

**Özgün makale (Original article)**

**Bazı bryofit türlerinin *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1925 (Lepidoptera: Notodontidae) üzerindeki antifeedant etkileri**

**Burak BAHAR<sup>1\*</sup>, Cenk DURMUŞKAHYA<sup>1</sup>**

**Antifeedant effects of some bryophyte species on *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1925 (Lepidoptera: Notodontidae)**

**Abstract:** In this study, antifeedant effects of ethanol extracts obtained from the bryophyte species *Hypnum cupressiforme* Hedw. and *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. against larvae of *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams a major defoliator of pine trees in Türkiye, were investigated. Within the scope of the study, 0.5%, 1%, and 5% concentration solutions were prepared from the extracts of both plant species, and pine needles dipped into these solutions were placed into containers containing pine processionary moth larvae. As a result, the needle consumption amounts of the 0.5%, 1%, and 5% solutions of *Hypnum cupressiforme* extract were calculated as 77 mg, 41 mg, and 31 mg for the 1st larvae; 100 mg, 87 mg, and 48 mg for the 2nd larvae; 142 mg, 131 mg, and 91 mg for the 3rd larvae; 207 mg, 193 mg, and 158 mg for the 4th larvae; and 298 mg, 285 mg, and 257 mg for the 5th larvae, respectively. Similarly, needle consumption amounts of the 0.5%, 1%, and 5% solutions of *Conocephalum conicum* extract were determined as 60 mg, 32 mg, and 16 mg for the 1st larvae; 93 mg, 54 mg, and 30 mg for the 2nd larvae; 135 mg, 111 mg, and 67 mg for the 3rd larvae; 194 mg, 171 mg, and 131 mg for the 4th larvae; and 286 mg, 269 mg, and 238 mg for the 5th larvae, respectively. Based on these results, the highest AFI (Antifeeding Index) value (71.68) was obtained from the 5% concentration solution of *C. conicum* extract applied to 1st larvae.

**Keywords:** Antifeedant effect, *Hypnum cupressiforme*, *Conocephalum conicum*, *Thaumetopoea wilkinsoni*, Bryofit.

**Öz:** Bu çalışmada, bryofit türlerinden olan *Hypnum cupressiforme* Hedw. (Hypnaceae) ve *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. (Conocephalaceae) türlerinden elde edilen etanol ekstraktların, Türkiye’de çam ağaçlarında yaprak zararlısı olan *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams, 1926 (çam kese böceği) larvaları üzerindeki beslenme engelleyici etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda her iki bitki türünün ekstraktlarından %0.5, %1 ve %5 derişimli çözeltiler hazırlanmış ve çam ibreleri bu çözeltilere batırılarak çam kese böceği larvalarının kaplarına yerleştirilmiştir. Sonuç olarak *H. cupressiforme* ekstraktının %0.5, %1 ve %5 çözeltilerinin 1. dönem larvalar için yiyim miktarları sırasıyla 77 mg, 41 mg, 31 mg, 2. dönem larvalar için 100 mg, 87 mg, 48 mg, 3. dönem larvalar 142 mg, 131 mg, 91 mg, 4. dönem

<sup>1</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İzmir

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): burak.bahar@ikcu.edu.tr

ORCID (Yazar sırasıyla): 0000-0002-3292-8052; 0000-0002-8092-9770

Received (Alınış): 22 Mayıs 2026 Accepted (Kabul ediliş): 21 Temmuz 2026

larvalar için 207 mg, 193 mg, 158 mg, 5. dönem larvalar için ise 298 mg, 285 mg ve 257 mg olarak hesaplanmıştır. *C. conicum* ekstraktının %0.5, %1 ve %5 çözeltilerinin 1. dönem larvalar için yiyim miktarları sırasıyla 60 mg, 32 mg, 16 mg, 2. dönem larvalar için 93 mg, 54 mg, 30 mg, 3. dönem larvalar için 135 mg, 111 mg 67 mg, 4. dönem larvalar için 194 mg, 171 mg, 131 mg, 5. dönem larvalar için ise 286 mg, 269 mg ve 238 mg olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak en yüksek AFI (Antifeeding Index) değeri (71.68) 1. larva larvalara uygulanan *C. conicum* ekstraktının %5 derişimli çözeltilisinde bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Beslenme engelleyici etki, *Hypnum cupressiforme*, *Conocephalum conicum*, *Thaumatopoea wilkinsoni*, Bryofit.

## Giriş

Türkiye, geniş yayılışa sahip çam ormanları bakımından Akdeniz Havzası'nın önemli ülkelerinden biridir. Başta *Pinus brutia* Ten. (kızılçam), *Pinus nigra* J.F. Arnold (karaçam), *Pinus sylvestris* L. (sarıçam) ve *Pinus pinea* L. (fıstıkçamı) olmak üzere farklı çam türleri, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde geniş orman ekosistemleri oluşturmaktadır (Boydak 2004; Seki & Sakıcı, 2022; Tekeş & Özkan, 2025; Değirmenci 2026;). Çam ormanları; biyolojik çeşitliliğin korunması, toprak erozyonunun önlenmesi, su rejiminin düzenlenmesi ve karbon depolanması gibi önemli ekosistem hizmetleri sunmaktadır (Aydın 2018; Demir & Aydın 2020; Aydın 2021; Oğuz et al. 2021; Torres et al. 2021). Aynı zamanda odun üretimi, reçine, çam balı ve çam fıstığı gibi odun dışı orman ürünleriyle ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır (Ok & Tengiz 2018; Ertaş 2024; Göksu et al. 2026). Rekreasyon ve doğa turizmi açısından da önemli olan bu ormanlar, iklim değişikliğiyle mücadelede karbon yutak alanları olarak kritik rol oynamaktadır (Ramachandra et al. 2025). Ancak orman yangınları, kuraklık ve iklim değişikliği gibi abiyotik stres faktörleri, ağaçların fizyolojik dirençlerini zayıflatarak çam ormanlarını biyotik zararlılara ve hastalıklara karşı daha hassas hale getirmektedir. (Moreno et al. 2021; Lasa et al. 2024).

*Thaumatopoea wilkinsoni* Tams. (Çam kese böceği) türü Akdeniz çam ormanlarının önemli biyotik zararlılarından biri olup başta *P. brutia* olmak üzere birçok çam türünde yoğun zarara neden olmaktadır. Larvaların ibrelerle beslenmesi fotosentez kapasitesini azaltarak büyüme kayıplarına ve ağaçların fizyolojik dirençlerinin zayıflamasına yol açmaktadır (Catal 2011; Puri et al. 2015; Güney 2026) Bunun sonucunda ağaçlar kuraklık, hastalıklar ve diğer zararlılara karşı daha hassas hale gelmektedir (Campôa et al. 2021). Çam kese böceği (ÇKB) ile mücadelede biyolojik yöntemler, çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığının korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Güven et al. 2021). Kimyasal insektisitlerin yaygın kullanımı hedef dışı organizmalar üzerinde olumsuz etkilere, çevre kirliliğine ve zararlı türlerde direnç gelişimine yol açabilmektedir (Aydın & Karaca, 2018; Zaller & Brühl 2019; Pathak et al. 2022). Ayrıca çam ormanları, biyolojik çeşitlilik açısından zengin ekosistemler olduğundan, bu alanlarda uygulanacak mücadele yöntemlerinin doğal dengeyi mümkün olduğunca koruması

gerekmektedir (Del Río et al. 2017; Nocentini et al. 2022). Bu nedenle entomopatojen fungus ve bakteriler (Gindin et al. 2007; Cebeci et al. 2010; Koç et al. 2025), doğal düşmanlar (Mirchev et al. 2007; Erkaya 2020), bitki kökenli ekstraktlar ve biyobazlı bileşikler (Çetin et al. 2006; Kherroubi et al. 2019) gibi çevre dostu biyolojik mücadele yöntemleri önem kazanmıştır.

Bryofitler; karayosunları, ciğerotları ve boynuzotlarını kapsayan, su tutma, erozyonu önleme ve biyolojik çeşitliliği destekleme gibi önemli ekolojik işlevlere sahip çiçekli bitkilere göre daha ilkel bitki gruplarıdır (Bahuguna et al. 2013). Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda bazı bryofitlerin içerdikleri sekonder metabolitler nedeniyle antibakteriyel, antifungal, antioksidan ve insektisit özellikler gösterebildikleri bildirilmiştir (Dziwak et al. 2022; Singh et al. 2023). Antifeedant (beslenme engelleyici) özellik, bir maddenin böceği doğrudan öldürmeden veya uzaklaştırmadan, beslenmesini azaltması ya da tamamen durdurmasıdır (Jeyasankar et al. 2014). Bazı bryofit ekstraktlarının farklı böcek türleri üzerinde insektisit etkileri bildirilmiş olsa da (Abay et al. 2013), bryofitlerin antifeedant etkilerine ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmanın özgün değeri, *H. cupressiforme* ve *C. conicum* ekstraktlarının antifeedant etkilerini ve bu etkinin *T. wilkinsoni* üzerindeki potansiyelini ilk kez ortaya koyarak, bryofit kökenli bileşiklerin böceklerin beslenme davranışları üzerindeki etkilerine ilişkin literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda elde edilen bulgular, orman zararlılarına karşı çevre dostu ve sürdürülebilir biyolojik mücadele yöntemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek yeni veriler sunmaktadır.

## Materyal Yöntem

### Bitkilerin toplanması

Deneylerde kullanılan *H. cupressiforme* örnekleri, 2025 yılı Nisan ayının ilk haftasında Kemalpaşa/İzmir (Ovacık, 750 m), *C. conicum* örnekleri ise 2025 yılı Nisan ayının son haftasında Yığılca/Düzce (Hasanlar Barajı çevresi, 300 m) doğal habitatlarından toplanarak elde edilmiştir. Toplanan örnekler oda koşullarında kurutulmuştur.

### Bitki ekstraktlarının hazırlanması

Oda koşullarında kurutulan *H. cupressiforme* ve *C. conicum* örneklerinin tallus ve kök dahil tüm kısımları kahve öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen bitki örnekleri cam erlen içerisinde etanol+su çözücüsü ile 1:10 (w/v) oranında karıştırılmıştır. Her 50 g bitki tozu için 500 mL çözücü eklenmiştir. Kullanılan çözücü, %80 etanol (400 mL) ve %20 distile sudan (100 mL) oluşmaktadır. Karışım homojen hâle getirildikten sonra ultrasonik banyo içerisine

yerleştirilmiştir. Ultrasonik banyo kazanındaki su sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmıştır. Cam erlen içerisinde bulunan karışım, 40 kHz frekanstaki ultrasonik dalgalar altında 30 dakika süreyle işleme tabi tutulmuştur. İşlem sonunda çözelti filtre kâğıdı yardımıyla posasından ayrılmıştır. Posadan ayrılan çözeltiler rotary evaporatör cihazına yerleştirilerek çözücü uzaklaştırılmıştır. Geriye kalan ekstrakt maddelerden %0.5, %1 ve %5 derişimli sulu çözeltiler (g/ml) hazırlanmıştır.

### **Böcek yumurtalarının toplanması**

*Thaumetopoea wilkinsoni* türüne ait yumurta koçanları, 2025 yılı Ekim ayının ilk haftasında Foça (İzmir) ilçesine bağlı Yenibağarası mevkiinden (130 m) toplanmıştır. Toplam 46 koçan laboratuvara getirilmiş, hava alabilen şeffaf kaplara yerleştirilmiş ve gün ışığı alan bir ortamda tutulmuştur. Yaklaşık 2 hafta sonra yumurtalardan larva çıkışı gözlenmiştir. Larvalar her gün taze çam ibresiyle beslenmiştir.

### **Çam ibrelerinin 24 saatlik evaporasyon miktarının hesaplanması**

Deneylerde 24 saatin sonunda ibrelerdeki ağırlık kaybı larva yiyimi ve ibrelerde gerçekleşen evaporasyon miktarından kaynaklandığı için, gerçek tüketimi belirlemek amacıyla evaporasyon kaynaklı kayıp ayrıca hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 10'ar adet çam ibresi çözeltilere 5 saniye süreyle daldırılmıştır (Her çözeltiye 10 adet ibre). Çözeltiden çıkarılan ibreler tartılarak ağırlıkları not edilmiş ve deney kaplarına alınmıştır. Deney kaplarında 24 saat süreyle bekletilmiştir. Süre sonunda yeniden ağırlıkları ölçülerek evaporasyon miktarları not edilmiştir. Her bir çözelti için not edilen değer 10'a bölünerek ortalama evaporasyon miktarları hesaplanmıştır. Kontrol grubu için ise aynı işlemler distile su ile gerçekleştirilmiştir. İbrelerin 24 saat sonundaki evaporasyon miktarları %0.5, %1 ve distile su için 8 mg, %5 derişimi için ise 6 mg olarak hesaplanmıştır. Evaporasyon miktarları ibrelerin yiyim sonrası ölçülen ağırlıklarından çıkarılarak gerçek yiyim miktarı hesaplanmıştır.

### **Denemelerin kurulması**

Deney kapsamında uygulanan testler, *T. wilkinsoni* larvalarının bütün evrelerinde gerçekleştirilmiştir. 1. dönem larvalar için 2025 yılı Kasım ayının ikinci haftasında, 2. dönem larvalar için Aralık ayının üçüncü haftasında, 3. dönem larvalar için 2026 yılı Ocak ayının son haftasında, 4. dönem larvalar için Mart ayının ilk haftasında, 5. dönem larvalar için ise Nisan ayının ikinci haftasında uygulanmıştır. *T. wilkinsoni* larvalarının dönemleri, baş kapsülü genişliği, vücut büyüklüğü ve koloni içerisindeki gelişim durumları dikkate alınarak belirlenmiştir (Wilkinson 1926). Deneyler İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Silvikültür ve Botanik laboratuvarında kontrollü koşullarda ( $25 \pm 5^{\circ}$  C sıcaklık ve  $\%65 \pm 5$  orantılı nem) yürütülmüştür.

Deney kapsamında bitki ekstraktlarından hazırlanan %0.5, %1 ve %5 derişimli çözeltiler kaplara doldurulmuştur (Toplam 6 kap). Çam ibreleri, tamamen çözelti

içerisine daldırılarak 5 saniye süreyle bekletilmiştir (Erasmus et al. 2023). Çözeltiden çıkarılan ibrelerin ağırlıkları ölçülerek 8×15×20 cm ebatlarındaki şeffaf plastik deney kaplarına aktarılmıştır (ilk üç dönem larva kaplarına 1'er, dört ve beşinci dönem larva kaplarına 2'ser adet ibre). Her bir kaba 30 larva yerleştirilmiş ve 24 saatlik beslenmeleri sağlanmıştır. Uygulamalar her bir derişim için 5 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiş olup, her bir derişim için 150 larva kullanılmıştır. Kontrol grubu için kaba distile su konulmuş, çam ibreleri tamamen suya daldırılarak 5 saniye süreyle bekletilmiştir. Sudan çıkarılan ibrelerin ağırlıkları ölçülerek kontrol kaplarına yerleştirilmiştir. Her bir kontrol kabına 30 larva yerleştirilmiş ve 24 saatlik beslenmeleri sağlanmıştır. Uygulama 6 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve toplamda 180 larva kullanılmıştır. Kaplara yerleştirilen ibreler 24 saat sonunda alınarak son ağırlıkları ölçülmüş ve not edilmiştir. ÇKB larvalarının her bir evresi için 900'ü deney grubu, 180'i ise kontrol grubu olmak üzere toplam 1080 adet larva kullanılmıştır. Toplam 5 evre deneyleri için ise 1080×5=5400 adet larva kullanılmıştır.

#### **Bitki özütlerinin antifeedant kat sayıları**

Bu çalışmada kullanılan ekstrakt maddelerin *T. wilkinsoni* larvaları üzerindeki antifeedant etkisini belirlemek amacıyla Kielczewski formülü kullanılmıştır (Kielczewski et al. 1979).

$$AFI = \frac{C - T}{C + T} \times 100$$

AFI: Antifeedant İndeksi.

C: Kontrol grubundaki tüketim miktarı

T: Deney grubundaki tüketim miktarı

#### **Antifeedant etkinin istatistiksel analizi**

İbre tüketim miktarlarına ilişkin istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu ve varyans homojenliği analiz öncesinde kontrol edilmiştir. Her bir larva dönemi için uygulama grupları arasındaki farklılıkları belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) uygulanmıştır. Ayrıca, ekstrakt türü, konsantrasyon ve larva döneminin ibre tüketimi üzerindeki ana etkileri ile etkileşimlerini değerlendirmek amacıyla üç yönlü varyans analizi (Three-way ANOVA) gerçekleştirilmiştir (Montgomery 2017). Gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların belirlenmesinde Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır (Tukey 1949). Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0,05$  olarak kabul edilmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

*T. wilkinsoni* larvalarının tüm larva dönemlerinde gerçekleştirilen tek yönlü ANOVA analizleri, uygulama grupları arasında ibre tüketimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermiştir ( $p < 0.001$ ). Ekstrakt türü, konsantrasyon ve larva döneminin ibre tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen üç yönlü ANOVA analizinde, ekstrakt türü, konsantrasyon ve larva döneminin ibre tüketimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Faktörler arası etkileşimler incelendiğinde, yalnızca konsantrasyon  $\times$  larva dönemi etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır. Buna karşılık, ekstrakt türü  $\times$  konsantrasyon, ekstrakt türü  $\times$  larva dönemi ve ekstrakt türü  $\times$  konsantrasyon  $\times$  larva dönemi etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. *Thaumetopoea wilkinsoni* larvalarında ibre tüketimi üzerine ekstrakt türü, konsantrasyon ve larva döneminin etkilerine ilişkin üç yönlü ANOVA sonuçları

Table 1. Three-way ANOVA results showing the effects of extract type, concentration, and larval instar on needle consumption of *Thaumetopoea wilkinsoni* larvae

| Varyasyon kaynağı                                     | F değeri | P değeri |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|
| Ekstrakt türü                                         | 116.13   | <0.001   |
| Konsantrasyon                                         | 386.21   | <0.001   |
| Larva dönemi                                          | 2786.74  | <0.001   |
| Ekstrakt $\times$ Konsantrasyon                       | 2.73     | 0.069    |
| Ekstrakt $\times$ Larva dönemi                        | 0.54     | 0.708    |
| Konsantrasyon $\times$ Larva dönemi                   | 4.18     | <0.001   |
| Ekstrakt $\times$ Konsantrasyon $\times$ Larva dönemi | 1.38     | 0.211    |

İstatistiksel analizlere göre antifeedant etkinin erken larva dönemlerinde daha belirgin olduğu, ileri larvalarda ise ibre tüketiminin kademeli olarak arttığı ve buna bağlı olarak larval duyarlılığının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, tüm uygulama grupları deney süresi boyunca kontrol grubuna kıyasla daha düşük ibre tüketim değerleri göstermiştir. Ekstrakt türü  $\times$  konsantrasyon etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı bulunmaması, konsantrasyon artışının ibre tüketimi üzerindeki etkisinin her iki ekstrakt için benzer bir eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ekstrakt tipi  $\times$  larva dönemi interaksyonunun anlamsız bulunması, her iki bryofit ekstraktının da larval gelişim evreleri boyunca benzer yanıt örüntüleri

sergilediğini göstermektedir. Benzer şekilde, üçlü interaksiyonun anlamsız olması, ekstrakt tipi ve derişiminin etkilerinin larva dönemleri arasında görece tutarlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Kaplara yerleştirilen ibreler 24 saatin sonunda kaplardan alınarak son ağırlıkları ölçülmüştür. Buna göre birinci dönem larva deneylerinde *H. cupressiforme* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak (ibre başına) 77 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 41 mg, %5 için ise 31 mg tüketim olmuştur. *C. conicum* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak 60 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 32 mg, %5 için ise 16 mg tüketim olmuştur. Kontrol grubunda ise 6 adet ibrede ortalama 97 mg tüketim gerçekleşmiştir. Uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $F(6, 29) = 29.6, p < 0.001$ ) (Çizelge 2).

İkinci dönem larva deneylerinde *H. cupressiforme* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak 100 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 87 mg, %5 için ise 48 mg tüketim olmuştur. *C. conicum* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak 93 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 54 mg, %5 için ise 30 mg tüketim olmuştur. Kontrol grubunda ise 6 adet ibrede ortalama 121 mg tüketim gerçekleşmiştir. Kontrol ile diğer uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $F(6, 29) = 85.1, p < 0.001$ ) (Çizelge 2).

Üçüncü dönem larva deneylerinde *H. cupressiforme* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak 142 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 131 mg, %5 için ise 91 mg tüketim olmuştur. *C. conicum* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırılan 5 adet ibrenin ortalama olarak 135 mg'ı tüketilmiştir. %1 derişimi için 111 mg, %5 için ise 67 mg tüketim olmuştur. Kontrol grubunda ise 6 adet ibrede ortalama 154 mg tüketim gerçekleşmiştir. Kontrol ve iki ekstrakta ait tüm derişimler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $F(6, 29) = 113.4, p < 0.001$ ) (Çizelge 2).

Dördüncü dönem larvalar *H. cupressiforme* ekstraktının %0.5 derişimli çözeltisine batırıldıktan sonra sunulan ibrelerin ortalama 207 mg'ını tüketmişlerdir. Bu değer %1 derişimi için 193 mg, %5 için ise 158 mg olmuştur. *C. conicum* ekstraktı uygulamalarında ise %0.5, %1 ve %5 derişimli çözeltiler için sırasıyla 194 mg 171 mg ve 131 mg olmuş ve kontrolde saptanan ortalama 226 mg tüketim miktarından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $F(6, 29) = 51.5, p < 0.001$ ) (Çizelge 2).

Beşinci larva döneminde kontrol dahil tüm uygulamalarda tüketilen ibre miktarı artmış ve ortalama 298 ile 314 mg arasında değişmiştir. Saptanan bu değerler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $F(6, 29) = 40.5, p < 0.001$ ) (Çizelge 2).

Genel olarak hem *H. cupressiforme* hem de *C. conicum* ekstraktlarında derişim arttıkça ibre tüketiminin azaldığı belirlenmiştir. Test edilen ekstraktlar arasında *C. conicum*, özellikle %5 derişimde, tüm larva dönemlerinde en düşük ibre tüketim değerlerini göstererek daha güçlü antifeedant etki ortaya koymuştur.

Çizelge 2. Çam kese böceği larvalarının ortalama ibre tüketim miktarları (mg)

Table 2. Mean needle consumption amounts of pine processionary moth larvae (mg)

|          | <i>Hypnum cupressiforme</i> |               |               | <i>Conocephalum conicum</i> |               |              | Kontrol   |
|----------|-----------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------|
|          | %0.5                        | %1            | %5            | %0.5                        | %1            | %5           |           |
| 1. larva | 77±0.8*<br>ab               | 41±0.7<br>cd  | 31±0.6<br>c   | 60±0.6<br>ad                | 32±0.4<br>c   | 16±0.2 c     | 97±0.5 b  |
| 2. larva | 100±0.7<br>a                | 87±0.3<br>a   | 48±0.3<br>b   | 93±0.2<br>a                 | 54±0.2<br>b   | 30±0.2 c     | 121±0.4 d |
| 3. larva | 142±0.1<br>ab               | 131±0.1<br>a  | 91±0.2<br>c   | 135±0.2<br>a                | 111±0.5<br>d  | 67±0.5 e     | 154±0.3 b |
| 4. larva | 207±0.1<br>ab               | 193±0.4<br>ac | 158±0.7<br>d  | 194±0.6<br>a                | 171±0.3<br>cd | 131±0.3<br>e | 226±0.4 b |
| 5. larva | 298±0.5<br>ab               | 285±0.5<br>ac | 257±0.2<br>de | 286±0.5<br>ac               | 269±0.5<br>cd | 238±0.4<br>e | 314±0.3 b |

\* Veriler ortalama ± standart hata olarak verilmiştir. Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar Tukey HSD çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak farklıdır (P < 0,05).

ÇKB larvalarının birinci dönem deneylerinde, %0.5 derişimli *H. cupressiforme* ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (97 mg) karşılaştırıldığında yalnızca 20 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 56 mg, %5 için ise 66 mg'dır. *C. conicum* %0.5 derişimli ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (97 mg) karşılaştırıldığında 37 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 65 mg, %5 için ise 81 mg'dır (Çizelge 2).

ÇKB larvalarının ikinci dönem deneylerinde, %0.5 derişimli *H. cupressiforme* ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (121 mg) karşılaştırıldığında yalnızca 21 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 34 mg, %5 için ise 73 mg'dır. *C. conicum* %0.5 derişimli ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (121 mg) karşılaştırıldığında 28 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 67 mg, %5 için ise 91 mg'dır (Çizelge 2).

ÇKB larvalarının üçüncü dönem deneylerinde, %0.5 derişimli *H. cupressiforme* ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (154 mg) karşılaştırıldığında yalnızca 12 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 23 mg, %5 için ise 63 mg'dır. *C.*



*conicum* %0.5 derişimli ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (154 mg) karşılaştırıldığında 19 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 43 mg, %5 için ise 87 mg'dır (Çizelge 2).

ÇKB larvalarının dördüncü dönem deneylerinde, %0.5 derişimli *H. cupressiforme* ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (226 mg) karşılaştırıldığında yalnızca 19 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 33 mg, %5 için ise 68 mg'dır. *C. conicum* %0.5 derişimli ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (226 mg) karşılaştırıldığında 32 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 55 mg, %5 için ise 95 mg'dır (Çizelge 2).

ÇKB larvalarının beşinci dönem deneylerinde, %0.5 derişimli *H. cupressiforme* ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (314 mg) karşılaştırıldığında yalnızca 16 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 29 mg, %5 için ise 57 mg'dır. *C. conicum* %0.5 derişimli ekstraktı uygulanmış çam ibrelerinde, 24 saat sonunda kontrol grubunda belirlenen tüketim miktarıyla (314 mg) karşılaştırıldığında 28 mg ibrenin tüketilmeden kaldığı tespit edilmiştir. Bu değer %1 çözeltisi için 45 mg, %5 için ise 76 mg'dır (Çizelge 2).

ÇKB larvalarının yiyim miktarlarından kullanılarak bitki ekstraktlarının antifeedant indeks değerleri (AFI) hesaplanmış, her iki bitki türü ekstraktının farklı derişimlerine ait AFI değerleri, tüm larva dönemleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. (Çizelge 3).

AFI değerleri incelendiğinde, her iki bryofit ekstraktının da *T. wilkinsoni* larvaları üzerinde beslenmeyi engelleyici etki gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak ekstrakt konsantrasyonunun artmasıyla AFI değerlerinin yükseldiği görülmüş, bu durum ekstraktların antifeedant etkisinin doza bağlı olarak arttığını ortaya koymuştur. Tüm larva dönemlerinde *C. conicum* ekstraktının, *H. cupressiforme* ekstraktına kıyasla daha yüksek AFI değerleri oluşturduğu saptanmıştır. Özellikle %5 konsantrasyonda *C. conicum* ekstraktı 1. dönem larvalarda %71.68 AFI değeri ile en yüksek beslenme engelleyici etkiyi göstermiştir. Aynı larvada *H. cupressiforme* ekstraktının %5 konsantrasyondaki AFI değeri ise %51.56 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, *C. conicum* ekstraktının daha güçlü antifeedant aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Bryofit ekstraktlarının Antifeedant indeks değerleri.

Table 3. Antifeedant index values of bryophyte extracts.

|          | AFI                         |       |       |                             |       |       |
|----------|-----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
|          | <i>Hypnum cupressiforme</i> |       |       | <i>Conocephalum conicum</i> |       |       |
|          | %0.5                        | %1    | %5    | %0.5                        | %1    | %5    |
| 1. larva | 11.49*                      | 40.57 | 51.56 | 23.26                       | 50.38 | 71.68 |
| 2. larva | 9.5                         | 16.34 | 43.19 | 13.08                       | 38.28 | 60.26 |
| 3. larva | 4.05                        | 8.07  | 25.71 | 6.56                        | 16.22 | 39.36 |
| 4. larva | 4.38                        | 7.87  | 17.7  | 7.61                        | 13.85 | 26.61 |
| 5. larva | 2.61                        | 4.84  | 9.98  | 4.66                        | 7.71  | 13.76 |

\*Veriler ortalama AFI değerlerini göstermektedir. AFI değerleri ortalama tüketim miktarlarından hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler ham tüketim verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Larvaların gelişim dönemleri ilerledikçe AFI değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Her iki ekstrakt için de en yüksek AFI değerleri 1. dönem larvalarda, en düşük değerler ise 5. dönem larvalarda elde edilmiştir. Örneğin *H. cupressiforme* ekstraktının %5 konsantrasyonunda AFI değeri 1. dönem larvalarda %51.56 iken 5. dönem larvalarda %9.98'e düşmüştür. Benzer şekilde *C. conicum* ekstraktında aynı konsantrasyonda AFI değeri %71.68'den %13.76'ya gerilemiştir. Bu durum, ileri dönem larvaların ekstraktlara karşı daha toleranslı olduğunu ve beslenme davranışlarının daha az etkilendiğini göstermektedir.

Sonuç olarak AFI verileri, her iki bryofit ekstraktının da *T. wilkinsoni* larvalarında önemli düzeyde antifeedant etki oluşturduğunu, ancak etkinliğin ekstrakt türüne, konsantrasyona ve larva gelişim dönemine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle *C. conicum* ekstraktının yüksek AFI değerleri nedeniyle biyobazlı antifeedant ajan olarak daha yüksek potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Bryofitler; terpenoidler, fenolik bileşikler ve aromatik maddeler gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip çok sayıda sekonder metabolit üretmeleriyle bilinmektedir (Chen et al. 2018; Soriano et al. 2019; Ludwiczuk & Asakawa 2020). Bu metabolitlerin antioksidan, antibakteriyel, antifungal (Elibol et al. 2011; Cianiullo et al. 2021), antibiyotik (Basile et al. 1998) ve insecticidal (Abay et al. 2012; Binwal et al. 2025) etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Her ne kadar daha önce yapılan hiçbir çalışmada *H. cupressiforme* ve *C. conicum* ekstraktlarının böcekler üzerindeki antifeedant etkileri araştırılmamış olsa da bu çalışmada gözlenen beslenmeyi engelleyici etkinin söz konusu biyoaktif bileşiklerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Benzer beslenmeyi engelleyici etkiler, daha önce çeşitli Lepidoptera zararlılarına karşı farklı bitki kökenli ekstraktlar için de bildirilmiştir (Ertürk et al. 2006; Kostić et al. 2008; Asad et al. 2023). Bu nedenle, *T. wilkinsoni* larvalarının ilk üç dönem larvaları üzerinde gözlenen güçlü antifeedant aktivite, bryofit kökenli metabolitlerin de botanik beslenme engelleyicileri olarak önemli bir potansiyele sahip olabileceğini

göstermektedir. *T. wilkinsoni* larvaları başta *P. brutia* olmak üzere çam türlerinin iğne yapraklarıyla beslenerek, önemli düzeyde zarar ve büyüme kayıplarına neden olmaktadır (Daşdemir & Yeşilbaş 2025). *T. wilkinsoni*'nin ileri dönem larvalarının yüksek beslenme kapasitesi (Erkan 2011) göz önünde bulundurulduğunda, ibre tüketiminin kısmen bile baskılanması konukçu ağaçlar üzerindeki zarar baskısının azaltılmasına katkı sağlayabilir. Buna bağlı olarak yapraktaki fotosentez olaylarındaki normal seyrine dönerek ve zararlıının neden olduğu büyüme kayıplarının hafifletilmesine yardımcı olabilir.

Bu çalışma, *T. wilkinsoni* larvaları üzerinde bryofit ekstraktlarının antifeedant etkilerini değerlendiren ilk araştırmalardan biri olmasının yanı sıra, mevcut literatür kapsamında *H. cupressiforme* ve *C. conicum* ekstraktlarının herhangi bir böcek türü üzerindeki antifeedant potansiyelini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamış olması nedeniyle özgün bir nitelik taşımaktadır. Bu kapsamda elde edilen bulgular, bryofit kökenli bileşiklerin böceklerin beslenme davranışları üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi birikimine katkı sağlayarak ilgili literatürdeki önemli bir boşluğun doldurulmasına yardımcı olmaktadır.

AFI sonuçları hem *H. cupressiforme* hem de *C. conicum* ekstraktlarının antifeedant etkisinin derişim arttıkça yükseldiğini, buna karşılık larva gelişim dönemi ilerledikçe azaldığını göstermiştir. Genel olarak sonuçlar, erken dönem larvaların ekstraktlara karşı daha duyarlı olduğunu ve *C. conicum* ekstraktının tüm uygulamalarda daha güçlü antifeedant aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur. *H. cupressiforme* ve *C. conicum* ekstraktlarının farklı larva dönemlerindeki antifeedant etkilerinin karşılaştırılması, larval gelişim evrelerine bağlı duyarlılık değişimlerinin ve ekstraktların göreceli etkinlik düzeylerinin daha ayrıntılı olarak ortaya konulmasına katkı sağlamıştır.

Genel olarak bu çalışma, bryofit ekstraktlarının *T. wilkinsoni* larvaları üzerinde önemli düzeyde antifeedant etki gösterebileceğine dair ilk kanıtları sunmakta ve bryofit kökenli metabolitlerin sürdürülebilir orman zararlısı yönetimi için yeni botanik ajanlar olarak potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Gözlenen antifeedant aktiviteden sorumlu kesin bileşikler henüz net olarak belirlenememiştir. Bu nedenle, beslenmeyi engelleyici etkiden sorumlu aktif bileşenlerin tanımlanabilmesi için GC-MS ve LC-MS gibi ileri fitokimyasal analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ekstraksiyon çözücüsünün polaritesi, biyoaktif metabolitlerin bileşimini ve verimini önemli ölçüde etkileyebileceğinden, gelecekte yapılacak çalışmalarda gözlenen antifeedant aktiviteden sorumlu bileşiklerin daha iyi belirlenebilmesi için farklı polaritelere sahip çözücülerle elde edilen ekstraktların karşılaştırılması gerekmektedir.

Laboratuvar koşullarında elde edilen bulguların uygulanabilirliğinin ve güvenilirliğinin ortaya konulabilmesi için, bu sonuçların farklı çevresel koşullar altında gerçekleştirilecek saha çalışmalarıyla desteklenmesi ve ekstraktların doğal ortamda *T. wilkinsoni* popülasyonları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi

gerekmektedir. Ekstraktların orman ekosistemlerinde çevresel uyumluluğunun ve güvenli kullanımının değerlendirilebilmesi için, doğal predatörler, parazitoitler ve toprak biyotası dahil olmak üzere hedef dışı organizmalar üzerindeki olası etkilerinin belirlenmesine yönelik ileri ekotoksikolojik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, *H. cupressiforme* ve *C. conicum* ekstraktlarından elde edilen biyoaktif bileşiklerin stabilitesini ve saha performansını artırmak amacıyla enkapsülasyon veya kontrollü salım sistemleri gibi uygun formülasyon stratejileri araştırılmalıdır.

## Kaynaklar

- Abay, G., M. Altun, O. C. Karakoc, F. Gul, & I. Demirtas, 2013. Insecticidal activity of fatty acid-rich Turkish bryophyte extracts against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Combinatorial chemistry & high throughput screening*, 16(10), 806-816.
- Abay, G., Ö. C. Karakoç, A. R. Tüfekçi, S. Koldaş, & I. Demirtas, 2012. Insecticidal activity of *Hypnum cupressiforme* (Bryophyta) against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of stored products research*, 51, 6-10.
- Asad, M., Khan, R. R. Aljuboory, A. B. Rashid, M. H. U. Kumar, U. Haq, I. U., & K. Alharbi, 2023. Toxic and antifeedant effects of different pesticidal plant extracts against beet. *Phyton*, 92(4).
- Aydın, G. 2018. Determination of indicator species in coastal successions in Tentsmuir National Nature Reserves (NNR), Scotland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (7): 5037-5044.
- Aydın, G., 2021. Comparison of insect biological diversity parameters in natural and degraded habitats in Gölcük Nature Park (Isparta, Turkey). *Turkish Journal of Forestry*, 22(4), 362-365.
- Aydın, G. & İ. Karaca, 2018. The effects of pesticide application on biological diversity of ground beetle (Coleoptera: Carabidae). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27 (12A): 9112-9118.
- Bahuguna, Y. M., S. Gairola, D. P. Semwal, P. L. Uniyal, & A. B. Bhatt, 2013. Bryophytes and ecosystem. *Biodiversity of lower plants*, 2013, 279-296.
- Basile, A., S. Giordano, S. Sorbo, M. L. Vuotto, M. T. L. Ielpo, & R. Castaldo Cobianchi, 1998. Antibiotic effects of *Lunularia cruciata* (Bryophyta) extract. *Pharmaceutical biology*, 36(1), 25-28.
- Binwal, N., P. Joshi, S. D. Tewari, & M. Kandpal, 2025. Insecticidal activity of leafy liverworts, *Heteroscyphus hyalinus* (Steph.) A. Srivast. & SC Srivast. and *Plagiochila asplenoides* (L.) Dum. against, *Sitophilus granarius* Linn.-a common wheat weevil. *Vegetos*, 1-6.
- Boydak, M., 2024. Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten. — a review. *Plant Ecology*, 171, 153–163.
- Campôa, J. T. Calvão, P. N. Firmino, & C. S. Pimentel, 2021. Disentangling the effects of climate and defoliation on forest growth: The case of an outbreak of a *Thaumetopoea pityocampa* population with a shifted phenology in a *Pinus pinaster* monoculture. *Forest Ecology and Management*, 498, 119548.
- Catal Y., 2011. The effects of pine processionary moth (PPM) defoliation degree on radial growth of brutian pine (*Pinus brutia*). *African Journal of Agricultural Research*, 6(21), 4931-4936.

- Cebeci, H. H., R. T. Oymen, & S. Acer, 2010. Control of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* with *Bacillus thuringiensis* in Antalya, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31(3), 357-361.
- Chen, F., A. Ludwiczuk, G. Wei, X. Chen, B. Crandall-Stotler, & J. L. Bowman, 2018. Terpenoid secondary metabolites in bryophytes: chemical diversity, biosynthesis and biological functions. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 37(2-3), 210-231.
- Cianciullo, P., V. Maresca, S. Sorbo, & A. Basile, 2021. Antioxidant and antibacterial properties of extracts and bioactive compounds in bryophytes. *Applied Sciences*, 12(1), 160.
- Çetin, H., F. Erler, & A. Yanikoglu, 2006. Toxicity of essential oils extracted from *Origanum onites* L. and *Citrus aurantium* L. against the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams. *Folia biologica (Kraków)*, 54(3-4), 153-157.
- Daşdemir, İ., & Y. Yeşilbaş, 2025. The Effects of Pine Processionary Moth (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams.) on Diameter and Volume Increment in Crimean Pine (*Pinus nigra* Arnold) Forests of Bartın. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 27(1), 46-61.
- Değirmenci, A.S., 2026. Projected future distributions of dominant tree species in the Western Black Sea region under climate change scenarios. *New Forests*, 57, 24.
- Del Río, M., I. Barbeito, A. Bravo-Oviedo, R. Calama, I. Cañellas, C. Herrero, & F. Bravo, 2017. Mediterranean pine forests: Management effects on carbon stocks. In *Managing forest ecosystems: the challenge of climate change* (pp. 301-327). Cham: Springer International Publishing.
- Demir, Ü., & G. Aydın, 2020. Antalya Kurşunlu Şelalesi Tabiat Parkında insan aktivitesinin böcek biyolojik çeşitliliğine etkisinin araştırılması. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 349-354.
- Dziwak, M., K. Wróblewska, A. Szumny, & R. Galek, 2022. Modern use of bryophytes as a source of secondary metabolites. *Agronomy*, 12(6), 1456.
- Elibol, B., T. Ezer, R. Kara, G. Y. Çelik, & E. Çolak, 2011. Antifungal and antibacterial effects of some acrocarpic mosses. *African Journal of Biotechnology*, 10(6), 986.
- Erasmus, R., J. van den Berg, P. J. van Rensburg, & H. du Plessis, 2023. Residual activity of spinosad applied as a soil drench to tomato seedlings for control of *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, 79(5), 1860-1867.
- Erkan N., 2011. Impact of pine processionary moth (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams) on growth of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *African Journal of Agricultural Research*, 6(21), 4983-4988.
- Erkaya İ., 2020. Predators and parasitoids of pine processionary moth (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams) in Western Mediterranean region in Turkey. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(1), 7-13.
- Ertaş T. B., 2024. Türkiye ormancılığında fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.). *Theoretical and Applied Forestry*, 4(1), 22-26.
- Ertürk, Ö., V. Şekeroğlu, H. Ünal, & H. Arslan, 2006. *Lymantria dispar* L.(lep: Lymantriidae)'nın larva gelişmesi üzerine bazı bitki özütlerinin antifeedant (iştah kesici) ve toksik etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(3), 289-295.
- Gindin, G., A. Navon, N. Saphir, A. Protasov, & Z. Mendel, 2007. Environmental persistence of *Bacillus thuringiensis* products tested under natural conditions against *Thaumetopoea wilkinsoni*. *Phytoparasitica*, 35(3), 255-263.

- Göksu, E., İ. Daşdemir, & Z. Ş. Abedi, 2026. Ege Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ormanlarında Çam Balı Üretiminin Sosyoekonomik ve Teknik Analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 28(1), 32-54.
- Güney A., 2026. Pine processionary moth defoliation affects secondary growth dynamics and tree vitality in *Pinus brutia*. *European Journal of Forest Research*, 145(2), 37.
- Güven, Ö., T. Aydın, I. Karaca, & T. Butt, 2021. Biopesticides offer an environmentally friendly solution for control of pine processionary moth (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams) larvae and pupae in urban areas. *Biocontrol Science and Technology*, 31(1), 35-52.
- Jeyasankar, A., S. Premalatha, & K. Elumalai, 2014. Antifeedant and insecticidal activities of selected plant extracts against Epilachna beetle, *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Advances in Entomology*, 2(1), 14-19.
- Kherroubi, M., F. Mouhouche, Z. Z. Izzeddine, & M. Chahbar, 2019. Biocontrol of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffmuller, 1775) with plant extracts. *Arxiu de Miscel·lània Zoològica*, 17, 73-84.
- Kielczewski, M., B. Drożdż, & J. Nawrot, 1979. Badania nad repelentami pokarmowymi trojszyka ulca (*Tribolium confusum* Duv.). *Materiały*, 19, 367-376.
- Koç, M., D. B. Eski, & A. Eski, 2025. Biocontrol of the pine processionary moth, *Thaumetopoea wilkinsoni* (Tams.) (Lepidoptera: Notodontidae) by forest-derived entomopathogenic fungi. *Canadian Journal of Forest Research*, 55, 1-9.
- Kostić, M., Z. Popović, D. Brkić, S. Milanović, I. Sivčev, & S. Stanković, 2008. Larvicidal and antifeedant activity of some plant-derived compounds to *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Limntriidae). *Bioresource Technology*, 99(16), 7897-7901.
- Lasa, A. V., A. J. Fernández-González, P. J. Villadas, J. Mercado-Blanco, A. J. Pérez-Luque, & M. Fernández-López, 2024. Mediterranean pine forest decline: A matter of root-associated microbiota and climate change. *Science of The Total Environment*, 926, 171858.
- Ludwiczuk, A., & Y. Asakawa, 2020. Terpenoids and aromatic compounds from bryophytes and their central nervous system activity. *Current Organic Chemistry*, 24(1), 113-128.
- Mirchev, P., G. Tsankov, M. Avci, & M. Matova, 2007. Study of some aspects of ecology of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) and its egg parasitoids in Turkey. *Silva Balcanica*, 8(1), 66-78.
- Montgomery, D. C., 2017. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- Moreno, J. M., C. Morales-Molino, I. Torres, & M. Arianoutsou, 2021. Fire in Mediterranean pine forests: past, present and future. In *Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean basin* (pp. 421-456). Cham: Springer International Publishing.
- Nocentini, S., D. Travaglini, & B. Muys, 2022. Managing Mediterranean forests for multiple ecosystem services: research progress and knowledge gaps. *Current Forestry Reports*, 8(2), 229-256.
- Oğuz, G., Aydın, G., & M. R. Ulusoy, 2021. Balcalı (Adana)'da Farklı Ekosistemlerdeki Epigeal Hexapoda Türlerinin Biyolojik Çeşitlik Parametrelerinin Karşılaştırılması. *Turkish Journal of Science and Engineering*, 3(2), 69-76.
- Ok, K., & Y. Z. Tengiz, 2018. Türkiye'de odun dışı orman ürünlerinin yönetimi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(3), 457-471.
- Pathak, V. M., V. K. Verma, B. S. Rawat, B. Kaur, N. Babu, A. Sharma, & J. M. Cunill, 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly

- management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in microbiology*, 13, 962619.
- Puri, E., G. Hoch, & C. Körner, 2015. Defoliation reduces growth but not carbon reserves in Mediterranean *Pinus pinaster* trees. *Trees*, 29(4), 1187-1196.
- Ramachandra, T. V., P. Negi, T. Mondal, & S. A. Ahmed, 2025. Insights into the linkages of forest structure dynamics with ecosystem services. *Scientific Reports*, 15(1), 15606.
- Seki, M., & O. E. Sakıcı, 2022. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) stand growth. *Forest Science*, 68(5-6), 452-463.
- Singh, S., R. Sharma, S. Joshi, & A. Alam, 2023. Utilization of the first land plants (Bryophytes) as a source of beneficial bioactive chemicals. *Research Journal of Phytochemistry*, 17(1), 26-36.
- Soriano, G., M. Á. Del-Castillo-Alonso, L. Monforte, E. Núñez-Olivera, & J. Martínez-Abaigar, 2019. Phenolic compounds from different bryophyte species and cell compartments respond specifically to ultraviolet radiation, but not particularly quickly. *Plant Physiology and Biochemistry*, 134, 137-144.
- Tekeş, A., & K. Özkan, 2025. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Karaçam (*Pinus nigra* JF Arnold.) ormanlarında farklı yaklaşımlarla gösterge bitki türlerinin analizi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 10(1), 69-78.
- Torres, I., J. M. Moreno, C. Morales-Molino, & M. Arianoutsou, 2021. Ecosystem services provided by pine forests. In *Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean Basin* (pp. 617-629). Cham: Springer International Publishing.
- Tukey, J. W., 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 99-114.
- Wilkinson, D. S. 1926. The Cyprus processionary caterpillar (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams). *Bulletin of Entomological Research*, 17(2), 163-182.
- Zaller, J. G., & C. A. Brühl, 2019. Editorial: Non-target effects of pesticides on organisms inhabiting agroecosystems. *Frontiers in environmental science*, 7, 75.