 18. *Cryptolaemus montrouzieri* erkeğinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi 84
Şekil 19. Mandalina bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Leptomastix dactylopii* sayısı 85
Şekil 20. Mandalina bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı 87
Şekil 21. Limon bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Leptomastix dactylopii* sayısı 88
Şekil 22. Limon bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı 89

GİRİŞ

Turunçgil (*Citrus* spp., Rutaceae) türleri, dünya genelinde tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen ekonomik değeri yüksek meyve ağaçlarıdır. Türkiye başta olmak üzere birçok ülkede turunçgil üretimi, kırsal kalkınma, istihdam ve ihracat açısından önemli bir yere sahiptir (Öztemiz, 2010). Türkiye tarımında hem ihracat gelirleri açısından hem de iç tüketimdeki yaygınlığı nedeniyle stratejik öneme sahip bir tarım grubunu oluşturmaktadır. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde, özellikle Mersin, Adana, Hatay ve Antalya illerinde yoğun olarak yetiştirilen turunçgiller; portakal, mandalina, limon ve greyfurt gibi çeşitleriyle hem yurtiçi tüketimi karşılamakta hem de ihracata yönelik önemli katkılar sunmaktadır.

2022 yılı verilerine göre, Türkiye yaklaşık 1.1 milyar dolar değerinde turunçgil ihracatı gerçekleştirmiş ve bu alanda dünya sıralamasında üst sıralarda yer almıştır (TÜİK, 2023). Turunçgil ürünleri, taze meyve olarak tüketilmenin yanı sıra, meyve suyu, reçel ve marmelat gibi işlenmiş gıda sektörleri için de hammaddedir. Ayrıca üretimden paketlemeye kadar olan süreçte kırsal bölgelerde istihdama da önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Aksoy ve Özçelik, 2021). 2024 yılında en fazla üretilen turunçgil ürünleri sırasıyla mandalina, limon, portakal ve greyfurt olmuştur (TÜİK, 2025).

Tablo 1. Türkiye'de 2023'te ürünlere göre turunçgil üretim miktarı (Ton) (TÜİK, 2024)

Ürün	**Üretim 2023**
Portakal	2.311.335
Mandalina	2.952.775
Limon	2.325.726
Greyfurt	284.565
Toplam	7.874.401

Ancak bu ürünler elde edilirken çeşitli hastalık, zararlılar ve yabancı otlar verim ve kaliteyi etkileyerek ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Turunçgil üretiminde verim

ve kaliteyi tehdit eden en önemli unsurlardan biri, zararlı organizmaların oluşturduğu baskıdır. Ayrıca, turunçgillerde çok sayıda kayba neden olan çok sayıda zararlı bulunmakta olup, bu zararlıların en önemlilerinden birisi de turunçgil unlubiti *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae)'dir (Uygun vd., 2010).

Planococcus citri, turunçgil ağaçlarının yaprak, sürgün ve meyvelerinde koloniler oluşturarak bitkinin özsuyunu emer ve ballımsı madde meydana getirir. Bu salgı, fumajin gelişimini teşvik ederek fotosentez yüzeyini azaltır ve ürün pazar değerini düşürür (Franco vd., 2004). Ayrıca, çeşitli virüs ve fungal hastalıkların yayılmasına zemin hazırlayarak ikincil zararlar oluşturabilir (Walton ve Pringle, 2004).

Planococcus citri'nin ergin dişilerinin vücudu uzun ve oval olup, vücut yüzeyi un gibi ince beyaz mumsu tozlarla kaplıdır. Yaklaşık 3,5 mm uzunluğunda ve 1,8 mm genişliğindedir. Erkekler kanatlı, sarımsı veya koyu kırmızımsı renktedir. Vücut uzunlukları yaklaşık 1 mm'dir. Kanatları şeffaf ve gövdesinden daha uzundur. Abdomenin sonunda filament adı verilen uzun beyaz bir çift uzantı bulunur (Uygun, 2001, Uygun vd., 2010, Anonim, 2011).

Kışı çoğunlukla yumurta veya ergin dönemlerde, gövde, yarık ve çatlaklarında veya kabuk altlarında, bazen de toprak altında, otların kök boğazlarında geçirirler. Orantılı nemi yüksek, gölgeli ve sıcak yerler gelişmesi için en uygun alanlardır. Sıcaklığın 26±1°C ve orantılı nemin %60-65 olduğu durumlarda ayda bir döl verirler. Akdeniz Bölgesi turunçgil alanlarında 4-5 döl vermektedirler (Birişik vd., 2012).

Turunçgil zararlılarından biri olan *P. citri,* ilkbaharda (Nisan sonu-Mayıs ortası) öncelikle ağaçların gövde ve ana dallarında görülmeye başlar. Mevsim ilerledikçe ağacın üst kısımlarına doğru yayılım göstererek meyve çanak yapraklarının altına, yaprakların birbirine değdiği bölgelere ve bitişik meyvelerin temas noktalarına yerleşir. Özellikle göbekli portakal çeşitlerinde, göbek kısmına girerek burada yoğun emgi faaliyeti gerçekleştirir. Bu beslenme faaliyeti sonucunda meyve kalitesi düşer, sap dipleri zayıflar ve bu durum erken meyve dökülmelerine yol açar (Birişik vd., 2012).

Zararın ekonomik eşiği, genellikle ilk popülasyonun tespit edildiği dönemde belirlenir. Gözlem ve sayımlara göre meyve başına ortalama 1-2 bireyin üzerindeki yoğunluk, kimyasal veya biyolojik mücadele kararının verilmesi için kritik eşik olarak kabul edilir.

Ancak bu eşik, bölgesel koşullara ve çeşide göre değişkenlik gösterebilir (Birişik vd., 2012).

Turunçgil unlubitine karşı mücadelede uzun yıllar kimyasal insektisitler kullanılmıştır. Ancak bu yaklaşım; insektisit direnci gelişimi, hedef dışı faydalı organizmaların zarar görmesi, çevresel kalıntı sorunu ve insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri nedeniyle eleştirilmektedir (van Lenteren vd., 2018). Bu nedenlerle son yıllarda entegre zararlı yönetimi (IPM) çerçevesinde biyolojik mücadeleye olan ilgi artmıştır.

Entegre mücadele kapsamında, zararlının doğal düşmanları olan predatör (*Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, Coleoptera: Coccinellidae) ve parazitoit (*Leptomastix dactylopii* Howard, Hymenoptera: Encyrtidae) türlerinin korunması ve gerektiğinde salımı, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir kontrol yöntemi sunar. Kültürel önlemler olarak, budama ve yoğun sürgünlerin temizlenmesi ile popülasyonun barınma alanları azaltılabilir. Ayrıca, feromon tuzaklarının izleme amacıyla kullanılması ve biyoteknik mücadele uygulamaları entegre mücadele stratejilerine dâhil edilebilir. Kimyasal mücadele ise ancak doğal düşmanların yetersiz kaldığı ve zararlı yoğunluğunun ekonomik eşiği aştığı durumlarda, seçici insektisitler tercih edilerek uygulanmalıdır (Birişik vd., 2012).

C. montrouzieri ve *L. dactylopii*, *P. citri*'ye karşı etkili biyolojik mücadele ajanlarıdır. *C. montrouzieri* hem larva hem de ergin evresinde unlubitleri tüketirken, *L. dactylopii*, unlubitin nimf ve dişilerine yumurtlayarak iç parazitoit olarak gelişimini tamamlar (Chong ve Oetting, 2007; Chong vd., 2015). Bu türlerin başarılı bir şekilde doğaya salınması, unlubit popülasyonlarının baskılanmasında etkili olmaktadır. Ancak, doğaya salınan bu doğal düşmanların zararlıyı etkili bir şekilde bulabilmeleri, çevredeki kimyasal sinyallere ve cezbedici uçuculara duyarlılıklarına bağlıdır.

Coccinellidae familyası, içerisinde çok sayıda avcı tür barındırması nedeniyle Coleoptera takımı içerisinde öne çıkan gruplardan biridir. Ayrıca biyolojik mücadele çalışmalarında en yaygın şekilde kullanılan türleri içermesi, bu familyanın entomolojik ve tarımsal açıdan önemini artırmaktadır. Dünya genelinde yaklaşık 5.200 coccinellid türünün tanımlandığı bildirilmiştir (Khan vd., 2007).

Coccinellidae familyasına ait önemli biyolojik mücadele etmenlerinden biri olan *C. montrouzieri*, özellikle *P. citri* gibi unlubit türlerine karşı etkili bir avcı olarak bilinmektedir. Ergin bireyleri yaklaşık 4-5 mm uzunluğunda ve 3-4 mm genişliğindedir. Baş, karın ve elytranın uç kısımları kırmızımsı kahverengi tonlarında olup, vücudun geri kalan bölümleri parlak siyah renktedir. Tüm vücut küçük sarımsı tüylerle kaplıdır ve bu karakteristik morfoloji, türün tanımlanmasında ayırt edici bir özelliktir (Birişik vd., 2012).

Planococcus citri üzerinde etkili ve en önemli parazitoit türlerden biri olan *L. dactylopii*, sarımsı bal rengindeki 1-2 mm uzunluğundaki ergin bireyleriyle tanımlanır. Genellikle zıplayarak hareket eden bu parazitoitin erkek bireyleri, dişilere kıyasla daha küçük yapıdadır ve tatlı maddelerle beslenirler. Dişi birey, yaşamı boyunca yaklaşık 250-300 yumurta bırakabilme kapasitesine sahiptir. Parazitlenmiş unlubit bireyleri, 15-20 gün içerisinde şişerek karakteristik fıçı şeklinde bir pupa formuna dönüşür. *L. dactylopii* dişileri, *P. citri*'nin tüm larva evrelerine yumurta bırakabilmekle birlikte, en çok üçüncü nimf evresini ve ergin bireyleri tercih etmektedir (Birişik vd., 2012).

Uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds - VOCs), bitkiler veya bitki-zararlı etkileşimi sonucu salınan ve hava yoluyla yayılarak uzak mesafedeki organizmaları etkileyebilen kimyasal maddelerdir (Turlings ve Erb, 2018). Bitkilerin herbivorlara karşı pasif bir savunma aracı olarak saldığı bu bileşikler, predatör ve parazitoitleri bitkiye yönlendirerek dolaylı savunma işlevi görür (Dicke ve Baldwin, 2010). Yapılan birçok çalışma, VOC'lerin doğal düşmanların yönelim davranışlarında önemli rol oynadığını göstermektedir (Dicke ve Baldwin, 2010; Kaplan, 2012).

Turunçgil türlerinden elde edilen bazı VOC'lerin, biyolojik mücadelede kullanılabilecek doğal düşmanları cezbetme potansiyeli henüz yeterince araştırılmamıştır. Özellikle *P. citri* ile mücadelede kullanılan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* gibi türlerin bu bileşiklere olan duyarlılıklarının belirlenmesi, biyolojik mücadelenin başarısını önemli ölçüde artırabilir. Örneğin, linalool, limonen, geranial gibi turunçgil uçucularının bazı doğal düşman türlerini cezbettiği önceki çalışmalarla ortaya konmuştur (Ngumbi vd., 2009; Takemoto ve Takabayashi, 2015). Ancak, bu etkilerin unlubit özelinde çalışan türler üzerindeki karşılığı, daha fazla deneysel çalışma ile desteklenmelidir.

Bu tez çalışmasında, turunçgillerden elde edilen bazı uçucu organik bileşiklerin *P. citri*'nin doğal düşmanları olan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* üzerindeki cezbedici etkileri laboratuvar ve doğal koşullarda araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu uçucuların biyolojik mücadele stratejilerine entegrasyonu açısından önemli ipuçları sunmuş ve çevre dostu zararlı kontrol yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışma doğal düşmanların çevresel ipuçlarını algılamadaki davranışsal dinamiklerine dair yeni bilgiler sağlayarak, biyolojik mücadele uygulamalarına bilimsel altyapı oluşturabilir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Problem Durumu

Turunçgil üretiminde ciddi ekonomik kayıplara yol açan *Planococcus citri*'nin mücadelesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. İlk sırada kimyasal mücadeleye olmak üzere ve bilindiği gibi bu mücadelenin zararını gidermek için biyolojik mücadeleyi tercih edilmelidir. Bu kapsamda, biyolojik mücadelede en yaygın kullanılan iki doğal düşman olan *Cryptolaemus montrouzieri* (avcı) ve *Leptomastix dactylopii* (parazitoit) bireylerinin hedef zararlıya yönlendirilmesi yoluyla, zararlının popülasyonunun daha etkili biçimde baskılanması ve ekonomik zarar eşiğinin altında tutulması hedeflenmektedir. Bu çalışma, doğal düşmanların etkinliğini artırmayı amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda başarı elde edilmesi durumunda, doğal düşmanların salım sıklığı ya da birey sayısı azaltılarak biyolojik mücadele maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olacak ve aynı zamanda kimyasal mücadeleye duyulan ihtiyaç da önemli ölçüde azalacaktır. Bu yönüyle çalışma, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından katkı sunmayı amaçlamaktadır.

1.1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, temiz turunçgil bitkileri ile *Planococcus citri* ile bulaşık bitkilerden salınan uçucu organik bileşiklerin (VOC'ler) belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, laboratuvar koşullarında, bu temiz ve bulaşık bitkilerden elde edilen bazı VOC'lerin, zararlılar ile onların doğal düşmanlarını konukçu bitkiye çekmedeki rolleri değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, bulaşık bitkilerden salınan bazı uçucu bileşiklerin doğal düşmanları cezbetme potansiyeli arazi koşullarında da test edilmiştir. Tüm bu

değerlendirmeler doğrultusunda, *P. citri*'nin biyolojik mücadelesinde yaygın olarak kullanılan ve salımı gerçekleştirilen başlıca doğal düşmanlar olan *Cryptolaemus montrouzieri* ve *Leptomastix dactylopii*'nin etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir.

1.1.3. Araştırmanın Önemi

Bu çalışma kapsamında, turunçgil bahçelerinde ekonomik öneme sahip ana zararlılardan biri olan *Planococcus citri*'ye karşı etkili biyolojik mücadele etmenleri olan avcı *Cryptolaemus montrouzieri* ve parazitoit *Leptomastix dactylopii* üzerine denemeler gerçekleştirilmiştir. Dünya genelinde *P. citri*'ye yönelik birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, yapılan literatür taramasında, turunçgil unlubiti üzerinde beslenen *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii*'nin uçucu organik bileşiklerle (volatile organic compounds, VOCs) ilişkili davranışlarına dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, mevcut bilgi birikimine önemli bir katkı sunmakta ve bu alandaki literatürdeki boşluğu doldurma potansiyeline sahiptir.

1.1.4. Turunçgiller Önemi

Turunçgiller, içerdikleri değerli doğal kimyasallar, karbonhidratlar, lif, mineral elementler, C vitamini, B vitamini, potasyum, fosfor ve diğer elementler de dahil olmak üzere, insan vücudu için gerekli olan vitaminler gibi farklı besin maddelerinin mükemmel bir kaynağıdır. Turunçgiller, hem glisemik hem de glisemik olmayan karbonhidratlar (şeker ve lif) gibi diğer temel besin maddelerinin geniş bir listesini içerir. A ve E vitaminleri, B vitaminleri (tiamin, riboflavin ve niasin), mineraller ve flavonoidler, C vitamini, fenolik bileşikler ve karotenoidler gibi antioksidanlar, turunçgillerde bulunan birçok besin maddesidir. Ayrıca bağışıklık sistemi, kardiyovasküler ve sindirim sistemleri üzerinde olumlu bir uyarıcı etkiye sahip olan diyet lifi içerirler (Rafiq vd., 2018). Turunçgil meyveleri, %80 etanol ekstraksiyonuna dayalı olarak, çözünen ve çözünmeyen bileşenler içerenler olarak ikiye ayrılabilir (Sinclair ve Jolliffe, 1960). Çözünen kısım büyük ölçüde mono ve disakkaritler, uçucu olmayan organik asitler, amino asitler ve diğer küçük bileşenleri içerirken, çözünmeyen kısım esas olarak hücre yapısı polisakkaritlerinden oluşur ve bunlar turunçgil karbonhidratlarının doğasını ve profilini belirler (Sinclair ve Jolliffe, 1960). Genel olarak 2:1:1 oranında olan sakaroz, glukoz ve fruktoz, turunçgil meyvesi

karbonhidratlarının ana bileşenlerini temsil eder ve meyve suyunun tatlılığının anahtarını elinde tutar (McCready vd., 1950; Ting ve Attaway, 1971).

1.1.5. Turunçgil ve Uçucu Organik Bileşikleri

Turunçgil esansiyel yağları, doğal meyveli parfümlerin elde edilmesinde ve gıda, ilaç ve kozmetik ürünlerinde aroma verici olarak yaygın olarak kullanılır (Tranchida vd., 2012; Palazzolo vd., 2013; Md Othman vd., 2016). Turunçgil esansiyel yağları esas olarak meyve kabuğundan (flavedo) elde edilsede çiçekleri veya yapraklarından da elde edilebilmektedir. Uçucu ve yarı uçucu bileşikler, 200'den fazla bileşikle temsil edilen tüm yağ fraksiyonunun %85-99'unu oluşturur (Dugo ve Mondello, 2010; Tranchida vd., 2012; Sarrou vd., 2013). Hidrokarbon ve türevi mono ve seskiterpenler en sık bildirilen bileşikler olup, bunu alifatik ve olefinik C6–C12 terpen olmayan aldehitler, alkoller, ketonlar, esterler ve asitler ile birlikte birkaç aromatik bileşik izler (Verdeguer vd., 2020). Uçucu olmayan kalıntı ise esas olarak flavonoidler, kumarinler, diterpenoidler, steroller ve yağ asitlerinden oluşmaktadır (Fernández-Cabal vd., 2025).

Citrus spp. türlerinde uçucu ve yarı uçucu bileşenlerin bileşimi ile ilgili çalışmaların çoğu, kabuk uçucu yağlarından elde edilen verileri göstermektedir (Dugo ve Mondello, 2010). Ayrıca, neroli (*Citrus* çiçeklerinin uçucu yağı) (Sarrou vd., 2013; Družić vd., 2016) ve petitgrain (*Citrus* yaprakları ve küçük dallarının uçucu yağı) (Boussaada vd., 2007; Tomi vd., 2008; Singh vd., 2010; Guerrini vd., 2014; Družić vd., 2016; Paoli vd., 2016) veya *Citrus* çiçeklerinden elde edilen özlerden (Flamini ve Cioni, 2010; Cheong vd., 2011) ve yapraklarından (Gancel vd., 2002, 2003, 2005) elde edilebilir.

1.1.5.1. Turunçgildeki Uçucu Bileşiklerin Ayırılması Teknikleri

Turunçgil bitki materyalinden (kabuk, çiçekler ve yapraklar) uçucu yağların (essential oils EO) ekstraksiyonu, esas olarak Clevenger cihazı ile hidrodistilasyon (Vekiari vd., 2004; Boussaada ve Chemli, 2006). Boussaada vd., 2007; Darjazi, 2011; Sarrou vd., 2013; Fancello vd., 2016; Son zamanlarda, termal reaksiyonları önleyen ve bazı monoterpen bileşiklerinin oksidasyonunu azaltan ikinci bir kondansatöre sahip geliştirilmiş bir Clevenger tipi cihaz tanımlanmıştır (Chen vd., 2014). Ayrıca, turunçgil kabuğundan elde edilen uçucu yağları soğuk basınç ekstraksiyonu ile de gerçekleştirilebilirken, bu teknik turunçgil çiçekleri ve yaprakları için uygulanmamalıdır

(Dugo vd., 2005; Tranchida vd., 2012; Sun vd., 2014b). Özellikle Portakal *C. bergamia* kabuklarından soğuk basınç veya çözücü ekstraksiyonu ile elde edilen yağ, bergapten tipi fototoksik furokumarinler içerir ve bu yağ ne ilaç ne de kozmetik endüstrisinde kullanılamaz (Poiana vd., 2003; Costa vd., 2010). Daha sonra Belsito vd. (2007), yüksek kaliteli bir *C. bergamia* uçucu yağı elde etmek için vakumlu damıtma yöntemini geliştirmiş, bu nedenle ticari kullanıma uygun olduğunu belirtmiştir.

Diğer turunçgil kabuğu kompozisyonu çalışmalarında farklı özütler elde etmek için pentan (Miyazawa vd., 2010), pentan: eter (1:1) (Chisholm vd., 2003a,b), hekzan (Miyazato vd., 2012, 2013), diklorometan (Cannon vd., 2015) veya etil asetat (Jiang vd., 2011) gibi organik çözücüler kullanılmıştır. Ayrıca organik sistem çözücüsü n-pentan: dietil eter (1:2) turunçgil çiçeğinden uçucu organik bileşikleri (VOC) elde etmek için kullanılmıştır (Alissandrakis vd., 2003). Ancak, bu özütler Avrupa Farmakope Komisyonu (European Pharmacopoeia Commission)'na göre gerçek uçucu organik bileşikler değildir (Spadaro vd., 2012). Uçucu yağı yalnızca damıtma (su buharı damıtımı veya Clevenger hidrodistilasyon) veya soğuk basınç ile elde edilmelidir. Karışıklığı önlemek için, turunçgil kabuğundan elde edilen organik bir özüte uçucu yağı adı verilmemeli (Alissandrakis vd., 2003; Chisholm vd., 2003b), ancak basitçe yağ olarak adlandırılabilir (Craske vd., 2005; Fischer vd., 2008). Aslında, orta polariteli çözücüler (dietil eter, diklorometan veya etil asetat) heksadekanal (Cannon vd., 2015), skualen (Jiang vd., 2011), linoleik asit (Cheong vd., 2011, 2012; Jiang vd., 2011), heptadekanoik asit (Jiang vd., 2011) veya neofitadien (Delort vd., 2015) gibi daha polar ve daha yüksek MW (Molecular weight)'li bileşikleri damıtma veya soğuk basınç ekstraksiyonundan daha fazla çıkarır ve pek çok Turunçgil uçucu yağlarının karakteristik özelliği olan monoterpen ve seskiterpen bileşikleri (Jiang vd., 2011). Ayrıca, eş zamanlı damıtma ve ekstraksiyon (SDE) (Sun vd., 2014a), mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE) (Liu vd., 2015) ve ultrasonik destekli ekstraksiyon (UAE) (Sun vd., 2014a; Zhang vd., 2017) gibi organik çözücüler kullanan başka azınlık ekstraksiyon yöntemleri de mevcuttur.

Ayrıca, su veya organik çözücülerin kullanımını içermeyen birkaç başka ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bunların arasında susuz mikrodalga ekstraksiyonu (Ferhat vd., 2007; Uysal vd., 2011) veya süperkritik CO2 sıvı ekstraksiyonu (Dong vd., 2014; Sun vd., 2014a) sayılabilir. Bu teknik, skualen (Benelli vd., 2010) veya linoleik asit (Dong

vd., 2014) gibi daha yüksek MW'li bileşikleri daha verimli bir şekilde ekstrakte eder. Baş boşluk teknikleri, gaz yıkama şişesi ve Porapak-Q sorbent tüpü (Elmaci ve Onogur, 2012) ve en sık HS-SPME kullanılarak baş boşluk ekstraksiyonu gibi uçucu bileşikleri çıkarmak için de sıklıkla kullanılmıştır. HS-SPME, ağırlıklı olarak çiçek ve yaprakların uçucu ve yarı uçucu bileşiklerini çıkarmak için kullanılmıştır (Flamini vd., 2007; Jabalpurwala vd., 2009; Lin vd., 2010; Cheong vd., 2011). Bu teknik kullanılırken, bitki materyali septum kapaklı bir şişeye yerleştirilir. Bir denge süresinden sonra, önceden şartlandırılmış bir SPME lif, oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda birkaç dakika boyunca şişenin baş boşluğuna maruz bırakılır (Yu vd., 2021). Şu anda turunçgillerdeki VOC'leri adsorbe etmeye uygun çeşitli lif türleri bulunmaktadır. 100 µm polydimethylsiloxane (PDMS) kaplı bir lif, *C. unshiu* Marcov'un aromasını taze ve kuru çiçekler (Choi, 2003), *C. limon* çiçek organları ve poleni (Flamini vd., 2007; Flamini ve Cioni, 2010) ve Tayvan turunçgil yaprakları (Lin vd., 2010) analiz etmek için kullanılmıştır. Diğer çalışmalarda, turunçgil çiçeklerinden VOC'leri çıkarmak için 75 µm/85 µm CAR/PDMS kaplı bir lif seçilmiştir (Jabalpurwala vd., 2009; Cheong vd., 2011; Chung, 2012). Ayrıca, turunçgil kabuğu yağı için iki lif daha kullanılmıştır. Birinci lif, *C. clementine* uçucu yağlarını analiz etmek için kullanılan 65 µm DVB/PDMS kaplı bir liftir. Bu analiz için yağ 1:100 oranında diklorometan ile seyreltilmiş ve HS-SPME için septum kapaklı şişeye 990 µL milli-Q su ile 10 µL eklenmiştir (González-Mas vd., 2019). Ayrıca, Choi ve Min (2004) bu lifi Hallabong Turunçgillerinin taze flavedosundaki VOC'leri analiz etmek için kullanmışlardır. Turunçgil yağı ve taze flavedo için kullanılan diğer lif, diğer adlandırılmış liflerden daha polar olan ve genellikle turunçgil sularından uçucu ve yarı uçucu bileşikleri çıkarmak için kullanılan 50 µm/30 µm DVB/CAR/PDMS lif olmuştur (Qiao vd., 2008; Mitropoulou vd., 2017). Bu lif, son zamanlarda turunçgil çiçeklerindeki VOC'leri analiz etmek için de kullanılmıştır (Huang vd., 2017). Turunçgil çiçeği ve yaprak uçucularını analiz etmek için en sık kullanılan SPME lifleri, küçük polar 100 µm PDMS, 75 µm/85 µm CAR/PDMS veya 50 µm/30 µm DVB/CAR/PDMS lifleri gibi görünürken, 65 µm DVB/PDMS lifi daha çok turunçgil esansiyel yağı için kullanılır.

1.1.5.2. Turunçgil Uçucu Bileşiklerinin Analizinde Kullanılan Teknikler

Günümüzde turunçgil türlerinde uçucu ve yarı uçucu bileşiklerin analizinde en yaygın kullanılan teknik kütle spektrometrisine bağlı gaz kromatografisidir (GC-MS). Yağın

kromatografa sokulması için kullanılan temel seçenek organik çözücüde seyreltmenin doğrudan enjeksiyonudur: çoğunlukla pentan (Dongmo vd., 2009; Hosni vd., 2010) veya hekzan (Hamdan vd., 2010; Wang ve Liu, 2014), ancak aynı zamanda diklorometan (Frizzo vd., 2004), dietil eter (Merle vd., 2004) veya hatta aseton (Viuda-Martos vd., 2009). Sun vd. (2014b) *Citrus maxima* uçucu yağını iki adımda seyreltmiş: en bol uçucu maddelerin analizi için etanolde 5.000 kat seyreltme ve daha az miktarda uçucu maddeler için 100 kat seyreltme yapmıştır. Ancak, diğer çalışmalarda yağ seyreltilmemiştir (Akakabe vd., 2010; Cheong vd., 2011; Omori vd., 2011). Uçucu ve yarı uçucu bileşikler organik bir çözücüyle çıkarıldığında, numuneler doğrudan enjeksiyondan önce döner bir buharlaştırıcı kullanılarak yoğunlaştırılır ve N2 akımı altında daha da indirgenir (Hamdan vd., 2010; Miyazato vd., 2012). Ancak, bu konsantrasyon adımları sırasında uçucu bileşiklerin kaybolma eğilimi vardır (Kerry vd., 2002). Uçucu organik bileşikler bir fiber (HS-SPME) ile çıkarıldığında, doğrudan GC-MS sisteminin enjeksiyon portuna aktarılırlar (Flamini vd., 2007; Jabalpurwala vd., 2009).

Turunçgil yapraklarının uçucu bileşimi incelendiğinde, turunçgil kabuğu ve yaprakları birçok terpenoid olmayan alifatik bileşikleri barındırır. Ancak bunların bazıları, örneğin nonyl asetat, decyl asetat, dodecyl asetat veya (E,E)-2,4-decadienal gibi bileşikler turunçgil yapraklarında rapor edilmemiştir (Ahmed vd., 2001). Aynı zamanda, bazı terpenoid olmayan örneğin (E)-2-heksenal (Gancel vd., 2003, 2005) veya (Z)-3-heksen-1-ol (Gancel vd., 2003, 2005) gibi olefinik bileşikler, kabuklara göre turunçgil yapraklarında daha sık rapor edilmektedir. Her ikisi de belirgin çimen yeşili kokusuna sahiptir (Elmaci ve Onogur, 2012). Hatta, örneğin (Z)-2-penten-1-ol (Gancel vd., 2003, 2005) veya (Z)-3-heksenil butanoat (Flamini ve Cioni, 2010) gibi bazı bileşikler sadece yapraklarda bulunmuştur. Son zamanlarda, farklı şekilde birikmiş uçucu maddeler hakkında turunçgil yapraklarına ait bir uçucu yağ analizi geliştirilmiştir (Lamine vd., 2018). Ayrıca farklı kemometrik yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda, türlerin ayırt edilmesinde etkili sekiz temel bileşik (linalil asetat, geranil asetat, neril asetat, β-cis-ocimen, Δ-3-karen, β-mirsen, sabinen ve α-terpineol) belirlenmiş ve tür ayrım gücü artırılmıştır (Lamine vd., 2018).

1.1.6. Turunçgil Bahçelerinde *Cryptolaemus Montrouzieri* ve *Leptomastix Dactylopii*'nin Kullanımı

Kimyasal mücadelenin canlılar ve çevre üzerine olumsuz etkileri nedeniyle, zararlılarla mücadelede doğa ile uyumlu mücadele yöntemlerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Biyolojik mücadele bu bakımdan birçok avantaja sahiptir. Türkiye'de Turunçgil unlubiti ile Biyolojik Mücadele, 1970 yılından beri predatör *C. montrouzieri* ve parazitoit *L. dactylopii* kullanılarak yapılmaktadır. Mücadelede, Nisan ortasından itibaren bahçedeki ağaçların gövde ve ana dalları kontrol edilir. Meyveler fındık boyutuna ulaştığında ağacın 4 farklı tarafından ve içinden 1 olmak üzere 5 meyve üzerinde kontrol yapılır. Kontroller sırasında yumurta ve unlubitin diğer dönemlerinden biri tespit edildiğinde ağaç bulaşık kabul edilir. Ağaç başına verilecek predatör *C. montrouzieri* ve parazitoit *L. dactylopii* bulaşıklı ağaç oranlarına göre hesaplanır. Bununla birlikte, birçok üretici mevcut biyolojik mücadele yöntemini yeterli bulmamakta ve kimyasal mücadeleye yönelmektedir (Birişik vd. 2012).

Biyolojik mücadelede kullanılan doğal düşmanlarda aranan özelliklerinden biri, zararlıyı arayıp bulma yeteneğine yüksek olmasıdır. Bu nedenle, son yıllarda araştırmacılar Bitki-Zararlı-Doğal düşman (tritrofik ilişkiler) arasındaki ilişkileri ortaya koymaya çalışmaktadır.

1.1.7. Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)

Uçucu organik bileşikler (VOC'ler), organik kimyasal bileşikleridir. Özellikleri, normal koşullar (atmosferik sıcaklık ve basınç) altında buharlaşmalarıdır (Orecchio vd., 2017). Böylece bileşikler uygun koşullarda, emisyon kaynaklarından uzak yerlere taşınabilirler. VOC'ler çevremizde önemli bir rol oynamaktadır (Dicke ve Loreto, 2010). Hemen hemen her tür doku (Peñuelas ve Llusià, 2001; Dudareva vd., 2006) ve bitki türleri (ağaçlar, çalılar, çimenler, vb.), hem azot içeren bileşikler hem de aromatik bileşikler içeren yeşil yaprak uçucularını serbest bırakır (Holopainen vd., 2010; Holopainen ve Gershenzon, 2010). Çeşitli uyaranlara yanıt olarak VOC'lerin bitki emisyonları çok çeşitli ekolojik fonksiyonlarda rol oynamakta, hem biyotik hem de abiyotik fonksiyonlarda yer almaktadırlar (Spinelli vd., 2011; Vivaldo vd., 2017). VOC'lerin birçok görevi bulunmaktadır:

- Böceklere karşı endirekt bir savunma olarak (Mumm vd., 2003).
- Tozlayıcıları çekmek için (Dudareva ve Pichersky, 2000).
- Bir bitkiden bitkiye iletişim için (Baldwin vd., 2006; Heil ve Karban, 2010).
- Termotolerans ve çevresel stres adaptasyonu için (Holopainen ve Gershenzon, 2010).
- Bitkinin üzerine beslenen hayvanlardan korunmak için (War vd., 2012), bitkiler tarafından salgılanırlar.

Otobur hayvanlar yaşamlarını sürdürmek için yeşil bitkilere gereksinim duymakta olup, bitkilerin yetiştiği her yerde böcekler de bulunur. Bitkiler ve böcekler arasındaki etkileşimler hem düşmanca hem de karşılıklı olabilir (Schoonhoven vd., 2005). Çalışmalar, bitkilerle beslenen böceklerin antagonistik ilişkisinin yanı sıra, böcekler tarafından bitki tozlaşmasının karşılıklı ilişkisine de odaklanmıştır. Bitkiler, otçullara karşı birkaç farklı savunma türü geliştirmiş ve otçullar bu savunmaların üstesinden gelmek için farklı özellikler geliştirmiştir. Bitki kimyası muhtemelen böceklerin beslenmesini ve dağılımını düzenleyen en önemli faktördür (Schultz, 1988). Bitkilerin, otçul böceklere karşı bir savunma görevi gören toksinler üretme yeteneği ve böceklerin bitki toksinlerini detoksifiye etme yeteneği, evrimsel bir silahlanma yarışı olarak tanımlanmıştır (Ehrlich ve Raven, 1964; Harborne, 2014). Bitkilerin, otçulların düşmanlarıyla, yani üçüncü trofik seviyeyle etkileşime girdiği gösterilmiştir. VOC'lerin, üçüncü trofik seviyede bulunan parazitoitler ile etkileşimlerde önemli bir faktör olduğu kaydedilmiştir (Price vd., 1980). Bu alan kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bitkiler ile otoburların doğal düşmanları arasındaki çok özel etkileşimlere bitki uçucularının aracılık ettiği gösterilmiştir (Dicke vd., 2003; Turlings ve Wäckers, 2004; Wajnberg ve Colazza, 2013).

1.1.8. Bitkilerden Salınan Uçucu Bileşikler

Herhangi bir bitkiden salınan uçucu karışımlarda yüzlerce farklı bileşik bulunabilir (Raguso, 2004). Karışımlar bir bitki familyasına özgü olabildiği gibi, birçoğu farklı ve ilgisiz bitkilerde de bulunabilir (Knudsen vd., 1993). Uçucu bileşikler, meyve, yaprak, sürgün veya çiçek gibi bitki kısımlarında meydana gelen metabolik faaliyetlerle salınır

(Flamini vd., 2007). Enfekte olmuş bitki parçaları, bitkinin fizyolojik durumunun yanı sıra çeşidin türlerinin bir sonucu olarak önemli ölçüde farklı bileşik profilleri üretir. Bitkilerdeki metabolik değişiklikler, onlar tarafından salınan uçucu bileşik profilini etkiler. Çevredeki değişikliklerin, bitki yaşının, gelişme aşamasının, stres etkilerinin ve hastalık veya otoburların varlığının uçucu bileşik profilini değiştirdiği gösterilmiştir. Uçucu bitki metabolitleri, hastalık, stres veya otçul varlığının bir göstergesi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, türler içindeki doğal varyasyonlar, bu faktörlerin gerçek bir ölçüsü olarak uçucu bileşik profillerinin kullanımını zorlaştırabilir. Bu nedenle, çevresel veya besin stresi sonucu üretilen bileşiklerden farklı olacak bir bitki veya otçul için hangi uçucu bileşiklerin biyobelirteç olarak hareket edebileceğini belirlemek önem taşımaktadır (Sankaran vd., 2010).

1.1.9. Turunçgillerin Tarafından Salınan Uçucular

Yaralı ve bulaşıklı olan turunçgil türlerinin çevresinde tespit edilen VOC'ler arasında limonene, pinen, sabinen ve mirsen içeren monoterpenler bulunur (Droby vd., 2008). Monoterpen hidrokarbonlar, kaynak koşulları ne olursa olsun, normal olarak tüm uçucularda en bol bulunan uçucu bileşiklerdir (Droby vd., 2008) (Tablo 2). Turunçgilde en bol bulunan uçucu bileşik olan limonenenin, meyve olgunlaştıkça toplam emisyonların %34'ünden %95'ine yükseldiği gösterilmiştir (Flamini ve Cioni, 2010; Al-Khshemawee vd., 2017). Turunçgil meyvesinin uçucu profili türler arasında farklılık gösterse de, bu bir tür içindeki çeşitler arasında mutlaka aynı değildir (Birla vd., 2005).

Tablo 2. Portakal, mandalina, greyfurt ve limon bitkilerinde tanımlanan yaygın uçucu bileşikler (González-Mas vd., 2019)

Yaygın bileşik grupları	**Yaygın bileşikler**
Monoterpen hidrokarbonlar	β-Myrcene, (Z)-β-ocimene, (E)-β-ocimene, α-phellandrene, β-phellandrene, α-terpinene, γ-terpinene, limonene, terpinolene, sabinene, α-thujene, α-pinene, β-pinene, camphene, p-cymene
Monoterpenoid alkoller	linalool, (Z)-linalool oxide, β-citronellol, nerol, geraniol, terpinen-4-ol, α-terpineol, (Z)-sabinene hydrate
Monoterpenoid aldehitler	β-citronellal, neral, perillaldehyde
Diğer oksijenli monoterpenler	Citronellyl acetate, geranyl acetate, camphor, (Z)-limonene oxide, (E)-limonene oxide, carvone
Seskiterpen hidrokarbonlar	(E,E)-α-farnesene, (E)-β-farnesene, β-elemene, δ-elemene, germacrene D, bicyclogermacrene, α-humulene, (E)-β-caryophyllene, δ-cadinene
Seskiterpenoid alkoller	(E)-nerolidol
Diğer oksijenli seskiterpenler	(E)-caryophyllene oxide
Terpenoid olmayan alkoller	1-octanol
Terpenoid olmayan aldehitler	Octanal, nonanal, decanal, undecanal, Dodecanal

1.1.10. Herbivore Kaynaklı Bitki Uçucu Maddeleri

Bitkiler genellikle yapraklarda ve diğer bitki kısımlarında depolama alanlarında biriken küçük miktarlarda uçucu kimyasalları serbest bırakır (Pare ve Tumlinson, 1999). Otçullar bir bitkiye zarar verdiğinde, bitkinin uçucu bileşik üretimini arttırır (Pare ve Tumlinson 1999; Kendra vd., 2011). Otçul beslenmesiyle artan kimyasallara otçul kaynaklı bitki uçucuları (HIPV'ler) denir. Otçul istilası üzerine, doku hasarı ve böcekler tarafından üretilen oral elisitörlerin kombinasyonu, bitkilerde bir savunma sinyalleme oluşumunu indükler (Zebelo ve Maffei, 2014).

1.1.11. Sentetik Herbivore Kaynaklı Bitki Uçucularının Doğal Düşmanları Çekmesi

Birçok makale, herbivor kaynaklı bitki uçucularının (HIPV'ler) (Herbivore-Induced Plant Volatiles) (Herbivore kaynaklı bitki uçucularının) doğal düşmanların çekiciliği üzerindeki rolünü ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bu bileşiklerin, alan ölçeğinde eklembacaklıların otobur popülasyonunun baskılanmasını etkilemedeki rolü, henüz gösterilmemiştir. Shimoda vd. (1997), akar ile bulaşık edilmiş fasulye bitkilerinin yakınındaki yapışkan kartlarda, bulaşık edilmemiş bitkilerin yakınındaki tuzaklardan daha fazla avcı tripsler kaydetmişlerdir. Bernasconi vd. (2001) larva ile hasar görmüş bitkilerin yakınında ve hasar görmemiş bitkilerin yakınından daha fazla doğal düşmanı tuzakta bulmuşlardır.

Çeşitli çalışmalar, tarımsal ekosistemlerde doğal düşmanların HIPV'lere çekildiğini göstermiştir. Örneğin James (2003), Syrphidae, Geocoridae, Anthocoridae ve Miridae familyalarından faydalı böceklerin metil salisilat MeSA (methyl salicylate) ve (Z)-3 hexenyl acetate'a çekildiğini bildirmiştir. HIPV'lere doğal düşman çekiciliğinin rolünü destekleyen kanıtlar, tarımsal sistemlerde zararlı popülasyonlarının azalmasına yol açacaktır. Örneğin, soya fasulyesinde, Metil Salisilat MeSA, Syrphidae ve Chrysopidae familyalarındandaki türler gibi birçok avcı böceğin cezbedilmesini sağlayarak bitki üzerindeki soya fasulyesi yaprak biti, *Aphis glycines* Matsumura popülasyonlarını azaltır (Mallinger vd., 2011).

Dişi parazitoitlerin konukçu etkileşimlerinde önemli bir özelliği, parazitleme sürecinde farklı niteliklere sahip konukçu bireyleri seçebilmeleridir. Parazitoitlerin üreme başarısı, dişinin konukçularıyla ilişkili çeşitli fiziksel ve kimyasal ipuçlarını kullanarak

konukçuyu bulma yeteneğine bağlıdır (Hare, 2011). Konukçu bitki ve otobur ipuçlarının dişi parazitoitleri konukçularına yönlendirebileceği iyi bilinmektedir (Pare ve Tumlinson, 1999; Canale ve Benelli, 2012; Goubert vd., 2013). Koku alma ipuçları, parazitoit davranışsal ekolojisinde önemli bir rol oynar (Dicke, 2000). Bu kokular hem konukçu habitat konumu hem de uygun konukçu bitkilerin seçiminde yer alan ön ipuçları olarak konukçu böceğin aranması ve parazitlenmesinde işlev görürler (Eben vd., 2000; Rousse vd., 2007; Segura vd., 2012).

1.1.12. Uçucu Bileşikleri İzolasyon Teknikleri

Uçucu bileşiklerin statik üst boşluk analizi ile analizi yaygın olarak kullanılmaktadır (Miller ve Stuart, 1999). Bununla birlikte, birçok analizde, hava geçirmez bir şırınga kullanan gaz örnekli statik üst boşluk yöntemi, gereken hassasiyetten yoksundur (Miller ve Stuart, 1999). Uçucu bileşiklerin kalitatif ve kantitatif analizi için birçok teknik kullanılır, ancak gaz kromatografisi ve kütle spektrometrisinin kombinasyonu bunların en etkili olanıdır. Analiz için üst boşluk uçucu bileşiklerinin zenginleştirilmesine izin veren teknikler, katı fazlı mikro ekstraksiyon (SPME), statik üst boşluk (SHS), dinamik üst boşluk (DH), elektronik burun (E-burun) ve üst boşluk otomatik örnekleyici (AHS) kullanılarak elde edilebilir. Uçucu izolasyon teknikleri genellikle iki adımı içerir: numune matrisinden kokunun toplanması, uçucu bileşiklerin ayrılması ve tanımlanması (Teranishi, 1998; Wampler, 2001).

1.1.12.1. Katı Fazlı Mikro Ekstraksiyon (SPME)

Analitik kimyanın ikiz disiplinleri (Nitel [Kalitatif] ve Nicel [Kantitatif] Analiz) evrim geçiriyor ve bu evrimin hızlı temposu, laboratuvarların artan verimlilik ve hassasiyet gereksinimlerini karşılamak için yeni yöntemlere olan talebi artırıyor. Son yıllarda ilgi çeken yöntemlerden biri, gaz kromatografisi kütle spektrometrisi (GC-MS) analizine uyarlanabilen, kolon dışı bir ön konsantrasyon tekniği olan katı faz mikroekstraksiyondur (SPME). SPME, 1990 yılında Pawliszyn ve Arthur tarafından uçucu ve yarı uçucu bileşiklerin kantitatif eser analizi için geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Pawliszyn, 1999). SPME cihazı genellikle normal bir şırıngaya benzer (Şekil 2 a). Bir piston, bir iğne ve cihazın numune haznesinden ve GC septumundan geçmesini sağlayan diğer bileşenlerden oluşur. Erimiş silika elyaf, bu cihazın temel bir parçasıdır çünkü elyaf üzerine kaplanan seçilen polimer, uçucu bileşikler için bir adsorban görevi

görmektedir. Kaplamanın kalınlığı, seçilen kaplamaya bağlı olarak 5 ila 100 μm arasında değişebilir. Bu, fiberin SPME cihazına takılı bir iğneye sığmasını sağlar (Martos ve Pawliszyn, 1998; Turner, 2006; Reineccius, 2010). Bu teknik, bir fiber kullanarak çevresindeki analit moleküllerini emer, toplar ve GC'nin enjeksiyon portuna aktarmadan önce fiber yüzeyinde biriktirir. SPME tekniği, analiz edilecek hedef bileşiğe bağlı olarak farklı adsorpsiyon fiberleri seçilebildiği için iyi bir seçicilik sağlar (Wang, 1997). Fiberin kalınlığı ve kimyası, analistin özel ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir; SPME fiber kaplamaları farklı kimyasal özelliklere sahiptir (Tablo 3). Polidimetilsiloksan (PDMS) gibi polar olmayan lif kaplamalarının polar olmayan analitleri toplamada daha etkili olduğu ve polietilen glikol (PEG) gibi polar kaplamaların polar bileşiklere göre daha fazla tercih edildiği kanıtlanmıştır. En popüler SPME lifleri, polidimetilsiloksan sabit fazından yapılmıştır (Wang, 1997). Toplanacak analit için doğru lif seçilerek analizin hassasiyeti artırılabilir (Wang, 1997).

Tablo 3. Ticari olarak temin edilebilen yaygın SPME fiberlerinin özeti.

Fiber türleri	**Polarite**	**Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)**	**Hedef Bileşikler**
Polidimetilsiloksan (PDMS)	Polar Olmayan	280	Uçucular ve polar olmayan yarı uçucular
Polidimetilsiloksan Divinilbenzen (PDMS/DVB)	Bipolar	270	Polar uçucular
PDMS-Karboksen (PDMS/CAR)	Bipolar	320	Gazlar ve uçucular
Polidimetilsiloksan Divinilbenzen Karboksen (PDMS/DVB/CAR)	Bipolar	270	Kokular ve aromalar
Carbowax Divinilbenzen (CAR/DVB)	Polar	265	Polar analitler (alkoller)
Polietilen Glikol (PEG)	Polar	250	Polar analitler (alkoller)
Poliakrilat (PA)	Polar	320	Polar yarı uçucu maddeler (fenoller)

SPME ekstraksiyon prensibi, uçucu analitlerin fiber sabit fazı ile baş boşluk arasında bölündüğü bir denge süreci olarak tanımlanmaktadır (Wang, 1997). SPME, ince bir polimerle kaplanmış eritilmiş silika veya paslanmaz çelik elyaf kullanılarak çözücüsüz ekstraksiyona olanak sağlar. Bu bir çözücü görevi görür ve bileşiklerin ekstrakte edilmesine olanak sağlar (Pawliszyn, 1999). Analitler, bir şırınga benzeri cihaza monte edilmiş SPME elyafındaki polimer kaplamaya emilir (Wang, 1997). SPME, ısıya

duyarlı malzemeler için basit ve uygun olan nispeten yeni bir tekniktir (Richter ve Schellenberg, 2007). SPME, "konsantre edilmiş ve ekstrakte edilmiş analitleri doğrudan GC veya HPLC arayüzüne ileten bir araç sağlayan, ekstrakte eden ve yoğunlaştıran" bir izolasyon yöntemi olarak tanımlanmıştır (Martos ve Pawliszyn, 1998). Bunun nedeni, SPME'nin numunenin içine veya üzerine kaplanmış bir silika elyafın yerleştirilmesini içermesidir; bu nedenle, uçucu bileşenlerin organik çözücü ile ekstraksiyonu gereksizdir (Richter ve Schellenberg, 2007). Dahası, lif numunenin üzerindeki baş boşluğa uygulanırsa, konsantre uçucu maddeler gıda matrisleri ve diğer uçucu olmayan bileşiklerden kaynaklanan müdahaleler olmadan kolayca elde edilebilir. SPME, uçucu analitlerin ekstraksiyonunu, konsantrasyonunu ve uygulanmasını tek bir adımda birleştirebilir, bu da hazırlık süresini azaltır ve bazı durumlarda bu durum diğer ekstraksiyon tekniklerine göre hassasiyeti artırır (Pawliszyn, 1999). Bu nedenle, birkaç adım atlanabildiği için SPME, damıtmaya kıyasla hızlı bir yöntem olarak öne sürülmektedir. Dolayısıyla, SPME'nin diğer tekniklere göre temel avantajı, piyasada bulunan SPME cihazlarının kullanışlı ve kullanıcı dostu olmasıdır. Bugüne kadar yayınlanmış sayısız uygulama arasında, bu teknik, gıdalar (de Fátima Alpendurada, 2000; Xu vd., 2016), ilaçlar (Kataoka, 2003; Pragst ve Balikova, 2006; Lord ve Bojko, 2012), çevre kirleticileri (de Fátima Alpendurada, 2000; Shoeib ve Harner, 2002; Stiles vd., 2008) ve diğer birçok numune gibi çeşitli numunelerin analizinde kullanım bulmuştur.

SPME örneklemesi üç temel yöntem gerçekleştirilebilir: doğrudan ekstraksiyon, baş boşluk ekstraksiyonu ve membran korumalı ekstraksiyon (Jinno vd., 2007). Doğrudan ekstraksiyon, lifin doğrudan numuneye uygulandığı ve analitlerin daha sonra doğrudan numune matrisinden kaplamaya aktarıldığı bir tekniktir. Buna karşılık, baş boşluk teknikleri, analitlerin numunenin üzerindeki baş boşlukta adsorpsiyonunu içerir. Bu, numunede bulunan yüksek molekül ağırlıklı ve diğer uçucu olmayan girişimlerden kaynaklanan lif hasarını önlemek içindir. Membran koruma yaklaşımında, membran lifin hasar görmesini ve bazı kirleticileri önlemek için bariyer görevi görür, ancak yine de analitlerin doğrudan lif üzerine adsorbe olmasına izin verir (Jinno vd., 2007).

Bu üç yöntem arasında, headspace tekniği, numune bozulmasının önlenebilmesi ve konsantre analitler daha hızlı toplanabilmesi nedeniyle muhtemelen birçok çalışmada en yaygın uygulanan yöntemdir. Bunun nedeni, uçucu olmayan ve yarı uçucu bileşiklerin

ekstraksiyona müdahale edememesidir. Bu sayede sıvı-sıvı ekstraksiyonu, katı faz ekstraksiyonu ve geleneksel analiz yöntemlerine özgü diğer zorlu ve zaman alıcı numune hazırlama prosedürlerinin çoğuna gerek kalmaz. Sonuç olarak, birçok numune türü, sıvı enjeksiyonunun sağlayacağı hassasiyete eşit veya daha yüksek bir hassasiyetle ve SPME'nin çok adımlı çalışmalarda ortaya çıkma eğiliminde olan hata kaynaklarını atlatma becerisi sayesinde genellikle üstün bir doğrulukla hemen çalıştırılabilir (Pawliszyn, 1999; Vas ve Vekey, 2004). Buna karşılık, membran koruması, analitler life ulaşmadan önce membrandan geçmek zorunda olduğundan zaman alıcı bir işlemdir. Ancak, membran seçiciliği artırmak için modifiye edilebilir ve düşük molekül ağırlıklı uçucu bileşenleri çıkarmak için de kullanılabilir (Pawliszyn, 1999).

SPME, çok küçük hacimli bir sorptif faz kullanır. Uçucu maddelerin lif üzerine emilmesi, adsorpsiyon hızı salınım hızına eşit olana kadar devam eder. Isı, bu dengeyi değiştirerek konsantre uçucu maddelerin salınmasını sağlayabilir; bu nedenle zenginleştirilmiş malzemenin termal desorpsiyonu gereklidir (Burger vd., 2006). SPME headspace tekniği ile gerçekleştirilen aroma izolasyonu, kaplanmış lifin gıda numunesinin üzerindeki boşluğa yerleştirilmesi ve uçucu bileşiklerin belirli bir süre adsorpsiyonuna izin verilmesiyle başlatılabilir. Daha sonra, SPME iğnesi headspace'ten çıkarılır ve doğrudan GC'ye enjekte edilir. Lif GC girişine yerleştirildikten sonra, ısıtma, lif tarafından adsorplanan uçucu bileşiklerin GC kolonuna salınmasını sağlar. Son olarak, GC veya GC-MS ile daha ileri düzeyde ayrıştırılıp karakterize edileceklerdir (Martos ve Pawliszyn, 1998; Turner, 2006; Reineccius, 2010). SPME, uçucu maddelerin kolona kriyofokuslanmasını gerektirmez ve termal desorpsiyon, numunenin kromatografi sistemine enjekte edilmesinden hemen sonra gerçekleşir; bu da termal desorpsiyon sistemine olan gereksinimi ortadan kaldırır (Burger vd., 2011).

1.1.12.2. Uçucu Karışımların Tanımlanması

Uçucu bileşiklerin tanımlanması, gıda matrislerinden izole edildikten sonra gerçekleştirilir. Gaz kromatografisi (GC), aroma çalışmalarında, özellikle de dedektör olarak kütle spektrometrisi (MS) kullananlarda, geleneksel bir yöntem ve en yaygın kullanılan cihazdır.

Modern gaz kromatografisi (GC), 1952 yılında James ve Martin tarafından icat edilmiş ve modern kimyada en önemli ve yaygın olarak uygulanan analitik tekniklerden biri

haline gelmiştir (James ve Martin, 1952; Teranishi, 1998). Genel olarak kromatografi, kimyasal karışımları ayrı bileşenlerine ayırmak için kullanılır (Reineccius, 2010). GC-MS prensibi, karmaşık organik ve biyokimyasal karışımları analiz etmek için iki farklı analitik teknik olan Gaz Kromatografisi (GC) ve Kütle Spektrometrisi'nin (MS) birleşimidir (Skoog vd., 2007). GC-MS cihazı iki ana bileşenden oluşur. Gaz kromatografisi bölümü, numunedeki farklı bileşikleri uçuculuklarına göre saf kimyasal pulslarına ayırır, numuneyi taşıyan inert bir gazın (hareketli faz) kolonda sabitlenmiş sabit bir fazdan geçirilmesiyle yapılır (Skoog vd., 2007). Bileşiklerin spektrumları, kromatografik kolondan çıkarken kütle spektrometresi tarafından toplanır. Bu spektrumlar daha sonra bilgisayara kaydedilebilir ve analiz edilebilir (Oregon Eyalet Üniversitesi, 2012).

GC-MS ile gerçekleştirilen işlem, karışımın GC bölümünün taşıyıcı gazına enjekte edilmesiyle başlar. Ardından, taşıyıcı gaz ve numune sürekli olarak kolona verilir. Kolon tarafından adsorbe edilme olasılığı daha düşük olan bileşikler önce aşağı doğru geçerken, geri kalanlar daha sonra tutulup elüe edilir (Gudzinowicz vd., 1976). GC ile ayırma işleminden sonra MS kısmında tanımlama yapılır. MS'in temel prensibi gaz fazı iyonlarının kütle-yük oranını ölçmektir. Numune molekülleri MS iyon kaynağına girdiğinde hepsi iyonize parçalara dönüşür. Daha sonra düşük basınçlı bir ortamda manyetik veya elektrik alanlarından geçmelerine izin verilir. Daha sonra alan ile iyonlar arasındaki etkileşim yüklü parçacıkların ayrılmasına neden olur. Bu, iyon sinyalleri olarak ifade edilir ve dedektör tarafından yakalanır. Kütle spektrumu bu ölçümden elde edilen sonuçtur ve moleküler iyonların ve parça iyonlarının kütle-yük oranına karşı göreceli bolluğunu gösterir. Kütle spektrumundan, farklı bileşikler genellikle iyon sinyallerini farklı şekilde gösterir ve bu nedenle bu özellik kantitasyon ve tanımlama amaçları için kullanılır (Fenselau, 1977; Kitson vd., 1996). GC ve MS'in entegrasyonuyla, bir referans kütüphanesinin kütle spektrumları numune bileşenlerinin kütle spektrumlarıyla otomatik olarak eşleştirilerek tanımlama yapılabilir (Babushok vd., 2007). Böylece, tutma süresi ve bileşiklerin kimlikleri kolayca elde edilebilir. GC, enjektör portu, fırın kolonu ve taşıyıcı gazı numuneden uzaklaştırmak için kullanılan arayüzden oluşur, bu nedenle akış hızı kütle spektrometresinin tolere edebileceği bir aralıktadır. MS için üç ana bileşen vardır; iyon kaynağı, kütle analizörü ve dedektör. GC-MS'in farklı parçaları ve işlevleri aşağıda tartışılmaktadır (Bartle ve Myers, 2002).

1.1.12.2.1. Gaz Beslemesi

Taşıyıcı gaz kimyasal olarak hareketsiz olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan gazlar arasında azot, helyum, argon ve karbondioksit bulunur. Taşıyıcı gaz seçimi genellikle kullanılan dedektör tipine bağlıdır. Günümüzde taşıyıcı gaz, helyum veya hidrojendir ve bir silindirden basınç veya akış hızı kontrol cihazından geçerek kolon girişindeki numune enjektörüne ulaşır. Yüksek gaz saflığı ve gaz besleme basıncını sağlamak için gazların saflaştırılması yaygındır (GC-GC Kanalı Teorisi ve Enstrümantasyonundan Gaz Beslemesi ve Basınç Kontrolü). Taşıyıcı gaz sistemi ayrıca su ve diğer safsızlıkları gidermek için bir moleküler elek içerir (Littlewood, 2013).

1.1.12.2.2. Enjektör

Burada numune buharlaştırılır ve elde edilen gaz, GC kolonuna giren taşıyıcı akıma dahil edilir (GC-GC Kanalı Teorisi ve Enstrümantasyonundan Numune Alma Teknikleri ve Numune Girişi) (Littlewood, 2013).

1.1.12.2.3. Kolon

Kolon, analitik gaz kromatografisinin merkezinde yer alır; tüm sistemin elde ettiği ayırma kalitesi yalnızca kolonun kalitesi olabilir. Gaz Kromatografisi, numune bileşenlerini kaplanmış silika parçacıklarıyla doldurulmuş kolonlar veya sabit fazın iç duvara kaplandığı içi boş kılcal kolonlar aracılığıyla taşımak için gaz halindeki hareketli bir faz kullanır. Kılcal GC kolonları genellikle birkaç metre uzunluğundadır (tipik olarak 10-120 m) ve iç çapları 0,10-0,50 mm'dir. Dolu GC kolonları ise genellikle 1-5 metre uzunluğunda ve 2 veya 4 mm iç çapa sahiptir (GC Teorisi ve Enstrümantasyonu'ndan GC kolonları) (Hussain ve Maqbool, 2014). Kılcal kolon, 1957 yılında Golay tarafından bağımsız olarak geliştirilmiştir (Golay, 1958). Bir kılcal kolonda, sabit faz iç duvara ince bir film (duvar kaplı açık boru) olarak kaplanır veya içteki gözenekli bir tabakaya emdirilir (gözenekli tabaka veya destek kaplı açık boru) ve çözünen moleküllerin (kaçınılmaz olarak) düzgün olmayan paketlemeden (yani bir kılcal demet) geçerken izlediği farklı yolların yerini tek bir kanal alır. Kılcal kolonlar daha düşük bir sıcaklıkta çalışır ve eşit sürelerde çok daha iyi ayırma veya diğer kolon tiplerine kıyasla daha kısa sürede aynı ayırmayı sağlar (Tablo 4).

Tablo 4. Duvar kaplı kılcal, destek kaplı açık borulu ve dolgulu kolonların karşılaştırılması.

Özellikler	**Duvar kaplamalı kılcal**	**Destek kaplamalı açık tüp**	**Paketlenmiş**
Uzunluk (m)	10–100	10–50	1–5
İç çap (mm)	0.1–0.8	0.5–0.8	2–4
Sıvı film kalınlığı (μm)	0.1–1	0.8–2	10
Tepe başına kapasite (ng)	<100	50–300	10,000
Çözünürlük	Yüksek	Orta	Düşük

Kılcal GC'nin eski dönemlerinde çeşitli kolon malzemeleri kullanılmıştır: bakır, nikel, paslanmaz çelik ve hatta naylon borular. Ancak cam kolonların göreceli inertliği ve şeffaflığı, kırılganlıkları ve yüksek polariteli analitlere karşı aktiviteleri nedeniyle kısa sürede avantajlı olarak kabul edilmiştir. Bu sorunlar, büyük ölçüde, 1979 yılında Dandeneau ve Zerenner (1979) tarafından erimiş silika kolonların icat edilmesiyle çözülmüştür. Başlangıçta fiber optik teknolojisine dayanan bir işlemle üretilen bu kolonlar, oldukça esnek, dayanıklı ve kimyasal olarak inerttir. Koruyucu bir poliimid tabakası ve çok çeşitli sabit fazlardan birinin immobilize edilmiş bir filmi ile dıştan kaplanmış erimiş silika kolonlar, analiz edilecek neredeyse tüm karışımların ayrılmasını sağlar; kalıcı gazlar ve düşük molekül ağırlıklı bileşikler gibi birkaç istisna, örneğin alümina bazlı sabit fazlarla gözenekli tabakalı açık borulu kolonlarda ayrılır (Ettre ve Purcell, 1974).

Kılcal kolonların ortaya çıkmasıyla birlikte, pnömatik kontrol sistemlerinde daha fazla hassasiyet gerekli hale gelmiştir. Bir GC'yi çalıştırmak için gereken gazların kontrolü, açma-kapama valfleri, ileri ve geri basınç regülatörleri, iğne valfleri ve kütle akış kontrol regülatörlerinin bir kombinasyonuyla sağlanmıştır. Bunlar, enstrümantasyonla birlikte gelişti; öyle ki bugün, gaz basınçlarını ve akış hızlarını izleyerek taşıyıcı gazların akış hızlarını sabit tutmak için tam geri besleme kontrolleri bulnmaktadır; bu da elektronik regülatörleri kontrol etmektedir. Kılcal enstrümantasyondaki akış rejiminin büyük bir kısmı, numune enjeksiyonunun gereklilikleriyle yakından ilişkilidir ve bu artık pnömatiklerin otomatik bilgisayar kontrolüyle mümkündür. Cihazlar geliştikçe, cihazın koşullarını ayarlamak için cihaz üzerinde veya ayrı bir tuş takımında tuş takımı kullanımına doğru bir eğilim görülmektedir. Modern PC'nin ortaya çıkmasıyla birlikte, kontrol, PC'deki kontrol ve veri toplama programlarına kayma eğiliminde olmuştur. Artık, otomatik akış kontrol modülleriyle taşıyıcı gazın kütle

kontrolü veya basınç kontrolü altında çalışmak mümkündür. Bu, sabit basınç, sabit akış veya hatta basınç programlaması arasında seçim yapmanızı sağlamaktadır.

Gaz kromatografisi, sıcaklık programlanabilir fırınlara sahiptir. Gaz kromatografisi fırınlarının sıcaklığı genellikle 5°C ile 400°C arasında değişir, ancak kriyojenik soğutma ile -25°C'ye kadar düşebilir (Hussain ve Maqbool, 2014). Hassas bir çalışma için kolon sıcaklığının derecenin onda biri kadar kontrol edilmesi gerekir. Optimum kolon sıcaklığı, numunenin kaynama noktasına bağlıdır. Genel bir kural olarak, numunenin ortalama kaynama noktasının biraz üzerindeki bir sıcaklık, 2-30 dakikalık bir elüsyon süresiyle sonuçlanır. Minimum sıcaklıklar iyi çözünürlük sağlar ancak elüsyon sürelerini artırır. Numunenin geniş bir kaynama aralığı varsa, sıcaklık programlaması faydalı olabilir. Kolon sıcaklığı, ayırma işlemi ilerledikçe (sürekli veya kademeli olarak) artırılır.

1.1.12.2.4. Gaz Kromatografisinde Algılama

Gaz kromatografisinde kullanılabilecek birçok dedektör vardır. Farklı dedektörler farklı seçicilik türleri sağlayacaktır. Seçici olmayan bir dedektör taşıyıcı gaz dışındaki tüm bileşiklere yanıt verir. Seçici bir dedektör ortak bir fiziksel veya kimyasal özelliğe sahip bir dizi bileşiğe yanıt verir ve spesifik bir dedektör tek bir kimyasal bileşiğe yanıt verir. Dedektörler ayrıca konsantrasyona bağlı dedektörler ve kütle akışına bağlı dedektörler olarak da gruplandırılabilir. Konsantrasyona bağlı bir dedektörden gelen sinyal dedektördeki çözünen madde konsantrasyonuyla ilgilidir ve genellikle numuneyi tahrip etmez. Takviye gazı ile seyreltme dedektörün tepkisini düşürecektir. Kütle akışına bağlı dedektörler genellikle numuneyi tahrip eder ve sinyal, çözünen moleküllerin dedektöre girme hızıyla ilişkilidir. Kütle akışına bağlı bir dedektörün yanıtı tamamlayıcı gazdan etkilenmez. Tablo 5, yaygın GC dedektörlerinin tablosal özetini göstermektedir. Otomatik bir titrasyon sistemi ilk gaz kromatogramlarını üretmiştir. Kütle özelliklerini kullanmak yerine (örneğin gaz yoğunluğu, akış empedansı ve gravimetri temelli-ikincisinin hassas bir versiyonu Martin tarafından 1962 yılında potansiyel olarak "GC için ideal dedektör" olarak önerilmiştir (Bartle ve Myers, 2002)), daha hassas iyonizasyon temelli dedektörler araştırılmıştır (Littlewood, 2013).

Tablo 5. Yaygın GC dedektörleri.

Dedektör	**Tipi**	**Destek gazları**	**Seçicilik**	**Tespit edilebilirlik**	**Dinamik aralık**
Alev iyonizasyonu (FID)	Kütle akışı	Hidrojen ve hava	Çoğu organik cpds.	100 pg	10^7
Termal iletkenlik (TCD)	Konsantrasyon	Referans	Evrensel	1 ng	10^7
Elektron yakalama (ECD)	Konsantrasyon	Makyaj	Halojenürler, nitratlar, nitriller, peroksitler, anhidritler, organometalikler	50 fg	10^5
Azot-fosfor	Kütle akışı	Hidrojen ve hava	Azot, fosfor	10 pg	10^6
Alev fotometrik (FPD)	Kütle akışı	Hidrojen ve hava muhtemelen oksijen	Kükürt, fosfor, kalay, bor, arsenik, germanyum, selenyum, krom.	100 pg	10^3
Foto-iyonizasyon (PID)	Konsantrasyon	Makyaj	Alifatikler, aromatikler, ketonlar, esterler, aldehitler, aminler, heterosiklikler, organosülfürler, bazı organometalikler.	2 pg	10^7
Hall elektrolitik iletkenlik	Kütle akışı	Hidrojen, oksijen	Halojenür, nitrojen, nitrozamin, sülfür.		

1.1.12.2.5. Çalışmada Kullanılan Kütle Spektroskopisi (MS)

Kütle Spektroskopisi (MS), GC-MS olarak da adlandırılır. Kütle Spektroskopisi (MS), az miktarda numunede bile oldukça etkili ve hassastır. Bu dedektör, kromatograflardaki analitleri kütle spektrumlarına göre tanımlamak için kullanılabilir (Skoog vd., 2013). Kütle spektrometrisinden (MS) elde edilebilen yapısal bilgi ve seçiciliğin, MS ile GC kombinasyonunu karmaşık karışımların analizi için en etkili teknik haline getirdiği erken fark edilmiştir. Faz iyonlarının ayrılması, iyonları farklılaştırmak için elektrik ve manyetik alanlar kullanılarak kütle spektrometresi içinde gerçekleştirilir. İyon kaynağında, ürünler kütle spektrometresinde analiz edilmeden önce iyonize edilir. Rutin GC-MS analiziyle ilişkili çok popüler birkaç kütle analizörü tipi vardır ve hepsi de türleri kütle-yük bazında ayırma temelinde farklılık gösterir. Kütle analizörleri tahmin edilebilir ve verimli bir şekilde çalışmak için yüksek düzeyde vakum gerektirir. Kütle

analizöründen çıkan iyon demetinin algılanması ve kullanılabilir bir sinyale dönüştürülmesi gerekir. Dedektör, kütle spektrometresinin önemli bir unsurudur ve gelen iyonlardan ya daha da güçlendirilen ikincil elektronlar üreterek ya da bir akım indükleyerek (hareketli yükler tarafından üretilen) bir sinyal üretir. Modern cihazlar, özel olarak tasarlanmış bir yazılım kullanarak MS parametrelerinin bir bilgisayardan kontrol edilmesine de olanak tanır. Taşıyıcı gaz olarak adlandırılan mobil faz kimyasal olarak inert olmalıdır. En yaygın olarak helyum gazı kullanılır; ancak argon, nitrojen ve hidrojen de kullanılır.

Tek tek bileşikler GC kolonundan süzülürken elektron iyonizasyon (kütle spektrometresi) dedektörüne girerler. Burada, bir elektron akımı ile bombardımana tutulurlar ve parçalara ayrılmalarına neden olurlar. Bu parçalar orijinal moleküllerin büyük veya küçük parçaları olabilir. Parçalar belirli bir kütleye sahip yüklü iyonlardır. Parçanın kütlesinin yüke bölünmesine moleküler ağırlık (veya kütle-yük, m/z oranı) denir. Çoğu parçanın yükü +1 olduğundan, M/Z genellikle parçanın moleküler ağırlığını temsil eder. Kuadrupol adı verilen 4 elektromıknatıstan oluşan bir grup, parçaların her birini bir yarıktan geçirerek dedektöre odaklar. Kuadrupoller bilgisayar tarafından sadece belirli M/Z parçalarını yarıktan geçirecek şekilde programlanırken, geri kalanlar sekerek uzaklaşır.

Bilgisayar, bir M/Z aralığı kapsanana kadar kuadrupollerin her seferinde farklı M/Z'ler arasında geçiş yapmasını sağlar. Bu saniyede birçok kez gerçekleşir. Her bir aralık döngüsü tarama olarak adlandırılır. Bilgisayar her tarama için bir grafik kaydeder. X ekseni, M/Z oranlarını temsil eder. Y ekseni, tarama sırasında tespit edilen parçaların her biri için sinyal yoğunluğunu (bolluk) temsil eder. Bu grafik kütle spektrumu olarak adlandırılır. Veriler daha sonra görüntülenmek ve analiz edilmek üzere bir bilgisayara gönderilir. GCMS'ye bağlı bilgisayarda bu verilerin analiz edilmesine yardımcı olacak bir numune kütüphanesi bulunmaktadır (Agilent Technologies, 2012). GC-MS için veriler çeşitli şekillerde görüntülenir. Bunlardan biri, her spektrumdaki toplam iyon bolluklarını toplayan ve bunları zamanın bir fonksiyonu olarak çizen toplam iyon kromatogramıdır. Diğeri ise kromatogramda belirli bir zamanda kütle spektrumudur ve bu spektrum o zamanda elüe edilen belirli bir bileşeni tanımlar. Kütle kromatogramı olarak adlandırılan, belirli bir kütle/yük oranına sahip seçilmiş iyonlardan oluşan bir kütle spektrumu da kullanılabilir. Uçuş zamanlı MS'in en büyük avantajları, iyonların

moleküler formüllerinin belirlenmesine olanak tanıyan doğru kütle ölçümü (“tezgah üstü” MS'in birim m/z çözünürlüğünün aksine) ve 12 ms gibi dar genişliklere sahip GC piklerinin tanımlanmasına olanak tanıyan hızlı spektrum biriktirme hızlarıdır (500 Hz'e kadar) (Van Deursen vd., 2000).

1.1.13. Olfaktometre Cihazları

Avcı ve parazitoitlerde kaynak arama görsel, kimyasal ve titreşimsel ipuçları gibi çok çeşitli uyaranların kullanımını içerir (Beneli vd., 2013; Planes vd., 2013). Koku alma ipuçları avcı ve parazitoit davranış ekolojisinde önemli bir rol oynar (Vet ve Dicke, 1992; Dicke ve van Loon, 2000). Avcı ve parazitoitler nispeten etkili bir koku alma mekanizmasına sahiptir ve böcek koku alma çalışmaları için iyi bir model olarak kabul edilmektedir (Meiners vd., 2002; Rains vd., 2004; de Bruyne ve Baker, 2008; Hansson ve Stensmyr, 2011; Harris vd. 2012; Ngumbi vd., 2012). Bununla birlikte, koku alma avcı ve parazitoitler tarafından av ve konukçu lokasyonunda kullanılan ana modalitedir (Thompson, 1999; Conchou vd., 2019). Birçok çalışma, bitkinin otçul böcekler tarafından beslenmesinin uçucu madde üretimine neden olduğunu ve bunun sonucunda avcı ve parazitoitleri çektiğini göstermiştir (Hare, 2011; Kaplan, 2012; Benelli vd., 2013). Burada yayılan VOC’ler, konukçu bitkiden ve herbivorun ürünlerinden (dışkı, kusma, veya ipek) gelen ipuçlarının bir kombinasyonudur (Kessler ve Baldwin, 2001; Hare, 2011). Ayrıca, birçok bitkinin, herbivor beslenmesinin avcı ve parazitoitlerin belirli av ve konukçularını bulmalarına yardımcı olan HIPV’lerin sentezini aktive ettiği uyarılmış direnç geliştirdiği bilinmektedir (Gols vd., 2011; Hare, 2011; Turlings ve Erb, 2018). Olfaktometre deneyleri, eklembacaklıların konukçularını nasıl bulduklarını incelemek için kimyasal ekoloji araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Natale vd., 2003; Heil, 2004; Bruce vd., 2005). Özellikle, yumurtalarını böcek herbivorlarının içine veya üzerine bırakan parazitoitlerin konukçu arama davranışları çok detaylı bir şekilde incelenmiştir (Vet vd., 1995). Bu tür parazitoitlerin, yumurtlama için konukçuların yerini belirlemek amacıyla otçul saldırısı altındaki bitkiler tarafından yayılan otçul kaynaklı uçucu organik bileşikleri (HIPV) kullandıkları gösterilmiştir (Mumm ve Dicke, 2010). Ayrıca, bu herbivorlarla beslenen avcı türlerin av bulma davranışları çok ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir (Vet ve Dicke, 1992). Genellikle HIPV’lar tarafından sağlanan spesifik olmayan ipuçları sorununun üstesinden gelmek için, birçok avcı ve parazitoit koku öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu da av ve konukçu

varlığını belirli kokulara bağlamalarını ve böylece güvenilir bitki sinyallerini güvenilmez olanlardan ayırt etme şanslarını artırmalarını sağlar (Vet vd., 1995; Meiners vd., 2003). Bu nedenle, avcı ve parazitoitler kendileri için gerekli olan bilgileri okuyabilir. Özellikle otçul böcekler için, bitkinin besin kaynağı veya yumurtlama alanı olarak kalitesine ilişkin bilgiler kritik öneme sahiptir (Johnson vd., 2006; Clark vd., 2011).

Böceklerin fitokimyasallara tepkisini incelemek, böcek davranışını ölçmek için uygun araçların kullanılmasını gerektirir (Stelinski ve Tiwari, 2013). Olfaktometreler, fitokimyasalların böcekler üzerindeki göreceli çekiciliğini veya iticiliğini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, toplanan veriler genellikle böceğin koku kaynağı ile temas etmemesi ile sınırlıdır (Isman, 2002). Birçok araştırmacı, "olfaktometre" terimini, belirli bir koku uyaranına karşı böceklerin davranışsal tepkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılan deney düzeneğini tanımlamak için kullanmaktadır (Vet vd., 1983). Bir böceğin yürüdüğü ve genellikle temiz hava ile koku taşıyan hava olmak üzere iki seçenek arasında karar verdiği çatallı ("T" veya "Y" şeklinde) bir tüpten oluşur. Bu nedenle bu cihaza çift seçenekli olfaktometre de denmektedir (Beavers vd., 1982; Otálora-Luna vd., 2009). Y- veya T-tüp olfaktometre biyo-testleri onlarca yıldır kullanılan teknikler arasındadır (Rotheray, 1981; Wei ve Kang, 2006; Ngumbi vd., 2012). Genellikle avcı ve parazitoitlerin bir koldan gelen test kokusuna ve diğer koldan gelen kontrole verdikleri tepkinin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Bununla birlikte, avcı ve parazitoitlerin iki veya daha fazla uygulama kokusu arasındaki tercihinin test edilmesi, çok seçenekli olfaktometrelerin kullanılmasını gerektirir. Dört ve altı seçenekli olfaktometreler tercih testlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Petterson, 1970; Turlings vd., 2004). Dört veya altı kollu olfaktometre, test böceklerinin girebileceği, kokuyu örnekleyebileceği ve daha sonra ya kalabileceği ya da ayrılıp aparatın başka bir alanına geçebileceği dört veya altı çok belirgin koku sınırıyla çevrelenmiş tarafsız bir merkezi bölge sağlar; dört veya altı koku aynı anda test böceklerine sunulabilir (Petterson, 1970; Turlings vd., 2004). Kokuların karışmasını önlemek için hava, giriş akışlarının toplamına eşit veya daha büyük bir akış hızında sistemden emilir. Avcı ve parazitoitler tarafından yapılan ayrı seçimler genellikle sayım veya oran olarak kaydedilir.

Bir Y- veya T-tüpü olfaktometresinde, bir böceğin şans eseri kollardan birine girme olasılığı yüzde 50'dir. Dört seçenekli bir olfaktometrede bu potansiyel hata olasılığı yüzde 25'e düşmektedir (Vet vd., 1983). Davison ve Ricard (2011) yakın zamanda olfaktometre biyo-deneylerinden elde edilen verileri analiz etmek için çeşitli modelleri gözden geçirmiştir. Bununla birlikte, kullanılacak olfaktometre türünün seçimi çalışmanın hedeflerine bağlı olmalıdır. Böcek davranışlarını etkili, güvenilir ve ekolojik olarak uygun bir şekilde değerlendirmek için laboratuvar izleme deneylerinin geliştirilmesine sürekli ihtiyaç vardır. Böcek deneklerinin beslenmek ve yumurtlamak için bitki materyaliyle fiziksel temas kurmasına izin vermek, davranışla ilgili ek parametreler hakkında eşzamanlı veri toplanmasını sağlar ve çalışmanın ekolojik uygunluğunu artırabilir. Bu teknik aynı zamanda kontrollü bir laboratuvar ortamının faydalarını, böceğin beslenmek ve serbestçe yumurtlamak için yaprak örneğiyle fiziksel temas kurmasına izin vermenin sağladığı artan ekolojik uygunlukla birleştirir (Coffey vd., 2016).

1.2. Literatür Çalışması

Pérez-López vd. (2006), yılında yürütülen çalışmada, İspanya'da Clemenules ve Fortuna mandalina çeşitlerinden elde edilen meyve sularında d-limonene, linalool, α-terpineol ve terpinen-4-ol gibi dört ana aroma bileşiğinin bazı özelliklerini incelenmiştir. Çalışmada GC-MS kullanılarak yapılan analizlerde, pastörizasyon ve depolama süreçlerinin bu uçucu bileşiklerin konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilediği ortaya konmuştur. Özellikle, d-limonene ve linalool'ün zamanla bozulduğu, buna karşılık α-terpineol ve terpinen-4-ol'un ısıl işlem sonrası ve depolama boyunca arttığı belirlenmiştir. d-limonene ve linalool, narenciye aromasında karakteristik taze kokunun taşıyıcısı olup, depolama sırasında α-terpineol ve terpinen-4-ol gibi bileşiklere dönüşmeleri kalite kaybının göstergesidir. α-terpineol özellikle tüketici kabulü açısından olumsuz etkilere sahiptir. Bu nedenle, söz konusu dört bileşiğin işleme sürecinde ve depolama süresince izlenmesi, ürün kalitesinin kontrolü açısından önemli bir kalite parametresi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bu uçucu bileşiklerin sadece aroma açısından değil, aynı zamanda biyoaktif özellikleri nedeniyle de entomolojik çalışmalar açısından önemli olduğu bilinmektedir. Limonene ve linalool gibi monoterpenler, bazı böcek türleri üzerinde çekici ya da itici etkiler yaratabilir. Dolayısıyla mandalina suyu

işleme sırasında bu bileşiklerin nasıl değiştiğinin anlaşılması, hem gıda kalitesi hem de tarımsal entomoloji uygulamaları açısından çift yönlü önem arz etmektedir.

Chong ve Oetting (2007), tarafından yürütülen çalışmada, turunçgil unlubiti *Planococcus citri*'ye karşı sıklıkla birlikte kullanılan biyolojik mücadele ajanları olan avcı *Cryptolaemus montrouzieri* ve parazitoit *Leptomastix dactylopii* arasındaki etkileşimler değerlendirilmiştir. Çalışma, bu iki tür arasındaki birlik içi avcılık (BİA) ve davranışsal girişimin, biyolojik mücadele etkinliği üzerindeki olası olumsuz etkilerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Deneysel çalışmalar hem tercihli hem de tercihsiz koşullarda yürütülmüş ve *C. montrouzieri* bireylerinin (ergin ve 4. dönem larva) üzerinde farklı yaşlardaki parazitoit larvaları bulunan konukçulara yönelik avlanma davranışları gözlemlenmiştir. Sonuçlar, *C. montrouzieri*'nin hem sağlıklı hem de parazitlenmiş unlubitlerle beslendiğini, ancak 14 günlük mumyalaşmış bireyleri belirgin şekilde reddettiğini göstermiştir. Bu durum, avcının parazitoit gelişiminin ileri evrelerini tanıyarak avlanmaktan kaçındığını göstermektedir. Ayrıca, *C. montrouzieri* bireylerinin varlığı, *L. dactylopii*'nin parazitlenme başarısını olumsuz etkilemiştir. Özellikle *C. montrouzieri* sayısı arttıkça, *L. dactylopii* tarafından gerçekleştirilen parazitlenme oranında önemli düşüşler gözlenmiştir (%13'ten %6'ya). Bu bulgular, biyolojik mücadele programlarında bu iki ajanın birlikte kullanımında, salım zamanlamasının stratejik olarak planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, *L. dactylopii*'nin salımından en az 14 gün sonra *C. montrouzieri*'nin salınmasının, birlik içi avcılık riskini azaltarak daha etkili bir kontrol sağlanabileceğini önermektedirler.

Tentelier ve Fauvergue (2007), tarafından yürütülen çalışmada, otçul zararına maruz kalan bitkilerden salınan uçucu organik bileşiklerin (HIPV), parazitoitlerin habitat değerlendirme sürecindeki rolü araştırılmıştır. Optimal foraging (en uygun beslenme) teorisine dayanan deneysel yaklaşımla, yaprakbiti (Aphididae) ile yoğun şekilde bulaşık edilen bitkileri ziyaret eden parazitoitlerin, sonraki konukçu bitkilerde daha kısa süre kalarak daha az sayıda konukçu bireye saldırdıkları belirlenmiştir. Bu durum, parazitoitlerin çevresel kaynakların geçmiş kullanım düzeyine dair bitkilerden gelen sinyalleri algılayabildiklerini ve davranışlarını buna göre şekillendirdiklerini göstermektedir. Çalışmada ayrıca, ilk ziyaret edilen bitkide yaprakbiti bulunmasa dahi, önceden yüksek düzeyde zarara uğramış bitkilerin yaydığı HIPV'lerin parazitoit davranışları üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak, parazitoitlerin ilk

bitkiden uzakta bulunan bir başka bitkideki kaynak kullanımını da benzer şekilde etkileyen uçucu bileşiklerin varlığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, söz konusu uçucu maddelerin uçucu (volatile) nitelikte olduğunu ve parazitoitlerin bu kimyasal ipuçlarını uzak mesafeden algılayabildiklerini ortaya koymaktadır. Genel olarak, bu çalışma HIPV'lerin yalnızca parazitoitleri cezbetme işlevi görmediğini, aynı zamanda parazitoitlerin habitat kalitesini değerlendirme süreçlerinde bilişsel bir sinyal olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu bulgular, bitki-otçul-parazitoit etkileşimleri bağlamında HIPV'lerin ekolojik işlevselliğine dair anlayışımızı derinleştirmektedir.

Ngumbi vd. (2009), tarafından yapılan bir çalışmada, farklı konukçu özgüllüğüne sahip iki parazitoit *Microplitis croceipes* (*Heliothis* spp.'ye özgü bir parazitoit) ve *Cotesia marginiventris* (*Spodoptera* spp. ve *Heliothis* spp. gibi çeşitli türleri hedef alan bir genel parazitoit) pamuk bitkilerinin zararlı saldırısına verdiği uçucu yanıtlar bağlamında karşılaştırılmıştır. Çalışmada, bitkilerin *Heliothis virescens* ve *Spodoptera exigua* tırtıllarıyla beslenmesi sonucu ortaya çıkan uçucu bileşiklere (özellikle HIPV ve GLV sınıflarına) karşı her iki parazitoit türünün GC-EAD (gaz kromatografisi-elektroantenogram dedeksiyonu) yoluyla verdiği fizyolojik tepkiler ölçülmüştür. Toplamda 30 farklı bileşik tespit edilmiş olup, bunlardan 18 tanesi *H. virescens* tarafından zarar görmüş bitkilerde daha yüksek seviyelerde bulunmuştur. Her iki parazitoit, bu bileşiklerden 16 tanesine karşı tutarlı antennal tepkiler göstermiştir. Ancak, uzman tür olan *M. croceipes*, HIPV olarak bilinen konukçuya özgü bileşiklere daha duyarlı iken, genelci *C. marginiventris* ise yeşil yaprak uçucuları (GLV'ler) gibi daha yaygın sinyallere daha güçlü tepki vermiştir. Bu bulgular, uzman parazitoitlerin uçucu bileşik karışımlarındaki oran farklılıklarını kullanarak konukçu ayrımı yapabildiğini, buna karşılık genelci türlerin daha geniş spektrumlu, evrensel uçuculara tepki verdiğini göstermektedir. Bu çalışma, VOC'lerin sadece bitki-zararlı etkileşimlerinde değil, aynı zamanda parazitoit davranışlarının evrimi ve biyolojik mücadelede etkili ajan seçimi açısından da önemli ipuçları sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür bilgiler, özellikle çevre dostu zararlı yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde, doğru doğal düşman türünün seçilmesini kolaylaştırarak başarı oranını artırabilir.

Patt ve Setamou (2010), tarafından yürütülen çalışmada, Asya turunçgil psillidi (*Diaphorina citri*)'nin turunçgil ailesine ait konukçu bitkilerin genç sürgünlerinden

yayılan uçucu organik bileşiklere (VOCs) karşı davranışsal tepkileri araştırılmıştır. *D. citri*, Huanglongbing (HLB) hastalığını taşıyan ana zararlılardan biridir ve sadece genç sürgünlerde beslenerek üreyebilmektedir. Çalışmada, *Murraya paniculata* ve *Citrus limon* (Eureka çeşidi) gibi bitkilerin genç sürgünlerinden yayılan kokuların hem erkek hem dişi bireylerce tercih edildiği bulunmuştur. Buna karşılık, *Citrus paradisi* (Rio Red) çeşidinden yayılan uçucuların her iki cinsiyet için de cezbedici olmadığı belirlenmiştir. Gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile yapılan analizlerde, bitki uçucuları arasında (E)-β-ocimene, linalool, linalyl asetat ve β-caryophyllene gibi monoterpen ve seskiterpen bileşiklerinin baskın olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, *M. paniculata*'dan elde edilen VOC profiline benzer sentetik terpen karışımı ile yapılan kafes deneylerinde, kokulu hedeflerin kokusuz olanlara göre daha fazla *D. citri* bireyini cezbettiği gösterilmiştir. Bu çalışma, *D. citri*'nin konukçu bitki tespitinde uçucu bileşikleri aktif olarak kullandığını ve bu bileşiklerin potansiyel cezbedici olarak değerlendirilerek entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Webster vd. (2010), tarafından yürütülen bu çalışma, bitkilerin yaydığı uçucu bileşiklerin (VOCs) bitki zararlısı böcekler tarafından nasıl algılandığını ve bu bileşiklerin bağlamdan bağımsız olarak değil, karışım hâlinde farklı anlamlar taşıyabileceğini göstermektedir. Çalışmada, *Aphis fabae* (siyah bakla yaprakbiti) gibi fitofag böceklerin konukçu bitkileri olan *Vicia faba* tarafından salınan 15 farklı uçucu bileşiğe karşı davranışsal tepkileri değerlendirilmiştir. Bireysel olarak test edilen 10 bileşiğin yaprakbitleri için caydırıcı (repellent) olduğu bulunmuştur. Ancak bu bileşikler, daha sonra maksimum olumsuz tepki yarattıkları dozlarda karıştırıldığında, yaprakbitleri tarafından cezbedici veya durdurucu (attractant/arrestant) bir karışım hâline gelmiştir. Bu bulgu, aynı uçucu bileşiklerin, bağlamsal olarak (karışımda veya tek başına sunulmasına göre) hem konukçu hem de konukçu olmayan bitki sinyali olarak işlev görebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu durum, böceklerin koku algısının sadece bileşiğin kimyasal yapısıyla değil, aynı zamanda çevresel arka plan kokularına ve karışımdaki diğer bileşenlere bağlı olarak şekillendiğini de göstermektedir. Bu bulgular, entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerinde uçucu bileşiklerin kullanımı sırasında kokusal bağlamın dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Zira davranışsal olarak aktif olan bileşiklerin yalnız başlarına

kullanıldıklarında etkisiz ya da ters etkili olabileceği; ancak doğru kombinasyonlarla uygulandıklarında istenen cezbetme ya da caydırma etkisi yaratabileceği anlaşılmıştır.

Finlay-Doney ve Walter (2012), turunçgil unlubiti (*Planococcus citri*)'nin önemli doğal düşmanlarından biri olan *Cryptolaemus montrouzieri*'nin uçucu bileşiklere karşı davranışsal tepkileri Y-olfaktometre sistemi kullanılarak araştırılmıştır. *C. montrouzieri*, hem larva hem de ergin evrelerinde aktif olarak unlubit bireyleri tüketen avcı bir böcek olup, biyolojik mücadelede geniş kullanım alanına sahiptir. Ancak bu türün arazideki etkinliğini artırmak için, çevresel sinyalleri nasıl algıladığına dair bilgiler büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, *C. montrouzieri*'nin üç farklı kaynaktan elde edilen uçucu bileşiklere olan davranışsal yanıtları test edilmiştir. bu kaynaklar: Zararlı (*P. citri*) bireylerinden yayılan VOC'ler; Zararlı bulaşık etmiş portakal bitkilerinden yayılan VOC'ler; Temiz (zararsız) portakal bitkilerinden yayılan VOC'lerdir. Deneylerde kullanılan Y-olfaktometre düzeneği, böceğin farklı uçucu kaynaklara yönelme eğilimini objektif şekilde ölçmeyi sağlamıştır. Deneyler sonucunda, *C. montrouzieri* bireylerinin hem zararlının kendisinden yayılan kokulara hem de enfekte portakal bitkilerinden salınan VOC'lere anlamlı düzeyde yönelme gösterdiği tespit edilmiştir. Buna karşı, *C. montrouzieri* bireyleri temiz bitkilerden yayılan kokulara karşı herhangi bir tercih göstermemiştir. Bu sonuçlar, *C. montrouzieri*'nin hem konukçunun (zararlının) hem de zararlının bitkide oluşturduğu hasarın kimyasal izlerini algılayabildiğini ve bu bilgiyi av bulma sürecinde kullandığını göstermektedir. Özellikle enfekte bitkilerden yayılan uçucuların cezbedici etkisi, herbivor indüklenmiş bitki uçucuları (HIPVs) kavramı ile örtüşmekte olup, bu tür bileşiklerin doğal düşmanlar üzerinde yönlendirici rol oynadığına dair literatürdeki diğer bulgularla da paralellik göstermektedir. Çalışmada ayrıca, *C. montrouzieri* bireylerinin farklı yaş ve cinsiyet evrelerine göre VOC'lere tepkileri de değerlendirilmiştir. Bulgular, hem erkek hem dişi bireylerin VOC'lere tepki verdiğini; ancak dişi bireylerin özellikle zararlı kaynaklı kokulara daha duyarlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, dişilerin av bulma davranışında daha aktif rol oynaması ile açıklanabilir ve biyolojik mücadelede araziye salınacak bireylerin seçimi açısından önem taşımaktadır. Genel olarak çalışma, *C. montrouzieri*'nin VOC'lere karşı gösterdiği davranışsal tepkilerin hem zararlı tespiti hem de arazide etkili yönelim için kullanılabilecek önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Ngumbi vd. (2012), tarafından yürütülen çalışmada, iki farklı ekolojik özelliğe sahip parazitoit olan *Cotesia marginiventris* (genel parazitoit) ile *Microplitis croceipes* (türe özgü parazitoit) arasında, konukçu ile ilişkili bitki kaynaklı uçucu bileşiklerin öğrenilebilirliğine dayalı davranışsal tepkiler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada kullanılan dört sentetik uçucu bileşik (trans-2-hexenal, α-pinene, cis-3-hexenyl butyrate ve (E,E)-α-farnesene) pamuk bitkisinin hem temel (GLVs) hem de herbivor saldırısına bağlı olarak (HIPVs) salgıladığı bileşiklerdir. Bu uçucular, zararlının varlığına dair dolaylı ipuçları sağlaması bakımından doğal düşmanların dikkatini çekebilecek niteliktedir. Çalışmada, her iki parazitoit türünün konukçu bitki uçucu maddelerine karşı tepkisini artırıp artırmadığını belirlemek için hem saf dişiler hem de şekerli suyu test bileşikleriyle ilişkilendirmek üzere eğitilmiş dişiler Y-tüp olfaktometre sistemiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, *C. marginiventris*'in eğitim sonrası dört uçucu bileşiğe karşı da anlamlı düzeyde artan bir cezbedici tepki geliştirdiğini göstermiştir. Buna karşı, *M. croceipes* bireyleri yalnızca α-pinene ve (E,E)-α-farnesene bileşiklerine karşı eğitim sonrası anlamlı düzeyde tepki göstermiştir. Bu durum, genelist türlerin çevresel uyarıcılara karşı daha esnek ve öğrenmeye açık bir davranış repertuarına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. *C. marginiventris*'in tüm bileşiklere karşı öğrenme yoluyla artan tepkisi, davranışsal plastisitenin bu türde daha gelişmiş olduğunu ve konukçu bulma başarısını artırabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, çalışmanın bulguları, biyolojik mücadele programlarında doğal düşmanların uçucu bileşiklere önceden eğitilmesiyle arazideki etkinliklerinin artırılabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri açısından önemli bir yenilik potansiyeli taşıdığını gösterebilmaktadır.

Song ve Ryu (2013), arazi koşullarında yaptıkları çalışmalarında, hem bakteriyel patojen *Pseudononas syringae* pv. *lachrymans*'a hem de yaprakbiti *Myzus persicae*'ye karşı uçucu organik bileşik (VOC) aracılı indüklenen direncin etkinliğini göstermiştir. Ayrıca, meyve veriminin arttığı VOC 3-pentanol ve 2 bütanonun kullanılması, yaprakbitlerinin doğal düşmanı olan uğur böceği *Coccinella septempunctata* sayısında önemli bir artış sağlamıştır. Bu sonuçlar, VOC'lerin, açık alanlarda bile, indüklenen direnci ortaya çıkararak bitki hastalıklarını ve böcek hasarını önlemeye yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Kreuzwieser vd. (2014), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Venüs sinek kapanı (*Dionaea muscipula*), hayvanları avlama sürecinde yalnızca mekanik tuzaklarını değil, aynı zamanda uçucu organik bileşikleri (VOC) kullanarak böcekleri cezbetme yeteneğini de devreye sokmaktadır. Bitkiden 60'tan fazla uçucu bileşik salındığı belirlenmiş, bu bileşiklerin çoğunluğunu terpenler, benzen türevleri ve alifatik yapılar oluşturmuştur. VOC salınımının özellikle ışık altında arttığı görülmüştür. Besin takviyesi ile azot düzeyi artırılan bitkilerde terpene dayalı uçucuların salınımında azalma meydana gelmiş, ancak bu değişiklik *Drosophila*'nın bitkiye olan çekimini etkilememiştir. Y-olfaktometre deneylerinde, model organizma olarak seçilen *Drosophila melanogaster* bireylerinin (hem dişi hem erkek) Venüs sinek kapanı tarafından yayılan uçuculara gösterdiği davranışsal tepkiler test edilmiştir. Sonuçlara göre, her iki cinsiyet de bitkiden yayılan VOC'lere karşı pozitif yönelim göstermiş, istatistiksel olarak anlamlı düzeyde Y-olfaktometre sisteminde bitki kokusunu içeren kola doğru hareket etmişlerdir. Bununla birlikte, çalışmada beslenme durumu farklılaştırılmış (besinle takviye edilen ve edilmeyen) *Dionaea* bitkileri arasındaki VOC salınımı karşılaştırılmış; besin takviyesi yapılan bitkilerde terpene dayalı uçucuların salınımında azalma gözlenmiştir. Ancak bu değişiklik, dişi ve erkek sineklerin cezbedilme düzeylerini etkilememiştir. Dolayısıyla, uçucuların cezbedici etkisinin sadece yoğunluğa değil, bileşiklerin kombinasyonuna dayandığı, bu kombinasyonun her iki cinsiyet tarafından da benzer şekilde algılandığı ortaya konmuştur. Bu bulgular, *D. muscipula*'nın karmaşık VOC karışımları yoluyla hem dişi hem erkek hedef organizmaları etkili bir şekilde cezbettiğini göstermekte ve bu tuzak sisteminin av çekiminde cinsiyet ayrımı gözetmeksizin etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Takemoto ve Takabayashi (2015), tarafından yapılan bu çalışmada, bir parazitoit olan *Aphidius ervi*'nin, konukçusu *Acyrthosiphon pisum* ile bulaşık edilmiş bakla (*Vicia faba*) bitkilerinden salınan uçucu bileşiklere (HIPV'ler) karşı davranışsal yanıtları test edilmiştir. Deneylerde, konukçuya özgü (spesifik) HIPV'ler (β-myrcene, n-octanal, α-phellandrene) ile konukçuya özgü olmayan (nonspesifik) HIPV'ler ((E)-β-ocimene, γ-terpinene, linalool) kullanılmıştır. Bu bileşikler hem bireysel olarak hem de eşdeğer oranlarda karıştırılarak test edilmiştir. Sonuçlara göre: Dişi *A. ervi* bireyleri, özellikle n-octanal ve (E)-β-ocimene'e (10 ng ve 30 ng dozlarda) temiz havaya karşı daha fazla ilgi göstermiştir. α-phellandrene, hem düşük (0.1 ng) hem de yüksek (30 ng) dozlarda cazip

bulunurken, orta dozlarda bu etki görülmemiştir. İlginç şekilde, linalool, 0.1 ng ve 1 ng dozlarında *A. ervi* tarafından itici bulunmuştur. En dikkat çekici sonuç, altı bileşiğin karışımı (blend) ile elde edilmiştir. Bu karışım, test edilen tüm konsantrasyonlarda (0.001 ng - 5 ng aralığında) *A. ervi* dişilerini cezbetmiştir. Bu bulgular, uçucu bileşiklerin tek başlarına değil, doğal oranlarında oluşturulan karışımlar halinde sunulmasının parazitoitler için daha anlamlı ve yönlendirici bilgiler sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, uçucu karışımların kullanımı, biyolojik mücadelede daha etkili yem tuzakları veya çekici sistemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Zunino vd. (2015), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, citrus tristeza virus CTV enfeksiyonunun *Citrus sinensis* (tatlı portakal) çeşitlerinde neden olduğu VOC değişiklikleri Twister™ sorbent sistemi ile toplanmış ve TD-GC/TOF-MS (Termal desorpsiyonlu gaz kromatografisi-zaman uçuşlu kütle spektrometresi) kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada üç farklı sınıfta bitkilerden örnek alınmıştır: sağlıklı bireyler, yalnızca CTV ile enfekte olan bireyler ve hem CTV hem de *Spiroplasma citri* (Stubborn hastalığı etmeni) ile ko-enfekte olan bireyler. Toplamda 383 VOC bileşiği tespit edilmiş olup, bu veriler hem denetimli hem de denetimsiz istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Bulgular şu önemli ayrımları ortaya koymuştur: Sağlıklı bireyler, yalnızca CTV ile enfekte bireylerden net biçimde ayrıştırılabilmiştir. Sağlıklı bireyler, CTV + Stubborn ko-enfekte bireylerden de başarıyla ayırt edilebilmiştir. CTV varlığını, Stubborn ko-enfeksiyonu olup olmadığına bakılmaksızın belirleyen modeller oluşturulabilmiştir. Analizlerde CTV ile ilişkili putatif biyobelirteçler arasında şu bileşikler öne çıkmıştır: terpenoidler (myrcene, carene, ocimene, bulnesene), alkoller (n-undecanol, surfynol) ve asetonderivatları (geranyl acetone, neryl acetate). Bu çalışma, turunçgil ağaçlarında viral enfeksiyonların VOC profilleri aracılığıyla tespitinin mümkün olabileceğini ve belirli bileşiklerin patojen varlığına biyobelirteç olarak hizmet edebileceğini göstermektedir. Aynı zamanda, VOC profillemesinin bitki sağlığı izleme sistemlerinde erken tanı aracı olarak potansiyelini ortaya koymaktadır.

Giunti vd. (2016), *Psyttalia concolor* parazitoit, üç farklı zeytin çeşidinden (cultivar) yayılan uçucu organik bileşikler (VOCs) aracılığıyla zeytin sineği larvalarını (*Bactrocera oleae*) tespit edebilmişlerdir. Çalışmada, farklı zeytin çeşitlerinden elde edilen VOC profilleri karşılaştırılmış ve bu profillerin parazitoitin konukçuyu bulma davranışını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Bulgular, parazitoitin belirli VOC

bileşimlerine tepki gösterdiğini ve bu kimyasal sinyallerin konukçu tespiti ve yöneliminde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada farklı zeytin çeşitlerinin yaydığı VOC'lerin *Psyttalia concolor*'un davranışsal tepkileri üzerindeki etkisi vurgulanmış ve biyolojik mücadelenin optimize edilmesinde bu tür kimyasal ipuçlarının kullanılabileceği belirtilmiştir.

Michereff vd. (2016), *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) yumurtaları ve yumurta ekstraktlarından salınan uçucu bileşiklerin yanı sıra bu yumurtaların bırakıldığı veya ekstraktlarla muamele edilen soya bitkilerinden salınan kokuların, yumurta parazitoiti *Telenomus podisi*'nin (Hymenoptera: Platygastridae) konukçu arama davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Y-tüp olfaktometre denemelerinde *T. podisi*'nin, doğrudan yumurta kümelerinden yayılan kokulara ve özellikle aseton ekstraktlarına yöneldiği; ancak hava, çözücü kontrolleri, yumurta bırakılmış veya ekstrakt uygulanmış bitkilerden gelen kokulara tepki göstermediği belirlenmiştir. Gaz kromatografisi analizlerinde, aseton ekstraktlarının hekzadekanoik asit, linoleik asit ve (Z)-9-oktadekenoik asit gibi doymuş ve doymamış yağ asitlerini içerdiği saptanmıştır. Çalışma, *E. heros* yumurtalarının *T. podisi* için kısa mesafeli konukçu tanıma ve arama sürecinde önemli ipuçları sunduğunu; ancak yumurtaların bitki üzerinde bulunmasının, bitkide parazitoiti çeken dolaylı savunmaları (ovipozisyon-indüklü bitki uçucuları) uyarmadığını ortaya koymuştur.

Ponzio vd. (2016), çalışmalarında, birden fazla zararlı böceğin aynı bitkiye saldırması durumunda, bitkiden yayılan uçucu organik bileşiklerin (HIPV'ler) üç farklı parazitoit türünün yönelim davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. *Brassica nigra* bitkisine, *Pieris brassicae*'nin yumurtaları veya larvaları ile birlikte farklı yoğunluklarda *Brevicoryne brassicae* yaprakbitleri uygulanmıştır. Üç farklı parazitoit türü (*Trichogramma brassicae*, *Cotesia glomerata* ve *Diaeretiella rapae*) kullanılarak, sadece konukçuyla indüklenen kokular ile hem konukçu hem de konukçu olmayanla birlikte indüklenen kokular arasındaki ayırt etme yetenekleri test edilmiştir. Çalışma sonucunda, çiftli enfestasyonun (dual attack) her parazitoit türünü farklı şekilde etkilediği ve özellikle yaprakbiti yoğunluğunun, bitkiden yayılan uçucu bileşiklerin miktarını ve bileşimini değiştirdiği görülmüştür. Kimyasal analizler, uçucu bileşiklerin emisyonunda yaprakbiti yoğunluğuna bağlı doğrusal olmayan değişimler olduğunu göstermiştir. Ayrıca, davranışsal tercihler ile uçucu bileşik düzeyleri arasında basit

korelasyonlar kurmak yetersiz bulunmuş, doz-tepki analizlerinin bu ilişkileri daha doğru yansıttığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, entegre mücadele programlarında, zararlı yoğunluğu ve tür çeşitliliğinin parazitoitlerin etkisini önemli ölçüde şekillendirebileceğini göstermektedir.

Saçtı ve Kılınçer (2018), tarafından yürütülen çalışmada, turunçgil bahçelerinde yaygın olarak kullanılan beyaz yağın turunçgil unlubiti *Planococcus citri*'nin önemli biyolojik mücadelesi olan parazitoit *Leptomastix dactylopii*'nin konukçu bulma ve parazitleme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Laboratuvar koşullarında yapılan denemelerde (28±1 °C, %65±10 orantılı nem, 16:8 saat aydınlık:karanlık fotoperiyod) hava akışlı Y-tüp olfaktometresi kullanılmıştır. Seçim testlerinde, 2-3 günlük çiftleşmiş dişi parazitoitlerin temiz hava, beyaz yağ, konukçu ve beyaz yağ uygulanmış konukçuya karşı tepkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, parazitoitlerin beyaz yağa kıyasla temiz havayı daha çok tercih ettiğini, ancak konukçu kokusunun beyaz yağdan daha baskın çekiciliğe sahip olduğunu göstermiştir. Parazitleme deneylerinde 3. dönem nimfler ve genç dişi unlubitler kullanılmış, beyaz yağ uygulanan konukçulara parazitoitler 0, 6, 12, 18 ve 24 saat aralıklarla bırakılmıştır. Parazitlenmiş konukçu sayısı geçen süre ile doğru orantılı olarak artmış ve 24. saatte %90'a ulaşmıştır. Ancak beyaz yağın doğrudan parazitoit erginleri üzerine etkisi yüksek bulunmuş, uygulamadan hemen sonra ölüm oranı %90'ın üzerinde gerçekleşmiştir. Buna rağmen etkiler zamanla azalmış ve 5 saat sonrasında zararsız düzeye düşmüştür. Çalışma sonucunda, beyaz yağın parazitoitlerin davranışı üzerine başlangıçta olumsuz etkiler yarattığı, fakat uçucu özelliği nedeniyle etkinin zamanla azaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle biyolojik mücadelenin etkinliğini artırmak için beyaz yağ uygulamaları ile parazitoit salım zamanlamasının iyi planlanması gerektiği vurgulanmıştır.

Giunti vd. (2020), bitki beslenme kalitesi ve kimyasal özelliklerinin, fitofag böceklerin varlığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. *Bactrocera oleae* (Rossi) dişilerinin farklı olgunlaşma ve enfekte durumlarına sahip zeytinlere yönelik koku tercihleri üç çeşitte (Ottobratica, Roggianella ve Sinopolese) değerlendirilmiştir. Zeytinlerden elde edilen uçucu profiller SPME/GC-MS ile tanımlanmıştır. *B. oleae* ergin dişilerinin, enfekte derecesine bağlı olarak meyvelere ve saf kimyasallara karşı tepkilerini belirlemek için seçim testleri yapılmıştır. Çeşit, uçucu emisyonlarda kaydedilen farklılıkları açıklayan ana değişkenlik kaynağı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, üç VOC [β-mirsen, limonene ve

(E)-β-ocimene] tüm zeytin çeşitlerinde enfekte durumuyla ilişkilendirilmiştir. Seçim testlerinde, *B. oleae* dişileri, her zaman yüksek oranda enfekte edilmiş meyveler yerine, düşük derecede enfekte edilmiş olanlardan koku alma ipuçlarını tercih etmiştir. Bu nedenle, varsayılan *B. oleae* kairomonları tanımlamak için yüksek oranda enfekte edilmiş meyveler tarafından daha fazla miktarda yayılan sentetik VOC'leri kullanan seçim testleri düzenlenmiştir. Dişiler β-mirsen için kayıtsızken, en yüksek limonene ve (E)- β-osimen dozajları, tercihen Y-tüpünün boş koluna doğru hareket eden test edilen bireyler tarafından tercih edilmemiştir. Ayrıca, dişiler en yüksek konsantrasyona kıyasla en düşük β-osimen konsantrasyonunu tercih etmişlerdir. Bu sonuçlar, meyve VOC'lerinin dişi sinekler için kairomon görevi görebileceği hipotezini desteklemiştir.

Mohammed (2020), *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae) ile bulaşık Tahiti lime meyvesinden gelen uçuculara iki seçenekli olfaktometre biyo-testleri aracılığıyla zararlının parazitoiti olan *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae)'un tepkisini araştırmıştır. Çalışmada ilk olarak, temiz ve *A. aurantii* ile bulaşıklı olan bitkilerden yayılan kimyasallar belirlenmiştir. Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi analizleri ve katı faz mikroekstraksiyonu yoluyla 26 uçucu organik bileşik (VOC) tanımlanmıştır. Bunların 18'i *A. aurantii* ile bulaşık olan meyvelerde artmış, biri azalmış, ayrıca beş bileşik yalnızca bulaşık olan meyvelerden üretilmiştir. Çiftleşen *A. melinus* dişilerinin limon meyvesine ve VOC'lerine yönelik doğal pozitif kemotaksisi daha sonra olfaktometre deneylerinde test edilmiştir. Meyvesiz kontrol ile karşılaştırıldığında, dişi *A. melinus*, sağlıklı ve *A. aurantii*'ye önemli ölçüde daha fazla ilgi göstermiştir. Sağlıklı meyve veya *A. aurantii*'nin ikinci ve üçüncü dönemi ile bulaşık meyve arasında parazitoit çekiciliği bakımından önemli bir fark bulunmamıştır. Test edilen iki sentetik bileşik arasında, d-limonene ve β-osimen, test edilen dozajlarda (15 µl/ml) parazitoit için güçlü bir çekim ortaya çıkarmış ve bu bileşiğe kısa menzilli bir çekici olarak içsel bir tepki göstermiştir. *A. melinus*'un esas olarak konukçu-habitat seçiminin koku alma ipuçlarına dayandığını ve bulaşıklı meyve uçucularında cezbedici maddeler olduğunu belirlemiştir. Pratikte, bu uçucu maddenin uygulamalarının, *A. aurantii*'nin biyolojik mücadelesinin etkinliğini arttırmak için daha fazla *A. melinus*'un çekilmesinde önemli bir rol oynayabileceğini bildirmiştir.

Zhao vd. (2020), çalışmalarında 58 farklı çiçek kaynaklı uçucu bileşiğin (floral volatiles) cezbedicilik düzeyini hem *Harmonia axyridis* hem de *Coccinella*

septempunctata üzerinde test etmişlerdir. Y-tüp olfaktometre deneyleri sonucunda bu bileşiklerden 29'unun her iki tür için anlamlı cezbedici etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, floral kökenli uçucuların uğur böceklerini cezbetmede kullanılabileceğini göstermektedir. Yapılan rüzgar tüneli denemelerinde ise yalnızca isoamyl asetat, α-humulen, trans-3-hexen-1-ol, metil salisilat ve β-pinen bileşiklerinin, her iki uğur böceği türünü anlamlı düzeyde cezbettiği ortaya konmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, en etkili çiçek uçucularını belirlemişlerdir. Bu maddeler, farklı kaynaklardan elde edilen 15 yarı kimyasal (zararlı, doğal düşman, bitki kaynaklı) ile karıştırılarak, optimum cezbedici formülasyonların geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hazırlanan çeşitli bileşik kombinasyonları, hem balkabağı (*Cucurbita pepo*) hem de buğday (*Triticum aestivum*) tarlalarında arazi denemelerine tabi tutulmuştur. Bu denemelerde, özellikle aşağıdaki üç formülasyonun uğur böceklerini arazide etkili biçimde cezbettiği doğrulanmıştır: Formül 1: α-humulene : β-pinene : methyl salicylate : trans-3-hexen-1-ol = 1:3:3:10 / Formül 5: α-humulene : β-pinene : methyl salicylate : 1-nonanal = 1:3:3:10 / Formül 8: α-humulene : β-pinene : methyl salicylate : indole = 1:3:3:10. Bu formülasyonlar, uğur böceklerinin tarla içi bolluğunu artırmak ve yaprakbiti baskısını azaltmak amacıyla biyolojik mücadele ajanlarının arazide manipülasyonuna yönelik stratejik araçlar olarak değerlendirilmişlerdir. Bitki-zararlı-doğal düşman üçgenindeki kimyasal iletişimi de dikkate alan bu yaklaşım, entegre zararlı yönetimi (IPM) sistemlerinde uğur böcekleri gibi yararlı organizmaların aktif şekilde yönlendirilmesine olanak tanımışlardır.

Akotsen-Mensah vd. (2021), tarafından yürütülen çalışmada, Asya kökenli istilacı bir zararlı olan (*Halyomorpha halys*) ve onun etkili biyolojik kontrol etmeni yumurta parazitoiti *Trissolcus japonicus* üzerine yapılan bir çalışma, her iki türün de konukçu bitki kokularına karşı gösterdiği davranışsal tepkileri değerlendirmiştir. Özellikle, *H. halys* nymphlerinin bu tür kokulara verdiği tepkiler daha önce yeterince incelenmediğinden, deneysel yaklaşım bu evreye odaklanmıştır. Çalışmada ilk olarak, Y-tüp olfaktometre kullanılarak *H. halys* nymphlerinin elma (*Malus domestica*) ve şeftali (*Prunus persica*) meyve kokularına yönelim davranışları analiz edilmiştir. Sonuçlar, nymphlerin her iki meyve kokusunu da kokusuz kontrole (hava) karşı anlamlı düzeyde tercih ettiklerini, ancak elma ile şeftali kokusu arasında seçim yapmadıklarını ortaya koymuştur. Ardından, *H. halys* ve *T. japonicus*'un daha önce zararlıdan ve

konukçu bitkilerinden tanımlanan 18 farklı sentetik VOC'ye verdiği tepkiler test edilmiştir. Bu deneylerde *H. halys* nymphleri, özellikle etil salisilat (ethyl salicylate, ES), undekan (undecane, UN) ve etil asetat (ethyl acetate, EA) bileşiklerine karşı çekici tepkiler göstermiştir. Sera koşullarında yapılan ilave gözlemlerde ise, ES ve EA'nın 1:1 oranındaki karışımının zararlı için cezbedici olduğu; ancak bileşiklerin tekil olarak kullanıldığında benzer bir etki oluşturmadığı belirlenmiştir. Bu durum, VOC karışımlarının sinerjik etkilerinin önemli olabileceğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, *Trissolcus japonicus* dişileri de Y-tüp analizlerinde ES, β-karyofillen (β-caryophyllene) ve dekanal (decanal) bileşiklerine, hem ayrı ayrı hem de 1:1:1 oranındaki karışım halinde yönelme göstermiştir. Ancak tridekan ve α-pinen gibi bazı bileşikler parazitoit için itici özellik taşımış ve bireyler bu kokulara sahip kolları kontrol koluna göre daha az tercih etmiştir. Bu bulgu, VOC'lerin sadece cezbedici değil, aynı zamanda itici etkiler de gösterebileceğini ve bu farklılıkların entegre zararlı yönetimi stratejilerinde değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu çalışma, uçucu organik bileşiklerin, zararlı ve doğal düşmanlarının habitat seçimi ve konukçu bulma süreçlerindeki rolünü açıkça ortaya koymuştur. Özellikle VOC temelli çekici-itici sistemlerin (push-pull strategies) geliştirilmesi ile zararlıların kontrolü çevreye zarar vermeden, doğal dengeyi bozmadan sağlanabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, zararlının cezbedildiği ama doğal düşmanın itici bulmadığı veya tam tersine, hem zararlının hem de parazitoitin yönelmesini sağlayan VOC'lerin seçilmesiyle etkili biyolojik mücadele yöntemleri geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Huang vd. (2021), *Hypolepis punctata*'nın zararı sonrası saldığı uçucularla avcı *Sclomina erinacea*'yı cezbederek endirekt savunma gerçekleştirdiğini göstermeyi amaçlamıştır. Çalışmada Y-tüpü olfaktometre kullanılarak, *Sclomina erinacea*'nın zarar görmüş eğrelti otlarının yapraklarından yayılan uçucular ile sağlam yapraklardan gelen kokular arasındaki tercihi test edilmiştir. HS-SPME yöntemiyle toplanan uçucular, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile analiz edilmiştir. VOC profilleri çok değişkenli analiz yöntemleriyle karşılaştırılmıştır (PCA ve MANOVA). *Sclomina erinacea* bireyleri, otçul zararına uğramış *H. punctata* yapraklarından salınan kokulara yönelmiştir. GC-MS analizleri, hasar görmüş yapraklardan salınan uçucular arasında (z)-3-hexenyl acetate, β-caryophyllene ve limonene gibi bileşiklerin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. PCA sonuçları, farklı zarar seviyelerine sahip yaprakların VOC

profilleri arasında belirgin ayrım olduğunu ortaya koymuştur. Böylece, bitkiler zararlı saldırıya uğradığında uçucu bileşikler salarak avcıları cezbedebileceğini göstermiştir. Bu durum, eğrelti otların savunma evriminde VOC salınımının önemli bir yer tutabileceğini düşündürmektedir. *Sclomina erinacea*'nın davranışsal tepkisi, bu tür uçucu bileşiklerin ekosistemdeki avcı-av-bitki üçlü etkileşimlerinde merkezi rol oynadığını desteklemektedir. Araştırma, eğrelti bitkilerinin savunma stratejileri konusundaki bilgileri genişlettiği gibi, biyolojik mücadele açısından da önemlidir.

Song vd. (2021), yaprakbiti parazitoiti *Aphidius gifuensis* Ashmaed (Hymenoptera: Braconidae)'in konukçu arama davranışında tütün bitkisi, yaprakbitleri ve uçucu bileşiklerin rolünü araştırmışlardır. Altı kollu olfaktometre ile yapılan denemelerde, mekanik olarak 50 delik açılmış veya yüksek yoğunlukta (*Myzus persicae*, 400 birey) yaprakbiti ile bulaşık edilmiş tütün bitkilerinin, parazitoitler için önemli ölçüde çekici olduğu; ancak 12 saatlik enfestasyonda bu etkinin görülmediği belirlenmiştir. Ayrıca yaprakbiti yoğunluğunun, parazitoit tepkisi üzerinde enfestasyon süresinden daha etkili olduğu ortaya konmuştur. Y-tüp olfaktometre denemeleri, *A. gifuensis*'in özellikle gündüz aktif olduğunu ve en yüksek konukçu arama davranışını saat 14:00'te gösterdiğini ortaya koymuştur. Elektroantenogram (EAG) testlerinde beş tütün uçucusu (trans-2-hexenal, methyl salicylate, benzaldehyde, cis-3-hexen-1-ol ve 1-hexanal) dişi parazitoitler için farklı konsantrasyonlarda anlamlı düzeyde çekici bulunmuştur. Çalışma, *A. gifuensis*'in sürdürülebilir biyolojik mücadelede kullanılmasında, konukçu yoğunluğu ve bitki kökenli uçucuların önemli rol oynadığını göstermektedir.

Alsabte vd. (2022), laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmada, temiz ve kırmızı kabuklubit *Aonidiella aurantii* ile bulaşık edilen turunçgil tarafından yayılan uçucu organik bileşikleri (VOC'ler) belirlemek için, gaz kromatografisi (GC-MS) ile birleşmiş olan Katı faz mikro ekstraksiyon (HS-SPME) tekniği kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre bunlardan sekiz tanesinin (limonene, β-ocimeney, p-cymen, methyl salicylate, Nananol, cineole, γ- Terpinene, cis-3-Hexenyl acetate) *A. aurantii*'nin turunçgillere bulaşması ile arttığı belirlenirken, beş tanesinde (Farnesene, β- Elemene, neryl acetate, β- bisabolene, nerol) azalma belirlenmiştir. *R. lophanthae* davranış tepkilerini belirlemek için Y-tüp olfaktometre kullanılmıştır. *R. lophanthae* bireyleri, bulaşık edilmiş turunçgil fidanlarını tercih etmiştir. Olfaktometre ile yapılan testlere göre, avcı *Rhyzobius lophanthae* dişi ve erkeği bir Y-tüp olfaktometre kullanılarak 1 ve

10 µL/mL dozlarında metil salisilat (methyl salicylate) ve d-limonene çekilmişlerdir. Bu sonuçlar, turunçgil uçucularının avcı *R. lophanthae*'nin tepkisini nasıl etkileyebileceğini açıklamaktadır.

Frontini vd. (2022), *Tulbaghia violacea* türünün iki varyetesi olan mor çiçekli 'Violacea' ve beyaz çiçekli 'Alba' bitkileri arasında (Z)-3-Hexenyl acetate üretimi açısından belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Beyaz çiçekli varyete bu bileşiği sürekli ve yüksek miktarda üretirken, mor çiçekli varyetede üretim düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bu durum, uçucu profillerin varyeteye özgü olarak farklılaşabildiğini ve bu çeşitliliğin biyolojik mücadele açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Her iki varyete, 5 saatlik cam kubbe altında tutularak ve SPME (Solid Phase Micro Extraction) yöntemi ile analiz edilmiş; altı temel uçucu bileşik; (Z)-3-Hexenyl acetate, Benzil alkol, Nonanal, Dekanal, (Z)-3-Hexenyl-methylbutyrate tanımlanmış ve bir bileşik tanımlanamamıştır. Bu sonuçlar, *T. violacea*'nın uçucu üretimi bakımından zengin bir model bitki olduğunu göstermiştir. Bitkilerin yaprakları yapay olarak yaralandığında (yaprakların ortadan kesilmesi), her iki varyetede de (Z)-3-Hexenyl acetate emisyonu anlamlı şekilde artmış, bununla birlikte (Z)-3-Hexenyl-methylbutyrate üretimi de paralel şekilde yükselmiştir. Bu durum, GLV'lerin stres tepkisi olarak üretildiğini ve yaralanmayla uyarılan savunma sinyalleri arasında yer aldığını kanıtlamaktadır. (Z)-3-Hexenyl acetate; bitkilerde savunma yanıtlarını başlatıcı (priming) sinyal olarak, otçul zararlıları caydırıcı, doğal düşmanları cezbedici ve bitkiden-bitkiye iletişimi tetikleyici bir uçucu bileşik olarak işlev görmektedir. Bu nedenle, GLV emisyonu yüksek olan *T. violacea* gibi bitkiler, tarımsal sistemlerde "sinyal bitkisi" olarak değerlendirilebilir. Bu tür bitkilerin biyolojik mücadele stratejilerinde doğal düşmanları araziye yönlendirme amaçlı kullanımı, kimyasal pestisitlere duyulan ihtiyacı azaltabileceği bildirilmiştir.

Zhang vd. (2022), dört farklı örtü bitkisinin kişniş (*Coriandrum sativum*), kadife çiçeği (*Tagetes erecta*), tatlı alyssum (*Lobularia maritima*) ve yonca (*Medicago sativa*) yaprakbiti ile enfekte edilmesi sonucu saldıkları yarı kimyasalların *Harmonia axyridis* üzerindeki davranışsal ve olfaktör etkilerini araştırmıştır. Çalışmada yapılan yumurta bırakma tercih testlerinde, *H. axyridis* bireylerinin dört örtü bitkisi arasında anlamlı bir yumurtlama tercihi göstermediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, yumurtaların büyük çoğunluğunun yaprakların alt yüzeyine bırakıldığı gözlemlenmiştir. Bu davranışın,

yumurtaların avcılardan ve çevresel faktörlerden korunmasını sağlaması açısından avantaj sağladığı düşünülmektedir. Yumurtaların çıkış oranları arasında anlamlı fark olmamakla birlikte, en yüksek çıkış oranı kadife çiçeği bitkisi üzerinde kaydedilmiştir. Bireysel dişi *H. axyridis* bireyleriyle yapılan Y-tüpü olfaktometre testleri, yalnızca yaprakbiti ile enfekte edilmiş kadife çiçeklerinin uçucu bileşiklerinin, anlamlı düzeyde cezbedici olduğunu göstermiştir. Diğer bitkiler (kişniş, alyssum, yonca) ile sağlıklı ya da mekanik olarak zarar görmüş kadife çiçekleri ise benzer cezbedici etki göstermemiştir. Bu durum, yaprakbiti saldırısına özel olarak üretilen bazı bileşiklerin *H. axyridis* için sinyal işlevi gördüğünü ortaya koymuştur. Yaprakbiti ile enfekte edilen kadife çiçeklerinden salınan uçucular kimyasal olarak analiz edilmiş ve enfekte olmayan bitkilere kıyasla 12 bileşiğin salınımında anlamlı artış tespit edilmiştir. Bu bileşiklerden özellikle: İndol ($P < 0.01$) ve Terpinen-4-ol ($P < 0.05$), *H. axyridis* bireylerini anlamlı şekilde cezbetmiştir. Bu bileşiklerin 10^3-10^4 µg/mL konsantrasyonlarında hem dişi hem erkek bireyler üzerinde pozitif yönelim etkisi göstermesi, bu maddelerin doğrudan cezbedici olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Buna karşılık, geranil asetat, yüksek konsantrasyonlarda *H. axyridis* için itici etki yaratmıştır. Diğer uçucular arasında yer alan α-farnesen, benzotiyazol ve oktil asetat ise sayıca artsa da istatistiksel olarak anlamlı cezbedici etki göstermemiştir. Bu çalışma, belirli bitki-zararlı etkileşimlerinin doğal düşmanlar üzerinde spesifik ve ölçülebilir etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Özellikle kadife çiçeği + yaprakbiti etkileşimi sonucunda salınan indol ve terpinen-4-ol bileşiklerinin cezbedici özellikleri, koruyucu biyolojik mücadelede (attract-and-reward) yaklaşımıyla kullanılabilir. Bu bileşiklerin arazide biyolojik mücadele ajanlarının popülasyonlarını desteklemek amacıyla erken dönemde bitkilerle birlikte kullanılması, entegre zararlı yönetimi için yeni stratejik olanaklar sunmaktadır.

Adams vd. (2023), yaptıkları çalışmalarında, Asteraceae familyasına ait konukçu olmayan bitkilerden yayılan uçucu organik bileşiklerin (VOC'ler), domates-*Tuta absoluta*- *Nesidiocoris tenuis* arasındaki tritrofik etkileşimi nasıl etkilediğini araştırmıştır. Y-olfaktometre analizleri, *T. absoluta* dişilerinin domates ve diğer *Solanaceae* türlerine (ör. *Solanum giganteum*) çekildiğini, buna karşı *Tagetes minuta* (kadife çiçeği) ve *Bidens pilosa* (kara papatya) gibi Asteraceae bitkilerine karşı kaçınma davranışı sergilediğini ortaya koymuştur. Aynı deneylerde, *N. tenuis* bireylerinin ise konukçu olmayan bitkilerden yayılan bu uzaklaştırıcı uçuculara karşı ilgisiz kaldığı

gözlemlenmiştir. GC-MS analizleri sonucunda, konukçu ve konukçu olmayan bitkilerin monoterpen ve seskiterpen bileşimlerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar, monoterpenlerin *T. absoluta* ve onun doğal düşmanı olan *N. tenuis* için çekici bir sinyal olduğunu; buna karşı seskiterpenlerin zararlı böcekler için uzaklaştırıcı (repellent) bir sinyal işlevi gördüğünü göstermiştir. Araştırma, bitkiler arası kimyasal iletişimin tritrofik etkileşimlerdeki önemini vurgulamakta ve entegre zararlı yönetimi stratejileri kapsamında çok işlevli yardımcı bitki (companion plant) kullanımı için bilimsel temel sunmaktadır.

Andrade vd. (2023), yaptıkları çalışmada, kahve bitkilerinde birden fazla zararlı türünün (örümcek akarı *Oligonychus ilicis* ve unlubit *Planococcus minor*) birlikte enfestasyonunun (çoklu herbivori), bitkinin salgıladığı uçucu organik bileşikler (HIPV'ler) ve bu bileşiklerin doğal düşmanlar üzerindeki etkilerinin sonuçlarını incelenmiştir. Araştırmada öncelikle örümcek akarlarının unlubit enfestesini kolaylaştırdığı, ancak tersinin gerçekleşmediği gözlemlenmiştir. Her iki zararlının tekli enfestasyonu, bitkide jasmonat türevi savunma hormonlarının (JA, JA-Ile ve cis-OPDA) birikimine neden olmuştur. Her zararlı, bu hormonların metabolik yollarını kendine özgü şekilde düzenlemiştir. Bitkilerden yayılan VOC'ler analiz edilmiş, ardından bu uçucularla doğal düşmanların yönelim davranışı Y-tüp olfaktometre ile test edilmiştir. Ayrıca bitkiler, her bir zararlıya özgü uçucu bileşikler salgılayarak yalnızca o zararlının doğal düşmanlarını (avcı akar *Euseius concordis* veya *Cryptolaemus montrouzieri*) çekmiştir. Ancak her iki zararlının aynı anda enfestasyonu (çoklu herbivori), bitkide daha yüksek düzeyde JA ve SA birikimine yol açmasına rağmen, salınan uçucular tekli enfestasyona benzer kalmış, fakat bu uçucuların doğal düşmanlara çekiciliği azalmış ya da itici hale gelmiştir. Çoklu herbivorinin, bitkinin savunma tepkilerini modifiye ederek HIPV profilinde değişiklik yaptığı tespit edilmiştir. Bunun da doğal düşmanların konukçuya yöneliminde azalmaya veya engelleyiciliğe neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu bulguların, çoklu zararlı baskısının doğal düşmanlarla ilişkili biyolojik kontrol stratejileri üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerine işaret ettiğini bildirmişlerdir.

Oliveira vd. (2023), *D. citri*'nin farklı turunçgil çeşitlerine ('Rangpur' limon anacı üzerine yetiştirilen üç tatlı portakal çeşidi [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck ('Valencia', 'Westin' ve 'Pera')] ve ayrıca üç anaç çeşidi kullanılmış: 'Rangpur' limonu (*Citrus limonia* Osbeck), 'Sunki Tropical' [*C. sunki* (Hayata) Hort. ex Tanaka] ve 'HTR 059'

melezi (*C. sunki* x *C. limonia* x *P. trifoliata*). 'Flying Dragon' [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] ve mersin (*Murraya paniculata* L. Jack)) olan davranışsal tercihleri dört kollu Y-olfaktometre kullanılarak değerlendirilmiş, ayrıca turunçgil çeşitlerinden salınan uçucu organik bileşikler (VOC'ler) SPME yöntemi ile toplanarak GC-MS ile analiz edilmiştir. Y-olfaktometre deney sonuçlarına göre, hem dişi hem de erkek bireyler, 'Sunki Tropical', 'Rangpur lime' ve 'Valencia' çeşitlerinden gelen kokuya istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yönelim göstermiştir. Buna karşı, 'HTR059', 'Pera' ve 'Westin' çeşitleri hem erkek hem de dişi bireyler tarafından daha az tercih edilmiştir. Özellikle 'Pera' çeşidinde baskın olarak β-pinene ve linalol; 'Westin'de β-pinene ve dekanol; 'HTR059'da ise β-caryophyllene ve γ-elemene bileşiklerinin varlığı dikkat çekmiştir. Bu bileşiklerin düşük cezbediciliğe sahip olması, bu çeşitlerin *D. citri* tarafından daha az tercih edilmesinde etkili olabileceğini göstermektedir. Sonuçlar, turunçgil çeşitleri arasında *D. citri* için cezbedicilik düzeylerinin VOC bileşimine bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, HLB hastalığına karşı korunma amacıyla 'HTR059', 'Pera' ve 'Westin' gibi çeşitlerin kullanımı önerilmiştir. Bu çeşitlerin, vektörün daha az cezbedildiği bitkiler olarak, hastalığın yayılmasını sınırlama potansiyeline sahip olduğunu belirtilmişlerdir.

Peter vd. (2023), yaptıkları çalışmada, *Spodoptera frugiperda* FAW'un yumurta bırakma tercihi ile onun larva iç parazitoiti *Cotesia icipe*'nin konukçu tespitinde oynadığı rol açısından, mısıra eşlik eden altı farklı yardımcı bitki (fasulye, yer fıstığı, tatlı patates, yeşil ve gümüş yapraklı desmodium türleri ve manyok) incelenmiştir. Hipoteze göre, yardımcı bitkilerden salınan uçucu organik bileşikler, FAW'un konukçu tercihlerini ve parazitoitin kokuya dayalı yönelim davranışlarını değiştirebilir. Çift tercihli yumurtlama deneylerinde FAW, mısır bitkisine önemli ölçüde daha fazla yumurta bırakmıştır. Ancak, çoklu tercihli denemelerde yardımcı bitkilerin varlığı, manyok hariç, mısıra bırakılan yumurta sayısını belirgin şekilde azaltmıştır. Rüzgar tüneli analizlerinde, FAW'un davranışsal farklılıklarını doğrularken, *C. icipe*'nin ise hem tek başına yardımcı bitkilere hem de mısırla birlikte sunulduğunda bu bitkilere yöneldiği saptanmıştır. GC-MS analizleri sonucunda, davranışı değiştirme potansiyeline sahip (Z)-3-hexenyl acetate, (E)-β-ocimene, (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene, (E)-β-caryophyllene, kafur, metil salisilat ve (E,E)-4,8,12-trimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene gibi uçucu bileşikler tanımlanmıştır. Bu bulgular, mısırla yapılan çeşitli ekim

sistemlerinin FAW zararını azaltabileceğini ve aynı anda doğal düşmanların cezbedilmesini sağlayarak biyolojik mücadelenin desteklenebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, tarım alanlarında yardımcı bitkilerle yapılan entegre yetiştiriciliğin, FAW'un ekolojik olarak sürdürülebilir kontrolüne katkı sağlayabileceği bildirilmiştir.

De La Pava vd. (2024), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ticari olarak yaygın şekilde kullanılan iki avcı olan *Cryptolaemus montrouzieri* ve *Tenuisvalvae notata*'nın farklı koku kaynaklarına karşı davranışsal tepkileri laboratuvar koşullarında değerlendirilmiştir. Deneysel düzende, 16 uçucu bileşik (örneğin: limonen, geranial, 1-octanol) ile bunların portakal bitkilerinde gözlenen doğal karışımları kullanılmış ve Y-olfaktometre aracılığıyla bu türlerin yönelme tercihleri ölçülmüştür. Çalışma bulgularına göre, *C. montrouzieri* bireyleri, özellikle zararlı varlığında salgılanan bazı bileşiklere karşı istatistiksel olarak anlamlı yönelme göstermiştir. Limonen, 1-octanol ve geranial gibi turunçgil VOC'leri, bu predatör için davranışsal düzeyde cezbedici etki oluşturmuştur. Bu durum, *C. montrouzieri*'nin turunçgil meyve ağaçlarında *Planococcus citri* gibi unlubitlere karşı yöneliminde kimyasal sinyallerden faydalanabildiğini ve bu sayede doğrudan av varlığına ya da zararlı ile enfekte olmuş bitki kaynaklarına yaklaşabildiğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın dikkat çekici sonuçlarından biri de, VOC'lerin karışım halinde sunulduğunda etkisinin artmasıdır. Bu durum, arazide kullanılan cezbedici sistemlerin tekil bileşiklerden ziyade sinerjik etki yaratan uçucu karışımlarla tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, türler arası farklılıkların yanı sıra, cinsiyet, yaş ve deneyim gibi faktörlerin de davranışsal yanıtlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Özellikle VOC temelli çekici-tutucu sistemlerin (attract-and-kill, push-pull) geliştirilmesi açısından, *C. montrouzieri*'nin belirli turunçgil uçucularına karşı gösterdiği pozitif yönelme tepkisi dikkate değerdir.

Dong vd. (2024), tarafından yürütülen çalışmada, Çin'de çam ağacı solgunluk nematodlarının (pine wilt disease) yeni bir vektörü olan *Monochamus saltuarius*'un (Coleoptera: Cerambycidae) konukçu bitki tercihi ve bu zararlıyı cezbeden uçucu bileşikler araştırılmıştır. Zararlının konukçu çam ağaçlarında beslenme ve yumurtlama yoluyla büyük ekonomik kayıplara yol açması, onunla mücadelede etkili cezbedicilerin geliştirilmesini önemli kılmaktadır. Çalışmada üç farklı konukçu türü (*Pinus koraiensis, Pinus tabuliformis* ve *Picea asperata*) karşılaştırılmış ve *P. koraiensis*'in en cazip tür olduğu belirlenmiştir. Bu bitkilerden toplamda 18 farklı uçucu organik bileşik tespit

edilmiştir. Elektroantennogram (EAG) analizleri ve Y-tüp davranışsal testleri sonucunda, 3-carene, β-pinene, α-pinene, (-)-camphor, α-phellandrene, terpinolene, D-limonene ve myrcene gibi bileşiklerin *M. saltuarius* üzerinde cezbedici etkileri olduğu bulunmuştur. Arazi deneyleri, özellikle 3-carene, β-pinene ve α-pinene'in en etkili kairomonlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, etanol'ün özellikle β-pinene ile birlikte kullanıldığında sinerjik cezbetme etkisi gösterdiği belirlenmiştir. Ek olarak, etanol, 2-undecyloxy-1-ethanol ve ipsdienol karışımı, β-pinene'in cezbedici etkisini anlamlı şekilde arttığı tespit edilmişdir. Bu bulguların, *M. saltuarius*'un doğal ortamda konukçu bulma davranışlarını yönlendiren anahtar bileşiklerin belirlenmesine katkı sunmakta ve zararlının çevre dostu bir şekilde biyolojik ve kimyasal olarak kontrolüne yönelik cezbedici formülasyonların geliştirilmesine teorik bir temel sağladığı bildirilmiştir..

Olabiyi vd. (2024), unlubit (*Nipaecoccus viridis*) bireylerinin, mekanik yaralanma yoluyla uyarılan turunçgil uçucularına (volatiles) karşı davranışsal tepkisini araştırmıştır. Araştırmada, turunçgil bitkileri mekanik olarak yaralanmış ve bu süreçte yayılan uçucular analiz edilmiştir. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) ile yapılan analizler sonucunda, yaralanmış bitkilerde limonene, β-ocimen, myrcene, linalool gibi terpenoid bileşiklerin miktarında artış gözlenmiştir. Laboratuvar koşullarında yürütülen Y-tüp olfaktometre testlerinde, *N. viridis* bireylerinin bu bileşiklere (özellikle β-ocimen, γ-terpinen, sabinen ve citronellal) yönelim gösterdiği belirlenmiştir. Bu bileşiklerin 0.01 veya 0.1 µg/µl'lik konsantrasyonlar ile kullanıldığında, davranışsal cezbediciliği araştırılmıştır. Arazi deneylerinde, epidermal dokuların mekanik olarak tıraşlandığı (raspalanmış) bölgelerde yerleştirilen karton bant tuzaklarda, sağlam bölgelere göre daha fazla birey yakalanmıştır. Gaz fazı analizleri, yaralanmış ve sağlam turunçgil dallarından toplanan uçucu profillerin hem niteliksel hem de niceliksel olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle γ-terpinen, citronellal, citronellyl asetat, β-E-farnesen, α-humulen ve α-E-E-farnesen bileşikleri yalnızca hasarlı dokulardan elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Arazi denemelerinde ise 10.0 µg/µl konsantrasyonda hazırlanan farnesen:ocimen:sabinen (7:13:17 oranında) karışımıyla yemlenmiş tuzaklar, negatif kontrole (mineral yağ) göre anlamlı derecede daha fazla birey yakalamıştır. Tek bileşik olarak farnesen veya ocimen içeren tuzaklar da benzer şekilde etkili bulunmuştur. Bu bulguların, turunçgil bitkilerinde mekanik zarar sonrası salınan bitki kaynaklı terpenlerin, *N. viridis*'in

davranışsal yönelimine etki ettiğini ve bu bileşiklerin zararlı türün izlenmesi ve biyoteknik mücadelesi için etkili feromon tuzaklarının geliştirilmesinde kullanılabileceğini gösterdiği bildirilmiştir.

Ermio vd. (2025), çiçek nektarlarında sıklıkla göz ardı edilen mikroorganizmalardan biri olan flamentöz (ipliksi) mantarların, nektarın uçucu organik bileşik (VOC) profiline etkisini ve bu değişimlerin yumurta parazitoitlerinin kokuya dayalı davranışsal tepkileri üzerindeki rolünü araştırmıştır. Geleneksel olarak, çiçek nektarının mikrobiyal ekolojisi çoğunlukla maya ve bakteriler üzerine odaklanmışken, bu çalışma, *Fagopyrum esculentum* (karabuğday) çiçeklerinden izole edilen *Cladosporium* türlerinin etkilerine ışık tutmaktadır. Çalışmada, olfaktometre deneyleri kullanılarak, *Trissolcus basalis* ve *Ooencyrtus telenomicida* adlı iki yumurta parazitoitinin, farklı *Cladosporium* suşları tarafından fermente edilmiş nektarlara tepkileri ölçülmüştür. *O. telenomicida* her iki etkili suşa (SAAF 22.2.11 ve SAAF 22.3.29) karşı pozitif kokuya yönelim davranışı gösterirken, *T. basalis* yalnızca SAAF 22.2.11 ile fermente edilmiş nektara tepki vermiştir. Kimyasal analizler sonucunda, altı farklı mantar suşu tarafından fermente edilen nektarların VOC bileşimlerinin birbirinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılaştığı saptanmıştır. Cezbedici ve cezbetmeyici karışımlar arasında kısmi örtüşme gözlenmiş olsa da, bu farklılıkların parazitoit davranışlarında belirgin sonuçlara yol açtığı bildirilmiştir.

Hu vd. (2025), tarafından yürütülen çalışmada, *Citri grandis* (Huajuhong, HJH) örneklerinde bulunan uçucu bileşiklerin kimyasal profili ile ekolojik faktörler arasındaki ilişki ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Araştırmada, Güney Çin'in farklı bölgelerinden toplanan 47 parti HJH örneği, HS-SPME-GC-MS (Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry) yöntemiyle analiz edilmiştir. Bulgular, özellikle Huazhou bölgesine ait örneklerin uçucu bileşik profillerinde belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermiştir. Bu farklılıklardan sekiz uçucu bileşik, Huazhou menşeli örneklerin özgün kimyasal belirteçleri olarak tanımlanmıştır. Çalışmada çok boyutlu istatistiksel analiz teknikleri (PCA, HCA, OPLS-DA) kullanılarak uçucu bileşik profilleri ile iklimsel faktörler (örneğin sıcaklık, nem, yıllık güneşlenme süresi) ve toprak elementleri (örneğin Ca, Mg, K, Na) arasındaki korelasyon değerlendirilmiştir. Sonuçlar, uçucu bileşiklerin çeşitliliği ve yoğunluğunun çevresel etmenlere duyarlı olduğunu, özellikle Huazhou bölgesinin

kendine özgü iklim ve toprak yapısının HJH'nin kimyasal bileşimini belirgin şekilde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, uçucu bileşiklerin ekolojik faktörlere verdiği yanıtları ortaya koyarak, bitkisel drogların kimyasal otantikliğinin değerlendirilmesinde çevresel parametrelerin göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan ana materyaller aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

2.1.1. Turunçgil Fidanlarının Temin Edilmesi

Bu çalışmada kullanılmış olan portakal (Fukumoto çeşidi), mandalina (Nova çeşidi), greyfurt (Rio Red çeşidi) ve limon (Zagara Bianca çeşidi) fidanları Antalya ilindeki turunçgil fidanı satışı yapılan yerlerden temin edilmiştir. Test edilmiş turunçgil fidanları aynı yaşa sahip ve olgunluk açısından benzer olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Denemede kullanılan turunçgil çeşitleri

2.1.2. *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae)

Planococcus citri, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM)'den temin edilerek, Erciyes Üniversitesi Bitki Koruma laboratuvarında filizlenmiş patatesler üzerinde stok kültürü oluşturulmuştur. Turunçgil unlubiti için besin olarak filizlendirilmiş patatesler kullanılmıştır. Filizlenmiş patateslere, *P. citri*'nin yumurtlayan dişilerinden alınan yumurtalar, yumuşak bir fırça ile bulaştırılmıştır. *P. citri*'nin üretiminde üst tarafı cam, yan tarafları tülbent ile kapalı ve 70x60x50 cm boyutlarında kafesler kullanılmıştır. Bu şekilde unlubitin gelişimi düzenli olarak kontrol edilmiştir. Gelişimini tamamlayan unlubitlerden elde edilen ovisaklar, kültürün sürekliliğini sağlamak için filizlenmiş yeni patateslere bulaştırılmıştır.

Zararlının Sınıflandırması:

Alem: Animalia

Şube: Arthropoda

Sınıf: Insecta

Takım: Hemiptera

Üst familya: Coccoidea

Familya: Pseudococcidae

Cins: *Planococcus*

Tür: ***P. citri*** Risso,1813

2.1.3. Doğal Düşmanların Üretimi

Bu çalışmada kullanılmış olan avcı *Cryptolaemus montrouzieri* BATEM'den temin edilmiştir. Patates sürgünleri üzerinde üretilen unlubitin karışık dönemlerinin bulunduğu 7 lt'lik kaplar içerisine 15 ♀♀, 15 ♂♂ *C. montrouzieri* ergini bırakılmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan parazitoit *Leptomastix dactylopii* Adana Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. *L. dactylopii, P. citri*'nin üçüncü dönem nimf ve erginleri tercih ettiği için besin verirken patates sürgünleri üzerinde bu

dönemlerin olmasına dikkat ederek, unlubitin bulunduğu 3 lt'lik plastik kavanozlar içerisine 30 ♀, 30 ♂ *L. dactylopii* ergini bırakılmıştır. Elde edilen ergin doğal düşmanlarla uygun koşullar altında hem deneme için hem de yeni kültürler açılmış ve stok kültürün devamlılığı sağlanmıştır. Böceklerin üretimi, 25±1°C sıcaklık, 60±10% bağıl nem ve 16:8 aydınlık: karanlık ışıklanma koşullarına sahip iklim odalarında gerçekleştirilmiştir.

Avcının Sınıflandırması:

Alem: Animalia

Şube: Arthropoda

Sınıf: Insecta

Takım: Coleoptera

Familya: Coccinellidae

Cins: *Cryptolaemus*

Tür: ***C. montrouzieri*** Mulsant, 1850

Parazitoitin Sınıflandırması:

Alem: Animalia

Şube: Arthropoda

Sınıf: Insecta

Takım: Hymenoptera

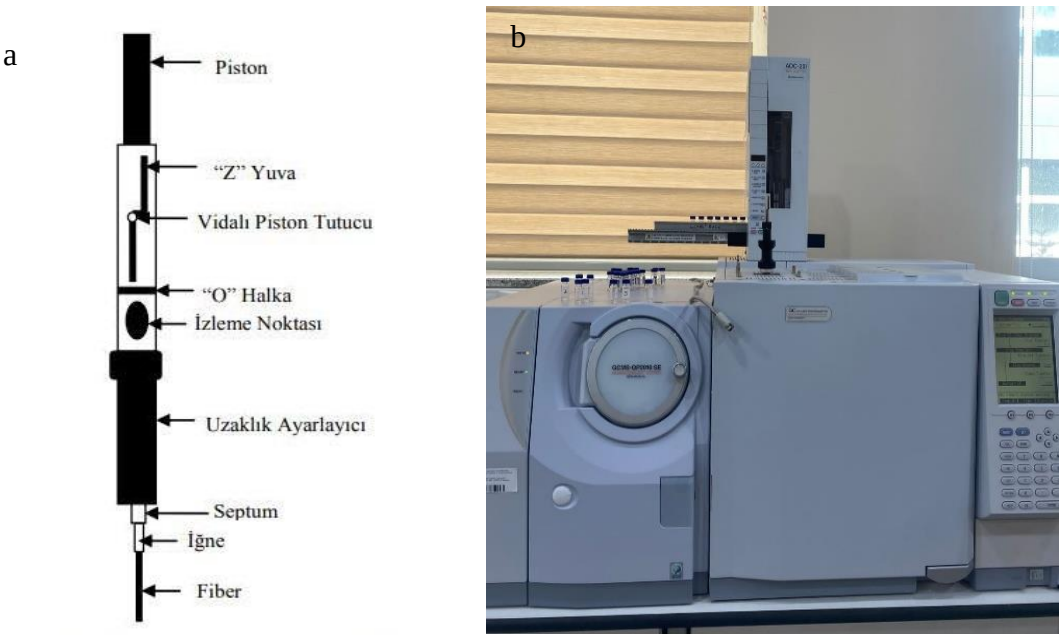
Familya: Encyrtidae

Cins: *Leptomastix*

Tür: ***L. dactylopii*** Howard, 1885

2.1.4. HS-SPME ve GC-MS

Planococcus citri ile enfekte olmayan ve enfekte olan turunçgil bitkilerinden Uçucu Bileşikleri elde etmek için gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) Shimadzu 2010 SE (MS-QP2010) (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) ile birleştirilmiş üst boşluk katı fazlı mikroekstraksiyon (HS-SPME) kullanılarak tanımlanmıştır (Şekil 2 a ve b).



Şekil 2. Denemede kullanılan SPME (a) ve GC-MS (b) cihazlari

2.1.5. Uçucu bileşikler (VOC)

Elde edilmiş uçucu organik bileşikler (GC-MS sonuçlarına göre *P. citri* ile enfekte bitkilerde en yüksek artış gösteren maddeler) seçilip SIGMA (şirket bilbisi)'da sentetik olarak yaptırılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Denemede kullanılan maddeler

2.1.6. Y-Olfaktometre

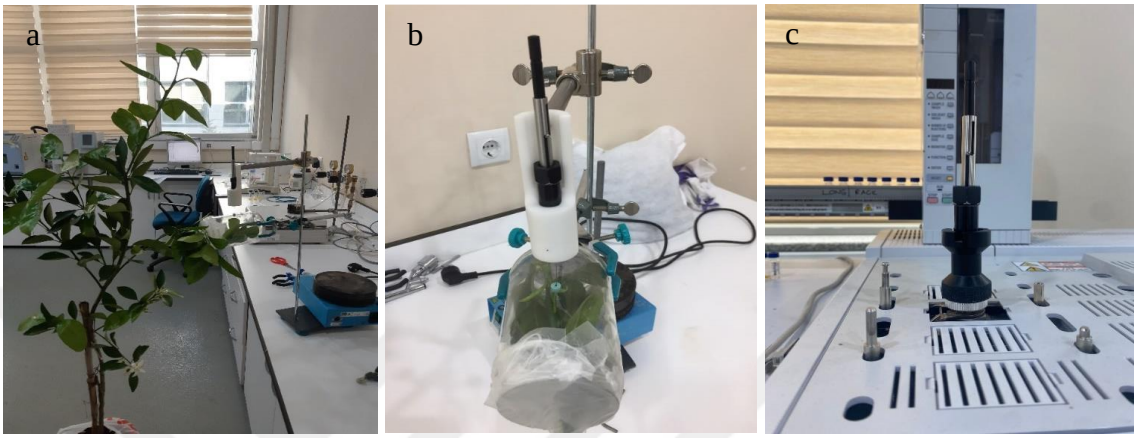
Çalışmada kullanılan Y-tüp olfaktometrenin iç çapı 1,5 cm, gövdesi 10 cm ve 60° açıyla yerleştirilmiş 20 cm uzunluğunda yan kolları vardır; bu kollardan nemlendirilmiş hava (kol başına 0,5 ml/sn) geçirilmektedir. Her kola 1,5 cm çapında ve 20 cm uzunluğunda bir cam tüp bağlanmıştır. Hava tüpten pompalanarak arıtılmış sudan geçirilmiş ve daha sonra bitkinin veya örneğin girebileceği bir bölümden geçirilmiştir. Hava daha sonra Y tüpünden geçerek test edilen böceğin başlangıç noktasından çıkmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Uçucu Organik Bileşik (VOC) Elde Edilmesi

Bu çalışmada *Planococcus citri* ile bulaşık olan ve bulaşık olmayan turunçgil bitkilerinden VOC'ler elde etmek için, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ile birleştirilmiş üst boşluk katı fazlı mikroekstraksiyon (HS-SPME) kullanılmıştır. Bulaşık olan ya da olmayan, 1000 ml'lik bir cam kavanoza ayrı ayrı en az 5 yapraklı bir dal yerleştirilerek, 2 saat boyunca gazların dengelenmesi için oda sıcaklığında bırakılmıştır. Uçucu maddeler, 50/30 μm Carboxen/DVB/PDMS (2 cm) (75-mm Fused Silica, Supelco Ltd., Bellefonte, PA, ABD) kaplamalı bir katı fazlı mikroekstraksiyon (SPME) fiberi ile toplanmıştır. VOC'ler SPME'nin bir cam kavanoza yerleştirilmesi ve tepe boşluğuna maruz bırakılmasıyla toplanmış, ardından SPME fiberi kavanozdan çıkarılmış, GC-MS enjeksiyon portu sistemine yerleştirilmiş ve 250 °C'de 5 dakika boyunca termal desorpsiyon yoluyla doğrudan kolona salınmıştır. Analiz koşulları aşağıdaki gibidir: kolon, Rxi-5Sil MS (30 m 0,25 mm i.d. 0,25 mm film kalınlığı; Restek, Bellefonte, PA, ABD); sıcaklık programı, 40 °C'den (2 dakika) 250 °C'ye (5 dakika) 4 °C/dak; enjeksiyon sıcaklığı, 250 °C; giriş basıncı, 83. 5 kPa; taşıyıcı gaz, He [doğrusal hız (u): 44,2 cm/s]; enjeksiyon modu, bölünmüş (10:1); MS arayüz sıcaklığı, 250 °C; MS modu, elektron iyonizasyonu; dedektör voltajı, 1,5 kV; kütle aralığı, 35e450 m/z; tarama hızı, 1428 u/s; aralık, 0,30 saniye (2 Hz). Veri işleme GC-MS solution 2.5 (Shimadzu) aracılığıyla yapılmıştır. Uçucu bileşikler, kütle spektrumları kütüphanedeki 300000 bileşenle (NIST, WILEY, TUTOR) karşılaştırılarak tanımlanmıştır. Her bir uçucu bileşiğin tutma indeksleri, numunelerle aynı koşullar altında enjekte edilen C7–C30 n-alkanların homolog serisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşenler, n-alkanlara göre LRI değerlerine göre ve ayrıca Wiley, NIST ve FFNSC gibi

MS kütüphanelerindeki verilerle eşleştirilerek tanımlanmıştır. Her uygulama için altı tekrar gerçekleştirilmiştir. VOC ekstraksiyonu ve GC-MS analizi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YETEM) (Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye) yapılmıştır (Şekil 4 a, b ve c).



Şekil 4. (a) VOC'lerin dengelenmesi. (b) SPME'nin fiberi ile VOC'leri toplanması. (c) GC-MS enjeksiyon portu sistemine SPME'nin fiberi yerleştirilmesi

2.2.2. Olfaktometre Testi

Planococcus citri ile bulaşık olan ve bulaşık olmayan turunçgil (portakal, mandalina, greyfurt ve limon) fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* için çekici olup olmadığını değerlendirmek için, bir cam Y-tüp olfaktometre kullanılmıştır.

Bitki denemesi için, Y-tüp olfaktometrenin üç farklı test (unlubit ile bulaşık olmayan bitki - temiz hava), (unlubit ile bulaşık olan bitki - temiz hava) ve (unlubit ile bulaşık olmayan bitki - unlubit ile bulaşık olan bitki) tek bir bireyle (*L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* dişileri ve erkekleri) bir seçim yapılmıştır.

Maddeler ise, GC-MS sonuçlarına göre *P. citri* ile enfekte bitkilerde en yüksek artış gösteren maddelerin çekiciliğini değerlendirmek için, Y-tüp testlerinde iki farklı konsantrasyon (5 µl ve 15 µl) kullanılarak, *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* dişileri ve erkekleri test edilmiştir. Her testte Whatman 90 mm filtre kağıdına 5 µl veya 15 µl solüsyon uygulanmış ve 250 ml'lik desikatöre yerleştirilmiştir. Çözücü buharlaştırıldıktan sonra (yaklaşık 20 saniye), çözelti Y-tüpünün bir koluna bırakılmış, diğer kola kontrol olarak Whatman 90 mm filtre kağıdına saf heksan katkı maddesi konulmuştur. Parazitoit veya avcı başlangıç noktasını terk ettiğinde süre başlamış ve bir

koku kaynağının yönüne 10 cm geçince seçim yapmış kabul edilmiştir. Bireyler iki dakikadan fazla beklenen düzeyde yönelimi göstermezse, genel olarak yanıt vermediği kabul edilmiş ve testlerden çıkarılıp yeni bir bireyle değiştirilmiştir. Tüm testler, 25 ±1 °C'de sabit sıcaklıktaki bir odada gerçekleştirilmiştir. Y-tüpü yukarıdan floresan lamba ile aydınlatılmış ve çevresindeki alanlar herhangi bir görsel ipucunu engellemek için Y-tüpünün etrafına beyaz bir kağıt yerleştirerek örtülmüştür. Her test için, olfaktometrenin merkezi kol tüpüne tek tek doğal düşman bireyler yerleştirilerek test edilmiştir. Her muamele için 5-10 günlük çiftleşmiş dişi ve erkek parazitoitler ile 10-20 günlük çiftleşmiş dişi ve erkek avcılar, her biri 10 böcekten oluşan 3 grup halinde test edilmiştir. Her gruptan sonra ve koku kaynaklarını çıkardıktan sonra, aparat su ve etanol ile temizlenmiş, daha sonra kurutulmuş ve uygulamalar arasında kullanılan tüm camlar sterilizasyon için otoklava atılmıştır.

2.2.3. Arazi Denemesi

2.2.3.1. Mandalina Bahçesi

Bu deneme Adana'da bulunan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* salınmış bir mandalina bahçesinde gerçekleştirilmiştir (Koordinat: 36°47'42.7"N 35°24'46.5"E). Deneme alanındaki ağaçların yaşı eşittir. Deneme beş uygulamadan oluşmuştur: (1) limonene (20 µl) + parafin yağı, (2) gamma-terpinene (20 µl) + parafin yağı, (3) (z)-3-hexenal acetate (20 µl) + parafin yağı, (4) p-cymene (20 µl) + parafin yağı, (5) kontrol olarak sadece parafin yağı. Her muameleyi içeren 1.5 ml hacimli ependorf tüpleri sarı yapışkan tuzak (10 cm x 25 cm) üzerine yapıştırıp mandalina ağaçlarına bağlanmıştır. Tuzaklar ağacın ortasına yerden 150-200 cm yükseklikte asılarak, muamele başına 5 tekerrür olmak üzere tesadüf blokları deneme tasarımında 25 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Ependorf tüpler ve tuzaklar haftalık olarak yenisi ile değiştirilmiştir (Şekil 5). Tuzaklar ilk olarak 27 Temmuz 2024'de mandalina bahçesine asılmış, 6 hafta boyunca haftalık olarak tuzaklarda yakalan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* bireyleri kaydedilerek deneme 7 Eylül 2024'de bitirilmiştir. Deneme alanında *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* iki salım olarak yapılmıştır. İlk doğal düşman salımı deneme başlangıcından önce 15 Haziran 2024 tarihinde, ikinci salım 15 Ağustos 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Üretici, doğal düşmanları üreten şirketten alınan tavsiyelere uygun olarak, bahçenin belirli yerlerinden ağaç başına 3 *C. montrouzieri* ve 8 *L. dactylopii* olacak şekilde her

iki salınımı da gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince deneme alanında pestisit kullanılmamıştır.



Şekil 5. Adana'da mandalina bahçesi

2.2.3.2. Limon Bahçesi

Bu deneme Adana'da bulunan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* salınmış bir limon bahçesinde gerçekleştirilmiştir (Koordinat: 36°47'40.8"N 35°24'45.4"E). Deneme alanındaki ağaçların yaşı eşittir. Deneme iki uygulamadan oluşmuştur: (1) Linalyl acetate (20 µl) + parafin yağı, (2) kontrol olarak sadece parafin yağı. Her iki muameleyi içeren 1.5 ml hacimli ependorf tüpleri sarı yapışkan tuzak (10 cm x 25 cm) üzerine yapıştırıp limon ağaçlarına bağlanmıştır. Tuzaklar ağacın ortasına yerden 150-200 cm yükseklikte asılarak, muamele başına 5 tekerrür olmak üzere tesadüf blokları deneme tasarımında 25 m aralıklarla yerleştirilmiştir. Ependorf tüpler ve tuzaklar haftalık olarak yenisi ile değiştirilmiştir (Şekil 6). Tuzaklar ilk olarak 27 Temmuz 2024'de limon bahçesine asılmış, 6 hafta boyunca haftalık olarak tuzaklarda yakalan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* bireyleri kaydedilerek deneme 7 Eylül 2024'de bitirilmiştir. Deneme alanında *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* iki salım olarak yapılmıştır. İlk doğal düşman salımı deneme başlangıcından önce 15 Haziran 2024 tarihinde, ikinci salım 15 Ağustos 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Üretici, doğal düşmanları üreten şirketten alınan tavsiyelere uygun olarak, bahçenin belirli yerlerinden ağaç başına 3 *C. montrouzieri* ve 8 *L. dactylopii* olacak şekilde her iki salınımı da gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince deneme alanında pestisit kullanılmamıştır.



Şekil 6. Adana'da limon bahçesi

2.2.4. İstatistiksel Analizler

Planococcus citri ile bulaşık olan ve bulaşık olmayan turunçgil fidanlarının arasında GC-MS ile SPME yardımıyla yakalanan VOC'ler t-testi ile karşılaştırılmıştır. Veriler normal dağılıma sahip olmadığında, p değeri Wilcoxon Mann Whitney testi kullanılarak hesaplanmıştır (SPSS v. 24.0). Metaboanalyst 6.0 kullanılarak temel bileşen analizi gerçekleştirilmiş ve çok değişkenli analize tabi tutulan bileşiklerin nispi alan değerleri, çeşitler arasındaki grupların benzerliği ve VOC alanlarının nispi değerleri temelinde doğrulandı.

Y-olfaktometre testlerinde, her seçim testi için belirli bir ipucu seçen doğal düşmanların oranını karşılaştırmak için two-tailed Chi-squared (X^2) testi kullanılmıştır (SPSS v. 24.0). Şekiller Microsoft Excel yardımıyla çizilmiştir (MS Excel ver. 2013).

Arazi denemelerinde, VOC'ler dağıtıcılarıyla muamele edilen ve kontrol olarak sadece parafin yağı dağıtıcılarıyla muamele edilen tuzaklarda yakalanan *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii*'nin sayıları altı hafta boyunca haftalık kontroller ile kaydedilmiştir. Sonuçlar (Shapiro - Wilk testi) ile analiz edilmiş, veriler normal dağılıma uyduğunda, (One-way ANOVA) kullanılarak varyans analizi yapılmış ve farklı grup ortalamaları arasındaki karşılaştırmalar Tukey testi ile yapılmıştır. Veriler normal dağılıma uymadığında Kruskal-Wallis tek yönlü varyans analizi (H) kullanılarak varyans analizi yapılmış ve farklı grup ortalamaları arasındaki karşılaştırmalar Mann-Whitney U testi ($p \leq 0.05$) kullanılarak yapılmıştır (SPSS v. 25.0).

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Uçucu Organik Bileşikler (VOC) Sonuçları

3.1.1. Portakal Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi

Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) analizleri sonucunda, *Planococcus citri* ile enfekte olmuş ve enfekte olmamış portakal fidanlarından toplam 25 farklı uçucu organik bileşik (VOC) tanımlanmıştır (Tablo 6). Elde edilen bulgular, *P. citri* enfestasyonunun bitki uçucu profillerinde dikkate değer değişimlere neden olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle limonene ve β-trans-ocimene gibi portakal fidanlarında doğal olarak bulunan bileşiklerin seviyelerinde enfestasyonla birlikte anlamlı bir artış tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$). Ayrıca bulaşık bitkilerde alpha-thujene ve neryl nitrile gibi yeni bileşiklerin sentezlendiği belirlenmiştir. Bu durum, bitkilerin savunma metabolizmasında enfestasyona bağlı olarak aktivasyonun meydana geldiğine işaret etmektedir. İstatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış gösteren bileşikler arasında β-pinene (w=3,246; P = 0,041), (Z)-3-hexenyl acetate (w=4,143; P = 0,026), delta-3-carene (t=2,817; P = 0,037), p-cymene (t=5,028; P = 0,003), gamma-terpinene (t=2,597; P = 0,026) öne çıkmaktadır. Bu bileşiklerden özellikle (Z)-3-hexenyl acetate, p-cymene ve gamma-terpinene, hem miktar artışı hem de literatürdeki cezbedici etkileri nedeniyle olfaktometre testleri ve arazi uygulamaları (potansiyel olarak) için seçilmiştir.

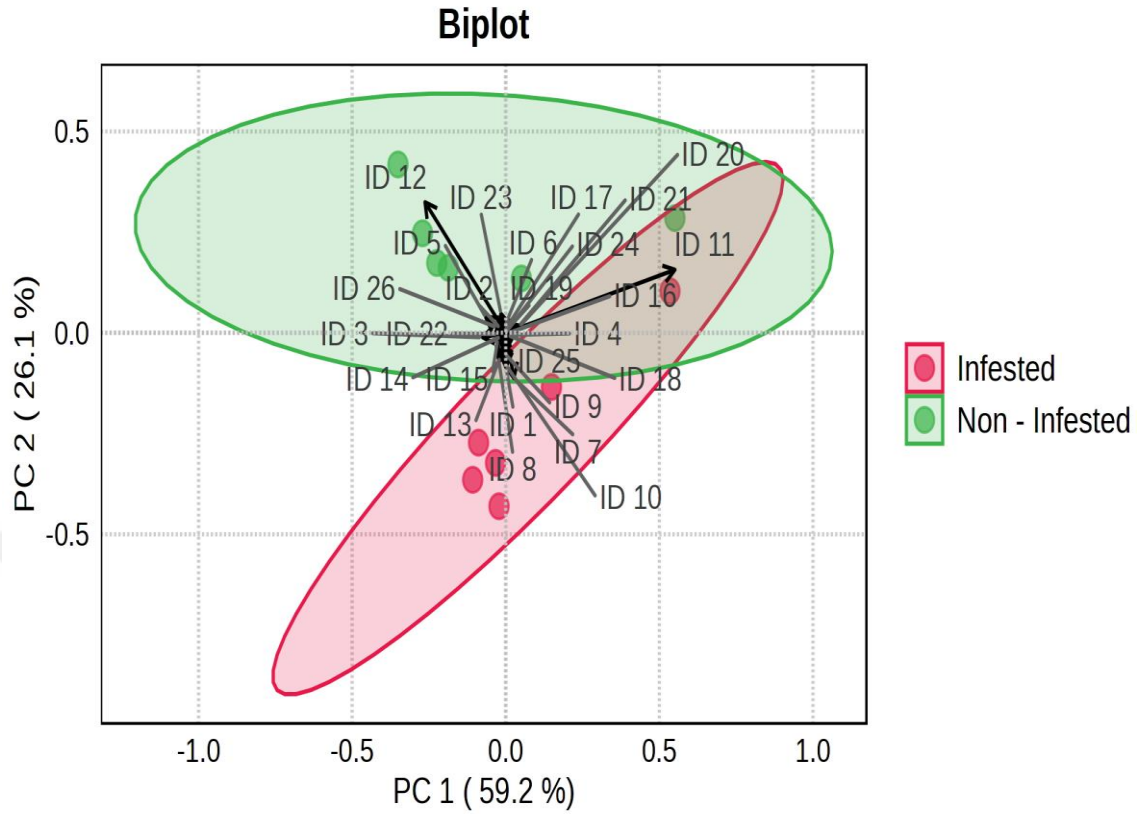
Portakal fidanlarından elde edilen uçucu organik bileşik (VOC) profilleri, *P. citri* ile bulaşık olanın kimyasal bileşim üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla temel bileşen analizi (Principal Component Analysis, PCA) ile analiz edilmiştir. Şekil 7'de sunulan biplot grafiği, bulaşık edilmiş ve edilmemiş örnekler arasında kimyasal farklılaşmayı net bir şekilde ortaya koymaktadır. Birinci temel bileşen (PC1), varyasyonun %59,2'sini açıklarken, ikinci temel bileşen (PC2) %26,1'ini

açıklamaktadır. Toplamda bu iki bileşen, veri setindeki varyasyonun %85,3'ünü temsil etmektedir. PCA sonuçlarına göre, bulaşık (kırmızı) ve bulaşık olmayan (yeşil) bitki grupları arasında belirgin bir ayrışma gözlemlenmiş, bu da *P. citri* ile bulaşığının VOC bileşiminde önemli değişikliklere yol açtığını göstermektedir.

Tablo 6. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş portakal fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı

ID	**Rt**	RI	**Bileşen**	***Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Portakal Fidanı (% ± SH)**	***Planococcus citri* ile bulaşık olan Portakal Fidanı (% ± SH)**	***P* Değeri**
1	8.496	941	alpha-thujene	Nd	5,478 ± 2,01 ***	0,001
2	8.543	947	alpha-pinene	1,803 ± 1,13	0,727 ± 0,37	0,067
3	10.263	988	sabinene	7,315 ± 3,73	6,483 ± 2,18	0,647
4	10.425	993	beta-pinene	0,245 ± 0,31	0,807 ± 0,44 *	0,041w
5	10.958	1007	beta-myrcene	7,885 ± 6,95	4,392 ± 2,24	0,285
6	11.548	1022	l-phellandrene	2,832 ± 5,42	0,318 ± 0,55	0,281w
7	11.585	1025	(Z)-3-hexenyl acetate	0,795 ± 0,923	6,633 ± 7,49 *	0,026w
8	11.639	1026	delta-3-carene	3,096 ± 2,37	6,938 ± 3,11 *	0,037
9	11.967	1034	alpha-terpinene	2,021 ± 2,45	4,315 ± 1,86	0,132w
10	12.267	1037	p-cymene	0,48 ± 0,31	4,947 ± 2,18 **	0,003
11	12.449	1046	limonene	18,773 ± 19,99	19,48 ± 18,74	0,818w
12	13.185	1065	β-trans-ocimene	5,535 ± 2,33	26,663 ± 11,53 **	0,005
13	13.601	1076	gamma-terpinene	2,612 ± 1,98	5,768 ± 2,22 *	0,026
14	14.664	1104	alpha-terpinolen	2,182 ± 1,66	2,143 ± 0,62	0,952
15	15.290	1118	linalool	2,53 ± 3,19	3,085 ± 2,21	0,309w
16	15.736	1131	neryl nitrile	Nd	0,328 ± 0,46 *	0,015
17	16.415	1147	p-mentha-1,5,8-triene	0,643 ± 0,56	0,345 ± 0,13	0,243
18	17.282	1170	beta-citronellal	0,145 ± 0,15	0,582 ± 0,37	0,056w
19	18.915	1198	alpha-terpineol	0,308 ± 0,47	0,187 ± 0,14	0,744w
20	20.491	1258	Z-citral	1,138 ± 2,78	0,557 ± 0,77	0,124w
21	21.577	1288	E-citral	1,028 ± 2,48	0,516 ± 0,83	0,446w
22	25.845	1398	beta-elemene	1,98 ± 2,47	1,625 ± 1,01	0,574w
23	26.847	1440	trans-caryophyllene	5,055 ± 3,45	2,513 ± 0,79	0,133
24	29.054	1510	beta-selinene	0,33 ± 0,48	0,432 ± 0,41	0,361w
25	29.292	1517	alpha-selinene	0,527 ± 0,63	0,597 ± 0,39	0,377w

Bağıl bolluk, altı portakal fidanının (n = 6) ortalama değeri ± SH (standart hata); Uçucu organik bileşik(ler) artan alıkonmasına (RT) göre sıralanmıştır; veriler normal dağılım gösterdiğinde, p-değeri t-testi ile hesaplanır; veriler normal dağılım göstermediğinde, (w) ile p-değeri Wilcoxon Mann Whitney testi ile hesaplanır; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001; ID: bileşik(ler)in sayısı; RT: alıkonma süreleridir; RI: tutma indeksi; Nd: tespit edilmemiştir.



Şekil 7. Portakal fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6). Grafikte, skor değerleri, parantez içinde açıklanan varyansla birlikte ilk iki temel bileşene (PC) göre örneklerin gruplama modelini görselleştirmektedir. Elipsler %95 güven aralığını göstermektedir. Oklar, her bir bileşiğin katkısını gösteren iki PC'nin yükleme değerlerini göstermektedir. Bileşik kimliklerinin listesi Tablo 6'da gösterilmiştir

3.1.2. Mandalina Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi

Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) analizleri, *Planococcus citri* ile bulaşık olmuş ve olmamış mandalina fidanlarından toplam 23 farklı uçucu organik bileşiğin (VOC) salındığını ortaya koymuştur (Tablo 7). Bulgular, enfestasyonun VOC profili üzerinde anlamlı değişimlere yol açtığını göstermektedir. Bulaşık olmayan mandalina fidanlarında doğal olarak bulunan ana bileşik limonene olurken, bu bileşiğin bulaşık mandalinalarda daha yüksek oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bulaşık bitkilerin VOC profilinde yeni olarak çıkan alpha-thujene, (Z)-3-hexenyl acetate, neryl nitrile, p-mentha-1,5,8-triene, methyl salicylate, Z-citral ve E-citral bileşikleri dikkat çekmektedir. Bu durum, bitkinin enfestasyonla karşılaştığında savunma yanıtı olarak yeni uçucu bileşikler sentezlediğini ortaya koymaktadır (Pare ve Tumlinson, 1999). İstatistiksel olarak anlamlı artış gösteren bileşikler şunlardır: l-

Phellandrene (w=4,093; P = 0,003), alpha-terpinene (t=2,305; P = 0,043), p-cymene (t=4,186; P = 0,007), alpha-terpineol (t=2,306; P = 0,03). Bulaşık bitkilerde yeni sentezlenen maddelerin büyük çoğunluğu düşük seviyelerde bulunmakla birlikte, miktar artışı bakımından en çarpıcı bileşik p-cymene olmuştur. Bu bileşik, hem laboratuvar olfaktometre testlerinde hem de arazi denemelerinde kullanılmak üzere aday cezbedici olarak seçilmiştir. Bu tür VOC'lerin doğal düşmanların yönelim davranışını etkileyebileceği önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Copolovici vd., 2011; Giunti vd., 2016). Elde edilen sonuçlar, *P. citri* enfestasyonunun mandalina fidanlarında sekonder metabolit profillerini değiştirdiğini ve özellikle bazı terpenoid bileşiklerin artışına neden olduğunu göstermektedir. Bu bileşiklerin bazıları, bitki-herbivor-doğal düşman etkileşimlerinde önemli sinyal molekülleri olarak işlev görmektedir (War vd., 2012).

Şekil 8'de yer alan biplot analizine göre: PC1: %65'lik varyasyonu açıklarken, PC2: %21'lik varyasyonu açıklamaktadır. Bu iki bileşen birlikte toplam %86'lık varyasyonu açıklamaktadır. İstila edilen (*P. citri* ile bulaşık) ve İstila edilmeyen mandalina örnekleri arasında görsel olarak ayırt edilebilir bir ayrım görülmektedir. Kırmızı bölge: bulaşık edilmiş fidanlardan elde edilen uçucu profil grubu; Yeşil bölge: bulaşık edilmemiş fidanlardan elde edilen uçucu profil grubudur. Vektörler (oklar), değişkenlerin (bileşiklerin) PC eksenlerine katkılarını göstermektedir.

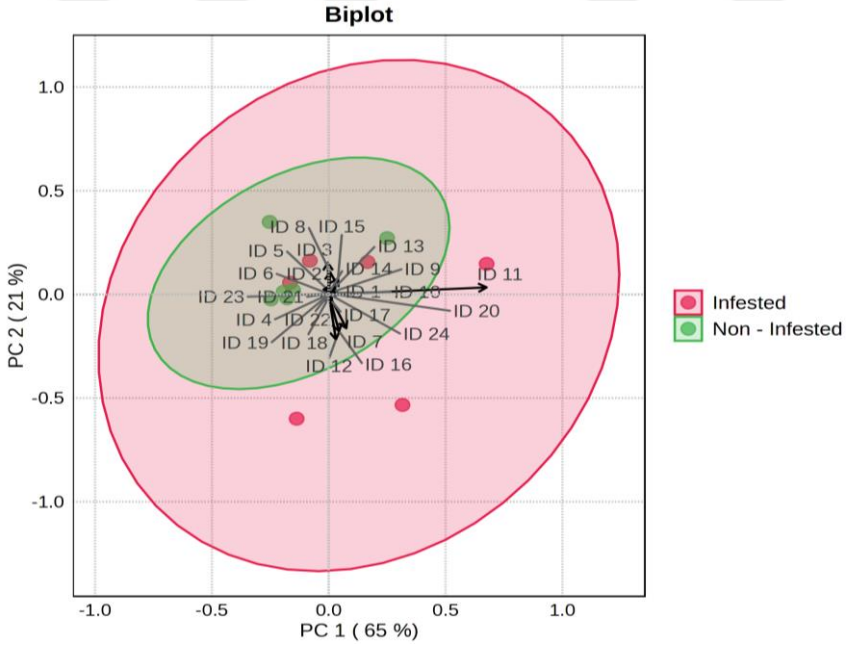
Tablo 7. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş mandalina fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı

ID	**Rt**	**RI**	**Bileşen**	***Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Mandalina Fidanı (% ± SH)**	***Planococcus citri* ile bulaşık olan Mandalina Fidanı (% ± SH)**	**P Değeri**
1	8.504	941	alpha-thujene	Nd	3,85 ± 2,08 **	0,008
2	8.540	947	alpha-pinene	3,022 ± 2,55	0,473 ± 0,1	0,058
3	10.259	988	Sabinene	12,068 ± 10,69	5,033 ± 2,9	0,173
4	10.414	993	beta-pinene	0,483 ± 0,25	0,537 ± 0,27	0,785
5	10.963	1007	beta-myrcene	6,455 ± 3,87	4,308 ± 2,47	0,27
6	11.545	1022	l-phellandrene	0,742 ± 0,44	0,005 ± 0,01 **	0,003w
7	11.595	1025	(Z)-3-hexenyl acetate	Nd	9,885 ± 7,16 *	0,025
8	11.638	1026	delta-3-carene	7,247 ± 4,72	5,272 ± 3,99	0,688w
9	11.967	1034	alpha.-terpinene	1,543 ± 1,04	3,162 ± 1,36 *	0,043
10	12.265	1037	p-cymene	0,633 ± 0,31	3,268 ± 1,5 **	0,007
11	12.448	1046	Limonene	13,817 ± 15,67	33,198 ± 27,2 **	0,01w
12	13.185	1065	β-trans-ocimene	10,948 ± 6,5	13,482 ± 11,1	0,81w

Tablo 7. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş mandalina fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı (Devamı)

ID	Rt	RI	Bileşen	*Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Mandalina Fidanı (% ± SH)	*Planococcus citri* ile bulaşık olan Mandalina Fidanı (% ± SH)	P Değeri
13	13.600	1076	gamma-terpinene	3,135 ± 1,93	4,18 ± 2,1	0,39
14	14.666	1104	alpha-terpinolen	1,807 ± 0,72	1,73 ± 0,8	0,86
15	15.298	1118	Linalool	6,273 ± 3,63	8,748 ± 6,87	0,45
16	15.750	1131	neryl nitrile	Nd	6,602 ± 8,74 **	0,01
17	16.362	1147	p-mentha-1,5,8-triene	Nd	1,42 ± 1,4 *	0,04
18	18.725	1197	methyl salicylate	Nd	0,382 ± 0,53 *	0,014
19	18.934	1198	alpha-terpineol	0,127 ± 0,2	0,457 ± 0,34 *	0,03w
20	20.436	1258	Z-citral	Nd	0,618 ± 0,59 *	0,04
21	21.542	1286	E-citral	Nd	0,523 ± 0,5 *	0,019
22	26.856	1440	trans-caryophyllene	2,218 ± 1,24	1,943 ± 0,48	0,56
23	27.969	1478	farnesene<(E)-,beta->	0,443 ± 0,87	0,61 ± 0,57	0,165w

Bağıl bolluk, altı mandalina fidanının (n = 6) ortalama değeri ± SH (standart hata); Uçucu organik bileşik(ler) artan alıkonmasına (RT) göre sıralanmıştır; veriler normal dağılım gösterdiğinde, p-değeri t-testi ile hesaplanır; veriler normal dağılım göstermediğinde, (w) ile p-değeri Wilcoxon Mann Whitney testi ile hesaplanır; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ID: bileşik(ler)in sayısı; RT: alıkonma süreleridir; RI: tutma indeksi; Nd: tespit edilmemiştir.

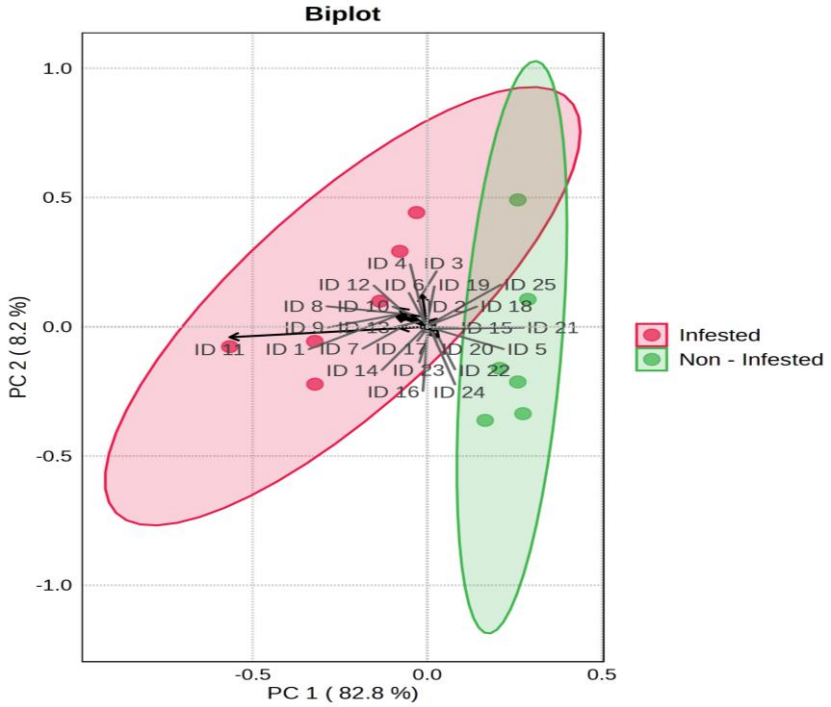


Şekil 8. Mandalina fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6). Grafikte, skor değerleri, parantez içinde açıklanan varyansla birlikte ilk iki temel bileşene (PC) göre örneklerin gruplama modelini görselleştirmektedir. Elipsler %95 güven aralığını göstermektedir. Oklar, her bir bileşiğin katkısını gösteren iki PC'nin yükleme değerlerini göstermektedir. Bileşik kimliklerinin listesi Tablo 7'de gösterilmiştir

3.1.3. Greyfurt Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi

Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) sonuçlarına göre, *Planococcus citri* ile bulaşık olan ve olmayan greyfurt fidanlarından toplam 24 farklı uçucu bileşik tanımlanmıştır (Tablo 8). Analiz sonucunda, bulaşık olmayan fidanlarda doğal olarak bulunan ana bileşiklerden biri olan β-trans-ocimene'in bulaşık fidanlarda anlamlı seviyede arttığı belirlenmiştir (P = 0,003). Ayrıca yalnızca bulaşık fidanlarda gözlenen alpha-thujene, Z-citral ve E-citral gibi yeni bileşikler de tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı artış gösteren bileşikler arasında: beta-pinene (t=3,633; P = 0,004), (Z)-3-hexenyl acetate (w=5,777; P = 0,04), alpha-terpinene (t=9,149; P = 0,0001), p-cymene (t=8,718; P = 0,0002), limonene (t=3,316; P = 0,048), gamma-terpinene (t=4,511; P = 0,0011) ve alpha-terpinolen (t=4,237; P = 0,0017) yer almaktadır. Buna karşı, trans-caryophyllene (t=2,708; P = 0,02) ve farnesene <(E)-,beta-> (w=3,435; P = 0,015) bileşiklerinde bulaşık fidanlarda anlamlı düzeyde azalma saptanmıştır. Olfaktometre ve arazi testleri için, bulaşık bitkilerde en yüksek artış oranına sahip olan (Z)-3-hexenyl acetate, p-cymene, limonene ve gamma-terpinene gibi bileşikler öne çıkarılmıştır.

Greyfurt fidanlarında yapılan temel bileşen analizine (PCA) göre, *P. citri* ile bulaşık olan ve olmayan bireyler arasında uçucu bileşik profilleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir ayrım gözlemlenmiştir (Şekil 9). Birinci temel bileşen (PC1), toplam varyasyonun %82,8'ini açıklarken, ikinci temel bileşen (PC2) %8,2'sini açıklamaktadır. Bu yüksek varyans açıklama oranı, bulaşık durumunun bileşik bileşimine güçlü etkisi olduğunu göstermektedir. Şekilde yer alan iki grup arasında kısmi örtüşme olmasına rağmen, özellikle PC1 boyunca önemli bir ayrım görülmektedir. Bu durum, greyfurt fidanlarının metabolik yanıtlarının *P. citri* bulaşığıyla önemli ölçüde değiştiğini ve uçucu organik bileşiklerin bulaşık tespiti açısından güvenilir biyobelirteçler sunduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Greyfurt fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6). Grafikte, skor değerleri, parantez içinde açıklanan varyansla birlikte ilk iki temel bileşene (PC) göre örneklerin gruplama modelini görselleştirmektedir. Elipsler %95 güven aralığını göstermektedir. Oklar, her bir bileşiğin katkısını gösteren iki PC'nin yükleme değerlerini göstermektedir. Bileşik kimliklerinin listesi Tablo 8'de gösterilmiştir

Tablo 8. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş greyfurt fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı

ID	Rt	RI	Bileşen	***Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Greyfurt Fidanı (% ± SH)**	***Planococcus citri* ile bulaşık olan Greyfurt Fidanı (% ± SH)**	**P Değeri**
1	8.497	941	alpha-thujene	Nd	8,758 ± 1,32 ***	0,0001
2	8.533	947	alpha-pinene	2,867 ± 2,61	1,037 ± 0,31	0,064w
3	10.252	988	Sabinene	10,215 ± 6,43	12,95 ± 2,74	0,24w
4	10.403	993	beta-pinene	0,493 ± 0,24	1,068 ± 0,3 **	0,004
5	10.949	1007	beta-myrcene	8,807 ± 2,79	5,897 ± 2,39	0,081
6	11.544	1022	l-phellandrene	0,245 ± 0,27	0,54 ± 0,82	1,00w
7	11.577	1025	(z)-3-hexenyl acetate	1,848 ± 1,81	8,683 ± 5,2 *	0,04w
8	11.956	1034	alpha-terpinene	1,539 ± 1,46	7,668 ± 1,48 ***	0,0001
9	12.256	1037	p-cymene	0,437 ± 0,38	7,515 ± 1,97 ***	0,0002
10	12.439	1046	Limonene	6,005 ± 3,4	9,615 ± 1,18 *	0,048
11	13.198	1065	β-trans-ocimene	10,622 ± 3,96	43,968 ± 16,4 **	0,003
12	13.593	1076	gamma-terpinene	4,035 ± 2,62	10,527 ± 2,34 **	0,0011

Tablo 8. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş greyfurt fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı (Devamı)

ID	Rt	RI	Bileşen	*Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Greyfurt Fidanı (% ± SH)	*Planococcus citri* ile bulaşık olan Greyfurt Fidanı (% ± SH)	P Değeri
13	14.655	1104	alpha-terpinolen	1,165 ± 0,78	2,857 ± 0,58 **	0,0017
14	15.285	1118	Linalool	0,83 ± 0,77	1,525 ± 1,28	0,297w
15	15.742	1131	neryl nitrile	0,08 ± 0,02	0,124 ± 0,14	0,098
16	16.400	1147	p-mentha-1,5,8-triene	1,165 ± 0,85	0,833 ± 0,39	0,42w
17	16.809	1158	(4E,6Z)-2,6-dimethyl-2,4,6-octatriene	1,053 ± 0,51	1,027 ± 0,56	0,93
18	20.456	1258	Z-citral	Nd	0,162 ± 0,2	0,17
19	21.553	1288	E-citral	Nd	0,187 ± 0,25	0,18
20	25.849	1398	beta-elemene	2,458 ± 1,91	1,318 ± 0,63	0,21
21	26.848	1440	trans-caryophyllene	2,285 ± 0,74	1,395 ± 0,3 *	0,02
22	27.958	1478	farnesene<(E)-,beta->	3,435 ± 3,8	0,82 ± 0,31 *	0,015w
23	29.119	1510	beta-selinene	0,815 ± 1,08	0,263 ± 0,17	0,57w
24	29.357	1517	alpha-selinene	1,232 ± 1,4	0,388 ± 0,2	0,22

Bağıl bolluk, altı greyfurt fidanının (n = 6) ortalama değeri ± SH (standart hata); Uçucu organik bileşik(ler) artan alıkonmasına (RT) göre sıralanmıştır; veriler normal dağılım gösterdiğinde, p-değeri t-testi ile hesaplanır; veriler normal dağılım göstermediğinde, (w) ile p-değeri Wilcoxon Mann Whitney testi ile hesaplanır; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001; ID: bileşik(ler)in sayısı; RT: alıkonma süreleridir; RI: tutma indeksi; Nd: tespit edilmemiştir.

3.1.4. Limon Fidanlarından Uçucu Bileşiklerin Elde Edilmesi

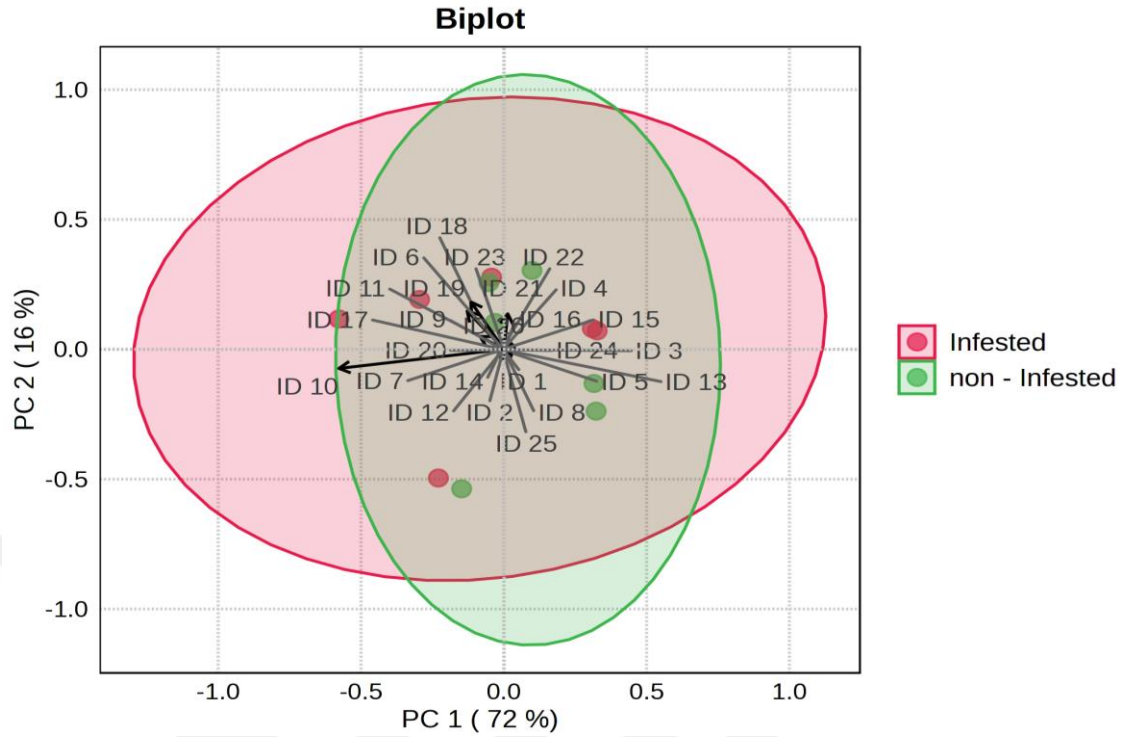
Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) verileri, *Planococcus citri* ile bulaşık ve bulaşık olmayan limon fidanlarından toplamda 25 farklı uçucu bileşiğin tanımlandığını ortaya koymuştur (Tablo 9). Enfekte edilmemiş limon fidanlarında doğal olarak bulunan ana bileşiklerden biri olan limonene, bulaşıklık sonrası miktar olarak artış göstermiştir. Enfekte limonlarda alpha-thujene, octanal, neryl nitrile ve citral gibi bileşiklerin yeni olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir. Beta-pinene (t=2,048; P = 0,005), p-cymene (t=8,958; P = 0,005), linalool (t=2,918; P = 0,005), alpha-terpineol (t=4,260; P = 0,0062) ve linalyl acetate (t=4,323; P = 0,0046) gibi beş bileşiğin seviyelerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Bununla birlikte, farnesene <(E,E)-,alpha> (t=9,965; P = 0,0129) bileşiğinde anlamlı düzeyde azalma gözlemlenmiştir. En yüksek artış gösteren bileşik olan linalyl acetate (yaklaşık 4 kat), olfaktometre testleri ve arazi denemelerinde kullanılacak madde olarak seçilmiştir.

Planococcus citri ile bulaşık limon fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) profili üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla temel bileşen analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen biplot grafiği (Şekil 10), bulaşık edilmiş (kırmızı) ve edilmemiş (yeşil) fidan örnekleri arasında kimyasal bileşim açısından belirgin bir ayrım olduğunu göstermektedir. İlk iki temel bileşen, verideki toplam varyansın %88'ini açıklamaktadır. PC1 varyasyonun %72'sini, PC2 ise %16'sını temsil etmektedir. Bu durum, *P. citri* ile bulaşık limon fidanlarında VOC profili üzerinde önemli bir etki oluşturduğunu göstermektedir.

Tablo 9. Bulaşık edilmemiş ve *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş limon fidanlarının uçucu organik bileşik (VOC) miktarı

ID	Rt	RI	Bileşen	*Planococcus citri* ile bulaşık olmayan Limon Fidanı (%±SH)	*Planococcus citri* ile bulaşık olan Limon Fidanı (%±SH)	P Değeri
1	8.492	941	alpha-thujene	Nd	0,263 ± 0,12 **	0,0049
2	8.546	947	alpha-pinene	0,157 ± 0,22	0,27 ± 0,03	0,0637w
3	10.267	988	Sabinene	0,465 ± 0,28	0,537 ± 0,05	0,0651w
4	10.419	993	beta-pinene	0,957 ± 0,29	1,752 ± 0,22 ***	0,0003
5	10.963	1007	beta-myrcene	2,978 ± 1,4	4,2 ± 0,81	0,0946
6	11.439	1020	Octanal	Nd	0,227 ± 0,21 *	0,0129
7	11.602	1025	(z)-3-hexenyl acetate	1,507 ± 0,74	0,902 ± 0,63	0,1481w
8	11.645	1026	delta-3-carene	0,327 ± 0,23	0,54 ± 0,11	0,0706
9	12.265	1037	p-cymene	0,015 ± 0,02	0,558 ± 0,15 **	0,005
10	12.480	1046	Limonene	39,83 ± 9,26	46,81 ± 15,89	0,3744
11	13.192	1065	β-trans-ocimene	3,247 ± 2,14	9,075 ± 4,14 *	0,0303w
12	13.607	1076	gamma-terpinene	0,217 ± 0,14	0,34 ± 0,28	0,3564
13	14.672	1104	alpha-terpinolen	0,232 ± 0,13	0,403 ± 0,13	0,0538w
14	15.309	1118	Linalool	0,14 ± 0,1	0,887 ± 0,62 **	0,005w
15	15.721	1131	neryl nitrile	Nd	0,443 ± 0,22 **	0,0056
16	16.873	1161	Citral	Nd	0,157 ± 0,05 ***	0,0009
17	18.925	1198	alpha-terpineol	0,125 ± 0,05	0,475 ± 0,19 **	0,0062
18	20.520	1258	Z-citral	6,867 ± 5,61	8,122 ± 4,67	0,5745w
19	21.621	1288	E-citral	7,878 ± 3,88	9,165 ± 5,39	0,7479w
20	24.801	1379	linalyl acetate	0,58 ± 0,33	2,332 ± 0,94 **	0,0046
21	26.873	1440	trans-caryophyllene	7,915 ± 4,28	9,995 ± 3,27	0,3664
22	27.316	1454	alpha-bergamotene	1,237 ± 0,5	1,567 ± 0,51	0,2829
23	28.038	1476	alpha-humulene	0,52 ± 0,36	0,828 ± 0,28	0,1284
24	29.631	1526	farnesene<(E,E)-,alpha->	2,602 ± 2,06	0,282 ± 0,25 *	0,0129w
25	29.745	1530	beta-bisabolene	1,103 ± 0,65	1,228 ± 0,31	0,6816

Bağıl bolluk, altı limon fidanının (n = 6) ortalama değeri ± SH (standart hata); Uçucu organik bileşik(ler) artan alıkonmasına (RT) göre sıralanmıştır; veriler normal dağılım gösterdiğinde, p-değeri t-testi ile hesaplanır; veriler normal dağılım göstermediğinde, (w) ile p-değeri Wilcoxon Mann Whitney testi ile hesaplanır; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001; ID: bileşik(ler)in sayısı; RT: alıkonma süreleridir; RI: tutma indeksi; Nd: tespit edilmemiştir.



Şekil 10. Limon fidanlarının (*Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş veya edilmemiş) Temel Bileşen Analizleri (PCA) (n = 6). Grafikte, skor değerleri, parantez içinde açıklanan varyansla birlikte ilk iki temel bileşene (PC) göre örneklerin gruplama modelini görselleştirmektedir. Elipsler %95 güven aralığını göstermektedir. Oklar, her bir bileşiğin katkısını gösteren iki PC'nin yükleme değerlerini göstermektedir. Bileşik isimlerinin listesi Tablo 9'da gösterilmiştir

3.2. Olfaktometre Sonuçları

3.2.1. Olfaktometre Bitki Testleri

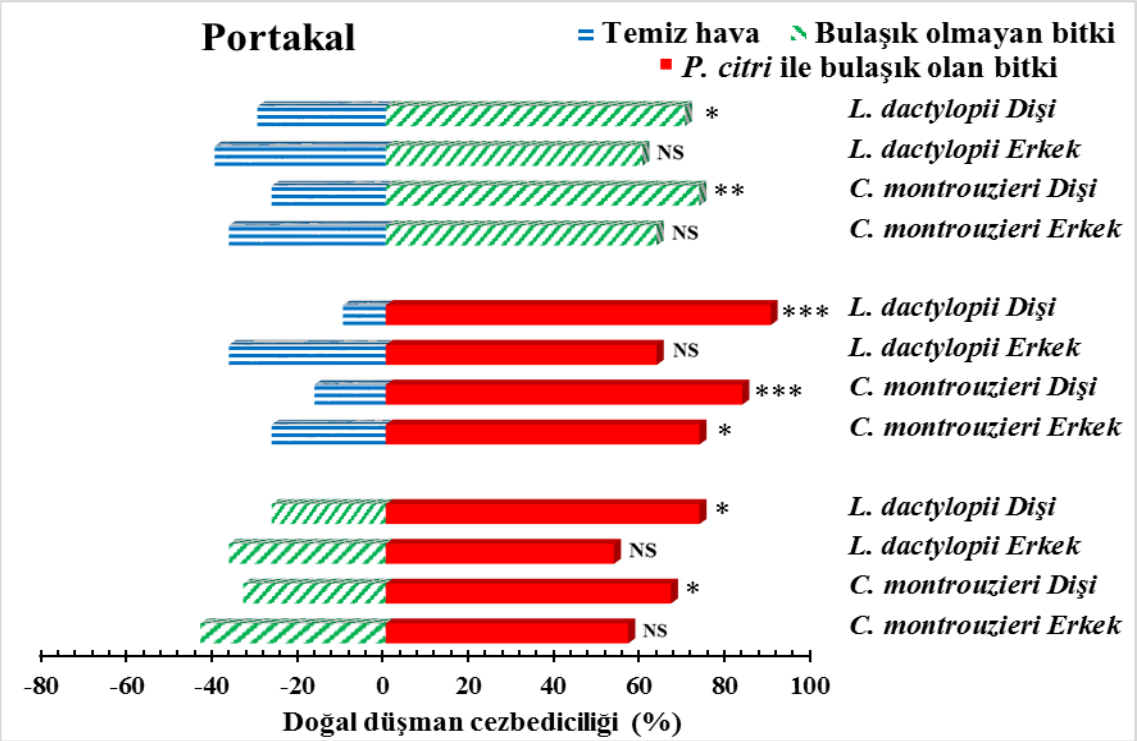
3.2.1.1. Portakal Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları

Y-tüpü olfaktometre kullanılarak gerçekleştirilen bu deney serisinde, *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* türlerine ait dişi ve erkek bireylerin *P. citri* ile enfekte olmuş ve enfekte olmayan portakal bitkilerinden yayılan uçucu organik bileşiklere karşı davranışsal tepkileri değerlendirilmiştir. Üç ayrı karşılaştırmaya dayanan test sonuçları Şekil 11 ve Tablo 10'da sunulmuştur.

Birinci deneyde, temiz hava ile bulaşık olmayan portakal bitkisi karşılaştırıldığında, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 4,800, p = 0,028) ve *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 6,533, p = 0,009), bulaşık olmayan bitki yönünü anlamlı şekilde tercih etmiştir. Erkek bireylerin tercihlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (p > 0,05).

İkinci deneyde, bulaşık bitki ile temiz hava karşılaştırıldığında, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 19,200, p = 0,0009), *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 13,333, p = 0,0009) ve *C. montrouzieri* erkekleri (χ^2 = 6,533, p = 0,011) bulaşık bitkileri anlamlı düzeyde tercih etmiştir. Ancak *L. dactylopii* erkek bireylerinin tercihi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p = 0,144).

Üçüncü deneyde, bulaşık ve bulaşık olmayan portakal bitkileri doğrudan karşılaştırılmıştır. Bu durumda, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 6,533, p = 0,011) ve *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 2,133, p = 0,012) enfekte bitkileri istatistiksel olarak anlamlı biçimde tercih etmiştir. Erkek bireylerin seçimlerinde ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir (p = 0,465). Bu sonuçlar, enfekte portakal bitkilerinin yaydığı uçucu bileşiklerin, özellikle dişi doğal düşmanlar (*L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*) için cezbedici olduğunu, ancak erkek bireylerde bu etkinin sınırlı veya önemsiz kaldığını göstermektedir. Dişi bireylerin daha güçlü bir davranışsal yanıt göstermesi, biyolojik mücadelede dişilerin hedef alınabileceği stratejilere işaret etmektedir.



Şekil 11. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş portakal fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği. Farklı uygulamalarda, iki seçenekli Y-olfaktometre testleri temiz hava ve portakal fidanları (bulaşık edilmiş veya edilmemiş) ile uygulanmıştır. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 10. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli portakal bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	Portakal bitkisi denemesi					
	Bulaşık olmayan bitki - Temiz hava		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Temiz hava**		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Bulaşık olmayan bitki**	
Doğal düşmanlar	X^2	***p***	X^2	***p***	X^2	***p***
Leptomastix dactylopii dişi	4,800	*	19,200	***	6,533	*
Leptomastix dactylopii erkek	1,200	0,273	2,133	0.144	0,133	0,715
Cryptolaemus montrouzieri dişi	6,533	**	13,333	***	2,133	*
Cryptolaemus montrouzieri erkek	2,133	0,144	6,533	*	0,533	0,465

p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0.001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

3.2.1.2. Mandalina Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları

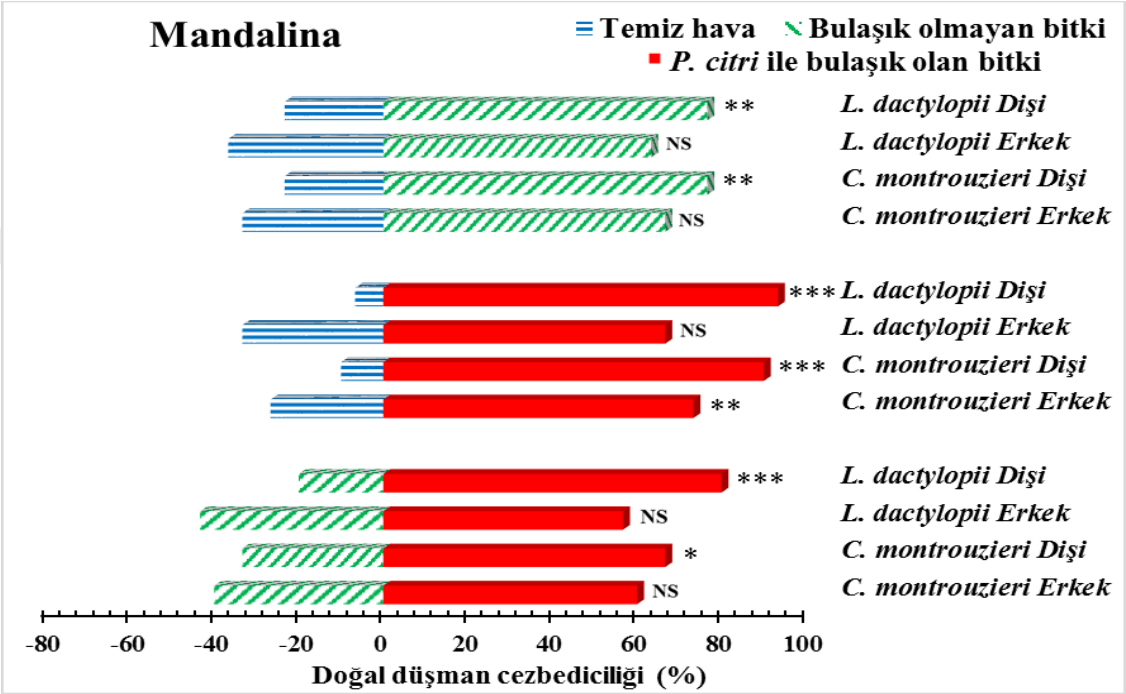
Y-tüpü olfaktometre kullanılarak gerçekleştirilen bu deney serisinde, *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* türlerine ait dişi ve erkek bireylerin *P. citri* ile enfekte olmuş ve enfekte olmayan mandalina bitkilerinden yayılan uçucu organik bileşiklere karşı davranışsal tepkileri değerlendirilmiştir. Üç ayrı karşılaştırmaya dayanan test sonuçları Şekil 12 ve Tablo 11'de sunulmuştur.

İlk deneyde, temiz hava ile enfekte olmayan mandalina bitkisi karşılaştırıldığında, hem *L. dactylopii* (χ^2 = 8,533, p = 0,003) hem de *C. montrouzieri* dişi bireyleri (χ^2 = 8,533, p = 0,003), enfekte olmayan bitkiyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde tercih etmiştir. Erkek bireylerde ise anlamlı bir fark gözlenmemiştir (p = 0,068).

İkinci deneyde, enfekte bitki ile temiz hava karşılaştırıldığında, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 22,533, p = 0,0001), *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 19,200, p = 0,0001) ve erkekleri (χ^2 = 6,533, p = 0,011) enfekte bitki yönünü anlamlı şekilde tercih etmiştir. Ancak *L. dactylopii* erkek bireylerinin tercihleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p = 0,068).

Üçüncü deneyde, enfekte ve enfekte olmayan mandalina bitkileri doğrudan karşılaştırıldığında, yalnızca dişi bireyler enfekte bitkiyi anlamlı düzeyde tercih etmiştir (*L. dactylopii* dişisi: χ^2 = 10,800, p = 0,001; *C. montrouzieri* dişisi: χ^2 = 3,333, p = 0,045). Erkek bireylerin tercihleri arasında anlamlı bir fark görülmemiştir (p = 0,273). Bu sonuçlar, mandalina bitkisinin *P. citri* enfeksiyonuna karşılık olarak yaydığı uçucu bileşiklerin dişi doğal düşmanlar üzerinde cezbedici bir etkiye sahip olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, erkek bireylerde genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bir yönelim gözlemlenmemesi, cinsiyete bağlı koku algı mekanizmalarının farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, biyolojik mücadele stratejilerinin geliştirilmesinde dişi bireylere odaklanmanın daha etkili olabileceğine işaret etmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş mandalina fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği. Farklı uygulamalarda, iki seçenekli Y-olfaktometre testleri temiz hava ve mandalina fidanları (bulaşık edilmiş veya edilmemiş) ile uygulanmıştır. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 11. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli mandalina bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	Mandalina bitkisi denemesi					
	Bulaşık olmayan bitki - Temiz hava		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Temiz hava**		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Bulaşık olmayan bitki**	
Doğal düşmanlar	X^2	*p*	X^2	*p*	X^2	*P*
Leptomastix dactylopii dişi	8,533	**	22,533	***	10,800	***
Leptomastix dactylopii erkek	2,133	0,144	3,333	0,068	0,533	0,465
Cryptolaemus montrouzieri dişi	8,533	**	19,200	***	3,333	*
Cryptolaemus montrouzieri erkek	3,333	0,068	6,533	**	1,200	0,273

p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

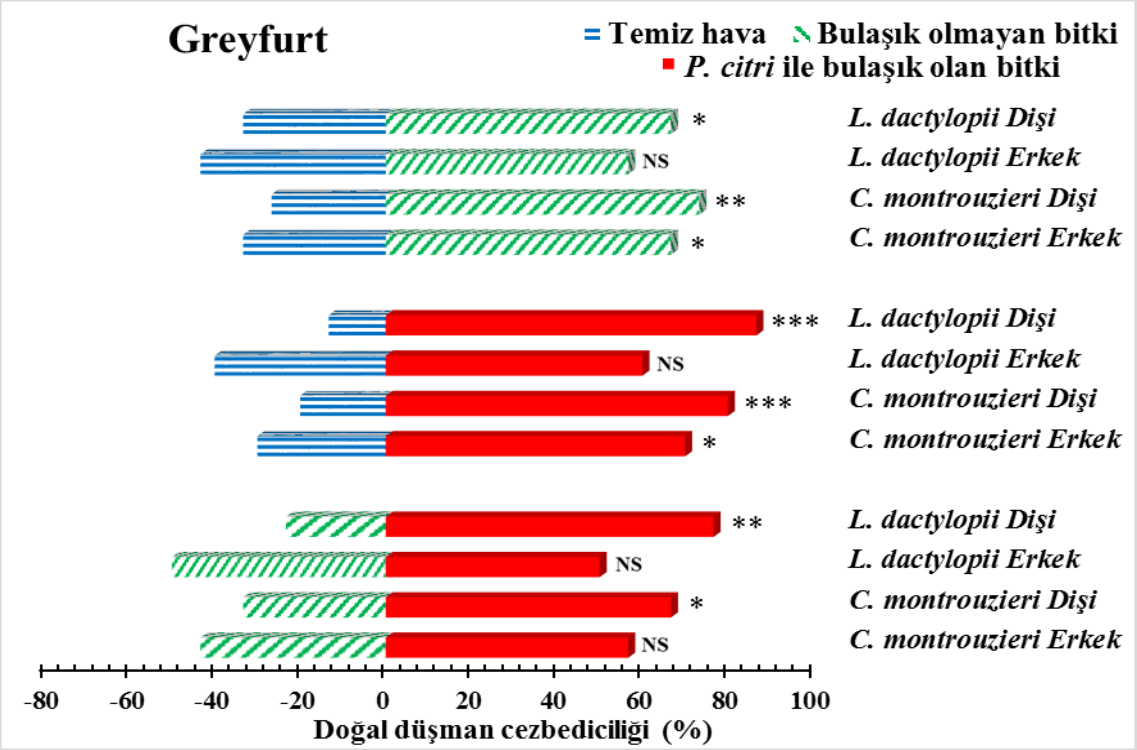
3.2.1.3. Greyfurt Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları

Y-tüpü olfaktometre kullanılarak gerçekleştirilen bu deney serisinde, *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* türlerine ait dişi ve erkek bireylerin *P. citri* ile enfekte olmuş ve enfekte olmayan greyfurt bitkilerinden yayılan uçucu organik bileşiklere karşı davranışsal tepkileri değerlendirilmiştir. Üç ayrı karşılaştırmaya dayanan test sonuçları Şekil 13 ve Tablo 12'de sunulmuştur.

İlk deneyde, temiz hava ile enfekte olmayan greyfurt bitkileri karşılaştırıldığında, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 3,333, p = 0,046) ve *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 6,533, p = 0,011) ve erkekleri (χ^2 = 3,333, p = 0,048), enfekte olmayan bitkiyi tercih etmiştir. Ancak *L. dactylopii* erkek bireylerinde anlamlı bir yönelim gözlenmemiştir (p = 0,465).

İkinci deneyde, temiz hava ile enfekte greyfurt bitkileri karşılaştırılmış, *L. dactylopii* dişileri (χ^2 = 16,133, p = 0,0001) ve *C. montrouzieri* dişileri (χ^2 = 10,800, p = 0,001) ve erkekleri (χ^2 = 4,800, p = 0,028), enfekte bitkileri anlamlı şekilde tercih ederken, *L. dactylopii* erkek bireylerinde anlamlı bir tercih gözlenmemiştir (p = 0,273).

Üçüncü deneyde, enfekte bitkiler ile enfekte olmayanlar doğrudan karşılaştırıldığında, yalnızca iki doğal düşmanların dişi bireylerinde anlamlı bir yönelim olduğu belirlenmiştir (*L. dactylopii* dişisi: χ^2 = 8,533, p = 0,003; *C. montrouzieri* dişisi: χ^2 = 3,333, p = 0,048), erkek bireylerde ise fark anlamlı bulunmamıştır (p = 0,465). Bu bulgular, greyfurt bitkisinde *P. citri* enfeksiyonunun, dişi doğal düşmanların cezbedilmesini sağlayacak şekilde uçucu organik bileşik salınımını değiştirdiğini ve bu bileşiklerin cinsiyete bağlı davranışsal tepkiler doğurduğunu göstermektedir. Özellikle dişi bireylerin enfekte bitkilere karşı yönelimi, biyolojik mücadelede hedefli cezbetme stratejilerinin dişilere odaklanarak optimize edilebileceğine işaret etmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş greyfurt fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği. Farklı uygulamalarda, iki seçenekli Y-olfaktometre testleri temiz hava ve greyfurt fidanları (bulaşık edilmiş veya edilmemiş) ile uygulanmıştır. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 12. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli greyfurt bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	Greyfurt bitkisi denemesi					
	Bulaşık olmayan bitki - Temiz hava		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Temiz hava**		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Bulaşık olmayan bitki**	
Doğal düşmanlar	X^2	*p*	X^2	*p*	X^2	*p*
Leptomastix dactylopii dişi	3,333	*	16,133	***	8,533	**
Leptomastix dactylopii erkek	0,533	0,465	1,200	0.273	0,0001	1,000
Cryptolaemus montrouzieri dişi	6,533	**	10,800	***	3,333	*
Cryptolaemus montrouzieri erkek	3,333	*	4,800	*	0,533	0,465

p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

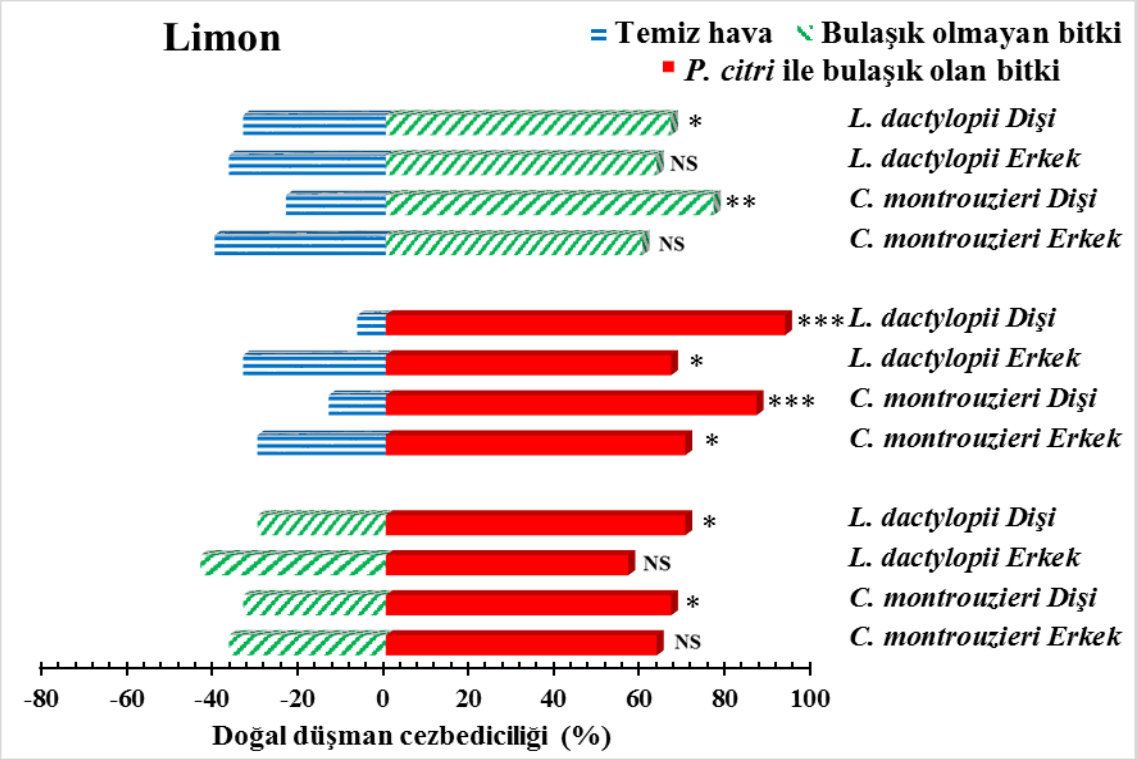
3.2.1.4. Limon Bitkisinin Olfaktometre Sonuçları

Y-tüpü olfaktometre kullanılarak gerçekleştirilen bu deney serisinde, *C. montrouzieri* ve *L. dactylopii* türlerine ait dişi ve erkek bireylerin *P. citri* ile enfekte olmuş ve enfekte olmayan limon bitkilerinden yayılan uçucu organik bileşiklere karşı davranışsal tepkileri değerlendirilmiştir. Üç ayrı karşılaştırmaya dayanan test sonuçları Şekil 14 ve Tablo 13'de sunulmuştur.

Birinci deneyde, doğal düşmanların enfekte olmayan limon bitkisi ile temiz hava arasında tercihleri değerlendirilmiştir. Bu testte yalnızca dişi bireyler (*L. dactylopii* dişisi: $\chi^2 = 3{,}333$, $p = 0{,}046$; *C. montrouzieri* dişisi: $\chi^2 = 8{,}533$, $p = 0{,}003$) enfekte olmayan limon bitkisini anlamlı şekilde tercih etmiştir. Erkek bireylerde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p = 0{,}273$).

İkinci deneyde, enfekte limon bitkisi ile temiz hava karşılaştırıldığında, tüm doğal düşmanların enfekte limon bitkisini tercih ettiği ve bu yönelimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (*L. dactylopii* dişisi: $\chi^2 = 22{,}533$, $p = 0{,}0001$; *L. dactylopii* erkeği: $\chi^2 = 3{,}333$, $p = 0{,}048$; *C. montrouzieri* dişisi: $\chi^2 = 16{,}133$, $p = 0{,}0001$; *C. montrouzieri* erkeği: $\chi^2 = 4{,}800$, $p = 0{,}028$). Bu durum, enfekte bitkilerden salınan uçucu bileşiklerin hem parazitoit hem de predatör türler tarafından algılanabildiğini ve enfekte bitkilerin cezbedici potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Üçüncü deneyde, enfekte bitkiler ile enfekte olmayan bitkiler doğrudan karşılaştırılmış ve sadece dişi bireylerde anlamlı yönelim gözlenmiştir (*L. dactylopii* dişisi: $\chi^2 = 4{,}800$, $p = 0{,}028$; *C. montrouzieri* dişisi: $\chi^2 = 3{,}333$, $p = 0{,}048$). Erkek bireylerin tercihlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0{,}144$). Bu bulgu, dişi doğal düşmanların konukçularını veya avlarını enfekte bitkilerde daha etkin bir şekilde tespit edebildiğini ve enfekte bitkilerden yayılan uçucu sinyallerin dişiler üzerinde daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, *P. citri* ile enfekte limon bitkilerinden salınan uçucu organik bileşiklerin, özellikle dişi bireylerde davranışsal yönelime neden olduğu, erkek bireylerde ise bu etkinin daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu farklılık, biyolojik mücadele programlarında uçucu bileşik yönlendirme stratejilerinde hedef cinsiyetin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 14. *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş limon fidanlarının *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişileri için çekiciliği. Farklı uygulamalarda, iki seçenekli Y-olfaktometre testleri temiz hava ve limon fidanları (bulaşık edilmiş veya edilmemiş) ile uygulanmıştır. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 13. *Leptomastix dactylopii* ve *Cryptolaemus montrouzieri* erkek ve dişilerinin iki seçenekli limon bitkisinin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	Limon bitkisi denemesi					
	Bulaşık olmayan bitki - Temiz hava		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Temiz hava**		***P. citri* ile bulaşık olan bitki - Bulaşık olmayan bitki**	
Doğal düşmanlar	X^2	***P***	X^2	***p***	X^2	***p***
Leptomastix dactylopii dişi	3,333	*	22,533	***	4,800	*
Leptomastix dactylopii erkek	2,133	0,144	3,333	*	0,533	0,465
Cryptolaemus montrouzieri dişi	8,533	**	16,133	***	3,333	*
Cryptolaemus montrouzieri erkek	1,200	0,273	4,800	*	2,133	0,144

p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

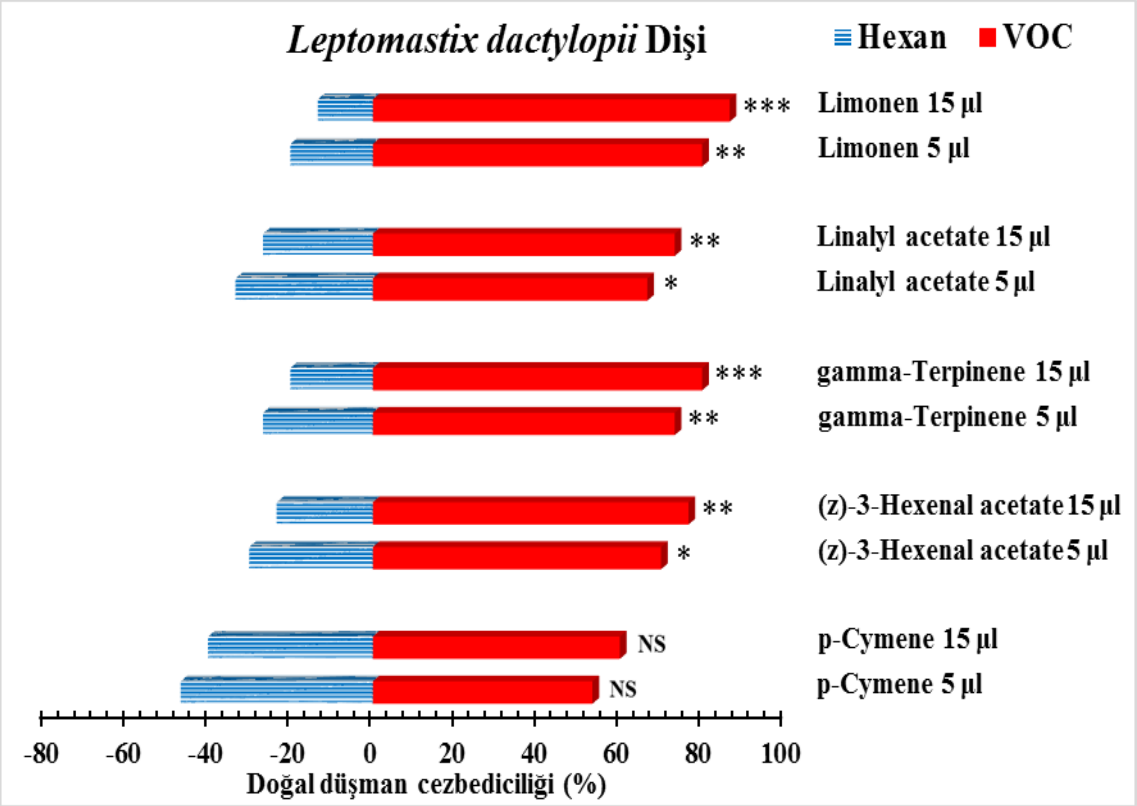
3.2.2. Olfaktometre VOC Testleri

3.2.2.1. *Leptomastix Dactylopii* Dişisinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi

Y-tüpü olfaktometre testlerinde, *Leptomastix dactylopii* dişi bireylerinin çeşitli uçucu organik bileşiklere (VOC) yönelme eğilimleri araştırılmış ve sonuçlar Şekil 15 ile Tablo 14'de sunulmuştur. Bu deneylerde her VOC için iki farklı doz (5 µl ve 15 µl) kullanılarak VOC - hekzan (kontrol) arasındaki tercihleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Limonene, *L. dactylopii* dişi bireyleri için en güçlü cezbedici bileşik olarak öne çıkmıştır. Her iki dozda da yönelim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (5 µl: χ^2 = 10,800, p = 0,001; 15 µl: χ^2 = 16,133, p = 0,0001). Benzer şekilde, gamma-terpinene de *L. dactylopii* dişi bireyler üzerinde yüksek düzeyde cezbedici etki göstermiştir (5 µl: p = 0,011; 15 µl: p = 0,001). Linalyl acetate ve (Z)-3-hexenyl acetate bileşikleri de her iki dozda anlamlı düzeyde tercih edilmiştir. Linalyl acetate için 5 µl uygulamada yönelim anlamlı bulunmuş (χ^2 = 3,333, p = 0,048), 15 µl dozda ise daha güçlü bir yönelim gözlenmiştir (χ^2 = 6,533, p = 0,011). (Z)-3-hexenyl acetate için de benzer bir durum söz konusudur (5 µl: p = 0,028; 15 µl: p = 0,003). Buna karşılık, p-cymene bileşiği her iki dozda da *L. dactylopii* dişi bireyleri tarafından tercih edilmemiş ve kontrol ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (p = 0,715). Bu durum, p-cymene'nin *L. dactylopii* dişileri üzerinde cezbedici bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, *L. dactylopii* dişileri için limonene, gamma-terpinene, linalyl acetate ve (Z)-3-hexenyl acetate VOC'leri önemli derecede cezbedici etki gösterirken; p-cymene bu etkiyi yaratmamıştır. Ayrıca, daha yüksek doz uygulamaları (15 µl) çoğu VOC için cezbedicilik etkisini artırmıştır. Bu bulgular, biyolojik mücadele programlarında *L. dactylopii* dişi bireylerin hedeflenmesinde özellikle bu dört bileşiğin potansiyel olarak etkili olabileceğini göstermektedir.



Şekil 15. *Leptomastix dactylopii* dişisinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 14. *Leptomastix dactylopii* dişisinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	***Leptomastix dactylopii* dişi denemesi**			
	5µl - Hekzan		**15µl - Hekzan**	
Uçucu bileşikler	X^2	*p*	X^2	*p*
limonene	10,800	**	16,133	***
linalyl acetate	3,333	*	6,533	**
gamma-terpinene	6,533	**	10,800	***
(z)-3-hexenyl acetate	4,800	*	8,533	**
p-cymene	0,133	0,715	1,200	0,273

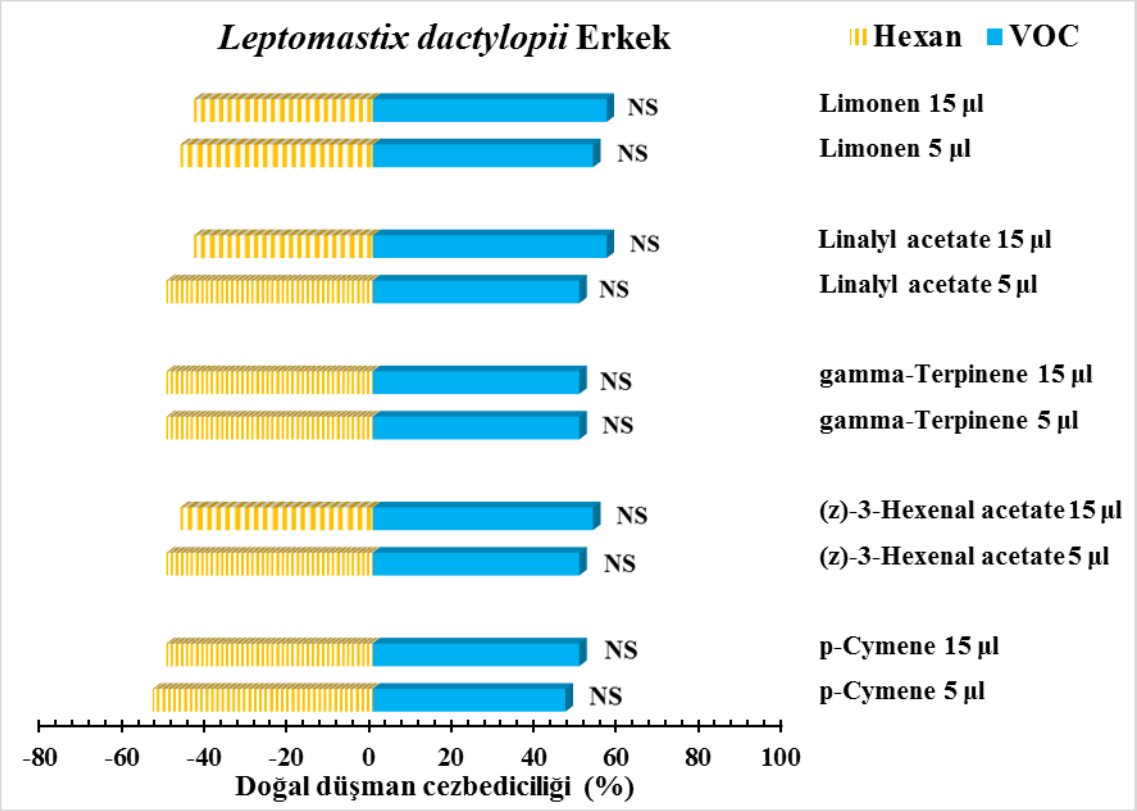
p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

3.2.2.2. *Leptomastix Dactylopii* Erkeğinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi

Y-tüpü olfaktometre sisteminde yapılan biyolojik testlerde, *Leptomastix dactylopii* erkek bireylerinin farklı uçucu organik bileşiklere (VOC) karşı yönelme eğilimleri değerlendirilmiştir. Her uçucu bileşik için iki farklı doz uygulanarak yapılan deneylerde, 5 µl VOC - hekzan (kontrol) ve 15 µl VOC - hekzan karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuçlar, Şekil 16 ve Tablo 15'de sunulmuştur.

İstatistiksel analizler sonucunda, *L. dactylopii* erkek bireylerinin hiçbir VOC uygulamasında kontrole kıyasla anlamlı bir yönelim göstermediği belirlenmiştir. Limonene, linalyl acetate, gamma-terpinene, (Z)-3-hexenyl acetate ve p-cymene bileşiklerinin hem düşük (5 µl) hem de yüksek (15 µl) dozlarında yönelim tercihleri ile kontrol kolları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Örneğin, limonen için 5 µl dozda $\chi^2 = 0,0001$ ($p = 1,000$), 15 µl dozda ise $\chi^2 = 0,533$ ($p = 0,465$) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde tüm diğer bileşiklerde de χ^2 değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır.

Bu sonuçlar, erkek *L. dactylopii* bireylerinin test edilen VOC'lere karşı yönelim göstermediğini ve bu bileşiklerin cezbedici etkisinin bu cinsiyet için sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, erkek bireylerin VOC'lere karşı duyarlılığının dişi bireylerle kıyaslandığında daha düşük olabileceğini veya VOC seçiminde farklı bileşiklere duyarlı olabileceklerini düşündürmektedir. Bu bulgular, biyolojik mücadelede kullanılacak uçucu bileşik seçiminde hedef cinsiyetin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.



Şekil 16. *Leptomastix dactylopii* erkeğinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 15. *Leptomastix dactylopii* erkeğinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	***Leptomastix dactylopii* erkek denemesi**			
	5µl - Hekzan		**15µl - Hekzan**	
Uçucu bileşikler	X^2	*p*	X^2	*p*
limonene	0,0001	1,000	0,533	0,465
linalyl acetate	0,0001	1,000	0,533	0,465
gamma-terpinene	0,533	0,465	0,0001	1,000
(z)-3-hexenyl acetate	0,133	0,715	0,133	0,715
p-cymene	2,133	0,144	0,533	0,465

p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

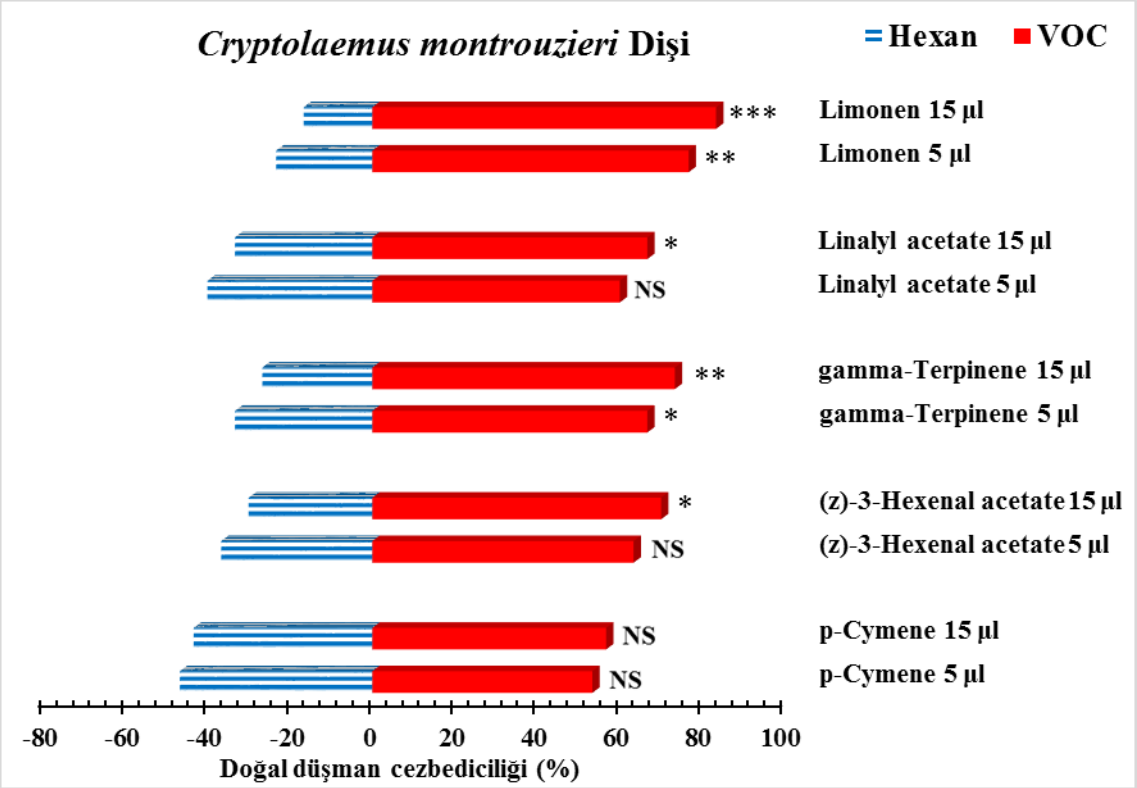
3.2.2.3. *Cryptolaemus Montrouzieri* Dişisinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi

Y-tüpü olfaktometre ile gerçekleştirilen deneylerde, *Cryptolaemus montrouzieri* dişi bireylerinin çeşitli uçucu organik bileşiklere (VOC) karşı yönelim tercihleri değerlendirilmiştir. Her VOC bileşiği için iki farklı doz (5 µl ve 15 µl) uygulanarak hekzan (kontrol) ile karşılaştırmalı analizler yapılmış ve sonuçlar Şekil 17 ve Tablo 16'da sunulmuştur.

5 µl VOC dozunda, yalnızca limonen ($\chi^2 = 8,533$, $p = 0,003$) ve gamma-terpinene ($\chi^2 = 3,333$, $p = 0,048$) uygulamalarında *C. montrouzieri* dişi bireylerin VOC yönünü istatistiksel olarak anlamlı şekilde tercih ettiği belirlenmiştir. Diğer bileşikler olan linalyl acetate, (Z)-3-hexenyl acetate ve p-cymene'de ise VOC ile hekzan tercihleri arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0,05$).

15 µl VOC dozlarında ise p-cymene hariç tüm VOC'lerde yönelim tercihi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Limonene ($\chi^2 = 13,333$, $p = 0,0001$), gamma-terpinene ($\chi^2 = 6,533$, $p = 0,011$), linalyl acetate ($\chi^2 = 3,333$, $p = 0,048$) ve (Z)-3-hexenyl acetate ($\chi^2 = 4,800$, $p = 0,028$) bileşikleri *C. montrouzieri*'nin dişi bireylerinde cezbedici etki gösterirken, p-cymene'e yönelim istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p = 0,715$).

Bu sonuçlar, *C. montrouzieri* dişi bireylerinin en güçlü şekilde limonen ve gamma-terpinene tarafından cezbedildiğini göstermektedir. Ayrıca, bazı bileşiklerin (örneğin linalyl acetate, (Z)-3-hexenyl acetate) yalnızca daha yüksek dozlarda etkili olduğu görülmektedir. P-cymene ise her iki dozda da etkili olmamıştır. Bu veriler, *C. montrouzieri* dişi bireylerin cezbedilmesinde VOC tipi kadar uygulanan dozun da önemli olduğunu göstermekte ve biyolojik mücadelede kullanılacak bileşik seçiminde bu etkenin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 17. *Cryptolaemus montrouzieri* dişisinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 16. *Cryptolaemus montrouzieri* dişisinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	***Cryptolaemus montrouzieri* dişi denemesi**			
	5µl - Hekzan		**15µl - Hekzan**	
Uçucu Bileşikler	X^2	*p*	X^2	*p*
limonene	8,533	**	13,333	***
linalyl acetate	1,200	0,273	3,333	*
gamma-terpinene	3,333	*	6,533	**
(z)-3-hexenyl acetate	2,133	0,144	4,800	*
p-cymene	0,133	0,715	0,133	0,715

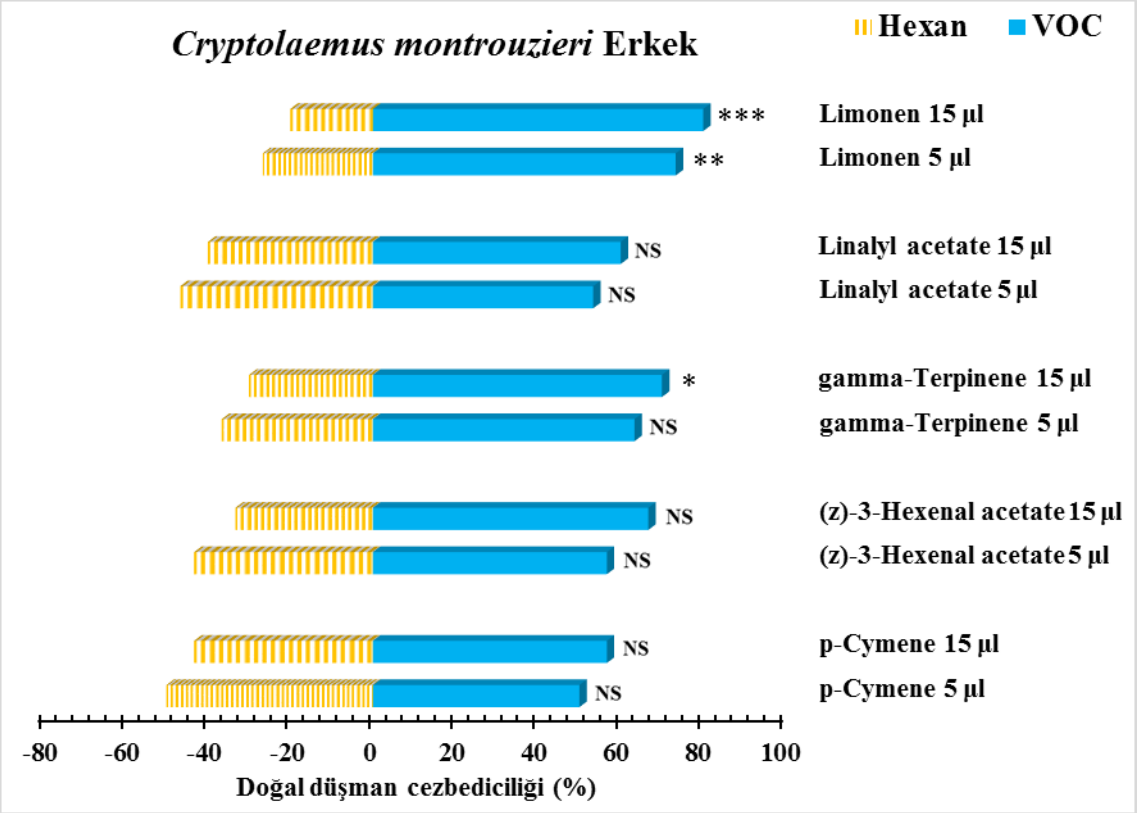
p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

3.2.2.4. *Cryptolaemus Montrouzieri* Erkeğinin VOC'lere Karşı Davranışsal Tepkisi

Y-tüpü olfaktometre ile yürütülen koku tercih testleri sonucunda, erkek *Cryptolaemus montrouzieri* bireylerinin uçucu organik bileşiklere (VOC) karşı yönelme davranışları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, her VOC bileşiği için iki farklı doz (5 µl ve 15 µl) kullanılarak VOC–hekzan karşılaştırmaları yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 18 ve Tablo 17'de sunulmuştur.

Yüksek düzeyde cezbedici etki gösteren tek bileşik limonene olmuştur. Erkek predatörler, hem 5 µl (χ^2 = 6,533, p = 0,011) hem de 15 µl (χ^2 = 10,800, p = 0,001) dozlarda limonene içeren kola yönelmiş ve yönelim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu durum, limonenin erkek bireyler için güçlü bir çekici sinyal oluşturduğunu göstermektedir. Gamma-terpinene ise sadece yüksek dozda (15 µl) istatistiksel olarak anlamlı bir cezbedicilik göstermiştir (χ^2 = 4,800, p = 0,028); düşük dozda (5 µl) ise yönelme tercihi istatistiksel açıdan anlamlı değildir (χ^2 = 2,133, p = 0,144). Diğer bileşikler olan linalyl acetate, (Z)-3-hexenyl acetate ve p-cymene'nin hem düşük hem de yüksek doz uygulamalarında hekzan kontrolü ile karşılaştırıldığında anlamlı bir cezbedicilik göstermediği belirlenmiştir (p > 0,05).

Bu bulgular, erkek *C. montrouzieri* bireylerinin VOC'ler arasında en güçlü şekilde limonen ve kısmen gamma-terpinene tarafından cezbedildiğini ortaya koymaktadır. Diğer bileşikler ise erkek bireylerde belirgin bir yönelim davranışı oluşturmamıştır. Bu sonuçlar, biyolojik mücadelede limonen kullanımının erkek bireyleri araziye çekmek açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 18. *Cryptolaemus montrouzieri* erkeğinin sentetik maddeler ve hekzan kullanılarak yapılan iki seçenekli Y-olfaktometre testlerindeki davranışsal tepkisi. Her uygulama 30 kez tekrarlanmıştır (x^2-testi, *: p değeri < 0,05; **: p değeri < 0,01; ***: p değeri < 0,001; NS: anlamlı değil)

Tablo 17. *Cryptolaemus montrouzieri* erkeğinin iki seçenekli uçucu bileşiklerin Y-olfaktometre testlerinin istatistiksel değerleri

	***Cryptolaemus montrouzieri* erkek denemesi**			
	l. a. 5µl - Hekzan		**l. a. 15µl - Hekzan**	
Uçucu bileşikler	X^2	*p*	X^2	*P*
limonene	6,533	**	10,800	***
linalyl acetate	0,133	0,715	1,200	0,273
gamma-terpinene	2,133	0,144	4,800	*
(z)-3-hexenyl acetate	0,533	0,465	2,133	0,144
p-cymene	0,533	0,465	0,0001	1,000

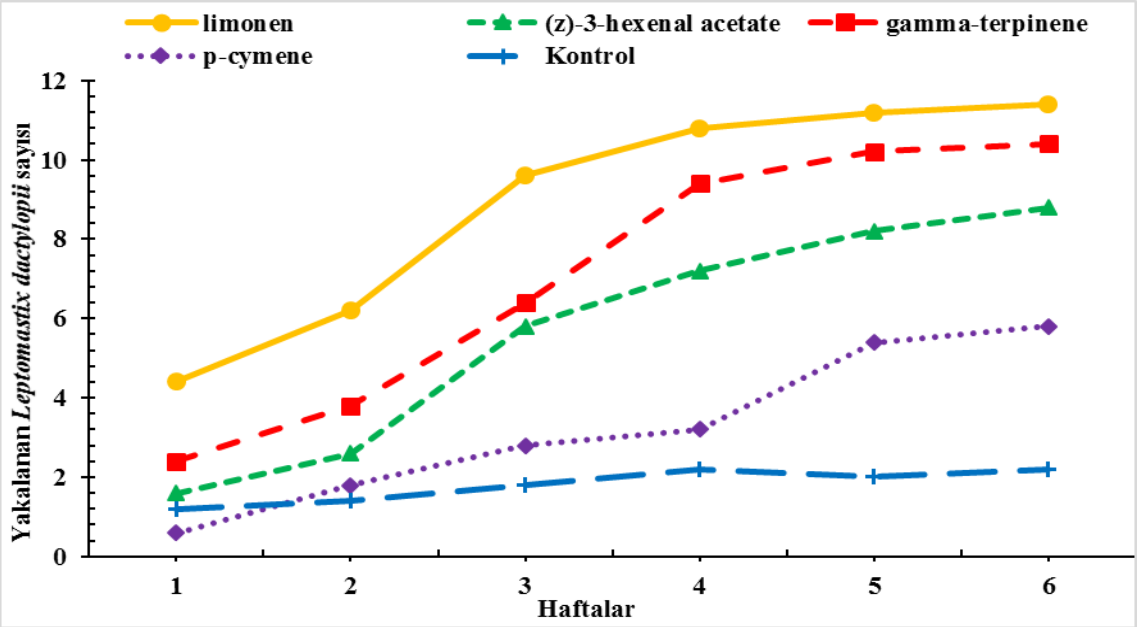
p: p-değeri; *: p-değeri < 0,05; **: p-değeri < 0,01; ***: p-değeri < 0,001. Tüm Y-olfaktometre testleri için serbestlik derecesi (df) = 1

3.3. Arazi Denemeleri

3.3.1. Mandalina Bahçesinin Sonuçları

3.3.1.1. *Leptomastix Dactylopii* Sonuçları

Limonene içeren sarı yapışkan tuzaklarla yakalanan *L. dactylopii* sayısı, birinci haftadan itibaren diğer VOC'ler ve kontrol olarak sadece parafin yağı içeren tuzaklarla yakalanan *L. dactylopii* sayısından daha fazladır (Şekil 19). Ayrıca, limonene ve gamma-terpinene içeren tuzaklarda yakalanan en yüksek *L. dactylopii* sayıları sırasıyla dördüncü, beşinci ve altıncı haftalarda (10,8 ± 0,58 - 11,2 ± 0,58 - 11,4 ± 0,6) ve (9,4 ± 0,51 - 10,2 ± 0,58 - 10,4 ± 0,51) olmuştur (Tablo 18). p-cymene içeren tuzaklarda ve sadece parafin yağı içeren tuzaklarda yakalanan *L. dactylopii* sayılarında beşinci ve altıncı haftalar hariç önemli farklılıklar gözlenmemiştir (Şekil 19). Ayrıca, genel olarak haftaların arasında çoğu VOC'ler içeren tuzaklarda yakalanan *L. dactylopii* sayıları dördüncü haftadan itibaren belirgin bir yükseliş olmuştur (Şekil 19).



Şekil 19. Mandalina bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Leptomastix dactylopii* sayısı. VOC içeren tuzaklar ve kontrol tuzaklarında yakalanan *L. dactylopii* sayılarına deneme boyunca her bir VOC için ayrı ayrı, hem de her bir hafta için tüm VOC'lerin birarada değerlendirildiği varyans analizi (One Way ANOVA) uygulanmış, Post-hoc karşılaştırmalar için Tukey testi kullanılmıştır.

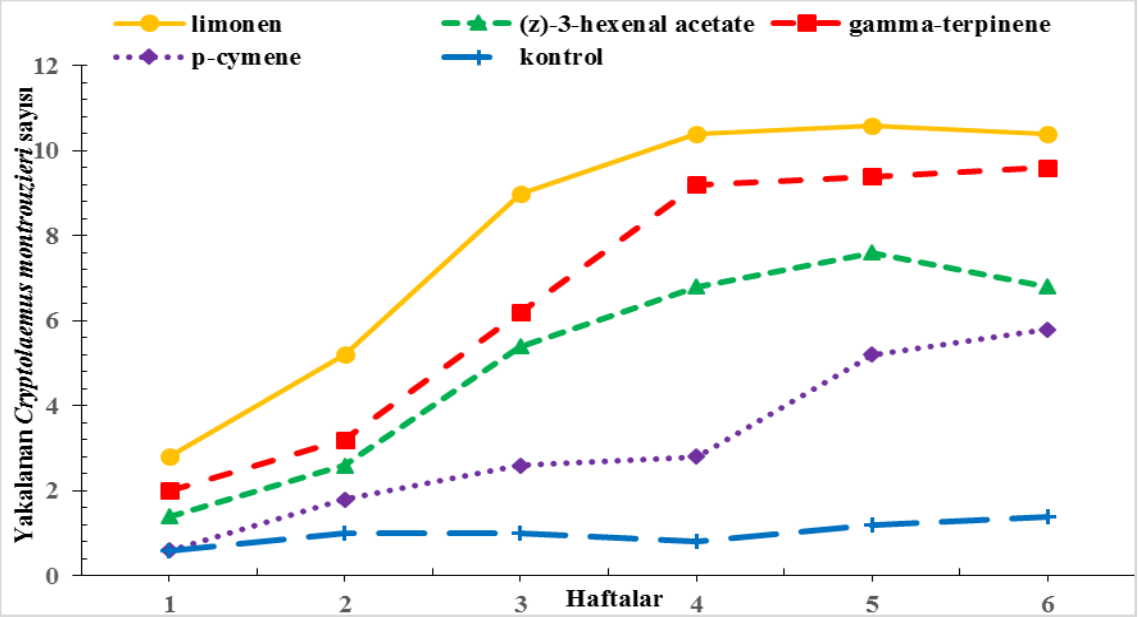
Tablo 18. Mandalina bahçesinde yakalanan *Leptomastix dactylopii* sayısı

Maddeler	**1. Hafta**	**2. Hafta**	**3. Hafta**	**4. Hafta**	**5. Hafta**	**6. Hafta**
limonene	4,4±0,68b*A**	6,2±0,66bA	9,6±0,51aA	10,8±0,58aA	11,2±0,58aA	11,4±0,6aA
gamma-terpinene	2,4±0,24cB	3,8±0,58cB	6,4±0,51bB	9,4±0,51aA	10,2±0,58aAB	10,4±0,51aAB
(z)-3-hexenal acetate	1,6±0,51cB	2,6±0,51cBC	5,8±0,37bB	7,2±0,58abB	8,2±0,58aB	8,8±0,66aB
p-cymene	0,6±0,24cB	1,8± 0,37bcBC	2,8±0,37bC	3,2±0,37bC	5,4±0,51aC	5,8±0,37aC
kontrol (parafin yağı)	1,2±0,37aB	1,4±0,24aC	1,8±0,37aC	2,2±0,37aC	2±0,32aD	2,2±0,37aD

*Aynı satırdaki farklı küçük harfler Tukey testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,05$)
**Aynı sütundaki farklı büyük harfler Tukey testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,05$)

3.3.1.2. *Cryptolaemus Montrouzieri* Sonuçları

Tablo 19'da, mandalina bahçelerinde uçucu organik bileşik (VOC) içeren sarı yapışkan tuzaklarla yakalanan *Cryptolaemus montrouzieri* birey sayılarının haftalara göre değişimi sunulmuştur. Veriler One-Way ANOVA ile analiz edilmiş, istatistiksel farklılıklar Tukey testi ile değerlendirilmiştir ($p \leq 0,05$). Limonene uygulamasında üçüncü haftadan itibaren yakalanan *C. montrouzieri* sayılarında anlamlı artışlar gözlenmiş ve bu artış dördüncü, beşinci ve altıncı haftalarda (10,4-10,6 birey) aralığında sabitlenmiştir. Bu haftalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p \geq 0,05$). Gamma-terpinene uygulamasında da benzer bir desen görülmüş; dördüncü haftadan itibaren yakalanan birey sayıları yüksek düzeyde olup 9,2-9,6 birey aralığında sabitlenmiştir. Limonene ve gamma-terpinene hem yüksek birey sayısı hem de süreklilik açısından öne çıkmıştır. (Z)-3-hexenal acetate uygulamasında birey sayıları üçüncü haftada belirgin şekilde artış göstermiş ($5,4 \pm 0,51$) ancak sonraki haftalarda (6,8-7,6 birey) istatistiksel olarak anlamlı bir değişim gözlenmemiştir ($p \geq 0,05$). Bu durum, bileşiğin cezbedici etkisinin sınırlı bir süre boyunca etkili olduğunu göstermektedir. P-cymene uygulamasında ilk dört hafta boyunca yakalanan birey sayıları düşük kalmış, beşinci ve altıncı haftalarda ise belirgin artış yaşanmıştır (5,2 ve 5,8 birey), ancak bu artış limonene ve gamma-terpinene ile kıyaslandığında daha düşüktür. Kontrol (parafin yağı) grubunda ise haftalık birey sayıları 0,6 ile 1,4 arasında değişmiş, tüm VOC uygulamalarından daha düşük düzeyde kalmıştır (Şekil 20). Bu veriler, limonene ve gamma-terpinene'nin *C. montrouzieri* için en etkili uçucu bileşikler olduğunu, dolayısıyla bu bileşiklerin biyolojik mücadele stratejilerinde doğal düşmanları cezbetmek için potansiyel taşıdığını göstermektedir.



Şekil 20. Mandalina bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı. VOC içeren tuzaklarda ve kontrol tuzaklarında yakalanan *C. montrouzieri* sayılarına deneme boyunca her bir VOC için ayrı ayrı hem de her bir hafta için tüm VOC'lerin birarada değerlendirildiği varyans analizi (One Way ANOVA) uygulanmış, Post-hoc karşılaştırmalar için Tukey testi kullanılmıştır.

Tablo 19. Mandalina bahçesinde yakalanan *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı

Maddeler	1. Hafta	2. Hafta	3. Hafta	4. Hafta	5. Hafta	6. Hafta
limonene	2,8±0,58 b*A**	5,2±0,58bA	9±0,71aA	10,4±0,51aA	10,6±0,51aA	10,4±0,51aA
gamma-terpinene	2±0,32cAB	3,2±0,37cB	6,2±0,37bB	9,2±0,66aA	9,4±0,68aAB	9,6±0,81aA
(z)-3-hexenal acetate	1,4±0,51bAB	2,6±0,51bBC	5,4±0,51aB	6,8±0,58aB	7,6±0,51aB	6,8±0,37aB
p-cymene	0,6±0,24cB	1,8±0,37bcBC	2,6±0,51bcC	2,8±0,58bC	5,2±0,58aC	5,8±0,37aB
kontrol (parafin yağı)	0,6±0,24aB	1±0,32aC	1±0,32aC	0,8±0,37aC	1,2±0,37aD	1,4±0,24aC

*Aynı satırdaki farklı küçük harfler Tukey testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,05$)
**Aynı sütundaki farklı büyük harfler Tukey testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,05$)

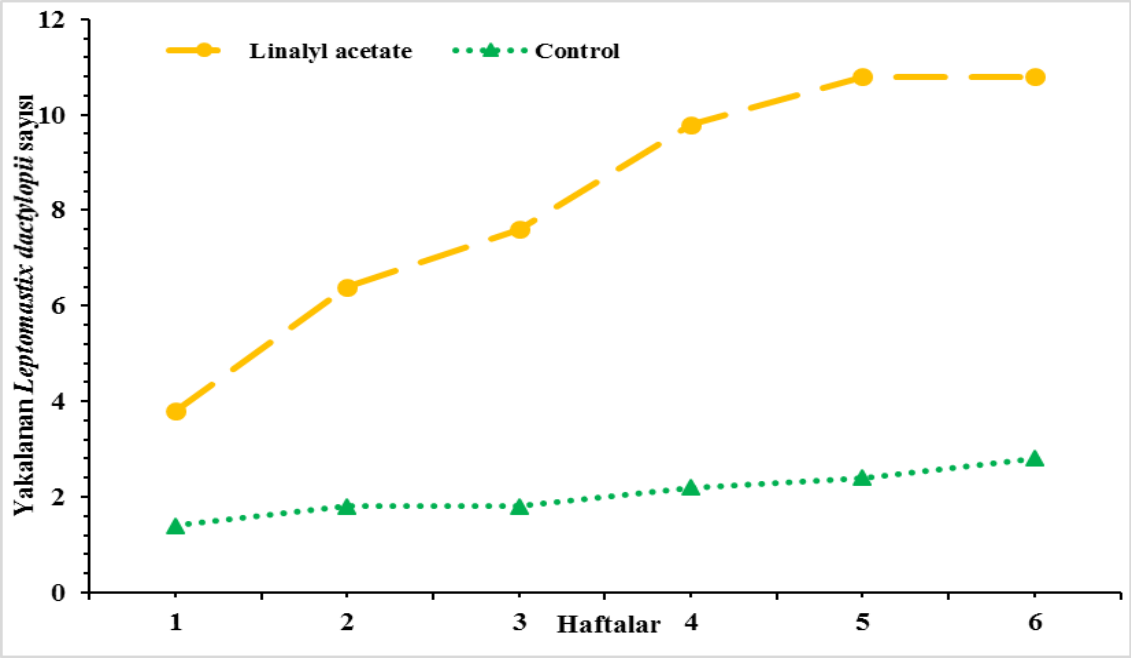
3.3.2. Limon Bahçesinin Sonuçları

3.3.2.1. *Leptomastix Dactylopii* Sonuçları

Limon bahçelerinde yürütülen çalışmada, parazitoit *Leptomastix dactylopii*'nin cezbedilmesinde linalyl asetat bileşiğinin etkinliği araştırılmış ve sonuçlar Şekil 21 ile Tablo 20'de sunulmuştur. Altı hafta boyunca yapılan gözlemler, linalyl asetat içeren sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan *L. dactylopii* bireylerinin sayısının, yalnızca parafin yağı içeren kontrol tuzaklarına karşı anlamlı derecede daha fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Tüm haftalar birlikte analiz edildiğinde bu farklılık Kruskal-Wallis testi ile istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur (H = 51,904, df = 11, p < 0,001).

Haftalık olarak değerlendirildiğinde, linalyl asetat uygulamasında birinci haftada 2,2 ± 0,68, ikinci haftada 4,2 ± 0,66, üçüncü haftada 7,2 ± 0,51 birey yakalanmış; en yüksek birey sayıları ise dördüncü, beşinci ve altıncı haftalarda kaydedilmiştir (sırasıyla 9,2 ± 0,58; 9,8 ± 0,58; 9,6 ± 0,6). Buna karşı, kontrol grubunda birinci haftadan altıncı haftaya kadar birey sayıları oldukça düşük kalmış (0,6 ± 0,37 ila 1,8 ± 0,37 aralığında) ve haftalık ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar görülmemiştir (p ≥ 0,05). İki uygulama arasındaki haftalık farklılıklar, Mann-Whitney U testine göre farklı harflerle belirtilmiş olup (p ≤ 0,05) anlamlılığı göstermektedir.



Şekil 21. Limon bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Leptomastix dactylopii* sayısı. Linalyl acetate içeren tuzaklarda ve kontrol tuzaklarında yakalanan *L. dactylopii* sayıları Kruskal-Wallis analizi kullanılarak tüm haftalar için birlikte analiz edilmiştir.

Tablo 20. Limon bahçesinde yakalanan *Leptomastix dactylopii* sayısı

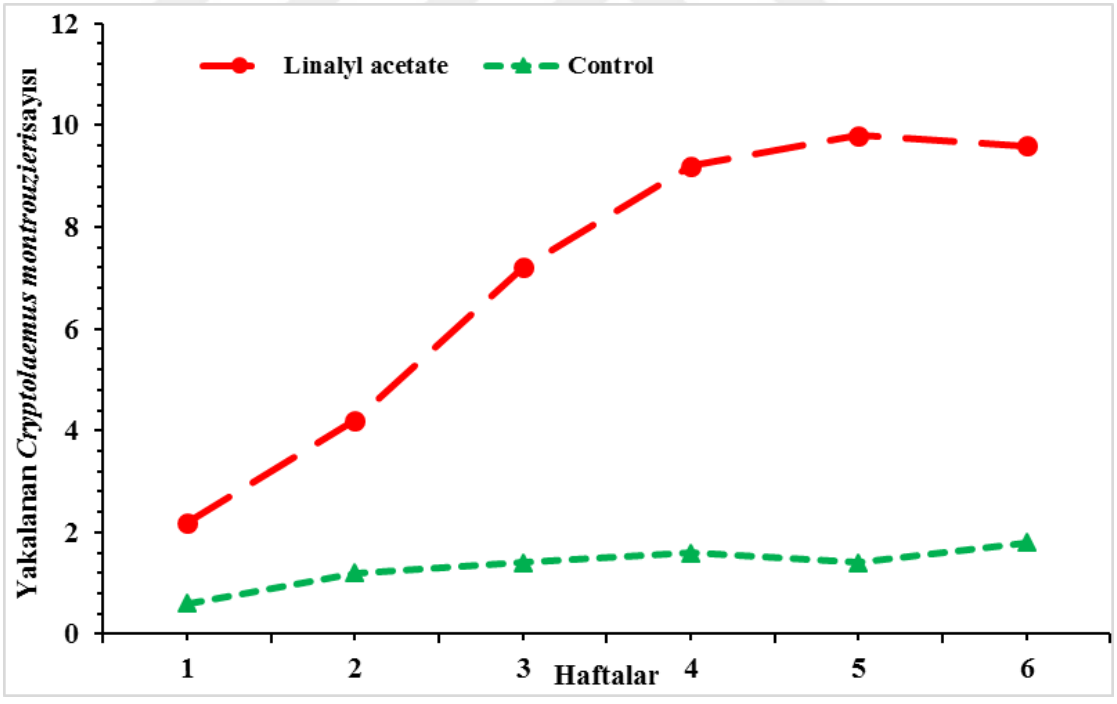
Leptomastix dactylopii	**1. Hafta**	**2. Hafta**	**3. Hafta**	**4. Hafta**	**5. Hafta**	**6. Hafta**
linalyl acetate	2,2±0,68 d	4,2±0,66 c	7,2±0,51 bc	9,2±0,58 ab	9,8±0,58 a	9,6±0,6 a
kontrol (parafin yağı)	0,6±0,37 f	1,2±0,24 ef	1,4±0,37 ef	1,6±0,37 def	1,4±0,32 def	1,8±0,37 de

Farklı harfler Mann-Whitney U testine göre istatistiksel olarak farklıdır (p ≤ 0,05)

3.3.2.2. *Cryptolaemus Montrouzieri* Sonuçları

Limon bahçesinde yürütülen çalışmada, predatör *Cryptolaemus montrouzieri*'nin linalyl asetat içeren sarı yapışkan tuzaklar ile kontrol (parafin yağı) içeren tuzaklara karşı cezbedicilik düzeyi haftalık olarak değerlendirilmiştir (Tablo 21). Sonuçlar, her bir hafta için linalyl asetat uygulanan tuzaklarda yakalanan *C. montrouzieri* birey sayılarının, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Mann-Whitney U testine göre farklı harflerle belirtilmiş; $p \leq 0.05$).

Linalyl asetat uygulamalarında birinci haftada yakalanan birey sayısı 2,2 ± 0,68, üçüncü haftada 7,2 ± 0,51'e yükselmiş, dördüncü, beşinci ve altıncı haftalarda zirve noktaya ulaşmıştır (sırasıyla 9,2 ± 0,58; 9,8 ± 0,58; 9,6 ± 0,6) ($H = 50,728$, $df = 11$, $p < 0,000$). Buna karşı, kontrol grubunda birey sayıları oldukça düşük kalmış ve haftalar arasında anlamlı bir artış göstermemiştir (örneğin, birinci hafta: 0,6 ± 0,37, altıncı hafta: 1,8 ± 0,37) ($p \geq 0,05$) (Şekil 22).



Şekil 22. Limon bahçelerindeki sarı yapışkan tuzaklarda yakalanan ortalama ergin *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı. Linalyl acetate içeren tuzaklar ve kontrol tuzaklarında yakalanan *C. montrouzieri* sayıları Kruskal-Wallis analizi kullanılarak tüm haftalar için birlikte analiz edilmiştir.

Tablo 21. Limon bahçesinde yakalanan *Cryptolaemus montrouzieri* sayısı

Cryptolaemus montrouzieri	**1. Hafta**	**2. Hafta**	**3. Hafta**	**4. Hafta**	**5. Hafta**	**6. Hafta**
Linalyl acetate	2,2±0,68 d	4,2±0,66 c	7,2±0,51 b	9,2±0,58 a	9,8±0,58 a	9,6±0,6 a
Kontrol (parafin yağı)	0,6±0,37 e	1,2±0,24 de	1,4±0,37 de	1,6±0,37 de	1,4±0,32 de	1,8±0,37 de

Farklı harfler Mann-Whitney U testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,05$)

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Böceklerin, VOC kodlu bilgileri tespit etmek ve açıklamak için oldukça gelişmiş bir koku algılama mekanizmasına ve koku bilgi işleme mekanizmasına sahiptir (Schmidt ve Benton, 2020). Koku alma duyusu, etçil böcekler tarafından bulaşık edilmiş ve edilmemiş bitkilerin tanımlanmasında ve seçiminde önemli bir rol oynar (Bruce vd., 2005; de Bruyne ve Baker, 2008; Bruce ve Pickett, 2011). Özellikle bitkilerden elde edilen VOC'lerin doğal düşmanı cezbetme potansiyeli, biyolojik mücadelede yeni nesil cezbedici-tutucu sistemler (attract-and-kill veya push-pull stratejileri) gibi uygulamalara entegre edilebilir (Reddy ve Guerrero 2004; Stenberg vd., 2015; Dalgaty vd., 2018). Y-olfaktometre testindeki sonuçlar, kullanılan doğal düşmanların temiz hava koluna karşı turunçgil fidanlarına bağlı kola çekildiğini göstererek önceki bulguları doğrulamıştır (Patt ve Setamou, 2010). *Planococcus citri* ile bulaşık edilmiş turunçgil fidanları, doğal düşmanların sağlıklı turunçgil fidanlarına bağlı kola karşı bulaşık edilmiş turunçgil fidanlarına bağlı kola çekilmesine neden olmuştur. Bu sonuç, böcek bulaşığına uğramış bitkilerin doğal düşmanları çekmeye yardımcı olan bileşikler salgıladığını, zararlıyı bulmayı kolaylaştırdığını ve böylece zararlı bulaşığını ve zararı azalttığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, bitkiler, böcek bulaşığı ve doğal düşmanların varlığı arasında tritrofik bir ilişki olduğunu bildiren önceki çalışmaları desteklemektedir (Uefune vd., 2012; Adams vd., 2023).

Erkek ve dişi predatör ve parazitoitlerin Y-olfaktometre testinde temiz hava koluna karşı turunçgil fidanlarının koku kaynaklarına yönelmeleri turunçgil uçucularına olan ilgilerini göstermektedir. Bununla birlikte, sağlıklı turunçgillerden gelen uçuculara olan ilgileri, *P. citri* ile bulaşık edilmiş turunçgillerden gelen uçuculara karşı önemli ölçüde

azalmıştır. Predatörlerin ve parazitoitlerin tercihleri genellikle bulaşık edilmiş ve edilmemiş bitkilerdeki uçucular arasındaki kimyasal farklılıklarla belirlenir (Vidal vd., 2019; Huang vd., 2021). Sonuçlarımız, bulaşık edilmiş bitkilerin uçucu kimyasında cezbedici maddelerin varlığını doğrulamaktadır. Ayrıca sonuçlar, parazitoitlerin ve avcıların neden bulaşık edilmiş ağaçlara çekildiğini ve koku yoluyla konukçularını/avlarını kolayca bulabildiklerini açıklamaktadır. Birçok çalışma, bulaşık edilmiş bitki kokularının çekici etkilerinin doğal düşmanların konukçuları avlama kabiliyetini kolaylaştırdığını bildirmiş, bu çalışmada da bu durum gösterilmiştir (Dudareva vd., 2004; Piesik vd., 2013).

SPME, GC-MS ve Y-olfaktometre çalışmalarından elde edilen sonuçlar, predatörler ve parazitoitler tarafından konukçu/av bulma sürecinde bitki uçucularının oynadığı hayati role dair açık kanıtlar sunmaktadır. Dahası, sonuçlar çeşitli doğal düşmanlarda konukçu/av bulma davranışının kimyasal temelini tanımlayan çok sayıda çalışmanın sonuçlarıyla tutarlıdır (Bukovinszky vd., 2005; Kigathi vd., 2009; Randlkofer vd., 2010; Piesik vd., 2022). Y-olfaktometre testinde, avcıların ve parazitoitlerin kontrol olarak hekzan koluna karşı limonene, (z)-3-hexenyl acetate, gamma-terpinene ve linalyl acetate içeren kola doğru hareket etmesi, kullanılan VOClara ilgilerini göstermiştir. Bununla birlikte, Y-olfaktometre testinde, 15 µL p-cymene hariç diğer tüm VOC'lerin farklı konsantrasyonlarında, erkek predatör ve parazitoitlerin çekiciliği azalırken, dişiler düşük konsantrasyona da daha fazla çekilmiştir. Bu fark, dişilerin uçuculara karşı daha hassas olmasıyla açıklanabilir ve bu da Piesik vd. (2013)'nin bulgularıyla tutarlıdır.

Birçok biyolojik mücadele programının başarısı, salınan doğal düşmanın yayılma kabiliyetine bağlıdır (Lavandero vd., 2004). Bu doğal düşmanların konukçularına veya avlarına doğru hareket etme kabiliyeti birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler, salınan doğal düşmanın arazi koşullarında uçuculara karşı fizyolojik algısını ve davranışsal tepkisini etkiler. Doğal düşmanların Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) programlarında uçucu organik bileşiklerin yalnızca bir veya birkaç nokta yerine, birçok salınım noktasına sahip olması önemlidir (Zappalà vd., 2012). Koku alma duyusuyla, eş bulma, konukçu/av arama ve rekabet gibi birçok doğal düşman davranışı yönlendirilebilmektedir (Schoonhoven vd., 2005). Bununla birlikte, zararlı ile bulaşık ağaçlardan gelen koku alma uyaranlarının, birçok doğal düşman için konukçu/av bulma davranışı sırasında önemli olduğu bilinmektedir (Zimba vd., 2015; Giunti vd., 2016).

Çalışmamızda, limonene, (z)-3-hexenyl acetate, p-cymene, gamma-terpinene ve linalyl acetate'nin *P. citri* ile bulaşık turunçgil fidanları tarafından bulaşık olmayanlara göre daha fazla indüklenen uçucu bileşikler olduğu bulunmuş ve limonene, (z)-3-hexenyl acetate, p-cymene, gamma-terpinene ve linalyl acetate'nin *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* için çekiciliği olfaktometre testlerinde belirlenmiştir. Limonene, (z)-3-hexenyl acetate, gamma-terpinene ve linalyl acetate arazi koşullarında da test edilmiş ve *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* için çekici olduğu kanıtlanmıştır. Benzer bir çalışmada, *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae) ile bulaşık edilmiş bir limon bahçesinde d-limonen ve β-ocimene kullanılmış ve bu uçucu bileşiklerin *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) üzerinde cezbedici etkisi olduğu bildirilmiştir (Mohammed, 2020). Benzer şekilde, Zhao vd. (2020) *Harmonia axyridis* bireylerinin de bazı VOC'lere (örneğin: α-humulen, trans-3-hexen-1-ol, metil salisilat ve β-pinen) karşı Y olfaktometre ve arazi çalışmalarında anlamlı düzeyde yönelme gösterdiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, *H. axyridis*'in genelist bir tür olması ve daha geniş av yelpazesine sahip olması nedeniyle, çevresel sinyallere olan tepkilerinin daha çeşitli ve değişken olduğu gözlenmiştir. Buna karşı, çalışmamızda *C. montrouzieri* gibi spesifik zararlılara karşı uzmanlaşmış türlerde, belirli VOC'lere karşı yüksek duyarlılık ve yönelme davranışı daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmamızda, *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* sezon boyunca iki kez salım noktalarından bahçedeki diğer mandalina ve limon ağaçlarına salınmıştır. *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*'nin iki salımı, doğal düşmanların bahçede sürekli olarak bulunacağı ve doğal düşmanların arazideki değişken abiyotik koşullara dayanıklı olacağı düşüncesiyle üretici tarafından gerçekleştirilmiştir. Tuzaklarda yakalanan *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* sayısı, salınan predatör ve parazitoitin yaşam döngüsü nedeniyle ilk 3 haftada düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu tarihlerde, sözkonusu çoğu doğal düşmanın yaşam döngülerinin ergin öncesi aşamalarında olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bulgulara göre, hem ilk salımdan yeni erginlerin çıkması hem de ikinci salımın etkisiyle, tuzaklarda yakalanan doğal düşman sayısında deneme boyunca genel bir artış gözlenmiştir. Ayrıca, tuzaklarda yakalanan ergin sayısının 4. hafta itibariyle stabilize olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, limonene, (z)-3-hexenyl acetate, gamma-terpinene ve linalyl asetatın *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*'nin davranışsal yöneliminde güçlü bir cezbedici etkiye sahip olduğunu ve turunçgil bahçelerinde bu türün etkinliğini

artırmak için potansiyel bir biyoteknik araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle *P. citri* gibi konukçuların yoğun olduğu dönemlerde, bu tür bileşiklerin kullanımıyla avcı ve parazitoitlerin doğal ortamda daha etkin bir şekilde yönlendirilmesi ve zararlı popülasyonunun baskılanması mümkün olabilir. Bu durum, kimyasal ilaç kullanımının azaltılmasına ve biyolojik mücadele verimliliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Çalışmamızda, arazi denemesinden elde edilen veriler, bir mandalina ve limon bahçesinde kontrollü salımla verilen VOC'ler ile doğal düşmanların kombinasyonunun *P. citri*'nin biyolojik mücadelesinin etkinliğini artırabileceğini göstermektedir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Yapılan literatür taramasında uçucu bileşik-unlubit-doğal düşman ilişkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma sonunda Türkiye'de yıllardır kullanılan turunçgil unlubitinin iki önemli doğal düşmanının uygulamadaki başarısını arttıracak yeni bilgilere ulaşılmıştır.Sentetik uçucuların, limonene, (z)-3-hexenyl acetate, gamma-terpinene ve linalyl acetate, parazitoit *L. dactylopii* ve avcı *C. montrouzieri*'nin *P. citri* ile enfekte turunçgil bitkisine karşı çekiciliğini artırmadaki rolüne yönelik önemli bir adım atılmıştır. Bu çalışmada, turunçgil bitkilerinin *P. citri* tarafından bulaşığının bazı VOC'lerin emisyonunu arttırdığı, bazı VOC'lerin ise sadece bulaşıktan sonra yayıldığı görülmüştür. Bu VOC'ler, avcının avının yerini ve parazitoitlerin konukçu habitatını bulmalarına yardımcı olmak için yüksek oranda tespit edilebilir, sinyaller olarak kabul edilen herbivor kaynaklı bitki uçucuları (HIPV'ler) olarak sınıflandırılmıştır. Bu nedenle, *P. citri* ile bulaşık edilmiş turunçgil bitkisinin kimyasal analizinin, *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri* erkek ve dişilerinde cezbedici davranışını ortaya çıkarmaktan sorumlu kimyasal bileşik veya bileşikleri belirlemek için incelenmesi önerilmektedir. *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*'nin arazide *P. citri* ile bulaşık bitkiye doğru doğuştan gelen yönelimli hareketi göz önüne alındığında, parazitoitler ve avcıların *P. citri* ile bulaşık bitkiye doğru daha güçlü bir yönelimli hareketini arttırmak için *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*'nin bulaşık bitkilerdeki bileşiklere koşullandırılmasının düşünülmesi tavsiye edilmektedir. Bu, turunçgil bahçelerinde *L. dactylopii* ve *C. montrouzieri*'nin daha etkili bir şekilde kontrol edilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın sonuçları *P. citri* tarafından bulaşık edilmiş ve edilmemiş bitkilerden yayılan VOC kombinasyonundaki çeşitliliği ve değişiklikleri ortaya koymaktadır. VOC'lerdeki bu değişikliklerin zararlının doğal düşmanlarının davranışlarını nasıl değiştirdiğini tam olarak belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Turunçgiller genellikle parazitoitler ve predatörler gibi biyolojik kontrol ajanlarının kullanılabileceği geniş alanlarda yetiştirilir. Mandalina ve limon bahçelerine limonene, (z)-3-hexenyl acetate, gamma-terpinene ve linalyl acetate gibi doğal bir bitki savunma aktivatörü uygulanarak, parazitoitlerin ve predatörlerin etkinliği artırılabilir ve daha etkili bir kontrol stratejisi elde edilebilir.

KAYNAKÇA

Adams, B., Yusuf, A. A., Torto, B., & Khamis, F. M., 2023. Non-host plant odors influence the tritrophic interaction between tomato, its foliar herbivore Tuta absoluta and mirid predator Nesidiocoris tenuis. **Frontiers in Plant Science, 14:** 1014865.

Agilent Technologies. 2012. 5975, Series MSD Operation Manual, 4th Edition, Santa Clara, 162 pp.

Ahmed, M., Arpaia, M.L., & Scora, R.W., 2001. Seasonal variation in lemon (Citrus limon L. Burm. f) leaf and rind oil composition. **Journal of Essential Oil Research, 13**(3): 149-153.

Akakabe, Y., Kusunoki, A., Tanaka, R., & Kanetsune, Y., 2010. A comparison of volatile components of Setomi with its parent cultivars. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 74**(3): 659-662.

Akotsen-Mensah, C., Blaauw, B. R., Rivera, M. J., Rodriguez-Saona, C., Nielsen, & A. L., 2021. Behavioral response of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) and its egg parasitoid *Trissolcus japonicus* (Hymenoptera: Scelionidae) to host plant odors. **Frontiers in Ecology and Evolution, 9:** 696814.

Aksoy, S., & Özçelik, E., 2021. Türkiye'de narenciye üretimi ve diş ticareti üzerine bir değerlendirme. **Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34**(2): 145-158.

Alissandrakis, E., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Polissiou, M., & Harizanis, P. C., 2003. Ultrasound-assisted extraction of volatile compounds from citrus flowers and citrus honey. **Food Chemistry, 82**(4): 575-582.

Al-Khshemawee, H., Agarwal, M., Du, X., & Ren, Y., 2017. Detection of Mediterranean fruit fly larvae *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in different types of fruit by HS-SPME GC-MS method. **Journal of Biosciences and Medicines, 5**(3): 154-169.

Alsabte, A., Ahmed, Q. H., Kayahan, A., & Karaca, İ., 2022. Effects of volatile organic compounds (VOCs) emitted by citrus infested with Aonidiella aurantii on the predator Rhyzobius lophanthae attraction. **Phytoparasitica, 50:** 645-653.

Andrade, F. M., Sales, L. M. L., Favaris, A. P., Bento, J. M. S., Mithöfer, A., & Peñaflor, M. F. G. V. 2023. Identity matters: Multiple herbivory induces less attractive or repellent coffee plant volatile emission to different natural enemies. **Journal of Chemical Ecology, 49:** 696-709.

Anonim, 2011. Turunçgil Bahçelerinde Entegre Mücadele Teknik Talimatı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 236 s.

Babushok, V. I., Linstrom, P. J., Reed, J. J., Zenkevich, I. G., Brown, R. L., Mallard, W. G., & Stein, S. E., 2007. Development of a database of gas chromatographic retention properties of organic compounds. **Journal of Chromatography A, 1157**(1-2): 414-421.

Baldwin, I. T., Halitschke, R., Paschold, A., von Dahl, C. C., & Preston, C. A., 2006. Volatile signaling in plant–plant interactions: "Talking trees" in the genomics era. **Science, 311**(5762): 812-815.

Bartle, K. D., & Myers, P., 2002. History of gas chromatography. **TrAC Trends in Analytical Chemistry, 21**(9-10): 547-557.

Beavers, J. B., McGovern, T. P., & Adler, V. E., 1982. Diaprepes abbreviatus: laboratory and field behavioral and attractancy studies. **Environmental Entomology, 11**(2): 436-439.

Belsito, E. L., Carbone, C., Di Gioia, M. L., Leggio, A., Liguori, A., Perri, F., Siciliano, C., & Viscomi, M. C., 2007. Comparison of the volatile constituents in cold-pressed bergamot oil and a volatile oil isolated by vacuum distillation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55**(19): 7847-7851.

Benelli, G., Revadi, S., Carpita, A., Giunti, G., Raspi, A., Anfora, G., & Canale, A., 2013. Behavioral and electrophysiological responses of the parasitic wasp *Psyttalia*

concolor (Szépligeti)(Hymenoptera: Braconidae) to *Ceratitis capitata*-induced fruit volatiles. **Biological Control, 64**(2): 116-124.

Benelli, P., Riehl, C. A., Smânia Jr, A., Smânia, E. F., & Ferreira, S. R., 2010. Bioactive extracts of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) pomace obtained by SFE and low pressure techniques: Mathematical modeling and extract composition. **The Journal of Supercritical Fluids, 55**(1): 132-141.

Bernasconi, O. M. L., Turlings, T. C. J., Edwards, P. J., Fritzsche-Hoballah, M. E., Ambrosetti, L., Bassetti, P., & Dorn, S., 2001. Response of natural populations of predators and parasitoids to artificially induced volatile emissions in maize plants (Zea mays L.). **Agricultural and Fores Entomology, 3**(3): 201-209.

Birişik, N., Kütük, H., Karacaoğlu, M., Yarpuzlu, F., İslamoğlu, M., & Öztemiz, S., 2012. Teoriden pratiğe biyolojik mücadele. Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 386 s.

Birla, S. L., Wang, S., Tang, J., Fellman, J. K., Mattinson, D. S., & Lurie, S., 2005. Quality of oranges as influenced by potential radio frequency heat treatments against Mediterranean fruit flies. **Postharvest Biology and Technology, 38**(1): 66-79.

Boussaada, O., & Chemli, R., (2006). Chemical composition of essential oils from flowers, leaves and peel of *Citrus aurantium* L. var. *amara* from Tunisia. **Journal Essential Oil Bear Plants, 9:** 133-139.

Boussaada, O., Skoula, M., Kokkalou, E., & Chemli, R., 2007. Chemical variability of flowers, leaves, and peels oils of four sour orange provenances. **Journal Essential Oil Bear Plants, 10**(6): 453-464.

Bruce, T. J., & Pickett, J. A., 2011. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects-finding the right mix. **Phytochemistry, 72**: 1605-1611.

Bruce, T. J., Wadhams, L. J., Woodcock, C. M., 2005. Insect host location: a volatile situation. **Trends in Plant Science, 10**(6): 269-274.

Bukovinszky, T., Gols, R., Posthumus, M. A., Vet, L. E. M., van Lenteren, J. C., 2005. Variation in plant volatiles and attraction of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Hellen). **Journal of Chemical Ecology, 31**(3): 461-480.

Burger, B. V., Le Roux, M., Marx, B., Herbert, S. A., & Amakali, K. T., 2011. Development of second-generation sample enrichment probe for improved sorptive analysis of volatile organic compounds. **Journal of Chromatography A, 1218**(12): 1567-1575.

Burger, B. V., Marx, B., Le Roux, M., & Burger, W. J., 2006. Simplified analysis of organic compounds in headspace and aqueous samples by high-capacity sample enrichment probe. **Journal of Chromatography A, 1121**(2): 259-267.

Canale, A., & Benelli, G., 2012. Impact of mass-rearing on the host seeking behaviour and parasitism by the fruit fly parasitoid *Psyttalia concolor* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae). **Journal of Pest Science, 85**(1): 65-74.

Cannon, R. J., Kazimierski, A., Curto, N. L., Li, J., Trinnaman, L., Janczuk, A. J., Agyemang, D., Da Costa, N. C., & Chen, M. Z., 2015. Identification, synthesis, and characterization of novel sulfur-containing volatile compounds from the in-depth analysis of Lisbon lemon peels (*Citrus limon* L. Burm. f. cv. Lisbon). **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63**(7): 1915-1931.

Chen, Y., Wu, J., Xu, Y., Fu, M., & Xiao, G., 2014. Effect of second cooling on the chemical components of essential oils from orange peel (*Citrus sinensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62**(35): 8786-8790.

Cheong, M. W., Chong, Z. S., Liu, S. Q., Zhou, W., Curran, P., & Yu, B., 2012. Characterisation of calamansi (*Citrus microcarpa*). Part I: Volatiles, aromatic profiles and phenolic acids in the peel. **Food Chemistry, 134**(2): 686-695.

Cheong, M. W., Loke, X.-Q., Liu, S.-Q., Pramudya, K., Curran, P., & Yu, B., 2011. Characterization of volatile compounds and aroma profiles of Malaysian pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) blossom and peel. **Journal of Essential Oil Research, 23:** 33-44.

Cheung, W. H., Pasamontes, A., Peirano, D. J., Zhao, W., Grafton-Cardwell, E. E., Kapaun, T., Yokomi, R. K., Simmons, J., Doll, M., Fiehn, O., Dandekar, A. M., & Davis, C. E., 2015. Volatile organic compound (VOC) profiling of citrus tristeza virus infection in sweet orange citrus varietals using thermal desorption gas chromatography time of flight mass spectrometry (TD-GC/TOF-MS). **Metabolomics, 11**(6): 1514-1525.

Chisholm, M. G., Jell, J. A., & Cass Jr, D. M., 2003a. Characterization of the major odorants found in the peel oil of *Citrus reticulata* Blanco cv. Clementine using gas chromatography–olfactometry. **Flavour and Fragrance Journal, 18**(4): 275-281.

Chisholm, M. G., Wilson, M. A., & Gaskey, G. M., 2003b. Characterization of aroma volatiles in key lime essential oils (*Citrus aurantifolia* Swingle). **Flavour and Fragrance Journal, 18**(2): 106-115.

Choi, H. S., 2003. Characterization of *Citrus unshiu* (*C. unshiu* Marcov. forma Miyagawa-wase) blossom aroma by solid-phase microextraction in conjunction with an electronic nose. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51**(2): 418-423.

Choi, H. S., & Min, K. C., 2004. Headspace-SPME analysis of citrus hybrid, Hallabong. **Food Science and Biotechnology, 13**(2): 126-129.

Chong, J.-H., & Oetting, R. D., 2007. Intraguild predation and interference by the mealybug predator *Cryptolaemus montrouzieri* on the parasitoid *Leptomastix dactylopii* attacking *Planococcus citri*. **Biological Control, 43**(2): 221-229.

Chong, J. H., Oetting, R. D., & van Iersel, M. W., 2015. *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) biological control of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) on ornamental crops. **Journal of Economic Entomology, 108**(3): 1235-1244.

Chung, M. S., 2012. Volatile compounds of the Hallabong (*Citrus kiyomi* × *Citrus ponkan*) blossom. **Food Science and Biotechnology, 21**(1): 285-290.

Clark, K. E., Hartley, S. E., & Johnson, S. N., 2011. Does mother know best? The preference–performance hypothesis and parent–offspring conflict in aboveground–belowground herbivore life cycles. **Ecological Entomology, 36**(2): 117-124.

Coffey, J. L., Simmons, A. M., Shepard, B. M., & Levi, A., 2016. Vertical Y-tube assay for evaluation of arthropod response to plant materials. **Journal of Agricultural and Urban Entomology, 32**(1): 7-12.

Conchou, L., Lucas-Barbosa, D., & Anderson, P. 2019. Insect olfactory preferences for plant volatiles in the context of insect–plant interactions. **Trends in Plant Science, 24**(6): 509-522.

Copolovici, L., Kannaste, A., Remmel, T., Vislap, V., & Niinemets, Ü., 2011. Volatile organic compound emissions from *Alnus glutinosa* under interacting drought and herbivory stresses. **Environmental and Experimental Botany, 72**(4): 470-481.

Costa, R., Dugo, P., Navarra, M., Raymo, V., Dugo, G., & Mondello, L., 2010. Study on the chemical composition variability of some processed bergamot (*Citrus bergamia*) essential oils. **Flavour and Fragrance Journal, 25**(1): 4-12.

Craske, J. D., Suryadi, N., & Wootton, M., 2005. A comparison of the peel oil components of Australian native lime (Microcitrus australe) and Mexican lime (Citrus aurantifolia Swingle). **Journal of the Science of Food and Agriculture, 85**(3): 522-525.

Dalgaty, T., Vianello, E., De Salvo, B., & Casas, J. 2018. Insect-inspired neuromorphic computing. **Current Opinion in Insect Science, 30**: 59-66.

Dandeneau, R. D., & Zerenner, E. H., 1979. An investigation of glasses for capillary chromatography. **Journal of High Resolution Chromatography, 2**(6): 351-356.

Darjazi, B. B., 2011. A comparison of volatile components of flower of page mandarin obtained by ultrasound-assisted extraction and hydrodistillation. **Journal of Medicinal Plants Research, 5**(13): 2839-2847.

Davison, A. C., & Ricard, I., 2011. Comparison of models for olfactometer data. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 16**(2): 157-169.

de Bruyne, M., & Baker, T. C., 2008. Odor detection in insects: volatile codes. **Journal of Chemical Ecology, 34**(7): 882-897.

de Fátima Alpendurada, M., 2000. Solid-phase microextraction: a promising technique for sample preparation in environmental analysis. **Journal of Chromatography A, 889**(1-2): 3-14.

De La Pava, N., da Silva Torres, C. S. A., & Bento, J. M. S., 2024. Behavioral responses of the lady beetles *Cryptolaemus montrouzieri* and *Tenuisvalvae notata* to specific mealybug prey. **Entomologia Experimentalis et Applicata, 172**(8): 679-692.

Delort, E., Jaquier, A., Decorzant, E., Chapuis, C., Casilli, A., & Frérot, E., 2015. Comparative analysis of three Australian finger lime (*Citrus australasica*) cultivars: Identification of unique citrus chemotypes and new volatile molecules. **Phytochemistry, 109:** 111-124.

Dicke, M., 2000. Chemical ecology of host-plant selection by herbivorous arthropods: A multitrophic perspective. **Biochemical Systematics and Ecology, 28**(7): 601-617.

Dicke, M., & Baldwin, I. T. 2010. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. **Trends in Plant Science, 15**(3): 167-175.

Dicke, M., & Loreto, F. 2010. Induced plant volatiles: From genes to climate change. **Trends in Plant Science, 15**(3): 115-117.

Dicke, M., & van Loon, J. J., 2000. Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. **Entomologia Experimentalis et Applicata, 97**(3): 237-249.

Dicke, M., van Poecke, R. M. P., & de Boer, J. G., 2003. Inducible indirect defence of plants: From mechanisms to ecological functions. **Basic and Applied Ecology, 4**(1): 27-42.

Dong, Y., Chen, D., Zhou, S., Mao, Z., & Fan, J., 2024. Identification of attractants from three host plants and how to improve attractiveness of plant volatiles for *Monochamus saltuarius*. **Plants, 13**(13): 1732.

Dong, Z. B., Shao, W. Y., & Liang, Y. R., 2014. Isolation and characterization of essential oil extracted from tangerine peel. **Asian Journal of Chemistry, 26:** 4975-4978.

Dongmo, P. J., Tatsadjieu, L. N., Sonwa, E. T., Kuate, J., Zollo, P. A., & Menut, C. 2009. Essential oils of Citrus aurantifolia from Cameroon and their antifungal activity against Phaeoramularia angolensis. **African Journal of Agricultural Research, 4**(4): 354-358.

Droby, S., Eick, A., Macarisin, D., Cohen, L., Rafael, G., Stange, R., McColum, G., Dudai, N., Nasser, A., Wisniewski, M., & Shapira, R., 2008. Role of citrus volatiles in host recognition, germination and growth of Penicillium digitatum and Penicillium italicum. **Postharvest Biology and Technology, 49**(3): 386-396.

Družić, J., Jerković, I., Marijanović, Z., & Roje, M., 2016. Chemical biodiversity of the leaf and flower essential oils of *Citrus aurantium* L. from Dubrovnik area (Croatia) in comparison with *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Washington navel, *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Tarocco and *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Doppio Sanguigno. **Journal of Essential Oil Research, 28:** 283-291.

Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D. A., & Orlova, I. (2006). Plant volatiles: Recent advances and future perspectives. **Critical Reviews in Plant Sciences, 25**(5): 417-440.

Dudareva, N., & Pichersky, E. (2000). Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents. **Plant Physiology, 122**(3): 627-634.

Dudareva, N., Pichersky, E., & Gershenzon, J. (2004). Biochemistry of Plant Volatiles. **Plant Physiol, 135:** 1893-1902.

Dugo, G., & Mondello, L., (2010). *Citrus* oils: composition, advanced analytical techniques, contaminants, and biological activity. CRC Press, London, 472 pp.

Dugo, P., Mondello, L., Favoino, O., Cicero, L., Rodríguez-Zenteno, N. A., & Dugo, G., 2005. Characterization of cold-pressed Mexican dancy tangerine oils. **Flavour and Fragrance Journal, 20**(1): 60-66.

Eben, A., Benrey, B., Sivinski, J., & Aluja, M., 2000. Host species and host plant effects on preference and performance of Diachasmimorpha longicaudata (Hymenoptera: Braconidae). **Environmental Entomology, 29**(1): 87-94.

Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (1964). Butterflies and plants: A study in coevolution. **Evolution, 18**(4): 586-608.

Elmaci, Y., & Onogur, T., 2012. Mandarin peel aroma: estimation by using headspace/GC/MS and descriptive analysis techniques. **Acta Alimentaria, 41**(1): 131-139.

Ermio, J. D. L., Peri, E., Guarino, S., Bella, P., Colazza, S., Lievens, B., Rostás, M., & Cusumano, A., 2025. Neglected microbes in floral nectar: Influence of filamentous fungi on nectar scent and parasitoid olfactory responses. **Journal of Chemical Ecology, 51**(2): 1-11.

Ettre, L. S., & Purcell, J. E., 1974. Advances in Chromatography. Marcal Dekker, New York, 1-94 pp.

Fancello, F., Petretto, G. L., Zara, S., Sanna, M. L., Addis, R., Maldini, M., Foddai, M., Rourke, J. P., Chessa, M., & Pintore, G., 2016. Chemical characterization, antioxidant capacity and antimicrobial activity against food related microorganisms of *Citrus limon* var. pompia leaf essential oil. **LWT-Food Science and Technology, 69:** 579-585.

Fenselau, C., 1977. The mass spectrometer as a gas chromatograph detector. **Analytical Chemistry, 49**(6): 563A-570A.

Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F., 2007. Comparison of different isolation methods of essential oil from *Citrus* fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave 'dry'distillation. **Flavour and Fragrance Journal, 22**(6): 494-504.

Fernández-Cabal, J., Avilés-Betanzos, K. A., Cauich-Rodríguez, J. V., Ramírez-Sucre, M. O., & Rodríguez-Buenfil, I. M., 2025. Recent developments in *Citrus aurantium* L.: An overview of bioactive compounds, extraction techniques, and technological applications. **Processes, 13**(1): 120.

Finlay-Doney, M., & Walter, G. H., 2012. Behavioral responses to specific prey and host plant species by a generalist predatory coccinellid (*Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant). **Biological Control, 63**(3): 270-278.

Fischer, A., Grab, W., & Schieberle, P., 2008. Characterisation of the most odour-active compounds in a peel oil extract from Pontianak oranges (*Citrus nobilis* var. Lour. microcarpa Hassk.). **European Food Research and Technology, 227**(3): 735-744.

Flamini, G., & Cioni, P. L., 2010. Odour gradients and patterns in volatile emission of different plant parts and developing fruits of grapefruit (*Citrus paradisi* L.). **Food Chemistry, 120**(4): 984-992.

Flamini, G., Tebano, M., & Cioni, P. L. 2007. Volatiles emission patterns of different plant organs and pollen of Citrus limon. **Analytica Chimica Acta, 589**(1): 120-124.

Franco, J. C., Suma, P., Silva, E. B., Blumberg, D., & Mendel, Z., 2004. Management strategies of mealybug pests of citrus in Mediterranean countries. **Phytoparasitica, 32**(5): 507-522.

Frizzo, C. D., Lorenzo, D., & Dellacassa, E., 2004. Composition and seasonal variation of the essential oils from two mandarin cultivars of southern Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52**(10): 3036-3041.

Frontini, A., De Bellis, L., Luvisi, A., Blando, F., Allah, S. M., Dimita, R., Mininni, C., Accogli, R., & Negro, C., 2022. The green leaf volatile (Z)-3-hexenyl acetate is differently emitted by two varieties of *Tulbaghia violacea* plants routinely and after wounding. **Plants, 11**(23): 3305.

Gancel, A. L., Olle, D., Ollitrault, P., Luro, F., & Brillouet, J. M., 2002. Leaf and peel volatile compounds of an interspecific citrus somatic hybrid [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing.+ *Citrus paradisi* Macfayden]. **Flavour and Fragrance Journal, 17**(6): 416-424.

Gancel, A. L., Ollitrault, P., Froelicher, Y., Tomi, F., Jacquemond, C., Luro, F., & Brillouet, J. M., 2003. Leaf volatile compounds of seven citrus somatic tetraploid hybrids sharing willow leaf mandarin (*Citrus deliciosa* Ten.) as their common parent. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51**(20): 6006-6013.

Gancel, A. L., Ollitrault, P., Froelicher, Y., Tomi, F., Jacquemond, C., Luro, F., & Brillouet, J. M., 2005. Leaf volatile compounds of six citrus somatic allotetraploid hybrids originating from various combinations of lime, lemon, citron, sweet orange, and grapefruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53**(6): 2224-2230.

Giunti, G., Benelli, G., Conte, G., Mele, M., Caruso, G., Gucci, R., Flamini, G., & Canale, A., 2016. VOCs-mediated location of olive fly larvae by the braconid parasitoid *Psyttalia concolor*: A multivariate comparison among VOC bouquets from three olive cultivars. **BioMed Research International, 2016:** 7827615.

Giunti, G., Campolo, O., Laudani, F., Algeri, G. M., & Palmeri, V., 2020. Olive fruit volatiles route intraspecific interactions and chemotaxis in *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) females. **Scientific Reports, 10:** 1666.

Golay, M. J. E., 1958. Gas Chromatography 1957 (Lansing Symposium). Ed. Coates, V.J., Noebels, H.J. & Fagerson, I.S., Academic Press, New York, 134 pp.

Gols, R., Bullock, J. M., Dicke, M., Bukovinszky, T., & Harvey, J. A. 2011. Smelling the wood from the trees: non-linear parasitoid responses to volatile attractants produced by wild and cultivated cabbage. **Journal of Chemical Ecology, 37**(8): 795-807.

González-Mas, M. C., Rambla, J. L., López-Gresa, M. P., Blázquez, M. A., & Granell, A. 2019. Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review. **Frontiers in Plant Science, 10:** 12.

Goubert, C., Josso, C., Louapre, P., Cortesero, A. M., & Poinsot, D., 2013. Short- and long-range cues used by ground-dwelling parasitoids to find their host. **Naturwissenschaften, 100**(2): 177-184.

Gudzinowicz, B. J., Gudzinowicz, M. J., & Martin, H. F. (1976). Fundamentals of Integrated GC-MS, Part I: Gas Chromatography. **Chromatographic Science Series, 7:** 295-335.

Guerrini, A., Rossi, D., Grandini, A., Scalvenzi, L., Rivera, P. F., Noriega, Andreotti, E., Tacchini, M., Spagnoletti, A., Poppi, I., Maietti, S., & Sacchetti, G., 2014. Biological and chemo-diverse characterization of Amazonian (Ecuador) *Citrus petitgrains*. **Journal of Applied Botany and Food Quality, 87:** 108-116.

Hamdan, D., El-Readi, M. Z., Nibret, E., Sporer, F., Farrag, N., El-Shazly, A., & Wink, M., 2010. Chemical composition of the essential oils of two Citrus species and their biological activities. **Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences, 65**(2): 141-147.

Hansson, B. S., & Stensmyr, M. C., 2011. Evolution of insect olfaction. **Neuron, 72**(5): 698-711.

Harborne, J. B., 2014. Introduction to Ecological Biochemistry (4th ed.). Academic Press, New York, 387 pp.

Hare, J. D., 2011. Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. **Annual Review of Entomology, 56:** 161-180.

Harris, C. M., Ruberson, J. R., Meagher, R., & Tumlinson, J. H., 2012. Host suitability affects odour association in *Cotesia marginiventris*: Implications in generalist parasitoid host-finding. **Journal of Chemical Ecology, 38**(4): 340-347.

Heil, M., 2004. Direct defense or ecological costs: responses of herbivorous beetles to volatiles released by wild lima bean (*Phaseolus lunatus*). **Journal of Chemical Ecology, 30**(6): 1289-1295.

Heil, M., & Karban, R., 2010. Explaining evolution of plant communication by airborne signals. **Trends in Ecology Evolution, 25**(3): 137-144.

Holopainen, J. K., & Gershenzon, J., 2010. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. **Trends in Plant Science, 15**(3): 176-184.

Holopainen, J. K., Heijari, J., Oksanen, E., & Alessio, G. A., 2010. Leaf volatile emissions of Betula pendula during autumn coloration and leaf fall. **Journal of Chemical Ecology, 36**(10): 1068-1075.

Hosni, K., Zahed, N., Chrif, R., Abid, I., Medfei, W., Kallel, M., Brahim, N. B., & Sebei, H., 2010. Composition of peel essential oils from four selected Tunisian Citrus species: Evidence for the genotypic influence. **Food Chemistry, 123**(4): 1098-1104.

Hu, S., Zhang, A., Wu, H., Peng, W., Li, P., & Su, W., 2025. Analysis of volatile compounds in *Citri grandis* from different regions in South China and the response of volatile compounds to ecological factors. **Molecules, 30**(3): 622.

Huang, H. H., Lin, L. Y., Chiang, H. M., Lay, S. J., Wu, C. S., & Chen, H. C., 2017. Analysis of volatile compounds from different parts of *Citrus grandis* (L.) Osbeck flowers by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Essential Oil Bearing Plants, 20**(4): 1057-1065.

Huang, K., Shang, H., Zhou, Q., Wang, Y., Shen, H., & Yan, Y. 2021. Volatiles induced from *Hypolepis punctata* (Dennstaedtiaceae) by herbivores attract *Sclomina erinacea* (Hemiptera: Reduviidae): Clear evidence of indirect defense in fern. **Insects, 12**(11): 978.

Hussain, S. Z., & Khushnuma Maqbool, K. M. (2014). GC-MS: principle, technique and its application in food science. **International Journal of Current Science, 13:** 116-126.

Isman, M. (2002). Insect antifeedants. **Pesticide Outlook, 13**(4): 152-157.

Jabalpurwala, F. A., Smoot, J. M., & Rouseff, R. L., 2009. A comparison of citrus blossom volatiles. **Phytochemistry, 70**(11-12): 1428-1434.

James, A. T., & Martin, A. J., 1952. Gas-liquid partition chromatography: the separation and micro-estimation of volatile fatty acids from formic acid to dodecanoic acid. **Biochemical Journal, 50**(5): 679.

James, D. G., 2003. Synthetic herbivore-induced plant volatiles as field attractants for beneficial insects. **Environmental Entomology, 32**(5): 977-982.

Jiang, M. H., Yang, L., Zhu, L., Piao, J. H., & Jiang, J. G., 2011. Comparative GC/MS analysis of essential oils extracted by 3 methods from the bud of *Citrus aurantium* L. var. amara Engl. **Journal of Food Science, 76**(9): 1219-1225.

Jinno, K., Dean, J.R., Weber, S., Malik, A., Gorecki, T., Mani, V., Namiesnik, J., Ai, J., Martos, P., Porschmann, J. & Vaes, W., 2007. Applications of solid phase microextraction. **Royal Society of Chemistry,** 653.

Johnson, S. N., Birch, A. N. E., Gregory, P. J., & Murray, P. J. 2006. The 'mother knows best'principle: should soil insects be included in the preference–performance debate?. **Ecological Entomology, 31**(4): 395-401.

Kaplan, I., 2012. Trophic complexity and the adaptive value of damage-induced plant volatiles. **PLoS Biology, 10**(11): e1001437.

Kataoka, H., 2003. New trends in sample preparation for clinical and pharmaceutical analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry, 22**(4): 232-244.

Kendra, P. E., Roda, A. L., Montgomery, W. S., Schnell, E. Q., Niogret, J., Epsky, N. D., & Heath, R. R., 2011. Gas chromatography for detection of citrus infestation

by fruit fly larvae (Diptera: Tephritidae). **Postharvest Biology and Technology, 59**(2): 143-149.

Kerry, J. P., Kerry, J. F., & Ledward, D., 2002. Meat Processing, Improvent Quality, 1st Edn, Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge, 480 pp.

Kessler, A., & Baldwin, I. T., 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. **Science, 291**(5511): 2141-2144.

Khan, A. A., Mir, R. A., & Zaki, F. A. (2007). Relative abundance of predacious ladybird beetle (Coleoptera: Coccinellidae) in Kashmir. **Journal of Aphidology, 21:** 23-30.

Kigathi, R. N., Unsicker, S. B., Reichelt, M., Kesselmeier, J., Gershenzon, J., & Weisser, W. W., 2009. Emission of volatile organic compounds after herbivory from *Trifolium pratense* (L.) under laboratory and field conditions. **Journal of Chemical Ecology, 35:** 1335-1348.

Kitson, F. G., Larsen, B. S., & McEwen, C. N., 1996. Gas chromatography and mass spectrometry: a practical guide. Academic Press, New York, 386 pp.

Knudsen, J. T., Tollsten, L., & Bergström, L. G. 1993. Floral scents–A checklist of volatile compounds isolated by head-space techniques. **Phytochemistry, 33**(2): 253-280.

Kreuzwieser, J., Scheerer, U., Kruse, J., Burzlaff, T., Honsel, A., Alfarraj, S., Georgiev, P., Schnitzler, J. P., Ghirardo, A., Kreuzer, I., Hedrich, R., & Rennenberg, H. (2014). The Venus flytrap attracts insects by the release of volatile organic compounds. **Journal of Experimental Botany, 65**(2): 755-766.

Lamine, M., Rahali, F. Z., Hammami, M., & Mliki, A., 2018. From differentially accumulated volatiles to the search of robust metabolic classifiers: exploring the volatome of Citrus leaves. **Microchem. J. 138:** 321–327.

Lavandero, B., Wratten, S., Hagler, J., & Jervis, M., 2004. The need for effective marking and tracking techniques for monitoring the movements of insect

predators and parasitoids. **International Journal of Pest Management. 50**(3): 147-151.

Lin, S. Y., Roan, S. F., Lee, C. L., & Chen, I. Z., 2010. Volatile organic components of fresh leaves as indicators of indigenous and cultivated *citrus* species in Taiwan. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 74**(4): 806-811.

Littlewood, A. B., 2013. Gas chromatography: principles, techniques, and applications. Elsevier, London, 485 pp.

Liu, C., Yan, F., Gao, H., He, M., Wang, Z., Cheng, Y., Deng, X., & Xu, J., 2015. Features of citrus terpenoid production as revealed by carotenoid, limonoid and aroma profiles of two pummelos (*Citrus maxima*) with different flesh color. **Journal of the Science of Food and Agriculture, 95**(1): 111-119.

Lord, H., & Bojko, B., 2012. Drug analysis by spme. **Handbook of Solid Phase Microextraction,** 335-382.

Mallinger, R. E., Hogg, D. B., & Gratton, C. 2011. Methyl salicylate attracts natural enemies and reduces populations of soybean aphids (Hemiptera: Aphididae) in soybean agroecosystems. **Journal of Economic Entomology, 104**(1): 115-124.

Martos, P. A., & Pawliszyn, J., 1998. Sampling and determination of formaldehyde using solid-phase microextraction with on-fiber derivatization. **Analytical Chemistry, 70**(11): 2311-2320.

McCready, R. M., Walter, E. D., & Maclay, W. D., 1950. Sugars of citrus juices. **Journal Food Technology, 4:** 19-20.

Md Othman, S. N. A., Hassan, M. A., Nahar, L., Basar, N., Jamil, S., & Sarker, S. D., 2016. Essential oils from the Malaysian *Citrus* (Rutaceae) medicinal plants. **Medicines, 3**(2): 13.

Meiners, T., Wäckers, F., & Lewis, W. J. 2003. Associative learning of complex odours in parasitoid host location. **Chemical Senses, 28**(3): 231-236.

Meiners, T., Wäckers, F., & Lewis, W. J., 2002. The effect of molecular structure on olfactory discrimination by the parasitoid *Microplitis croceipes*. **Chemical Senses, 27**(9): 811-816.

Merle, H., Morón, M., Blázquez, M. A., & Boira, H., 2004. Taxonomical contribution of essential oils in mandarins cultivars. **Biochemical Systematics and Ecology, 32**(5): 491-497.

Michereff, M. F. F., Borges, M., Aquino, M. F. S., Laumann, R. A., Gomes, A. M., & Blassioli-Moraes, M. C., 2016. The influence of volatile semiochemicals from stink bug eggs and oviposition-damaged plants on the foraging behaviour of the egg parasitoid *Telenomus podisi*. **Bulletin of Entomological Research, 106**(5): 663-671.

Miller, M. E., & Stuart, J. D., 1999. Comparison of gas-sampled and SPME-sampled static headspace for the determination of volatile flavour components. **Analytical Chemistry, 71**(1): 23-27.

Mitropoulou, G., Fitsiou, E., Spyridopoulou, K., Tiptiri-Kourpeti, A., Bardouki, H., Vamvakias, M., Panas, P., Chlichlia, K., Pappa, A., & Kourkoutas, Y. 2017. Citrus medica essential oil exhibits significant antimicrobial and antiproliferative activity. **LWT - Food Science and Technology, 84:** 344-352.

Miyazato, H., Hashimoto, S., & Hayashi, S., 2012. Identification of the odour-active aldehyde trans-4, 5-epoxy-(E, Z)-2, 7-decadienal in yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka). **European Food Research and Technology, 235**(5): 881-891.

Miyazato, H., Hashimoto, S., & Hayashi, S., 2013. First identification of the odour-active unsaturated aliphatic acid (E)-4-methyl-3-hexenoic acid in yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka). **Flavour and Fragrance Journal, 28**(1): 62-69.

Miyazawa, N., Fujita, A., & Kubota, K., 2010. Aroma character impact compounds in Kinokuni mandarin orange (*Citrus kinokuni*) compared with Satsuma mandarin orange (*Citrus unshiu*). **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 74**(4): 835-842.

Mohammed, K. O., 2020. Biological responses and control of California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell). PhD thesis, Diaspididae, Hemiptera, 188 pp.

Mumm, R., & Dicke, M., 2010. Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. **Canadian Journal of Zoology, 88**(7): 628-667.

Mumm, R., Schrank, K., Wegener, R., Schulz, S., & Hilker, M., 2003. Chemical analysis of volatiles emitted by Pinus sylvestris after induction by insect oviposition. **Journal of Chemical Ecology, 29**(5): 1235-1252.

Natale, D., Mattiacci, L., Hern, A., Pasqualini, E., & Dorn, S., 2003. Response of female *Cydia molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) to plant derived volatiles. **Bulletin of Entomological Research, 93**(4): 335-342.

Ngumbi, E., Chen, L., & Fadamiro, H. Y., 2009. Comparative GC-EAD responses of a specialist (*Microplitis croceipes*) and a generalist (*Cotesia marginiventris*) parasitoid to cotton volatiles induced by two caterpillar species. **Journal of Chemical Ecology, 35**(9): 1009-1020.

Ngumbi, E., Jordan, M., & Fadamiro, H., 2012. Comparison of associative learning of host-related plant volatiles in two parasitoids with different degrees of host specificity, *Cotesia marginiventris* and *Microplitis croceipes*. **Chemoecology, 22**(4): 207-215.

Öztemiz, S., 2010. Biyolojik mücadele: temel ilkeler ve uygulamalar. Hasad Yayıncılık, İstanbul, 396 s.

Olabiyi, D., Diepenbrock, L. M., Martini, X., & Stelinski, L. L. 2024. Response of hibiscus mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) to citrus volatiles induced by mechanical injury. **Environmental Entomology, 53**(6): 1006-1016.

Oliveira, L. C., Mesquita, P. R. R., Rodrigues, F. M., Barbosa, C. J., Fancelli, M., Costa, J. G. D., & Schnadelbach, A. S., 2023. Composition of volatiles of citrus varieties and their effects on the behavior of Diaphorina citri. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 97**(4), e20240981.

Omori, H., Nakahara, K., & Umano, K., 2011. Characterization of aroma compounds in the peel extract of Jabara (Citrus jabara Hort. ex Tanaka). **Flavour and Fragrance Journal, 26**(6): 396-402.

Orecchio, S., Fiore, M., Barreca, S., & Vara, G., 2017. Volatile profiles of emissions from different activities analyzed using canister samplers and gas chromatography–mass spectrometry (GC/MS) analysis: A case study. **International Journal of Environmental Research and Public Health, 14**(2): 195.

Oregon State University, 2012. GC-MS: How does it Work? Environmental Health Sciences Centre Corvallis OR 97331.

Otálora-Luna, F., Hammock, J. A., Alessandro, R. T., Lapointe, S. L., Dickens, J. C. 2009. Discovery and characterization of chemical signals for citrus root weevil, Diaprepes abbreviatus. **Arthropod-Plant Interactions, 3**(2): 63-73.

Palazzolo, E., Laudicina, V. A., & Germanà, M. A., 2013. Current and potential use of *Citrus* essential oils. **Journal of Current Organic Chemistry, 17:** 3042-3049.

Paoli, M., de Rocca Serra, D., Tomi, F., Luro, F., & Bighelli, A., 2016. Chemical composition of the leaf essential oil of grapefruits (*Citrus paradisi* Macf.) in relation with the genetic origin. **Journal of Essential Oil Research, 28**(4): 265-271.

Pare, P. W., & Tumlinson, J. H., 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. **Plant Physiology, 121**(2): 325-332.

Patt, J. M., & Setamou, M., 2010. Responses of the asian citrus psyllid to volatiles emitted by the flushing shoots of its rutaceous host plants. **Environmental Entomology 39**(2): 618-624.

Pawliszyn, J., 1999. Application of Solid-Phase Microextraction Royal Society of Chemistry. London, UK, 372 pp.

Peñuelas, J., & Llusià, J., 2001. The complexity of factors driving volatile organic compound emissions by plants. **Biologia Plantarum, 44**(4): 481-487.

Pérez-López, A. J., Saura, D., Lorente, J., & Carbonell-Barrachina, Á. A., 2006. Limonene, linalool, α-terpineol, and terpinen-4-ol as quality control parameters in mandarin juice processing. **European Food Research and Technology, 222**(3): 281-285.

Peter, E., Tamiru, A., Sevgan, S., Dubois, T., Kelemu, S., Kruger, K., Torto, B., & Yusuf, A., 2023. Companion crops alter olfactory responses of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and its larval endoparasitoid (*Cotesia icipe*). **Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 10**(1): 61.

Pettersson, J., 1970. An aphid sex attractant. **Insect Systematics and Evolution, 1**(1): 63-73.

Piesik, D., Bocianowski, J., Kotwica, K., Lema, G., Piesik, M., Ruzsanyi, V., & Mayhew, C. A., 2022. Responses of Adult *Hypera rumicis* L. to Synthetic Plant Volatile Blends. **Molecules, 27** (19): 6290.

Piesik, D., Panka, D., Jeske, M., Wenda-Piesik, A., Delaney, K. J., & Weaver, D. K., 2013. Volatile induction of infected and neighbouring uninfected plants potentially influence attraction/Repellence of a cereal herbivore. **Journal of Applied Entomology, 137**(4): 296-309.

Planes, L., Catalán, J., Tena, A., Porcuna, J. L., Jacas, J. A., Izquierdo, J., & Urbaneja, A., 2013. Lethal and sublethal effects of spirotetramat on the mealybug destroyer, Cryptolaemus montrouzieri. **Journal of Pest Science, 86**(2): 321-327.

Poiana, M., Mincione, A., Gionfriddo, F., & Castaldo, D. 2003. Supercritical carbon dioxide separation of bergamot essential oil by a countercurrent process. **Flavour and Fragrance Journal, 18**(5): 429-435.

Ponzio, C., Cascone, P., Cusumano, A., Weldegergis, B. T., Fatouros, N. E., Guerrieri, E., Dicke, M., & Gols, R., 2016. Volatile-mediated foraging behaviour of three

parasitoid species under conditions of dual insect herbivore attack. **Animal Behaviour, 111:** 197-206.

Pragst, F., & Balikova, M. A. 2006. State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. **Clinica Chimica Acta, 370**(1-2): 17-49.

Price, P. W., Bouton, C. E., Gross, P., McPheron, B. A., Thompson, J. N., & Weis, A. E., 1980. Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics, 11:** 41-65.

Qiao, Y., Xie, B. J., Zhang, Y., Zhang, Y., Fan, G., Yao, X. L., & Pan, S. Y., 2008. Characterization of aroma active compounds in fruit juice and peel oil of Jinchen sweet orange fruit (Citrus sinensis (L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O**. Molecules, 13**(6): 1333-1344.

Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Nayik, G. A., 2018. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17**(4): 351-358.

Raguso, R. A., 2004. Why do flowers smell? The chemical ecology of fragrance-driven pollination, pp. 141-178. *In* Advances in Insect Chemical Ecology (Eds: R. T. Cardé J. G. Millar). Cambridge University Press, Cambridge.

Rains, G. C., Tomberlin, J. K., D'Alessandro, M., & Lewis, W. J., 2004. Limits of volatile chemical detection of a parasitoid wasp, *Microplitis croceipes*, and an electronic nose: A comparative study. **Transactions of the ASAE, 47**(6): 2145-2152.

Randlkofer, B., Obermaier, E., Casas, J., & Meiners, T., 2010. Connectivity counts: disentangling effects of vegetation structure elements on the searching movement of a parasitoid. **Ecological Entomology, 35**(4): 446-455.

Reddy, G. V., & Guerrero, A., 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. **Trends in Plant Science, 9**(5): 253-261.

Reineccius, G., (2010). Instrumental methods of analysis. **Food Flavour Technology,** 229-265.

Richter, J., & Schellenberg, I., 2007. Comparison of different extraction methods for the determination of essential oils and related compounds from aromatic plants and optimization of solid-phase microextraction/gas chromatography. **Analytical and Bioanalytical Chemistry, 387**(6): 2207-2217.

Rotheray, G. E., 1981. Host searching and oviposition behaviour of some parasitoids of aphidophagous Syrphidae. **Ecological Entomology, 6**(1): 79-87.

Rousse, P., Chiroleu, F., Veslot, J., & Quilici, S., 2007. The host- and microhabitat olfactory location by Fopius arisanus suggests a broad potential host range. **Physiological Entomology, 32**(4): 313-321.

Saçtı, Z., & Kılınçer, N., 2018. Effect of white oil on the behavior of citrus mealybug parasitoid *Leptomastix dactylopii* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae). **Plant Protection Bulletin, 58** (4): 247-253.

Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., & Davis, C., 2010. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. **Computers and Electronics in Agriculture, 72**(1): 1-13.

Sarrou, E., Chatzopoulou, P., Dimassi-Theriou, K., & Therios, I., 2013. Volatile constituents and antioxidant activity of peel, flowers and leaf oils of *Citrus aurantium* L. growing in Greece. **Molecules, 18:** 10639-10647.

Schmidt, H. R., & Benton, R., 2020. Molecularmechanisms of olfactory detection in insects: beyond receptors. **Open Biology, 10:** 200252.

Schoonhoven, L. M., van Loon, J. J. A., & Dicke, M., 2005. Insect-plant biology. Oxford University Press, Oxford, 403 pp.

Schultz, J. C., 1988. Many factors influence the evolution of herbivore diets, but plant chemistry is central. **Ecology, 69**(4): 896-897.

Segura, D. F., Viscarret, M. M., Ovruski, S. M., & Cladera, J. L., 2012. Response of the fruit fly parasitoid Diachasmimorpha longicaudata to host and host-habitat volatile cues. **Entomologia Experimentalis et Applicata, 143**(2): 164-176.

Shimoda, T., Takabayashi, J., Ashihara, W., & Takafuji, A., 1997. Response of predatory insect Scolothrips takahashii toward herbivore-induced plant volatiles under laboratory and field conditions. **Journal of Chemical Ecology, 23**(8): 2033-2048.

Shoeib, M., & Harner, T., 2002. Characterization and comparison of three passive air samplers for persistent organic pollutants. **Environmental Science and Technology, 36**(19): 4142-4151.

Sinclair, W. B., & Jolliffe, V. A., 1960. Methods of analysis of soluble carbohydrates and pectic substances of *citrus* fruits. **Journal of Food Science, 25**(1): 148-156.

Singh, P., Shukla, R., Prakash, B., Kumar, A., Singh, S., Mishra, P. K., & Dubey, N. K., 2010. Chemical profile, antifungal, antiaflatoxigenic and antioxidant activity of *Citrus maxima* Burm. and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their cyclic monoterpene, DL-limonene. **Food and Chemical Toxicology, 48**(6): 1734-1740.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R., 2007. Instrumental Analysis. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, 376 pp.

Skoog, D., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S., 2013. Fundamentals of analytical chemistry. Nelson Education, London, 243 pp.

Song, G. C., & Ryu, C. M., 2013. Two volatile organic compounds trigger plant self-defense against a bacterial pathogen and a sucking insect in cucumber under open field conditions. **International Journal of Molecular Sciences, 14**(5): 9803-9819.

Song, Y., Liu, C., Cai, P., Chen, W., Guo, Y., Lin, J., & Zhang, S., 2021. Host-seeking behavior of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) modulated by chemical cues within a tritrophic context. **Journal of Insect Science, 21**(3): 1-9.

Spadaro, F., Circosta, C., Costa, R., Pizzimenti, F., Palumbo, D. R., & Occhiuto, F., 2012. Volatile fraction composition and biological activity of lemon oil (*Citrus limon* L. Burm.): comparative study of oils extracted from conventionally grown and biological fruits. **Journal of Essential Oil Research, 24**(2): 187-193.

Spinelli, F., Cellini, A., Marchetti, L., Mudigere, N. K., & Piovene, C., 2011. Emission and function of volatile organic compounds in response to abiotic stress, 367-394. *In:* Abiotic Stress in Plants–Mechanisms and Adaptations, (Ed.: A. Shanker). InTech.

Stelinski, L., & Tiwari, S., 2013. Vertical T-maze choice assay for arthropod response to odorants. **Journal of Visualized Experiments: JoVE, 72:** 50229.

Stenberg, J. A., Heil, M., Åhman, I., & Björkman, C., 2015. Optimizing crops for biocontrol of pests and disease. **Trends in Plant Science, 20**(11): 698-712.

Stiles, R., Yang, I., Lippincott, R. L., Murphy, E., & Buckley, B., 2008. Measurement of drinking water contaminants by solid phase microextraction initially quantified in source water samples by the USGS. **Environmental Science and Technology, 42**(8): 2976-2981.

Sun, H., Ni, H., Yang, Y., Chen, F., Cai, H., & Xiao, A., 2014a. Sensory evaluation and gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) analysis of the volatile extracts of pummelo (*Citrus maxima*) peel. **Flavour and Fragrance Journal, 29**(5): 305-312.

Sun, H., Ni, H., Yang, Y., Wu, L., Cai, H. N., Xiao, A. F., & Chen, F., 2014b. Investigation of sunlight-induced deterioration of aroma of pummelo (*Citrus maxima*) essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62**(49): 11818-11830.

Takemoto, H., & Takabayashi, J., 2015. Parasitic wasps Aphidius ervi are more attracted to a blend of host-induced plant volatiles than to the independent compounds. **Journal of Chemical Ecology, 41**(9): 801-807.

Tentelier, C., & Fauvergue, X., 2007. Herbivore-induced plant volatiles as cues for habitat assessment by a foraging parasitoid. **Journal of Animal Ecology, 76**(1): 1-8.

Teranishi, R., 1998. Challenges in flavour chemistry: An overview, Vol. 705, pp. 3-12. *In:* Flavour Analysis: Developments in Isolation And Characterization (Eds: C. J. Mussinan and M. J. Morello). Washington, DC: American Chemical Society.

Thompson, S. N., 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. **Annual Review of Entomology, 44**(1): 561-592.

Ting, S. V., & Attaway, J. A., 1971. *Citrus* fruits. **The Biochemistry of Fruits and Their Products, 2:** 107-169.

Tomi, F., Barzalona, M., Casanova, J., & Luro, F., 2008. Chemical variability of the leaf oil of 113 hybrids from *Citrus clementina* (Commun) x *Citrus deliciosa* (Willow Leaf). **Flavour Frag. J. 23**(3): 152-163.

Tranchida, P. Q., Bonaccorsi, I., Dugo, P., Mondello, L., & Dugo, G., 2012. Analysis of *Citrus* essential oils: state of the art and future perspectives. A review. **Flavour Frag. J. 27:** 98-123.

TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). Bitkisel üretim ve tarim ürünleri diş ticareti verileri. (Web sayfası: https://www.tuik.gov.tr), (Erişim Tarihi: Ocak 2026).

TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu. (2025). TÜİK resmî istatistikler portalı. (Web sayfası: https://www.tuik.gov.tr), (Erişim Tarihi: Ocak 2026).

Turlings, T. C. J., Davison, A. C., & TamÒ, C., 2004. A six-arm olfactometer permitting simultaneous observation of insect attraction and odour trapping. **Physiological Entomology, 29**(1): 45-55.

Turlings, T. C. J., & Erb, M., 2018. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential. **Annual Review of Entomology, 63:** 433-452.

Turlings, T. C. J., & Wäckers, F., 2004. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants, Vol. 2, pp. 21-75. *In:* Advances in Insect Chemical Ecology (Eds.: R. T. Cardé and J. G. Millar). Cambridge University Press.

Turner, C., 2006. Overview of modern extraction techniques for food and agricultural samples. **ACS Symposium Series, 926:** 3-19.

Uefune, M., Choh, Y., Abe, J., Shiojiri, K., Sano, K., & Takabayashi, J., 2012. Application of synthetic herbivore-induced plant volatiles causes increased parasitism of herbivores in the field. **Journal of Applied Entomology 136**(8): 561-567.

Uygun, N., 2001. Türkiye turunçgil bahçelerinde entegre mücadele (Zararlılar - Nematodlar -Hastalıklar - Yabancı Otlar). TÜBİTAK TARP Yayınları, No: 158.

Uygun, N., Ulusoy, M. R., Karaca, İ., & Satar, S., 2010. Meyve ve bağ zararlıları. Çukurova Üniversitesi Yayınları, Adana, 24-32 pp.

Uysal, B., Sozmen, F., Aktas, O., Oksal, B. S., & Kose, E. O., 2011. Essential oil composition and antibacterial activity of the grapefruit (*Citrus Paradisi*. L) peel essential oils obtained by solvent-free microwave extraction: comparison with hydrodistillation. **International Journal of Food Science and Technology, 46**(7): 1455-1461.

Van Deursen, M. M., Beens, J., Janssen, H. G., Leclercq, P. A., & Cramers, C. A., 2000. Evaluation of time-of-flight mass spectrometric detection for fast gas chromatography. **Journal of Chromatography A, 878**(2): 205-213.

van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A., 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl, 63**(1): 39-59.

Vas, G., & Vekey, K., 2004. Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. **Journal of Mass Spectrometry, 39**(3): 233-254.

Vekiari, S. A., Protopapadakis, E. E., & Gianovits-Argyriadou, N., 2004. Composition of the leaf and peel oils of Citrus medica L.'Diamante'from Crete. **Journal of Essential Oil Research, 16**(6): 528-530.

Verdeguer, M., Sánchez-Moreiras, A. M., & Araniti, F., 2020. Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. **Plants, 9**(11): 1571.

Vet, L. E. M., & Dicke, M., 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. **Annual Review of Entomology, 37**(1): 141-172.

Vet, L. E. M., Lewis, W. J., & Cardé, R. T., 1995. Parasitoid foraging and learning, pp. 65-101. *In* Chemical ecology of insects 2. Boston, MA: Springer US.

Vet, L. E. M., van Lenteren, J. C., Heymans, M., & Meelis, E., 1983. An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of Hymenopterous parasitoids and other small insects. **Physiological Entomology, 8**(1): 97-106.

Vidal, D. M., Moreira, M. A. B., Coracini, M. D. A., & Zarbin, P. H. G., 2019. Isophorone derivatives as a new structural motif of aggregation pheromones in curculionidae. **Sci Rep, 9:** 776.

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A., 2009. Chemical composition of mandarin (*C. reticulata* L.), grapefruit (*C. paradisi* L.), lemon (*C. limon* L.) and orange (*C. sinensis* L.) essential oils. **Journal of Essential Oil Bearing Plants, 12**(2): 236-243.

Vivaldo, G., Masi, E., Taiti, C., Caldarelli, G., & Mancuso, S., 2017. The network of plants volatile organic compounds. **Scientific Reports, 7:** 11050.

Wajnberg, E., & Colazza, S. (2013). Chemical ecology of insect parasitoids. John Wiley & Sons, London, 422 pp.

Waleed, F. A., 2019. Nutritional benefit of citrus fruits. American **Journal of Biomedical Science and Resources, 3**(4): AJBSR.MS.ID.000681.

Walton, V. M., & Pringle, K. L., 2004. A survey of mealybug parasitoids in vineyards in the Western Cape Province, South Africa. **South African Journal of Enology and Viticulture, 25**(1): 23-25.

Wampler, T. P., 2001. Analysis of food volatiles using headspace-gas chromatographic techniques, pp. 41-70. *In:* Flavour, Fragrance, and Odour Analysis, (Ed.: R. Marsili). CRC Press.

Wang, J., & Liu, Y., 2014. Comparative study on the volatiles in Citrus reticulata 'Dahongpao'peel from the same plant and their antioxidant activities. **Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17**(2): 303-308.

Wang, Y., 1997. Sample preparation/concentration for trace analysis in GC/MS: A study of solid-phase microextraction and headspace sampling. Virginia Polytechnic Institute and State University, Master's Thesis, Virginia, 163 pp.

War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C., 2012. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling and Behavior, 7**(10): 1306-1320.

Webster, B., Bruce, T., Pickett, J., & Hardie, J., 2010. Volatiles functioning as host cues in a blend become nonhost cues when presented alone to the black bean aphid. **Animal Behaviour, 79**(2): 451-457.

Wei, J. N., & Kang, L., 2006. Electrophysiological and behavioral responses of a parasitic wasp to plant volatiles induced by two leaf miner species. **Chemical Senses, 31**(5): 467-477.

Xu, C. H., Chen, G. S., Xiong, Z. H., Fan, Y. X., Wang, X. C., & Liu, Y., 2016. Applications of solid-phase microextraction in food analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry, 80:** 12-29.

Yu, M., Roszkowska, A., & Pawliszyn, J. (2021) *In vivo* solid-phase microextraction and applications in environmental sciences. **ACS Environ Au. 2**(1): 30-41.

Zappalà, L., Campolo, O., Grande, S. B., Saraceno, F., Biondi, A., Siscaro, G., & Palmeri, V., 2012. Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards. **European Journal of Entomology. 109**(4): 561-568.

Zebelo, S. A., & Maffei, M. E., 2014. Role of early signalling events in plant–insect interactions. **Journal of Experimental Botany, 66**(2): 435-448.

Zhang, H., Xie, Y., Liu, C., Chen, S., Hu, S., Xie, Z., Deng, X., & Xu, J., 2017. Comprehensive comparative analysis of volatile compounds in citrus fruits of different species. **Food Chemistry, 230:** 316-326.

Zhang, L., Qin, Z., Zhao, X., Huang, X., & Shi, W., 2022. Effects of aphid-induced semiochemicals from cover plants on *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). **Pest Management Science, 78**(8): 3305–3313.

Zhao, J., Wang, Z., Li, Z., Shi, J., Meng, L., Wang, G., Cheng, J., & Du, Y., 2020. Development of lady beetle attractants from floral volatiles and other semiochemicals for the biological control of aphids. **Journal of Asia-Pacific Entomology, 23**(4): 1023-1029.

Zimba, K., Hill, M. P., Moore, S. D., & Heshula, U., 2015. *Agathis bishopi* (Hymenoptera: Braconidae) as a potential tool for detecting oranges infested with *Thaumatotibia leucotreta* (Lepidoptera: Tortricidae). **Journal of Insect Behavior 28**(5): 618-633.

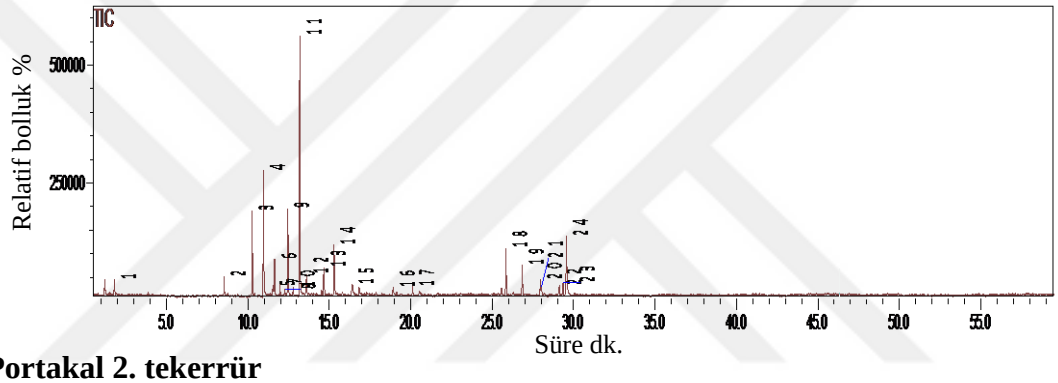
EKLER

EK 1. Portakal Fidanları

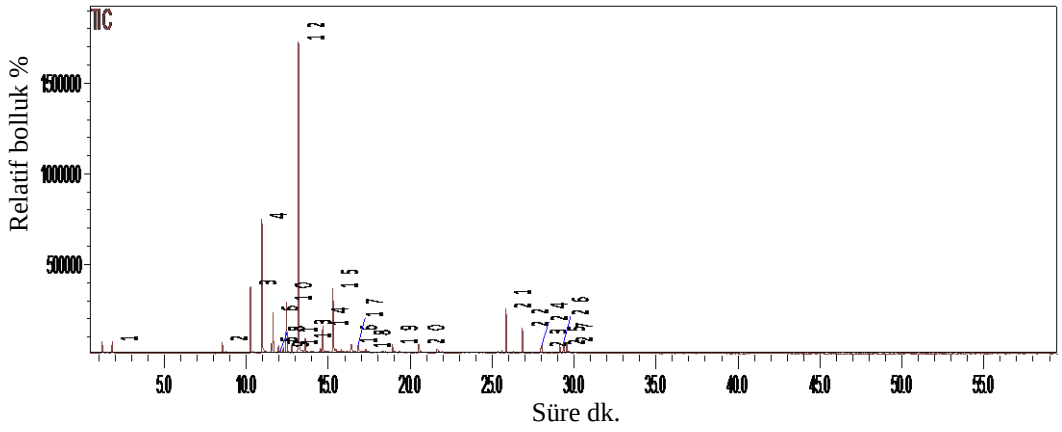
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

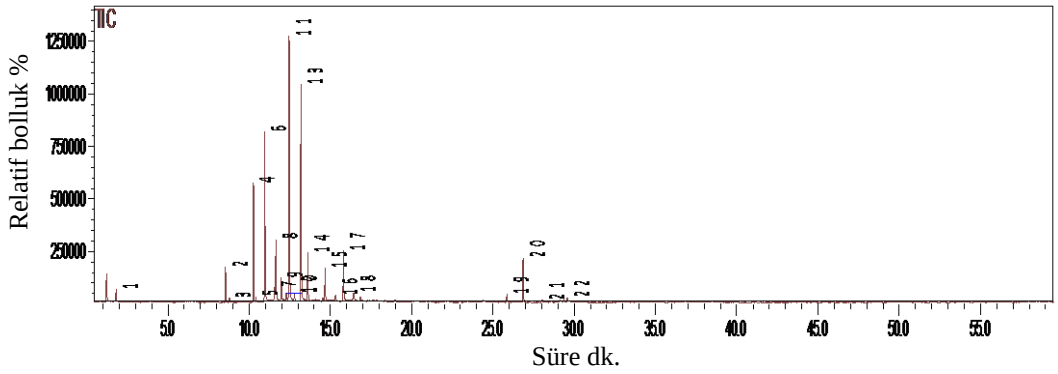
Portakal 1. tekerrür



Portakal 2. tekerrür

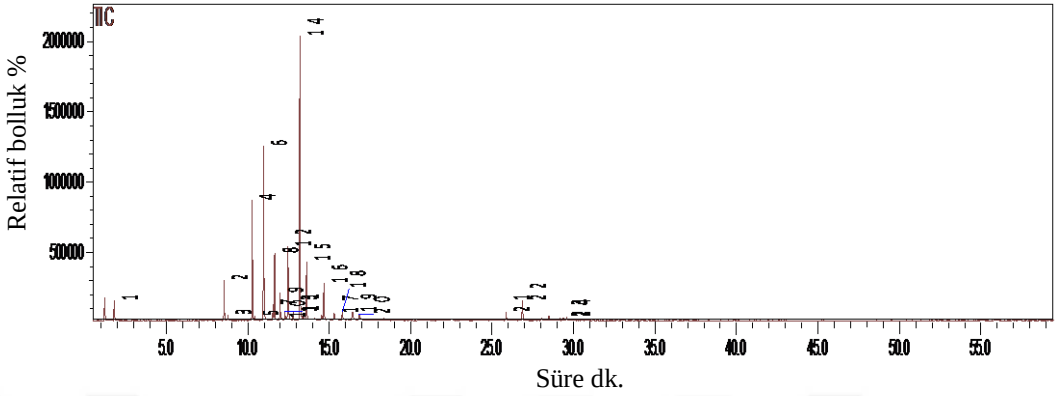


Portakal 3. tekerrür

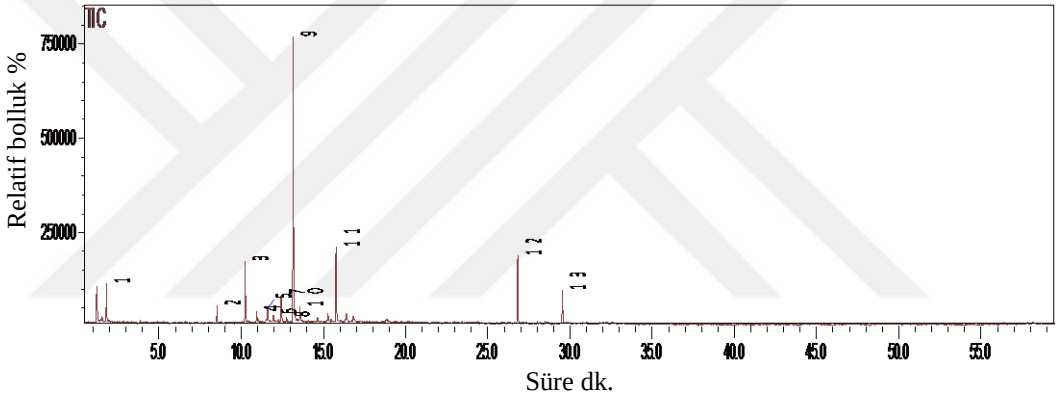


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

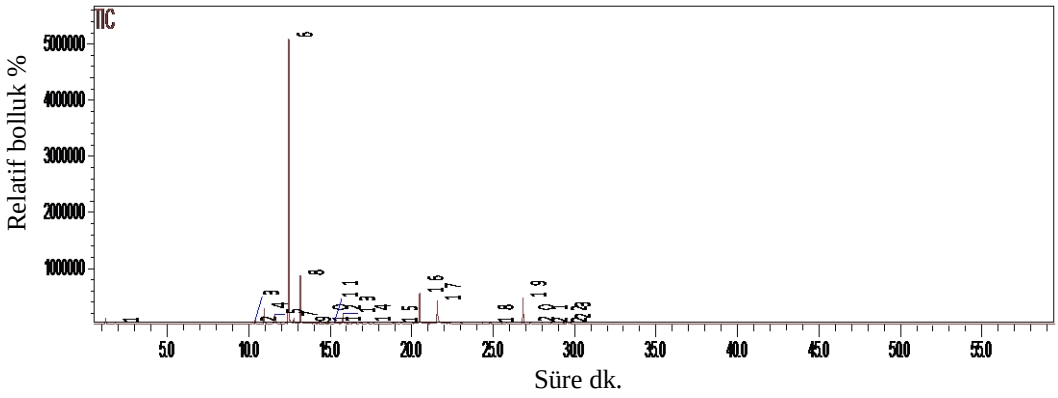
Portakal 4. tekerrür



Portakal 5. tekerrür



Portakal 6. tekerrür

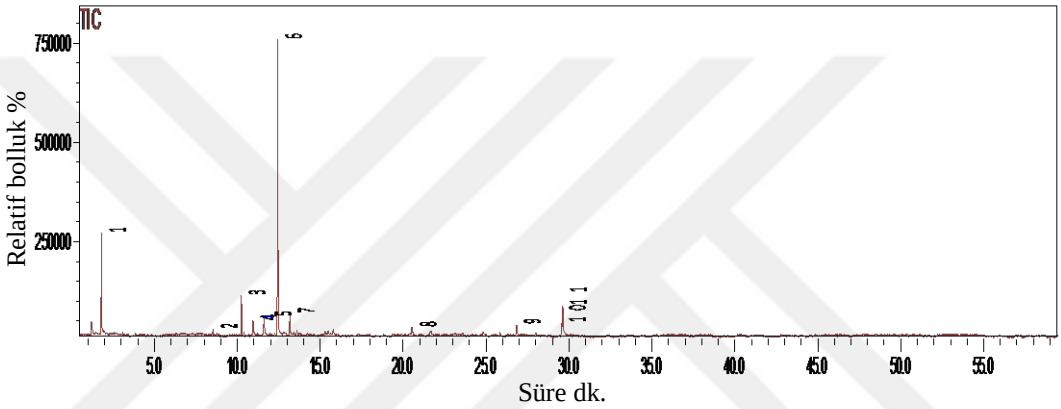


EK 2. Limon Fidanları

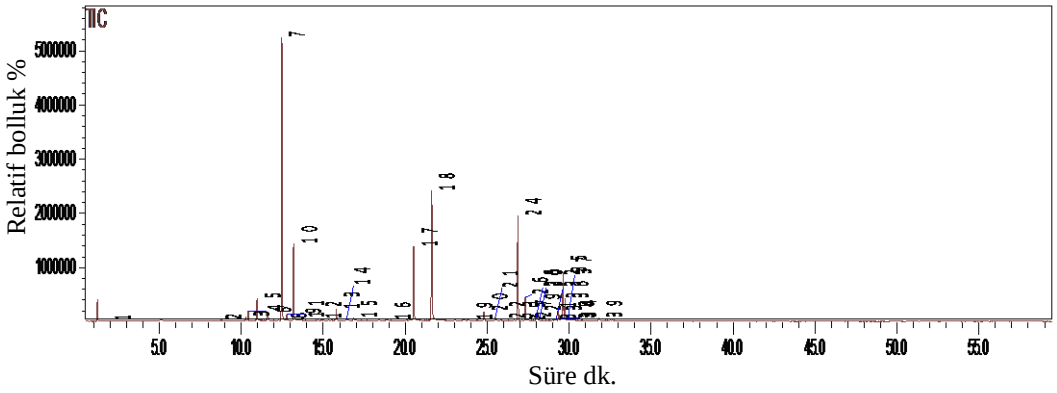
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

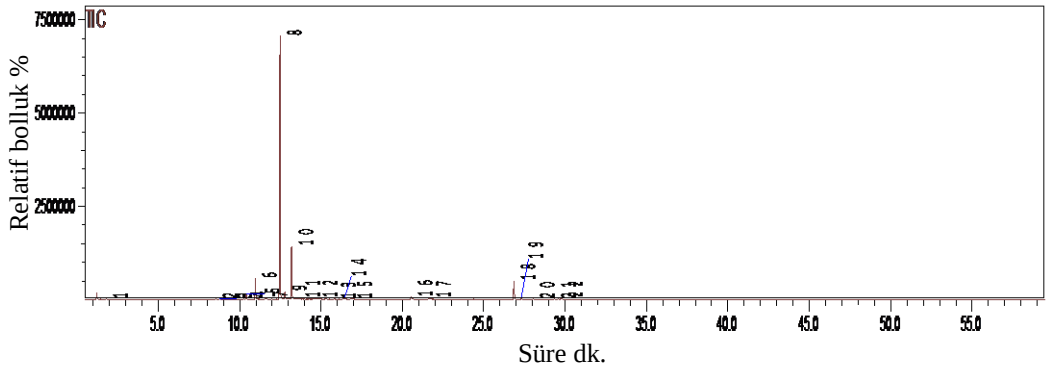
Limon 1. tekerrür



Limon 2. tekerrür

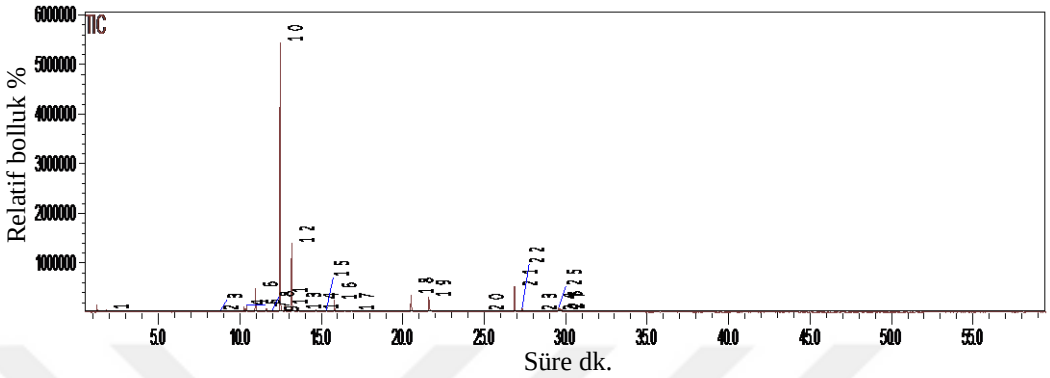


Limon 3. tekerrür

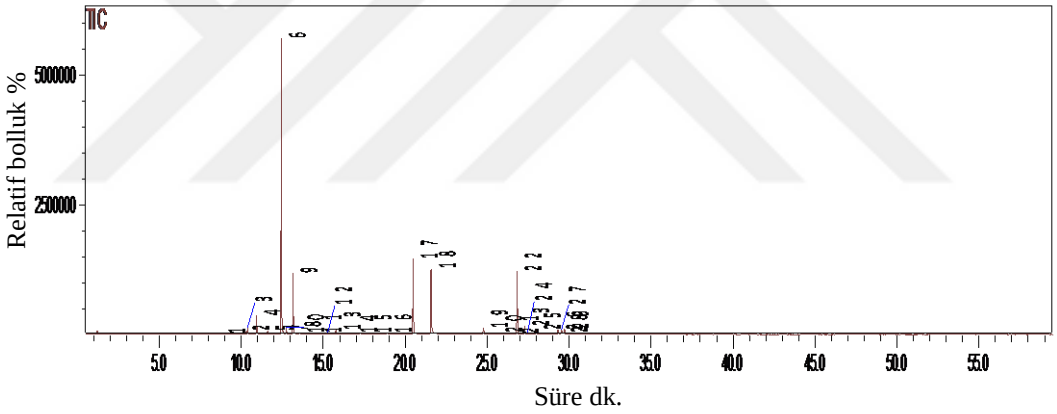


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

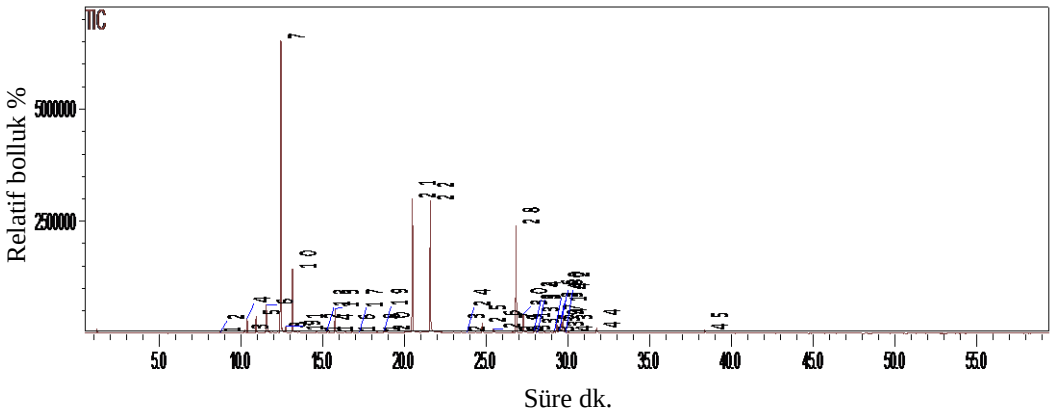
Limon 4. tekerrür



Limon 5. tekerrür



Limon 6. tekerrür

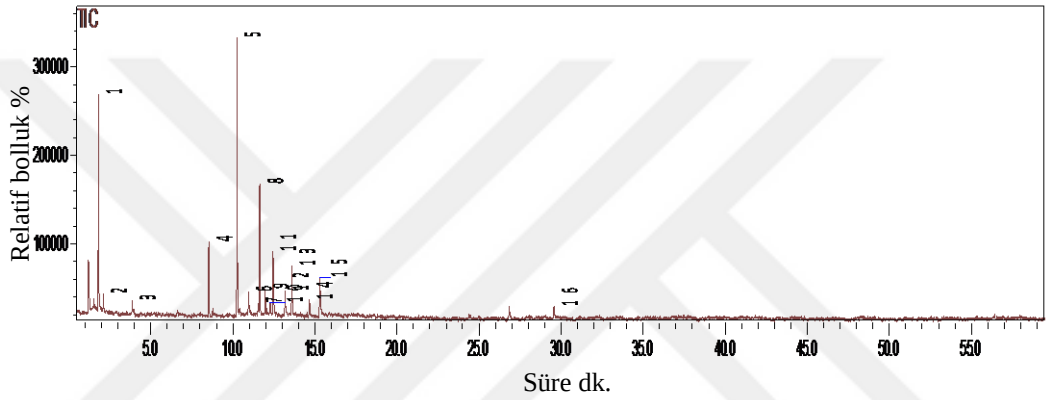


EK 3. Mandalina Fidanları

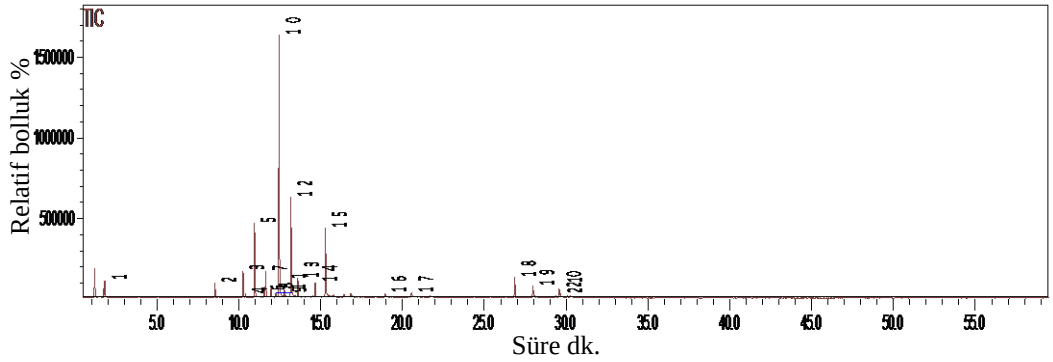
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

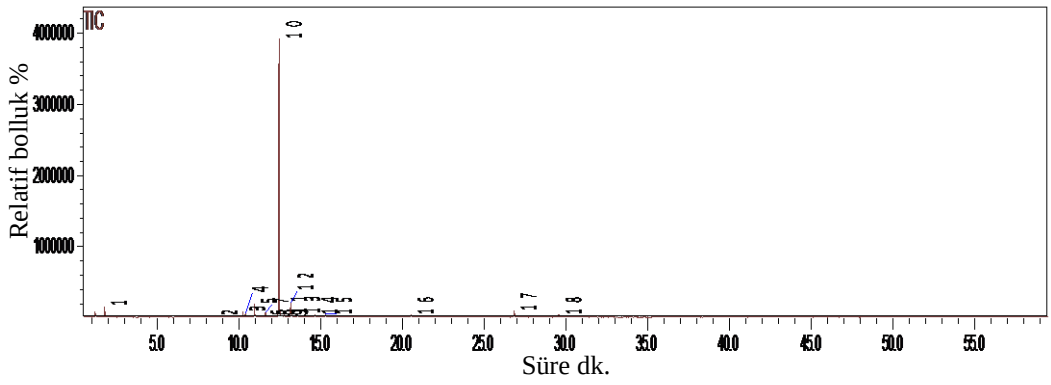
Mandalina 1. tekerrür



Mandalina 2. tekerrür

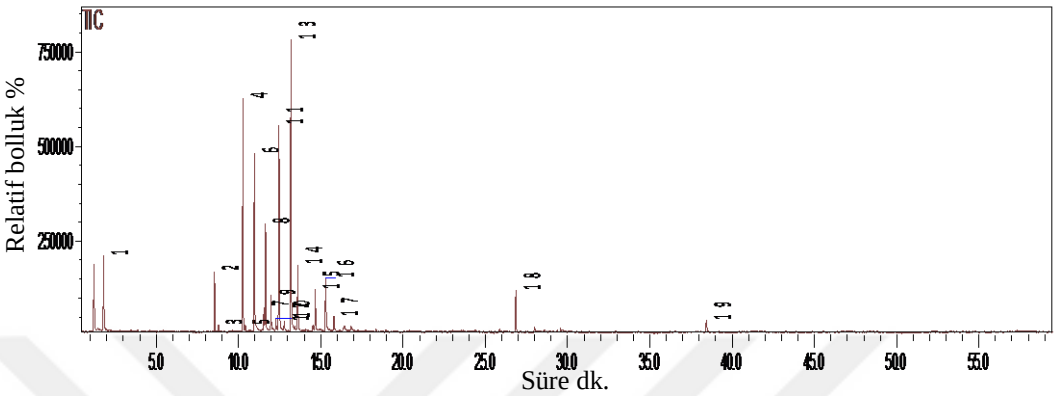


Mandalina 3. tekerrür

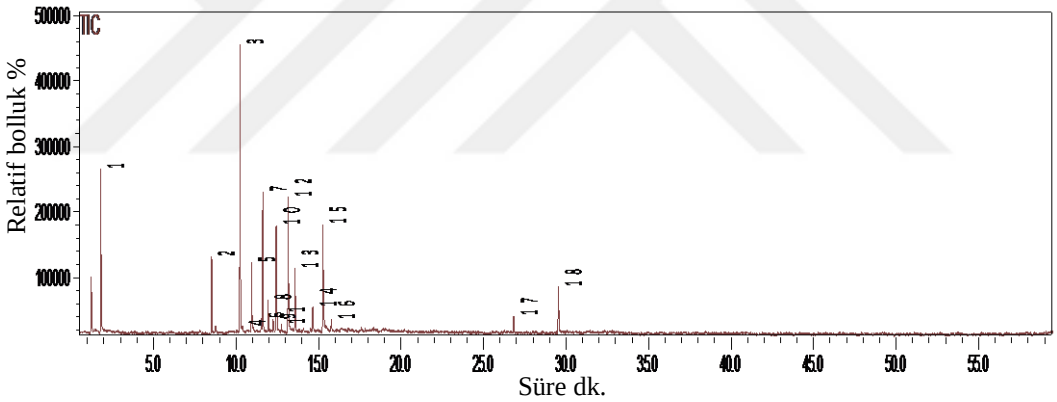


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

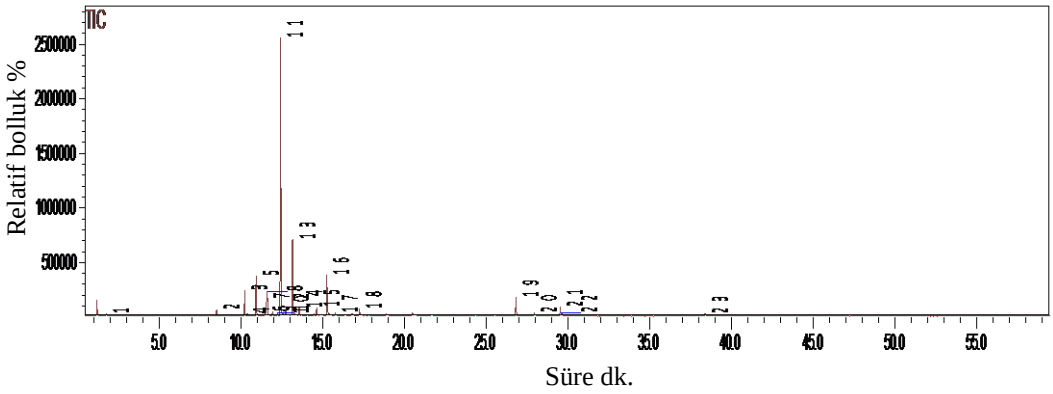
Mandalina 4. tekerrür



Mandalina 5. tekerrür



Mandalina 6. tekerrür

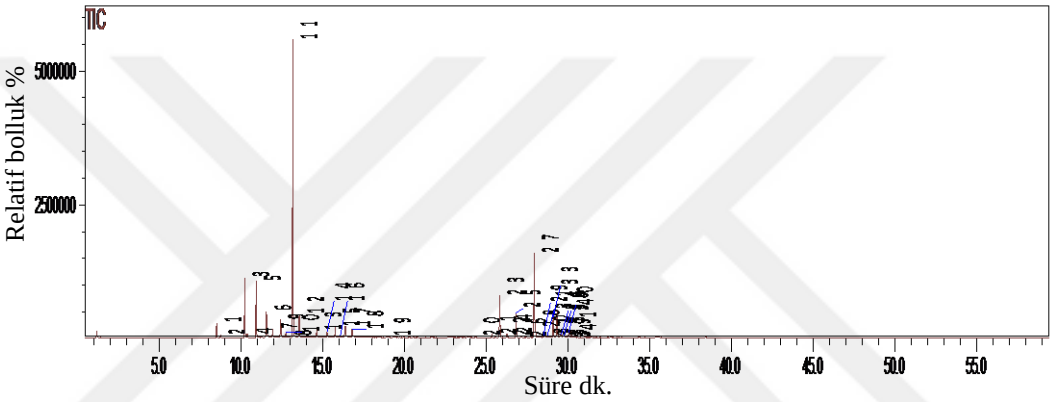


EK 4. Greyfurt Fidanları

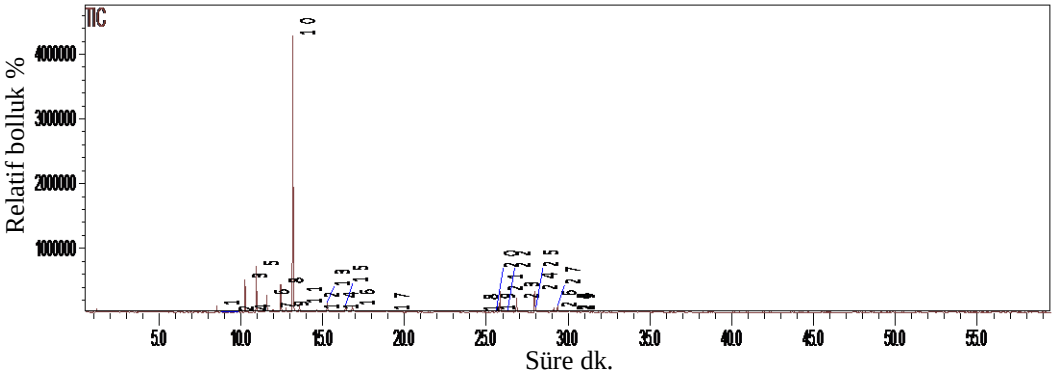
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

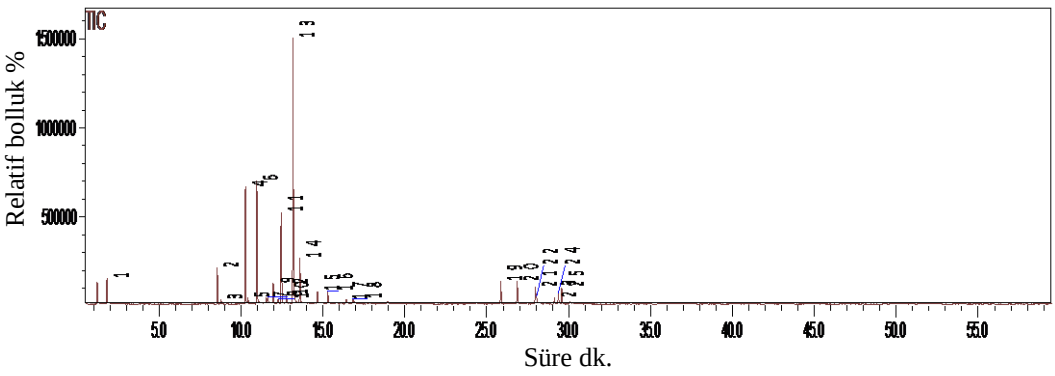
Greyfurt 1. tekerrür



Greyfurt 2. tekerrür

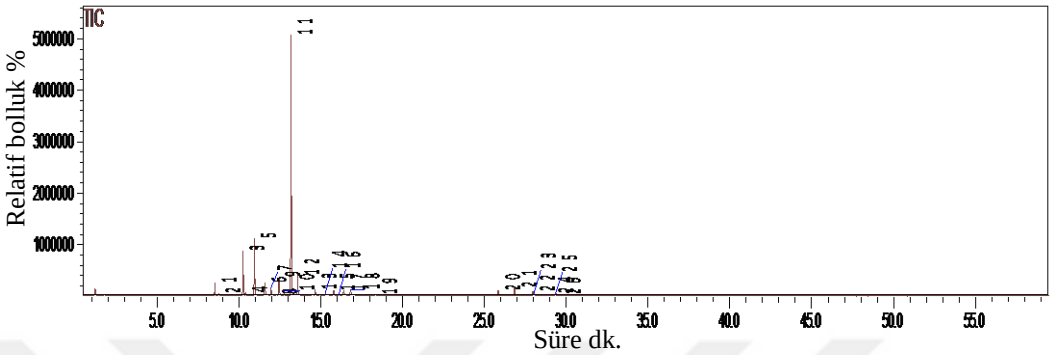


Greyfurt 3. tekerrür

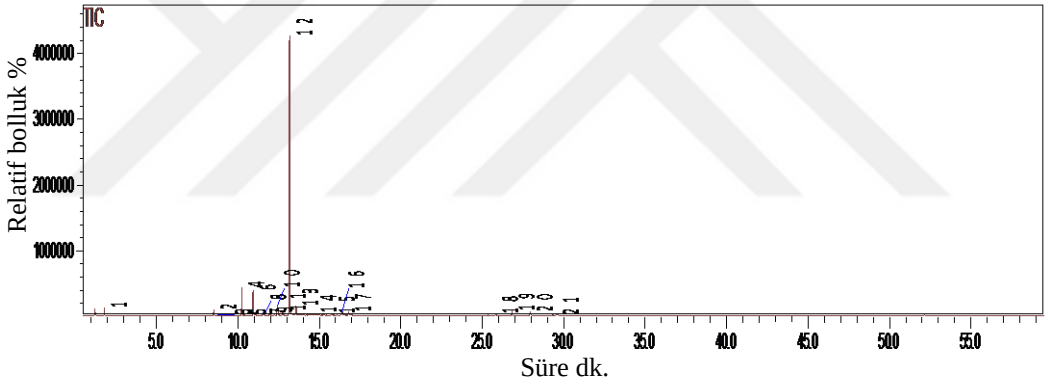


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olmadan önce

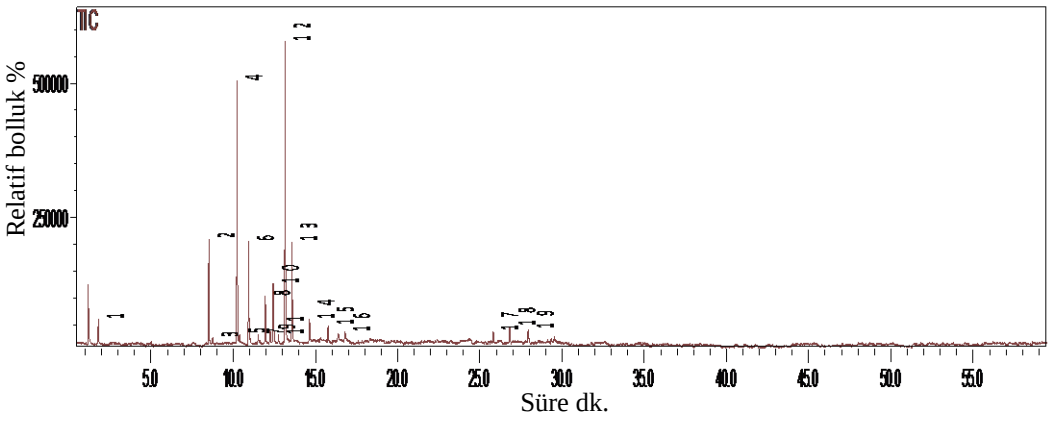
Greyfurt 4. tekerrür



Greyfurt 5. tekerrür



Greyfurt 6. tekerrür

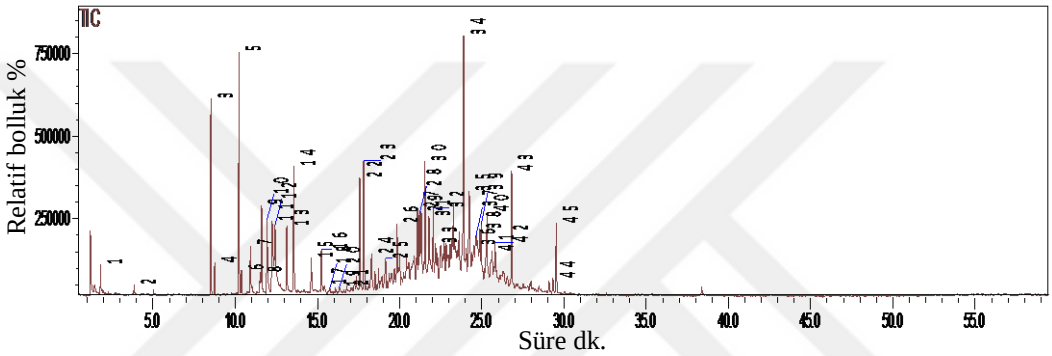


EK 5. Portakal Fidanları ile (*Planococcus citri*)

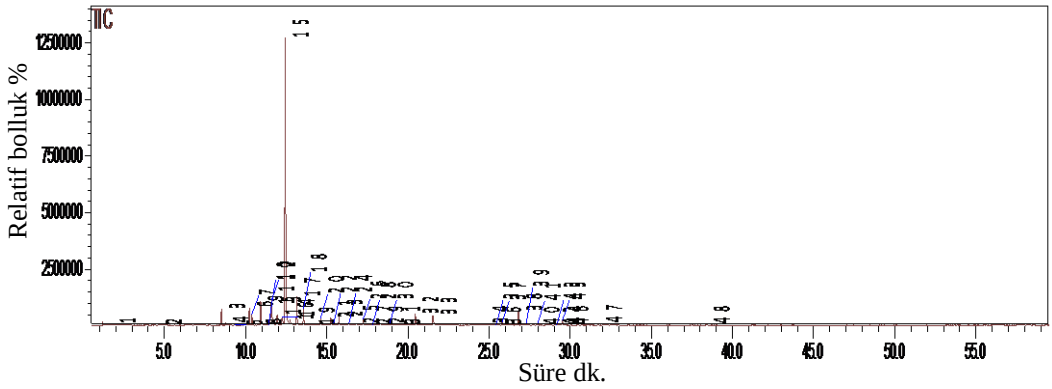
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

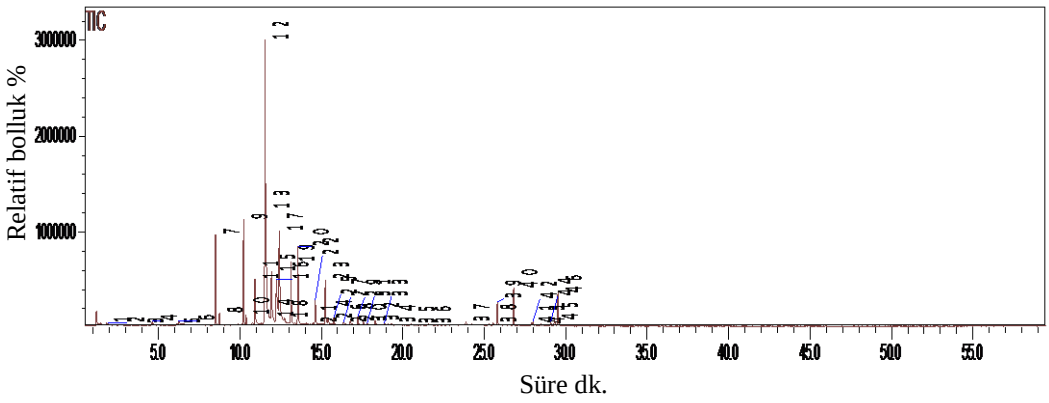
Portakal 1. tekerrür



Portakal 2. tekerrür

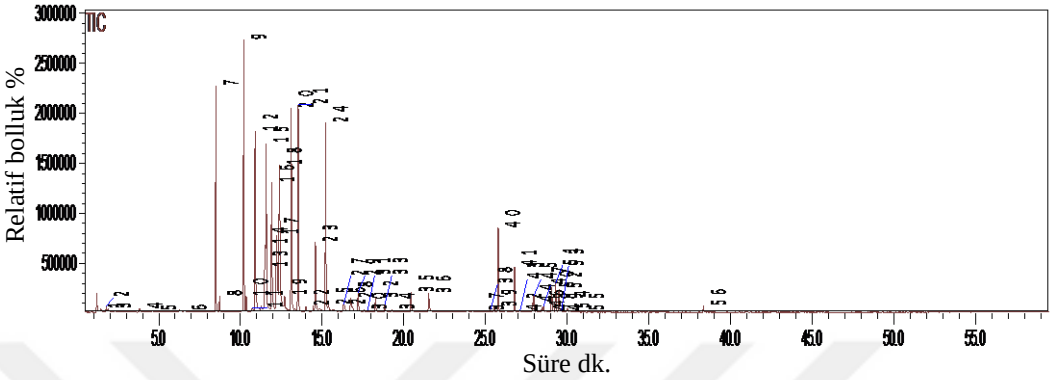


Portakal 3. tekerrür

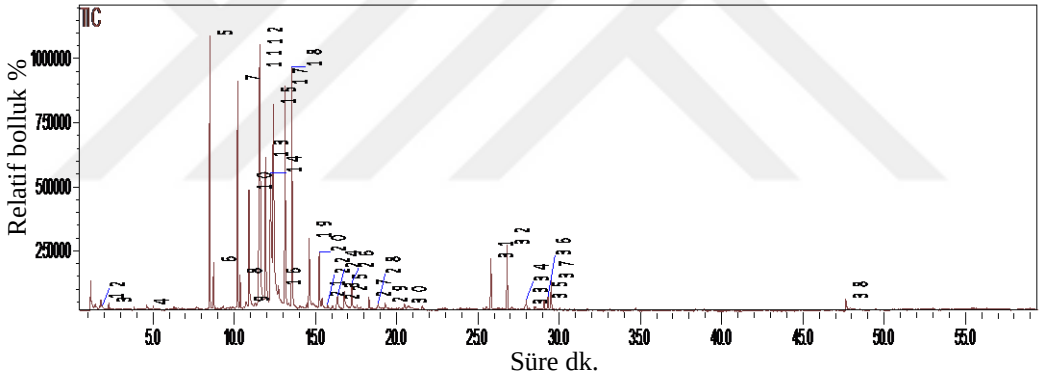


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

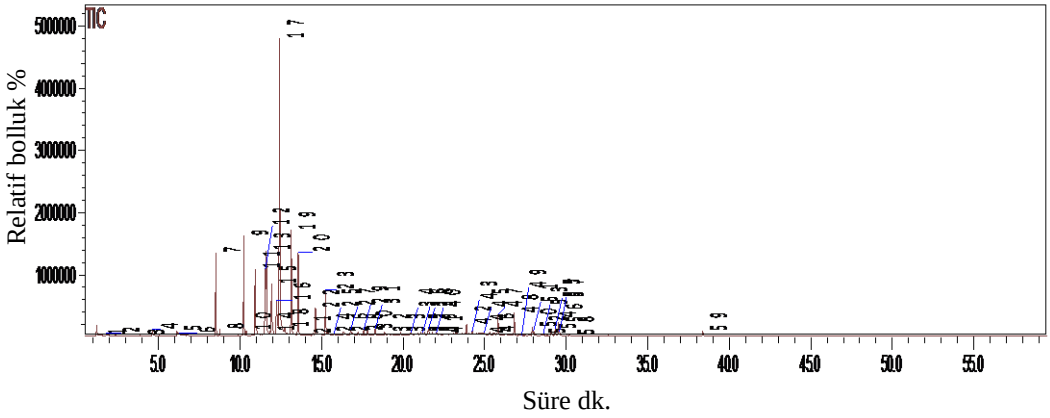
Portakal 4. tekerrür



Portakal 5. tekerrür



Portakal 6. tekerrür

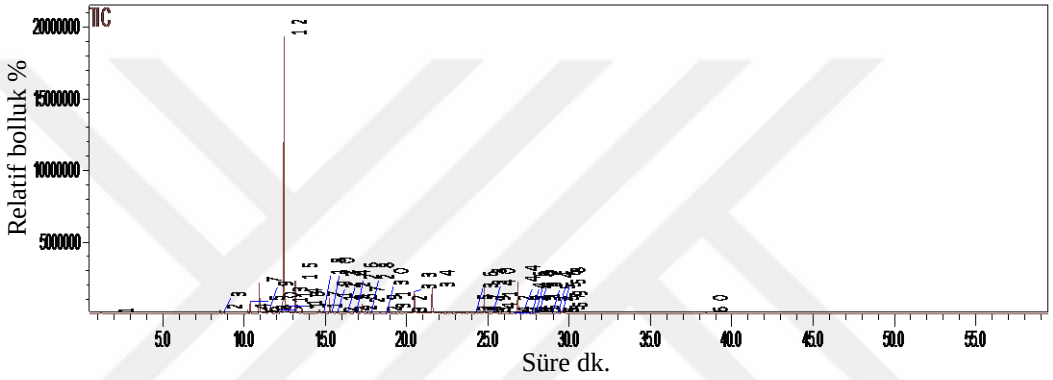


EK 6. Limon Fidanları ile (*Planococcus citri*)

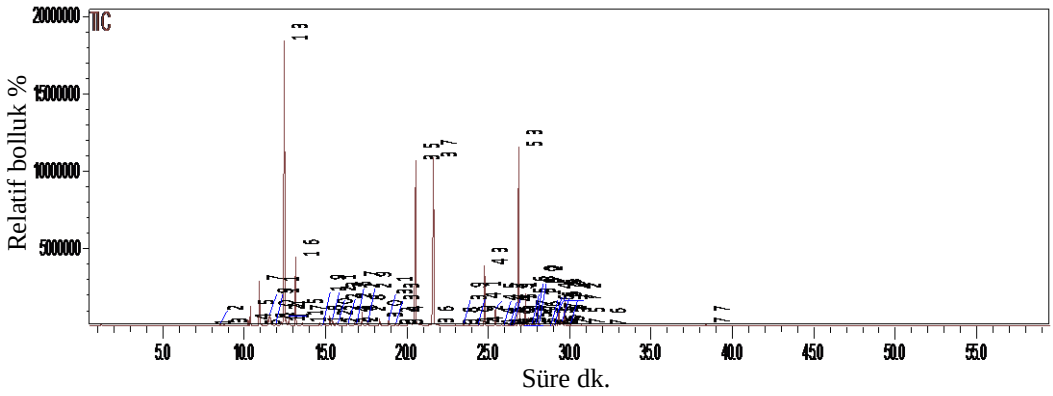
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

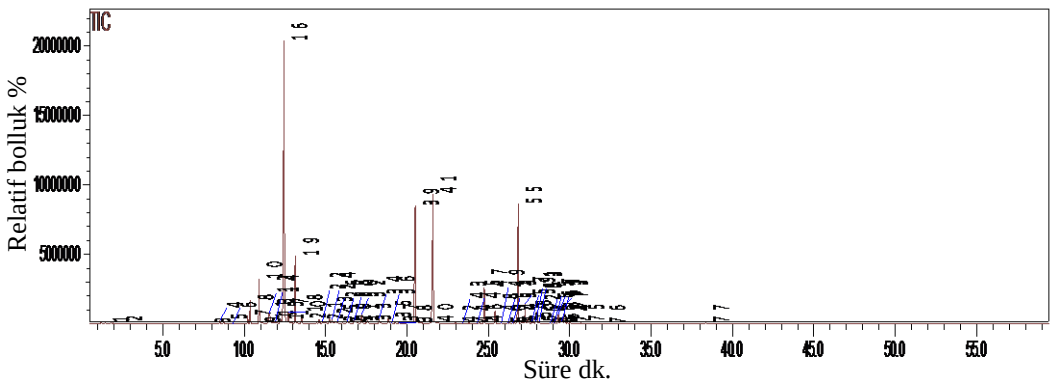
Limon 1. tekerrür



Limon 2. tekerrür

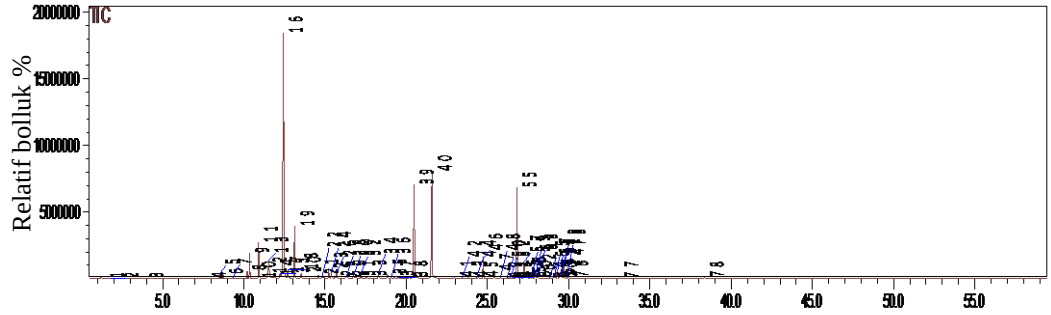


Limon 3. tekerrür

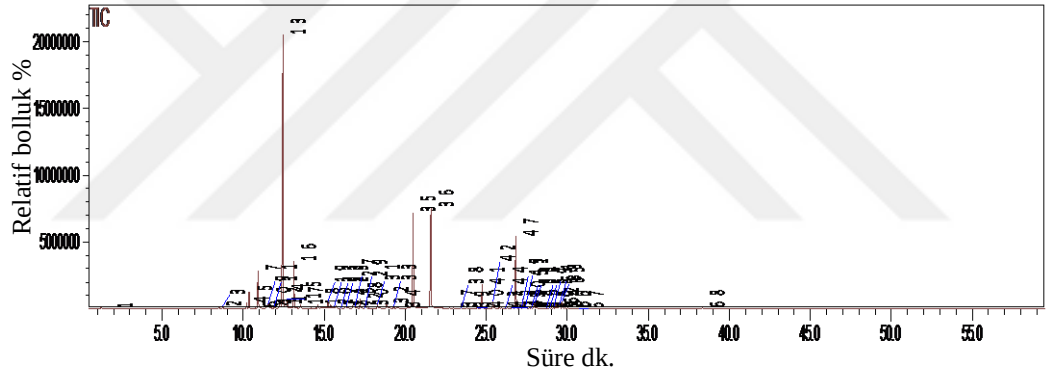


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

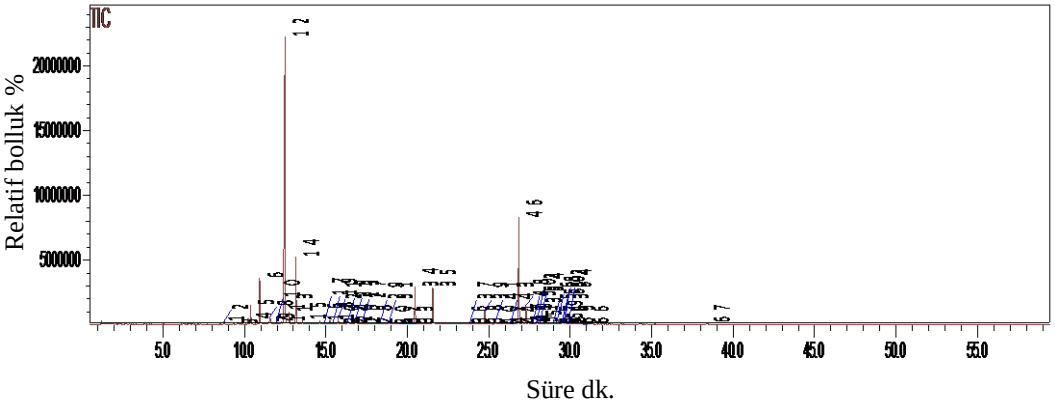
Limon 4. tekerrür



Limon 5. tekerrür



Limon 6. tekerrür

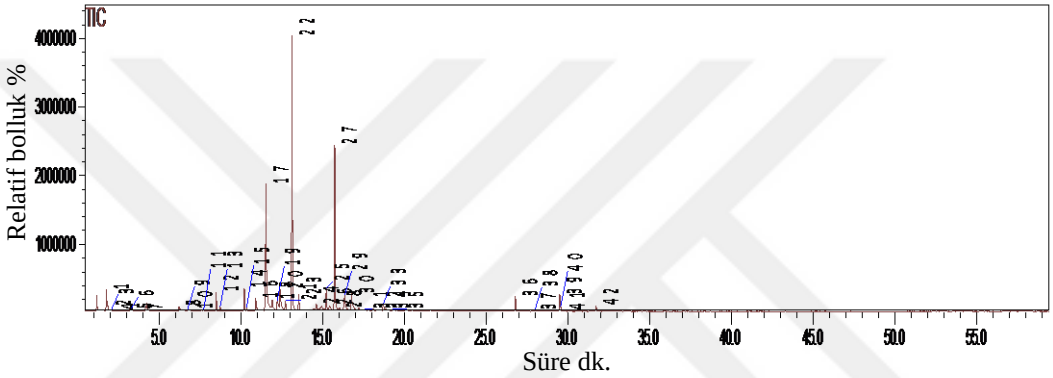


EK 7. Mandalina Fidanları ile (*Planococcus citri*)

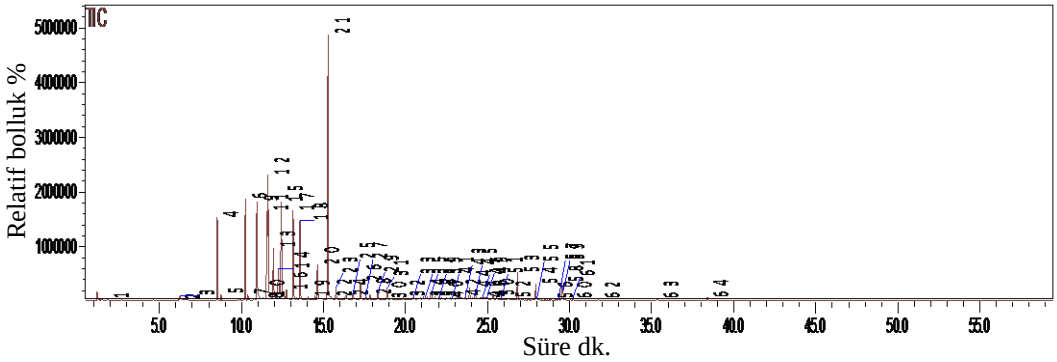
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

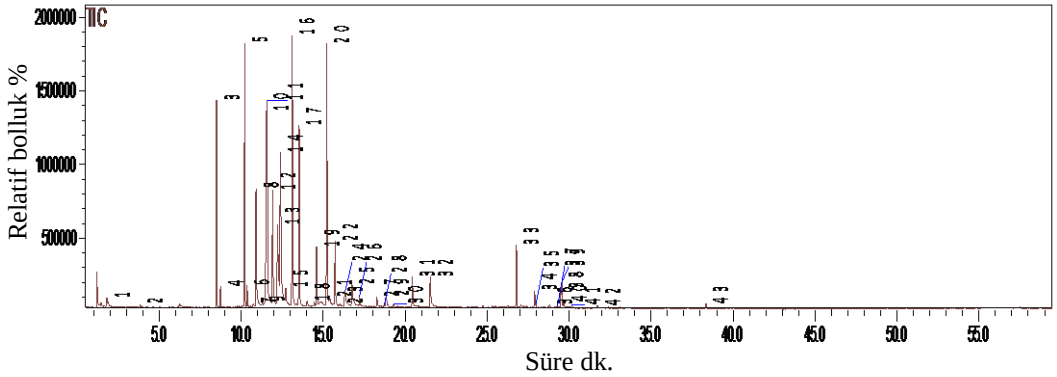
Mandalina 1. tekerrür



Mandalina 2. tekerrür

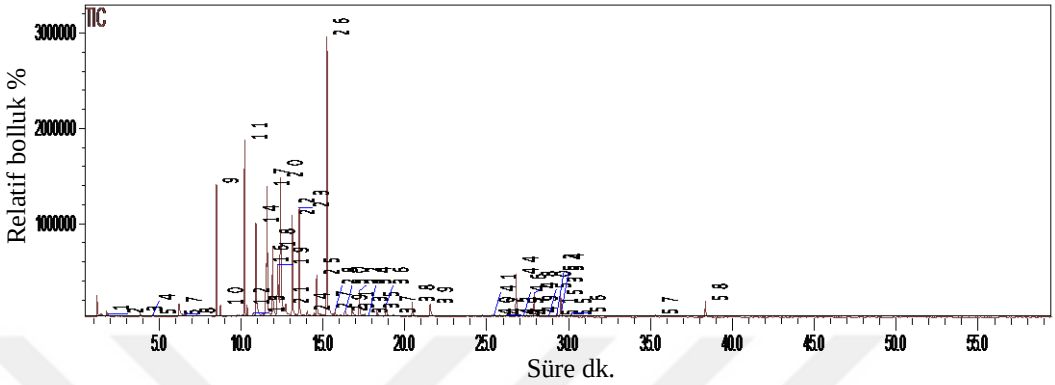


Mandalina 3. tekerrür

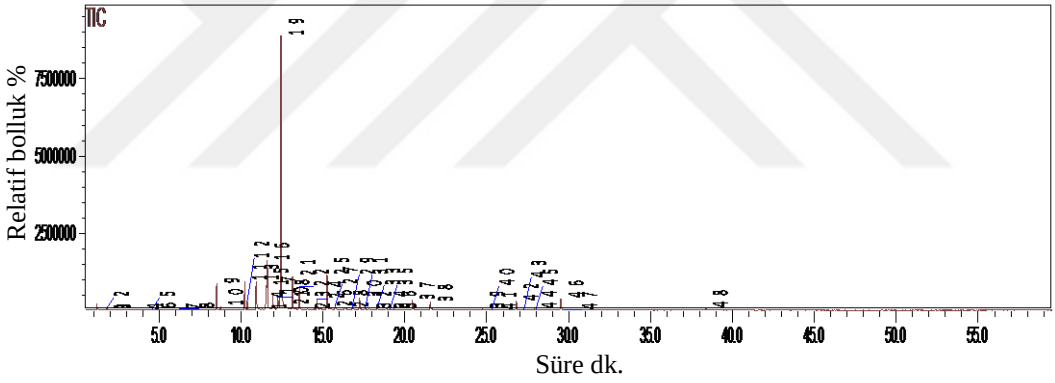


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

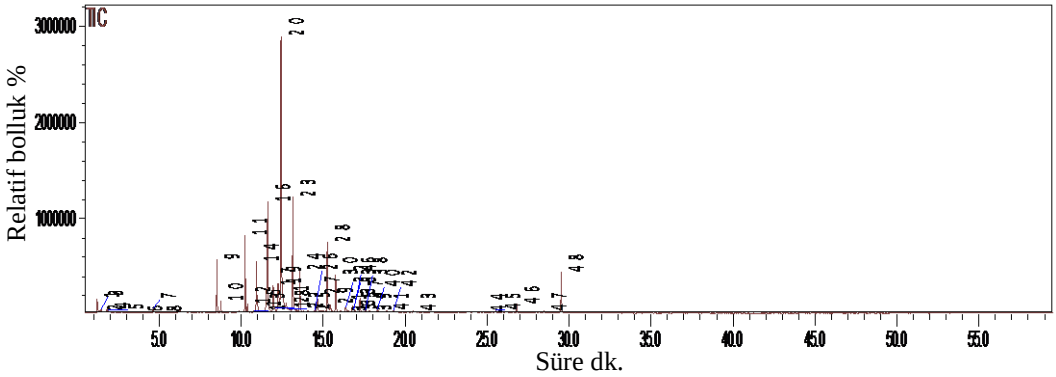
Mandalina 4. tekerrür



Mandalina 5. tekerrür



Mandalina 6. tekerrür

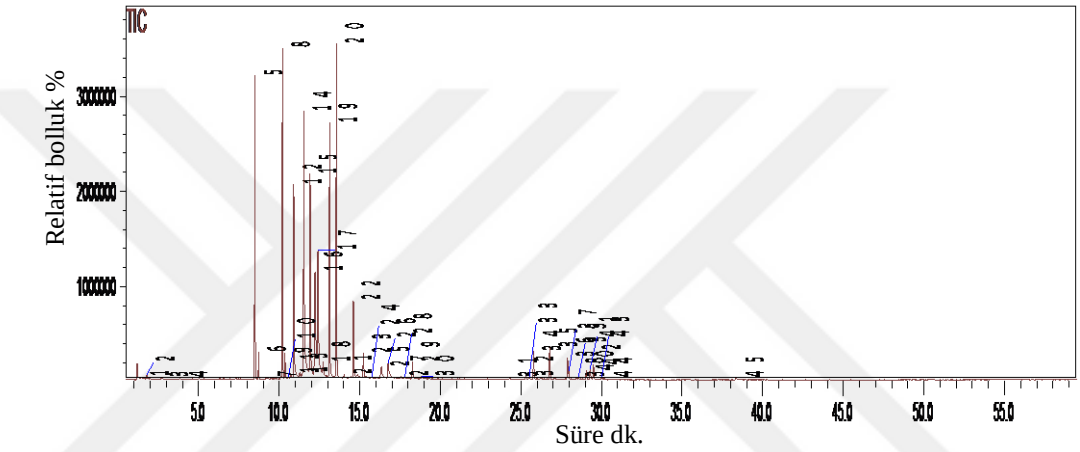


EK 8. Greyfurt Fidanları ile (*Planococcus citri*)

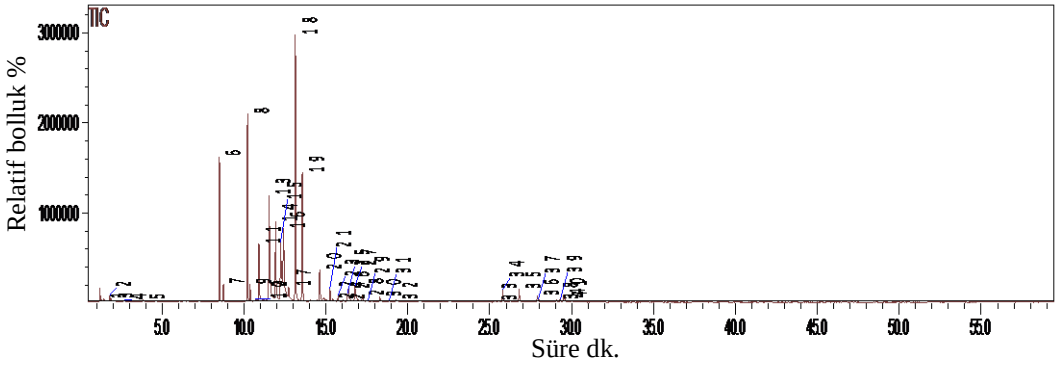
Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi
ANALİZİ İSTEYEN: Saif KHATTAWI
22.05.2023
ANALİZ: GC MS/ SPME Aroma analizi
ANALİZ YETKİLİSİ: Dr. Öğr. Gör. Sermin GÖKSU KARAGÖZ
BELGE KONTROL TEL S.D.Ü.: 0 246 211 17 53

Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

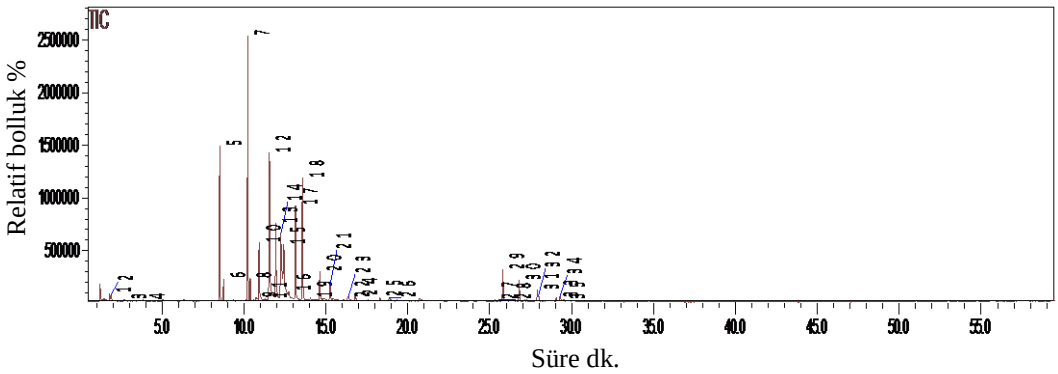
Greyfurt 1. tekerrür



Greyfurt 2. tekerrür

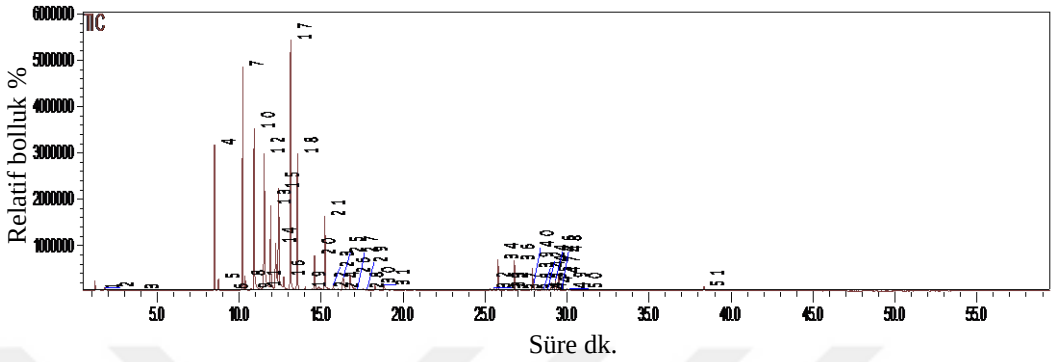


Greyfurt 3. tekerrür

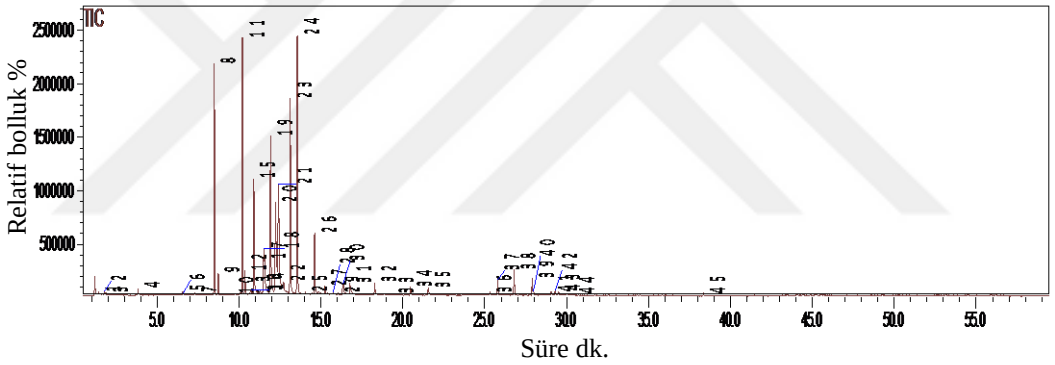


Böcek (*Planococcus citri*) ile bulaşık olduktan sonra

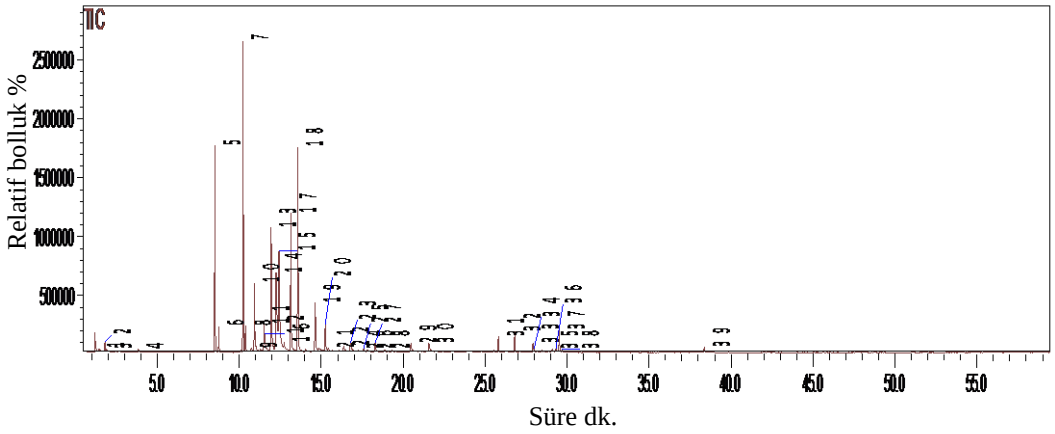
Greyfurt 4. tekerrür



Greyfurt 5. tekerrür



Greyfurt 6. tekerrür



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Saif KHATTAWI

Uyruğu: IRAK (IRAKLI)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü	2025
Yüksek Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü	2017
Lisans	Bağdat Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü	2006
Lise	Alkindi, Bağdat	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2007-Halen	Bağdat Üniversitesi, Ziraat Mühendisliği Bilimleri Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü	18 Yıl
2008-Halen	Bağdat Üniversitesi, Ziraat Mühendisliği Bilimleri Fakültesi, Biyolojik Mücadele Araştırma Birimi	17 Yıl

YABANCI DİL

Arapça - ana dil

Türkçe

İngilizce

YAYINLAR

Khattawi, S., Kayahan, A., Karaca, İ. (2022). Functional and numerical response of *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae) on *Macrosiphum rosae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 6(2), 311-318. https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.2.15

Khattawi, S., Muştu, M. (2026). Identification of VOCs from Lemon Plants Infested and Non-Infested with the Citrus Mealybug and the Attractiveness of Linalyl Acetate for Natural Enemies. Journal of Chemical Ecology, 52(1), 10. https://doi.org/10.1007/s10886-025-01675-2