



Propilen Oksit'in Kuru Meyve Güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae)'ya karşı Metil Bromüre Alternatif Bir Fumigant Olarak Değerlendirilmesi

Yeter KÜÇÜKTOPÇU¹, Ali Arda IŞIKBER²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun, Türkiye, ²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-2104-5764>, ²<https://orcid.org/0000-0003-1213-3532>

✉: ybilgili46@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada; MeBr'e alternatif olarak Propilen Oksit (PPO)'in *P. interpunctella*'nın hızlı kontrolü için potansiyel kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, ürünlü (kabuklu fındık ve kuru incir) ve ürünsüz ortamlarda *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemlerine (yumurta, larva, pupa ve ergin) karşı tek başına 10 µl l⁻¹ PPO (normal basınç), 10 µl l⁻¹ PPO+vakum (100 mm Hg düşük basınç) ve 10 µl l⁻¹ PPO+kardondioksit (%92 CO₂ konsantrasyonu) uygulamalarının kısa maruz kalma sürelerinde (4 saat) insektisidal etkinliği değerlendirilmiştir. Ürünsüz ortamda yürütülen biyolojik testlerde, yalnızca PPO+vakum uygulamasında zararlının larva dönemi hariç diğer tüm dönemlerinde (ergin, yumurta ve pupa) %100 ve %100'e yakın ölüm oranı tespit edilirken; tek başına PPO ve PPO+CO₂ uygulamalarında ise *P. interpunctella*'nın hiçbir biyolojik döneminde %100 ölüm oranına ulaşamamıştır. Bulgular, PPO'nun vakum altında uygulandığında tek başına PPO ve PPO+CO₂ uygulamalarına kıyasla zararlıya karşı istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek biyolojik aktivite sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, ürünlü ortamlarda *P. interpunctella*'ya karşı tüm uygulamaların ölüm oranları arasında da önemli farklılıklar gözlenmiştir. Kuru incir kullanılan ortamda yürütülen biyolojik testlerde, PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarında *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemlerinde %54.6 ila %100 arasında ölüm oranları tespit edilirken; kabuklu fındık bulunan ortamda yapılan biyolojik testlerde ise %4.4 ile %36 arasında değişen oranlarda düşük ölüm oranları tespit edilmiştir. Sonuçlara göre *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemlerini kontrol edebilmek için kabuklu fındık bulunan ortamda kuru incire kıyasla daha yüksek PPO konsantrasyonuna ihtiyaç duyabileceği görülmüştür. Genel olarak yapılan bu çalışma, özellikle kuru incirlerde PPO+vakum uygulamasının böcek kontaminasyonunda hızlı kontrol için umut verici bir alternatif fumigant olabileceği ortaya çıkarmıştır.

Bitki Koruma

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi : 02.08.2023

Kabul Tarihi : 16.10.2023

Anahtar Kelimeler

Kuru meyve güvesi
Kuru incir
Fındık
Propilen oksit
Fumigant

Evaluation of Propylene Oxide as an Alternative Fumigant to Methyl Bromide against Dry Fruit Moth *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae)

ABSTRACT

In this study, the potential use of Propylene Oxide (PPO) as an alternative to MeBr for the rapid control of *P. interpunctella* was investigated. For this purpose, the insecticidal efficacy of 10 µl l⁻¹ PPO alone (normal pressure), 10 µl l⁻¹ PPO+vacuum (100 mm Hg low pressure), and 10 µl l⁻¹ PPO+carbon dioxide (92% CO₂ concentration) against all biological stages (eggs, larvae, pupae, and adults) of *P. interpunctella* was evaluated at short exposure times (4 hours) in crop (shelled hazelnuts and dried figs) and crop-free environments. In the biological tests conducted in a product-free environment, PPO+vacuum treatment alone resulted in 100% and near 100% mortality in all biological stages of *P. interpunctella* (adults, eggs, and pupae) except the larval stage, whereas PPO alone and PPO+CO₂ treatment alone did not result in 100% mortality in any biological stage of *P. interpunctella*. The

Plant Protection

Research Article

Article History

Received: 02.08.2023

Accepted: 16.10.2023

Keywords

Dried fruit moth
Dried figs
Hazelnut
Propylene oxide
Fumigant

results showed that PPO exhibited statistically significantly higher biological efficacy against the pest when applied under a vacuum compared to PPO alone and PPO+CO₂. Significant differences were also observed between the mortality rates of all treatments against *P. interpunctella* in crop environments. While the mortality rates ranged from 54.6% to 100% in bioassays with dried figs, low mortality rates ranging from 4.4% to 36% were detected in bioassays with shelled hazelnuts. Overall, this study revealed that PPO+vacuum treatment may be a promising alternative fumigant for rapid control of insect contamination, especially in dried figs.

Atf İçin : Küçüktopçu, Y., & Işıkber, A.A., (2024). Propilen Oksit'in Kuru Meyve Güvesi *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae)'ya karşı Metil Bromüre Alternatif Bir Fumigant Olarak Değerlendirilmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg* 27(3), 594-603 DOI: 10.18016/ksutarimdog.a.vi.1335859

To Cite: Küçüktopçu, Y., & Işıkber, A.A., (2024). Evaluation of Propylene Oxide as an Alternative Fumigant to Methyl Bromide against Dry Fruit Moth *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *KSU J. Agric Nat* 27(3), 594-603. DOI: 10.18016/ksutarimdog.a.vi.1335859

GİRİŞ

Dünya fındık üretiminin yaklaşık %65-70'ini karşılayan Türkiye, dünya fındık üretiminde ve ihracatında lider ülke konumdadır (Karadeniz ve ark., 2021). Türkiye'deki fındık üretim alanı 2021 yılında 7.4 milyon dekar, toplam fındık üretimi miktarı ise 684 bin ton olarak gerçekleşmiştir (Aşkın ve ark., 2022; Bayyurt & Kocakoç, 2023). Fındık, kabuklu kuruyemiş olarak doğrudan tüketilebildiği gibi gıda sanayinde çeşitli şekillerde işlenerek kullanılan değerli bir hammadde haline getirilebilmektedir. Türkiye'nin kuru incir üretimi Türkiye'nin batı bölgesinde yetiştirilen tek bir varyeteden [*Ficus carica* Sarılop (Calimyma)] elde edilmektedir. Türkiye yaklaşık olarak 55 000 ile 60 000 ton kuru incir üretimi ile dünyada lider ülke konumundadır. Kuru incirin pazarlaması eylül sonu ile aralık ayı arasında gerçekleşirken kuru incir üretimin yaklaşık %90'ı ihracata gitmektedir (Şen ve ark., 2009). Son yıllarda kuru incir ihracatı yılın tüm aylarına yayıldığı ve her ay yaklaşık 2 000 ton kuru incir ihracatının yılın daha sonraki aylarda yapıldığı görülmektedir.

Fındık ve kuru incir sektöründe, fındığın ve kuru incirin kurutulması ve depolanması sürecinde depo zararlılarının bulaşması önemli bir sorundur (Ferizli & Emekçi, 2013). Depo zararlıları, fındık tanelerine zarar vererek ürün kalitesini düşürebilir ve kayıplara neden olabilmektedir. Depolanmış fındık zararlıları içerisinde yer alan Kuru Meyve Güvesi [*Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae)] depolanmış fındık gibi kuru meyvelerde yaygın bir zararlıdır. Bu güve türü, popülasyonlarını hızla artırarak kısa süre içerisinde ürünlerde büyük zararlar meydana getirmektedir (Jarratt ve ark., 2001). Zararlının larvaları meyvede beslenerek meyve kalitesini düşürmektedir (Küçüktopçu, 2023). Ayrıca; zararlının vücut kalıntıları, pislikleri ve salgılamış olduğu ağ ve benzeri maddeler nedeniyle de ürünün kalite ve ticari değerinde önemli oranda düşümlere neden olmaktadır (Celik ve ark., 2008; Ferizli &

Emekçi, 2013; Bilgili, 2015). Metil Bromide (MeBr) geniş spektrumlu aktivitesi, düşük maliyeti ve böcekleri hızlı bir şekilde öldürme yeteneği nedeniyle depolanmış ürün zararlılarıyla mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır (Fields & White, 2002). Ancak, MeBr'in ozon tabakasını inceltici etkisi nedeniyle kullanımı sınırlamalara tabi tutulmuştur (Schneider ve ark., 2003; Tütüncü & Emekçi, 2014). MeBr kullanımına getirilen kısıtlamalar ve çevresel etkileri göz önüne alındığında, MeBr'in yerini alacak alternatif yöntemlerin araştırılması giderek daha önemli hale gelmektedir (Küçüktopçu ve ark., 2023). Sert kabuklu meyve endüstrisi, hasat sonrası böcek bulaşmasını önlemek için genellikle fosfin gibi kimyasal fümigantları tercih etmektedir. Ancak; fosfinin karsinojenik etkisi (Alavanja ve ark., 1990; Garry ve ark., 1990), yanıcı oluşu (Ohtani ve ark., 1989), böcek direnci (Benhalima ve ark., 2004; Daglish ve ark., 2014; Sağlam ve ark., 2015; Gautam ve ark., 2016) ve uzun süreli maruz kalma gerekliliği (sıcaklığa bağlı olarak 4 ila 6 gün veya daha fazla) nedeniyle (Ferizli & Emekçi 2013), fosfin kullanımı karantina uygulamaları için uygun olmamaktadır (Işıkber ve ark., 2015). Bu nedenle, hızlı böcek ölümlerinin gerektiği karantina uygulamaları için yeni fümigantların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Etere benzer bir kokuya ve 35°C kaynama noktasına sahip önemli bir organik kimyasal hammadde olan Propilen oksit (PPO); berrak, renksiz ve uçucu bir sıvı fümiganttır (Bilgili, 2015). PPO, bir fümigant olarak kullanıldığında, metil bromide göre çevresel risklerin önemli ölçüde daha düşük olduğu bilinmektedir. Meylan ve ark. (1986) PPO'nun fümigant olarak insan sağlığına ve çevreye etkilerini incelenmişler; bir fümigant olarak PPO'nun metil bromide kıyasla çevresel risklerinin epeyce düşük olduğunu, ozon tabakasını delici veya inceltici özelliği bulunmadığını, toprakta ve insan midesinde kısa sürede toksik olmayan propilen glikola dönüştüğünü bildirmişlerdir.

PPO'nun en önemli bir dezavantajı, %3-37 arasındaki havada alev alabilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu nedenle, PPO'nun güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için alev alma riskini azaltmak amacıyla önlemler alınması gerekmektedir. Bunlardan biri, düşük basınç altında veya karbondioksit (CO₂) ile zenginleştirilmiş bir atmosfer altında PPO gazının kullanılmasıdır. Son araştırmalar, PPO'nun fumigant potansiyelinin 100 mm Hg'lik düşük bir basınçta artış gösterdiğini (Isikber ve ark., 2006; Navarro ve ark., 2004), bu sonucun PPO'yu ürünlerin hızlı dezenfeksiyonu noktasında metil bromide alternatif hale getirebileceğini göstermektedir (Anonim, 2023). PPO'nun düşük basınç altında kısa maruz kalma süresinde depolanmış ürün zararlılarına karşı etkili olabileceği, daha önceki laboratuvar çalışmalarında kanıtlanmış olsa da literatürde ürünlü ortamda PPO'nun CO₂ ile birlikte kullanımına ilişkin sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, karantina uygulamalarında PPO'nun kısa uygulama sürelerinde MeBr'e alternatif bir fumigant olabilme potansiyelinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada ülkemizin tarımsal üretiminde ve ihracatında önemli bir yer tutan fındığın ve kuru meyvelerin depolanması esnasında önemli kayba neden olan *P. interpunctella*'nın tüm gelişme dönemlerine (ergin, larva, yumurta ve pupa) karşı ürünlü ve ürünlü (fındık ve kuru incir) ortamlarda PPO'nun üç farklı koşul altındaki kullanımının [tek başına PPO (normal basınç), PPO+vakum (100 mm Hg düşük basınç ortamı) ve PPO+CO₂ (%92 CO₂ ortamı) insektisidal etkinliği değerlendirilmiştir.

MATERYAL ve METOD

Biyolojik Testlerde Kullanılan Ürünler

Biyolojik testlerde, *Corylus avellana* L. ile *Corylus maxima* Mill. türlerinin melezleri olan ve %10-12 ürün nemi içeren kabuklu çakıldak fındık çeşidi ile %21±1 ürün nemi içeren güneşte kurutulmuş Sarılop (Calımyrna) (*Ficus carica* L.) kuru incir çeşidi kullanılmıştır.

Biyolojik Testlerde Kullanılan Böcek Kültürünün Kaynağı ve Yetiştirilmesi

Biyolojik testlerde *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemleri kullanılmıştır. Bu biyolojik testlerde kullanılan *P. interpunctella* kültürünün ana materyali Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. *P. interpunctella* yetiştirilmesi için kullanılan besin karışımında her 2 kg buğday kepeği için 350 g mısır unu, 350-400 ml gliserin, 450-500 ml glikoz şurubu ve 1 çay kaşığı inaktif maya bulunmaktadır. Buğday kepeği ve mısır unu, böcek bulaşma riskine karşı 3-4 gün boyunca -20 °C sıcaklıktaki derin dondurucuda

bekletilmiştir. Belirlenen oranlarda ürünler ilk önce elle iyice karıştırılmış ve ardından elde edilen karışım mikserden geçirilmiştir. *P. interpunctella* erginlerinin yumurtalarını elde etmek amacıyla erginler vakum yardımıyla kültür kavanozlarından alınarak 3 L'lik bir cam kavanoza aktarılmış ve kavanozun ağzı tülle kapatılmıştır. Bu ergin şişesi, iklimlendirme kabini içinde 1 gün boyunca bekletildikten sonra ağzına sadece yumurtaların geçebileceği bir tül yerleştirilmiştir. Şişe daha sonra ters çevrilerek yumurtaların bir kâğıt üzerine düşmesi sağlanmıştır. Kâğıt üzerinde toplanan bu yumurtalar, her bir kavanoz için 400-500 adet olacak şekilde içerisinde 350-400 g besin bulunan 3 litrelik kavanozlara eklenmiş ve kavanozların ağızları hava geçişine izin verecek genişlikte bir tülle kapatılmıştır. Daha sonra bu kültür kavanozları, 30±1°C sıcaklık ve %65±5 nispi nemdeki inkübatörde tamamen karanlık koşullarda tutularak böcek gelişimleri günlük olarak düzenli şekilde kontrol edilmiştir. Tüm araştırma periyodu boyunca bu işlemlere devam edilerek kültür devamlılığı sağlanmıştır.

Fümigant

Çalışmada kullanılan PPO fümigantı, SERVA Electrophoresis GmbH'den (Heidelberg, Almanya) firmasından >%99 saflıkta (CAS no. 75569, Kat. no. 33715) temin edilmiştir. PPO, uygulama aşamasında kullanılmak üzere gaz geçirmez şırınga (Hamilton Company, Bonaduz, İsviçre) kullanılarak 100 ml'lik cam şişeye aktarılmış ve ağzı kauçuk bir septum ile kapatılmıştır. Uygulama sırasında, belirlenen konsantrasyonda PPO'nun gaz sızdırmaz bir mikro şırınga kullanılarak cam şişeden çekilmesi sağlanmıştır.

Karbon dioksit (CO₂) Gazı

Biyolojik testlerde kullanılan CO₂, Linde Gaz (Ankara, Türkiye) firmasından <%99 saflıkta ve basınçlı çelik silindir içerisinde temin edilmiştir.

Fümigasyon Çemberi

Fümigasyon çemberi, metal kapaklı 3 L'lik cam kavanozlardan oluşmaktadır. Kavanozların kapaklarında bir giriş ve bir çıkış deliği bulunan metal rekorlar yer almaktadır. Giriş ve çıkış deliklerinin üzerine 5 cm uzunluğunda ve 0.62 cm çapında iki adet silikon hortum yerleştirilmiştir. Bu hortumlar, gazın giriş ve çıkışını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Hortumlar metal kısaçıklar kullanılarak sıkıca bağlanmış ve gaz sızdırmaz bir ortam oluşturulmuştur. Metal kapaklar kapatıldıktan sonra, kapakların etrafına silikon sürülerek gaz sızıntısının engellenmesi sağlanmıştır. Bu sayede fümigasyon çemberi içerisinde vakum ve PPO uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Ürünsüz Ortamda Yürütülen Biyolojik Testler

Biyolojik deneylerde, *P. interpunctella*'nın 1-2 günlük erginleri, pupaları ve son dönem larvalarından (28-32 gün) 20 adet kullanılırken; *P. interpunctella*'nın 1-2 günlük yumurtaları ise 50 adet kullanılmıştır. Tüm dönemlerdeki bireyler, 50 ml'lik şişelere yerleştirilmiştir. Larvalar için, şişelere hacimlerinin 1/3'ü kadar taze besin (10 gr) eklenmiştir. Bu besin, larvaların beslenmesini sağlamak için kullanılmıştır. Şişelerdeki böceklerin kaçmasını engellemek ve PPO gazının tüplere girmesini sağlamak için, tüplerin ağızları tülle kapatılarak plastik lastikle tutturulmuştur. Bu önlem, böceklerin kontrollü bir ortamda tutulmasını sağlamak ve gaz uygulamasının etkili olmasını sağlamak için alınmıştır. Bu hazırlanan şişeler daha sonra 3 L'lik metal kapaklı cam kavanozlara (fümigasyon çemberi) yerleştirilmiştir. Bu şekilde, fümigasyon çemberi içerisinde gazın sızdırmaz ortam sağlanmıştır. Propilen oksit'in düşük basınç (vakum) ile uygulanması için, KNF marka vakum pompası (Almanya) kullanılarak 3 L'lik fümigasyon çemberinin havası alınmış ve basınç 100 mm Hg'a kadar düşürülmüştür. Fümigasyon çemberi içindeki düşük basınç seviyesi (vakum), Celesco model SE-2000 vakum basınç ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Daha sonra, test edilecek olan PPO, 50 µl'lik Hamilton mikro şırınga kullanılarak 10 µl l⁻¹ konsantrasyonda fümigasyon çemberi içerisine enjekte edilmiştir. Propilen oksit'in yüksek CO₂ konsantrasyonu altında uygulanması için, fümigasyon çemberi içinde 60.8 mm Hg düşük basınç oluşturulmuştur. Daha sonra fümigasyon çemberi içindeki basınç normal atmosferik basınç seviyesine dönene kadar CO₂ gazı fümigasyon çemberi içinde sirküle edilmiştir. CO₂/O₂ ölçüm cihazı (CheckPoint, PBI-Dansensor, Danimarka) kullanılarak fümigasyon çemberi içerisindeki CO₂ gaz konsantrasyonunun ölçümü yapılmıştır. İstenilen %92 CO₂ seviyesine ulaşıldıktan sonra, 50 µl'lik mikro şırınga kullanılarak 10 µl l⁻¹ konsantrasyonda PPO fümigasyon çemberi içerisine enjekte edilmiştir. Propilen oksit'in tek başına (normal basınç altında) uygulamasında, *P. interpunctella*'nın tüm dönemleri fümigasyon çemberine yerleştirildikten sonra PPO'nun 10 µl l⁻¹ konsantrasyonu doğrudan fümigasyon çemberine enjekte edilmiştir.

Biyolojik testlerde, *P. interpunctella*'nın tüm dönemleri 4 saat boyunca tek başına 10 µl l⁻¹ PPO, 10 µl l⁻¹ PPO + %92 CO₂ ve 10 µl l⁻¹ PPO + 100 mm Hg vakum uygulamalarına maruz bırakılmıştır. Ayrıca, önceki deney koşullarına ek olarak, zararlının tüm dönemleri 4 saat boyunca PPO olmaksızın ayrı ayrı vakum uygulamasına (100 mm Hg düşük basınç) ve CO₂ gazı uygulamasına (%92 CO₂ konsantrasyonu) maruz bırakılmıştır. Biyolojik testler tamamlandıktan sonra, uygulama kapları; kavanozların kapakları hızlı bir şekilde kapatılmış ve 4 saat süresince tamamen karanlık, 26±1°C sıcaklık ve %65±5 nispi nem içeren

bir iklim odasında bekletilmiştir. Her bir PPO uygulaması 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve her uygulama için 4 adet kontrol grubu bırakılmıştır.

Ürünlü Ortamda Yürütülen Biyolojik Testler

Ürünlü ortamda yapılan biyolojik testler, ürünsüz ortamdaki testlerle aynı deneme prosedürlerini takip ederek gerçekleştirilmiştir. Tek fark, 3 L'lik metal kapaklı cam kavanozların içine 1.3 kg kuru incir veya 1.3 kg kabuklu fındık yerleştirilerek oluşturulan fümigasyon çemberlerinin kullanılmasıdır.

Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

Biyolojik testler, %65±5 nispi nem ve 26±1 °C sıcaklıkta karanlık bir iklim odasında gerçekleştirilmiştir. Biyolojik test uygulamalarından sonra, yumurtalar cam şişeden çıkarılarak mikadan yapılmış küçük delikler içeren hücrelere yerleştirilmiş ve 1 hafta sonra ölü ve canlı sayımı yapılmıştır. Larvalar, pupa aşamasına geçinceye kadar; pupalar ise ergin aşamasına geçinceye kadar bekletildikten sonra ölü ve canlı sayımı yapılmıştır. Ergin bireylerde ise uygulamadan 1 gün sonra ölü ve canlı bireylerin sayımı yapılmıştır. Kontrol gruplarında ölümlerin fazla olması durumunda, veriler üzerinde Abbott formülü (Abbott, 1925) kullanılarak düzeltilmiş ölüm oranları hesaplanmış ve elde edilen bu düzeltilmiş ölüm oranlarına Arcsin transformasyonu uygulandıktan sonra SAS 9 istatistik programı (SAS, 2009) kullanılarak çift yönlü varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıklar, %5 önem düzeyinde Tukey testi kullanılarak belirlenmiştir.

BULGULAR

Ürünsüz Ortamda Propilen oksit Uygulamasına Ait Biyolojik Testler

Ürünsüz ortamda yapılan çalışma sonucunda; PPO+vakum uygulamasının *P. interpunctella* ergin ve pupa dönemlerinde %100 ölüm oranı belirlenirken, aynı uygulamada zararlının yumurta döneminde %98.3 ölüm oranı tespit edilmiştir. Ayrıca, PPO+CO₂ uygulamasının *P. interpunctella* erginlerinde %100'e yakın ölüm oranı belirlenmiştir (Çizelge 1). PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarının tek başına PPO uygulamasına kıyasla zararlının tüm dönemlerinin üzerinde istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek insektisidal etkinlik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 1). PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarında *P. interpunctella* ergin ve larvaların ölüm oranları istatistiki olarak benzer bulunurken yumurta ve pupa dönemlerinde PPO+vakum uygulamasından elde edilen ölüm oranları PPO+CO₂ uygulamasından önemli seviyede daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 1). Tek başına PPO uygulamasında böcek dönemlerine ait ölüm oranları

arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmazken (P=0.7855) PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarında böcek dönemlerine ait ölüm oranları arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmuştur (sırasıyla P<0.0001 ve P=0.0005). PPO+vakum uygulamasında ergin ve pupa ölüm oranları aynı grupta yer alırken bu iki dönemin ölüm oranları larva

ve yumurtadan elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha yüksek bulunmuştur. PPO+CO₂ uygulamasında larva, yumurta ve pupa ölüm oranları aynı grupta yer alırken bu üç dönemin ölüm oranları erginden elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha düşük bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı uygulamalara 4 saat boyunca maruz bırakılan *Plodia interpunctella*'nın yumurta, larva, pupa ve erginlerine ait düzeltilmiş ölüm oranları (%)

Table 1. Corrected mortality rates (%) of eggs, larvae, pupae, and adults of *Plodia interpunctella* exposed to different treatments for 4 hours

Uygulamalar <i>Applications</i>	Düzeltilmiş yüzde ölüm (%) ± S. hata <i>Adjusted percent mortality (%) ± S. error</i>				F ve P değeri <i>F and P value</i>
	Yumurta <i>Egg</i>	Larva <i>Larvae</i>	Pupa <i>Pupa</i>	Ergin <i>Adult</i>	
PPO	43.47±3.19	45.20±2.23	44.77±1.49	42.10±2.14	F _{3,12} =0.4
<i>PPO</i>	Ca	Ba	Ca	Ba*	P=0.7855
PPO+vakum	98.36±0.54	67.12±2.23	100±0	100±0	F _{3,12} =174.9
<i>PPO+vacuum</i>	Ab	Ac	Aa	Aa	P<0.0001
PPO+CO ₂	76.08±1.98	71.23±2.62	74.62±1.49	94.73±3.03	F _{3,12} =12.80
<i>PPO+CO₂</i>	Bb	Ab	Bb	Aa	P=0.0005
Kontrol <i>Control</i>	8±0.81	12.5±1.44	16.25±1.25	5.00±2.04	Uygulamalar: F _{2,36} =361.22, P<0.0001 Dönemler: F _{3,36} =43.97, P<0.0001 Uygulaması x Dönemler: F _{6,36} =25.87, P<0.0001
F ve P değeri <i>F and P value</i>	F _{2,9} =139.1 P<0.0001	F _{2,9} =31.9 P<0.0001	F _{2,9} =1052.5 P<0.0001	F _{2,9} =66.1 P<0.0001	

*Ortalamalar arasındaki farklılıklar % 5 önem seviyesinde Tukey testine göre ortaya konmuştur. Aynı sütunda bulunan farklı büyük harfler ve aynı satırda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır.

Dört saat boyunca tek başına %92 CO₂ ve 100 mm Hg vakum uygulamalarına maruz bırakılan *P. interpunctella*'nın ergin, larva, yumurta ve pupalarında çok düşük seviyelerde (%5 ile %20 arasında) ölüm oranları tespit edilmiştir. %92 CO₂ ve

100 mm Hg vakuma maruz bırakılan *P. interpunctella*'nın tüm dönemlerindeki ölüm oranları ile kontrol grubundaki ölüm oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklarının bulunmadığı belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. 4 saat süre ile tek başına %92 CO₂ ve 100 mm Hg vakuma maruz bırakılan *Plodia interpunctella*'nın ergin, larva, yumurta ve pupalarına ait ölüm oranları (%)

Table 2. Mortality rates (%) of eggs, larvae, pupae, and adults of *Plodia interpunctella* exposed to 92% CO₂ and 100 mm Hg vacuum alone for 4 hours

Uygulamalar <i>Applications</i>	Yüzde ölüm (%) ± S. hata <i>Percent mortality (%) ± S. error</i>			
	Yumurta <i>Egg</i>	Larva <i>Larvae</i>	Pupa <i>Pupa</i>	Ergin <i>Adult</i>
Kontrol (<i>Control</i>)	6.5±0.5	5±0	17.5±1.44	6.25±1.25
100 mm Hg vacuum <i>100 mm Hg vacuum</i>	7.5±0.5	8.75±1.25	20±2.04	8.75±1.25
%92 CO ₂	7±0.57	7.5±1.44	18.75±1.25	7.5±1.44
F ve P değeri <i>F and P value</i>	F _{2,9} =0.90 P=0.4402	F _{2,9} =3.00 P=0.1004	F _{2,9} =0.57 P=0.5826	F _{2,9} =0.90 P=0.4402

Ürünlü Ortamda Propilen oksit Uygulamasına Ait Biyolojik Testler

Kuru incir ile yürütülen çalışmalar

PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarına maruz bırakılan *P. interpunctella* erginlerinde %100 ölüm oranı tespit edilirken bu iki uygulamada ergin dönemine ait ölüm oranlarının tek başına PPO uygulamasının ergin dönemine ait ölüm oranından istatistiksel açıdan önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. PPO+vakum uygulamasına maruz kalan *P. interpunctella* larva ve pupalarında meydana gelen ölüm oranları, tek başına PPO ve PPO+CO₂ uygulamalarında meydana gelen ölüm oranlarından önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). PPO+CO₂ uygulamasına maruz bırakılan *P. interpunctella* larva ve pupa dönemlerinde meydana gelen ölüm oranları ile tek başına PPO uygulamasına ait ölüm oranları istatistiksel olarak benzer bulunurken, PPO+CO₂ uygulamasına maruz bırakılan

ergin ve yumurta dönemine ait ölüm oranları PPO uygulamasına ait ölüm oranlarından istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). Tüm PPO uygulamasında ergin dönemi dışında hiçbir böcek dönemin %100 ölüme elde edilememiştir. Tek başına PPO, PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarında böcek dönemlerine ait ölüm oranları arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmuştur (P<0.0001). Tek başına PPO ve PPO+vakum uygulamalarında larva ve yumurta ölüm oranları aynı grupta yer alırken bu iki dönemin ölüm oranları ergin ve pupadan elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha düşük bulunmuştur. PPO+CO₂ uygulamasında yumurta ve pupa ölüm oranları ayı grupta yer alırken bu iki dönemin ölüm oranları erginden elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha düşük, ancak larvadan elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kuru incir bulunan ortamda 4 saat boyunca farklı uygulamalara maruz bırakılan *Plodia interpunctella*'nın yumurta, larva, pupa ve erginlere ait düzeltilmiş ölüm oranları (%)

Table 3. Adjusted mortality rates (%) of eggs, larvae, pupae, and adults of *Plodia interpunctella* exposed to different treatments for 4 hours in the environment with dried figs

Uygulamalar Applications	Düzeltilmiş yüzde ölüm (%) ± S. hata Adjusted percent mortality (%) ± S. error				F ve P değeri F and P value
	Yumurta Egg	Larva Larvae	Pupa Pupa	Ergin Adult	
PPO	52.51±1.67	46.66±2.17	65.67±1.49	69.73±1.31	F _{3,12} =40.4
PPO	Bb	Bb	Ba	Ba*	P<0.0001
PPO+vakum PPO+vacuum	67.59±1.44	61.33±2.55	91.04±1.59	100±0	F _{3,12} =203.1
PPO+vakum	Ac	Ac	Ab	Aa	P<0.0001
PPO+CO ₂	69.83±1.11	54.66±1.53	71.64±1.49	100±0	F _{3,12} =619.2
PPO+CO ₂	Ab	BAC	Bb	Aa	P<0.0001
Kontrol Control	10.5±0.5	6.25±2.39	16.25±2.39	5.00±2.04	Uygulamalar: F _{2,36} =315.74, P<0.0001 Dönemler: F _{3,36} =550.57, P<0.0001
F ve P değeri F and P value	F _{2,9} =42.1 P<0.0001	F _{2,9} =11.7 P=0.0032	F _{2,9} =60.6 P<0.0001	F _{2,9} =1607.8 P<0.0001	Uygulamalar x Dönem: F _{6,36} =25.87, P<0.0001

*Ortalamlar arasındaki farklılıklar % 5 önem seviyesinde Tukey testine göre ortaya konmuştur. Aynı sütunda bulunan farklı büyük harfler ve aynı satırda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır.

Kabuklu fındık ile yürütülen çalışmalar

Yapılan çalışma sonucunda, PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarına maruz bırakılan *P. interpunctella* ergin ve pupa dönemlerinin ölüm oranlarının istatistiksel olarak birbirlerine benzer olduğu ve bu ölüm oranlarının tek başına PPO uygulamasında elde edilen ölüm oranından istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). PPO+vakum uygulamasına maruz bırakılan *P. interpunctella* larvalarının ölüm oranının, PPO+CO₂ ve tek başına PPO uygulamalarında meydana gelen ölüm

oranlarından önemli derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PPO+vakum uygulamasına maruz bırakılan *P. interpunctella* yumurtalarının ölüm oranı, PPO+CO₂ uygulamasındaki ölüm oranına kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde daha düşük bulunurken, tek başına PPO uygulamasındaki ölüm oranından önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Kabuklu fındık bulunan ortamda yapılan çalışma sonucunda, 4 saat tek başına PPO uygulamasına ve PPO + %92 CO₂ ve 100 mm Hg vakum kombinasyonuna maruz bırakılan *P.*

interpunctella'nın tüm dönemlerinde %1 ile %36 arasında değişen oranlarda düşük ölüm oranları tespit edilmiştir (Çizelge 4). Tüm PPO uygulamasında hiçbir böcek dönemin %100 ölüme elde edilememiştir. Tek başına PPO, PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarında böcek dönemlerine ait ölüm oranları arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmuştur (sırasıyla P=0.0014, P<0.0001 ve P<0.0001).

PPO+vakum uygulamalarında larva ve yumurta ölüm oranları aynı grupta yer alırken bu iki dönemin ölüm oranları ergin elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha düşük bulunmuştur. PPO+CO₂ uygulamasında larva ve pupa ölüm oranları ayı grupta yer alırken bu iki dönemin ölüm oranları ergin ve yumurtadan elde edilen ölüm oranlarından istatistiki olarak daha düşük, bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kabuklu fındık bulunan ortamda 4 saat süre ile farklı uygulamalara maruz bırakılan *Plodia interpunctella*'nın yumurta, larva, pupa ve erginlere ait düzeltilmiş ölüm oranları (%)

Table 4. Corrected mortality rates (%) of eggs, larvae, pupae, and adults of *Plodia interpunctella* exposed to different treatments for 4 hours in the environment with shelled hazelnuts

Uygulamalar <i>Applications</i>	Düzeltilmiş yüzde ölüm (%) ± S. hata <i>Adjusted percent mortality (%) ± S. error</i>				F ve P değeri <i>F and P value</i>
	Yumurta <i>Egg</i>	Larva <i>Larvae</i>	Pupa <i>Pupa</i>	Ergin <i>Adult</i>	
PPO	0.54±0.31	5.63±1.40	6.77±1.48	1.00±1.00	F _{3,12} =9.9
PPO	Cb	Ca	Ba	Bb*	P=0.0014
PPO+vakum <i>PPO+vacuum</i>	4.39±0.63	19.71±1.40	18.30±1.62	28.07±1.53	F _{3,12} =65.9
PPO+vakum	Bc	Ab	Ab	Aa	P<0.0001
PPO+CO ₂ <i>PPO+CO₂</i>	33.51±1.05	12.67±1.62	12.67±1.62	36.02±0.00	F _{3,12} =72.4
PPO+CO ₂	Aa	Bb	Ab	Aa	P<0.0001
Kontrol <i>Control</i>	9±0.57	11.25±1.25	11.25±1.25	6.25±1.25	Uygulamalar: F _{2,36} =203.71, P<0.0001 Dönemler: F _{3,36} =11.83, P<0.0001
F ve P değeri <i>F and P value</i>	F _{2,9} =198.2 P<0.0001	F _{2,9} =21.9 P=0.0003	F _{2,9} =12.8 P=0.0023	F _{2,9} =108.9 P<0.0001	Uygulamalar x Dönem: F _{6,36} =39.24, P<0.0001

*Ortalamlar arasındaki farklılıklar % 5 önem seviyesinde Tukey testine göre ortaya konmuştur. Aynı sütunda bulunan farklı büyük harfler ve aynı satırda bulunan farklı küçük harfler istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Metil bromide ozon delici madde listesinde yer almasından dolayı kullanımının yasaklanması sonrası depolanmış ürün zararlılarının mücadelesinde metil bromidin yerine geçecek bazı alternatif kimyasal fümigantlar önerilmiştir (UNEP, 1995). Bunların arasında bulunan propilen oksit kısa uygulama süresinde bazı depolanmış ürün zararlılarının mücadelesinde kullanılmasına yönelik umut verici sonuçlar vermiştir (Isikber ve ark., 2002; Navarro ve ark., 2004; Isikber ve ark., 2006). Ancak çevresel koşulları, ürünün tipi ve ekipmanın performansı gibi birçok koşullar ticari fümigasyonu etkilediği bilinmektedir. Propilen oksitin depolanmış ürün zararlısı böceklerle karşı etkinliğinin ve ürün içerisindeki penetrasyon yeteneğinin bilinmesi PPO gazının gıda sanayinde ticari fümigant olarak kullanılmasında büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada tek başına PPO, PPO+vakum ve PPO+CO₂ uygulamalarının ürünlü ve ürünsüz ortamda *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemlerine karşı biyolojik etkinliği araştırılmıştır.

Ürünsüz ortamda yürütülen biyolojik testlerde,

ürünsüz ortamda 10 µl l⁻¹ PPO+vakum uygulamasının *P. interpunctella*'nın ergin, yumurta ve pupalarının %100 ve %100'e yakın ölüm oranlarına neden olduğu tespit edilmiştir. 10 µl l⁻¹ PPO+CO₂ uygulaması ise sadece *P. interpunctella*'nın erginlerinde %100'e yakın ölüm oranına yol açmıştır. Tek başına PPO uygulamasında hiçbir biyolojik dönemde %100 ölüm oranına ulaşamamıştır. Kuru incir kullanılan ortamda yürütülen biyolojik testlerde, 10 µl l⁻¹ PPO+vakum uygulamasında *P. interpunctella* erginlerinin ölüm oranının %100 olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Misumi ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada PPO+vakum uygulamasında zararlı erginlerinin ölüm oranının %100 olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışma kapsamında yapılan biyolojik testlerden elde edilen sonuçlar, PPO'nun vakum veya yüksek CO₂ konsantrasyonu altında uygulandığında tek başına PPO uygulamasına kıyasla *P. interpunctella*'ya karşı daha yüksek insektisidal etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde; Navarro ve ark. (2004), yürütmüş oldukları çalışmada; PPO'nun 100 mm Hg vakum ve %92 CO₂ ile kombinasyon halinde

kullanıldığında *T. castaneum*'un yumurta dönemi hariç diğer tüm gelişme dönemlerindeki ölüm oranlarının tek başına PPO uygulamasındaki ölüm oranlarına kıyasla önemli oranda daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar; PPO+vakum ve PPO+CO₂ kombinasyonlarının etkili bir şekilde zararlılar üzerinde biyolojik etkinlik sağladığını kanıtlamaktadır. Bir başka anlamda yapılan çalışmalar neticesinde, 100 mm Hg ve %92 CO₂in PPO'nun zararlılara karşı toksisitesi üzerine sinerjistik bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan tüm biyolojik uygulamalarda, ürünsüz ve ürünlü (kuru incir ve fındık) ortamların *P. interpunctella* üzerindeki etkinliklerinde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda, *P. interpunctella*'nın tüm biyolojik dönemlerini baskı altına alabilmek amacıyla kabuklu fındık bulunan ortamda kuru incire kıyasla daha yüksek PPO konsantrasyonuna ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, kabuklu fındığın kuru incire göre daha yüksek PPO absorpsiyon oranına sahip olduğundan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Isikber ve ark. (2006); PPO'nun yerfıstığı, badem ve ceviz gibi yağlı ürünlerde hızlı bir şekilde absorbe edildiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Zettler ve ark. (2003) araştırmalarında badem, pıkan cevizi ve ceviz gibi ürünlerin PPO'yu hızlı bir şekilde absorbe ettiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, Isikber ve ark. (2012) tarafından yürütülen çalışmada; kuru incirde PPO'nun daha düşük oranda absorbe edildiğini (ilk PPO konsantrasyonun %50'si) bildirmişlerdir. Bu bulgular, ürün tipinin PPO absorpsiyonunu etkileyebileceğini ve kuru incirin diğer yağlı ürünlere göre daha az absorpsiyon gösterdiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, PPO'nun 100 mm Hg düşük basınç ve %92 CO₂ ile kombinasyonunun özellikle kuru incirde böcek bulaşmalarının hızlı bir şekilde kontrol edilmesinde (karantina uygulamalarında) metil bromide potansiyel bir alternatif fümigant olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ancak, bu sonuçların pratikte kullanımı için büyük ölçekli ticari denemelerin yapılması gerekmektedir. Bir başka deyişle bu çalışmanın uygulanabilirliği, bu çalışmaya ek gelecekte yapılacak olan farklı çalışmaların yapılması ile mümkün olacaktır. Bu nedenle, PPO'nun ticari kullanımı için daha fazla çalışma ve değerlendirme yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, yüksek lisans tez çalışmasının verilerini içermektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267.
- Alavanja, M.C., Blair, A., & Masters, M.N. (1990). Cancer mortality in the US flour industry. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 82(10), 840-848. <https://doi.org/10.1093/jnci/82.10.840>.
- Anonim, (2023). Propilen oksit. https://www.atamanchemicals.com/propylene-oxide_u27184/?lang=TR. (Alınma tarihi: 17.01.24).
- Aşkın, A.K., Yiğit, Ş., Saruhan, İ., & İzzet, A. (2022). Biyolojik Preparatların *Halyomorpha halys* (Stål, 1885) (Hemiptera: Pentatomidae)'a Karşı Etkinliğinin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(1), 100-104. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.891237>.
- Bayyurt, D., & Kocakoç, İ.D. (2023). Yapay Sinir Ağları NARX ile Türkiye Fındık Üretim Miktarı Tahmini. *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 9(1), 15-35. <https://doi.org/10.46849/guibd.1271782>.
- Benhalima, H., Chaudhry, M., Mills, K., & Price, N. (2004). Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research*, 40(3), 241-249. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(03\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(03)00012-2).
- Bilgili, Y. (2015). *Propilen oksitin depolanmış ürün zararlılarının karantina uygulamalarında metil bromide alternatif fümigant olarak değerlendirilmesi (Tez no 379687)*. [Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye., 74s.]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Celik, N., Sullivan, G., Ozman-Sullivan, S., & Ocal, H. (2008). Insect Pests of Stored Hazelnuts in Samsun Province, Turkey. VII International Congress on Hazelnut 845. Viterbo, Italy, 27 June 2008, pp. 515-520.
- Daglish, G.J., Nayak, M.K., & Pavic, H. (2014). Phosphine resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) from eastern Australia: Inheritance, fitness, and prevalence. *Journal of Stored Products Research*, 59, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.03.007>.
- Ferizli, A.G., & Emekçi, M. (2013). Depolanmış ürün zararlılarının kimyasal ve kimyasal olmayan yöntemlerle savaşımı. 11. Ulusal Tesizat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan 2013, ss. 3-12.

- Fields, P.G., & White, N.D. (2002). Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1), 331-359. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145217>.
- Garry, V., Nelson, R., Griffith, J., & Harkins, M. (1990). Preparation for human study of pesticide applicators: sister chromatid exchanges and chromosome aberrations in cultured human lymphocytes exposed to selected fumigants. *Teratogenesis, carcinogenesis, and mutagenesis*, 10(1), 21-29. <https://doi.org/10.1002/tcm.1770100104>.
- Gautam, S., Opit, G., & Hosoda, E. (2016). Phosphine resistance in adult and immature life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) populations in California. *Journal of Economic Entomology* (109), 2525-2533. <https://doi.org/10.1093/jee/tow221>.
- Isikber, A.A., Navarro, S., Finkelman, S., & Rindner, M. (2006). Propylene Oxide: A potential quarantine and pre-shipment fumigant for disinfestation of nuts. *Phytoparasitica*, 34, 412-419.
- Isikber, A.A., Navarro, S., Finkelman, S., Azrieli, A., Rindner, M., Dias, R. (2002). Propylene oxide as a potential alternative to methyl bromide. Proceeding of 8th International Working Conference on Stored Product Protection. CAB International, Wallingford, United Kingdom (Editörler: Credland, P.F.; Armitage, D.M.; Bell, C.H.; Cogan, P.M.; Highley, E.). York, UK, 22-26 July 2002, pp. 823-826.
- İşikber, A.A., Öztekin, M.S., Dayisoğlu, K.S., Duman, A., & Eroğlu, S. (2015). Efficacy of gaseous ozone at high concentrations against *Plodia interpunctella* (Hübner) and *Ephesia cautella* (Walker) in Almond. *Turkish Journal of Entomology*, 39(2), 187-198. <https://doi.org/10.16970/te.76791>.
- Isikber, A.A., Oztekin, S., Dayisoğlu, K.S., & Duman, A.D. (2012). Propylene oxide as potential quarantine fumigant for insect disinfestation of dried figs. Proceedings of the 9th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, Antalya, Turkey, 15-19 October 2012, pp: 345-352.
- Jarratt, J.H., Wallace, M.J., & Daly, G. (2001). *Pest management Principles: Industrial, Institutional, and Structural Pest Control*, Category 7-A. Mississippi State University Extension Service.
- Karadeniz, O., Erhan, A., & Abacı, N.İ. (2021). Fındık tarımında çocuk işçiliği: Giresun ili Piraziz ilçesi örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(3), 398-407. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.908552>.
- Küçüktopcu, Y., Beyza, C., & Saruhan, İ. (2023). Bazı Bitki Ekstraktlarının *Tribolium confusum*'ün Jacquelin Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) Larva ve Ergin Dönemleri Üzerine Etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(3), 570-578. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.a.vi.1109845>.
- Küçüktopcu, Y. (2023). Bazı bitki ekstraktları ve inert tozların *Trogoderma granarium* Everts (Col.: Dermestidae) ve *Plodia interpunctella* Hübner (Lep.: Pyralidae) üzerine etkilerinin belirlenmesi [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Meylan, W., Papa, L., De Rosa, C., & Stara, J. (1986). The chemical of current interest propylene oxide: health and environmental effects profile. *Toxicology and Industrial Health*, 2(3), 219-260. <https://doi.org/10.1177/0748233786002003>.
- Misumi, T., Kitamura, H., Suzuki, N., Aoki, M., Shukuya, T., Tamada, K., & Tanigawa, N. (2011). Susceptibility of stored-product insect pests [Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae); granary weevil, *Sitophilus granarius*; and maize weevil, *S. zeamais* (Coleoptera: Dryophthoridae)] to propylene oxide fumigation at normal atmospheric pressure. *Res. Bull. Pl. Prot. Japan*, 47, 25-32.
- Navarro, S., Isikber, A., Finkelman, S., Rindner, M., Azrieli, A., & Dias, R. (2004). Effectiveness of short exposures of propylene oxide alone and in combination with low pressure or carbon dioxide against *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 40(2), 197-205. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00097-8).
- Ohtani, H., Horiguchi, S., Urano, Y., Iwasaka, M., Tokuhashi, K., & Kondo, S. (1989). Flammability limits of arsine and phosphine. *Combustion and Flame*, 76(3-4), 307-310. [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(89\)90113-2](https://doi.org/10.1016/0010-2180(89)90113-2).
- Sağlam, Ö., Edde, P.A., & Phillips, T.W. (2015). Resistance of *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae) to fumigation with phosphine. *Journal of Economic Entomology*, 108(5), 2489-2495. <https://doi.org/10.1093/jee/tov193>.
- SAS. (2009). SAS Ins / STAT R User's Guide, Version 9, 4th Ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schneider, S.M., Roskopf, E.N., Leesch, J.G., Chellemi, D.O., Bull, C.T., & Mazzola, M. (2003). United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service research on alternatives to methyl bromide: pre-plant and post-harvest. *Pest management science: formerly Pesticide Science*, 59(6-7), 814-826. <https://doi.org/10.1002/ps.728>.
- Şen, F., Meyvacı, K.B., Aksoy, U., Emekci, M., & Ferizli, A.G. (2009). Effects of the post-harvest application of methyl bromide alternatives on storage pests and quality of dried fig. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(4), 403-412.

- <https://doi.org/10.3906/tar-0809-11>.
- Tütüncü, Ş., & Emekçi, M. (2014). Kuru incir zararlısı *Carpophilus hemipterus* (L.) (Coleoptera: Nitidulidae)'un değişik yaşlı pupalarına fosfin gazının etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(4), 399-405. <https://doi.org/10.15832/tbd.32537>.
- Zettler, J., Hartsell, P., Allred, D., Muhareb, J., Hurley, J., & Gill, R. (2003). Sorption and insect toxicity of propylene oxide in dried fruits and nuts. *Advances in stored product protection. Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection*, York, UK, 22-26 July 2002.