



Bakır Uygulamasının *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)'un Gelişim Süresi, Verim, Eşey Oranı ve Ömür Uzunluğuna Etkilerinin Belirlenmesi

Determination of the Effects of Copper Treatment
on Development Period, Fecundity, Sex Ratio
and Longevity of *Bracon hebetor* (Hymenoptera:
Braconidae)

Nevran Eylem AKMAN GÜNDÜZ¹, Nuran KORKMAZ BOZ²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Samsun
• gunduzeylem@gmail.com • ORCID > 0000-0001-5777-470X

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Samsun
• nurankorkmaz@gmail.com • ORCID > 0000-0001-8216-3097

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş Tarihi / Received: 8 Temmuz / July 2021

Kabul Tarihi / Accepted: 15 Ekim / October 2021

Yıl / Year: 2022 | **Cilt – Volume:** 37 | **Sayı – Issue:** 2 | **Sayfa / Pages:** 291-300

Atrf/Cite as: Akman Gündüz, N. E. ve Korkmaz Boz, N. "Bakır Uygulamasının *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)'un Gelişim Süresi, Verim, Eşey Oranı ve Ömür Uzunluğuna Etkilerinin Belirlenmesi". *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37(2), Haziran 2022: 291-300.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nevran Eylem AKMAN GÜNDÜZ

BAKIR UYGULAMASININ *BRACON HEBETOR* (HYMENOPTERA: BRACONİDAE)'UN GELİŞİM SÜRESİ, VERİM, EŞEY ORANI VE ÖMÜR UZUNLUĞUNA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZ:

Bakır uygulamasının *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)'un gelişim süresi, verim, eşey oranı ve ömür uzunluğu üzerindeki etkisi laboratuvar koşullarında araştırılmıştır. Son evre *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvaları konukçu olarak kullanılmıştır. Üç farklı konsantrasyonda bakır (50, 100 ve 200 mg kg⁻¹) konukçu türün yapay besinine ilave edilmiş ve denemeler bu konukçular üzerinde yetiştirilen parazitoitlerde gerçekleştirilmiştir. Bakır uygulaması sadece 200 mg kg⁻¹ konsantrasyonunda bakır içeren grupta bulunan dişilerin gelişim süresinde uzamaya neden olurken, erkeklerde önemli bir etki belirlenmemiştir. Ayrıca, bakır parazitoitlerin verim, eşey oranı ve ömür uzunluğunda önemli herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bracon hebetor*, Gelişim süresi, Verim, Eşey oranı, Ömür uzunluğu.



DETERMINATION OF THE EFFECTS OF COPPER TREATMENT ON DEVELOPMENT PERIOD, FECUNDITY, SEX RATIO AND LONGEVITY OF *BRACON HEBETOR* (HYMENOPTERA: BRACONİDAE)

ABSTRACT:

The impact of the copper treatment on developmental period, fecundity, sex ratio and longevity of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) was examined under laboratory conditions. Late instar larvae of *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae) were used as host species. Three different concentrations (50, 100 and 200 mg kg⁻¹) of copper were added to the synthetic diet of host species and parasitoids reared on these hosts were used for the experiments. Treatment with copper prolonged the development period of females at only 200 mg kg⁻¹ concentration, but no significant effect determined for males. Moreover, copper applications did not make any significant change in fecundity, sex ratio and longevity of parasitoids.

Keywords: *Bracon hebetor*, Developmental period, Fecundity, Sex ratio, Longevity.

1. GİRİŞ

Ağır metaller yerkürenin olağan bileşenleridir ve yer kabuğunun aşındırıcı öğeleri ile volkanik aktiviteler ağır metallerin ortaya çıkmasına katkıda bulunan doğal olaylardır. Toprak, kaya, sediment, ve su gibi ortamlarda normal değerlerde bulunabilen bu metallerin konsantrasyonu, hızla artan insan nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak için gerçekleştirilen endüstriyel aktiviteler, evsel, tarımsal, medikal ve teknolojik uygulamalar sonucunda artmakta ve farklı yollarla organizmalara alınarak onların yaşamsal faaliyetlerini etkilemektedir (Nummelin ve ark., 2007; Azam ve ark., 2015).

Böcekler yaklaşık bir milyon tanımlanmış türüyle hayvanlar alemindeki en büyük sınıfı oluşturmaktadır (Stork, 2018). Karasal tür çeşitliliğinin ve biyokütlenin büyük bir kısmını oluşturmaları ve pek çok besin zincirinin ana bileşeni olmaları nedeniyle ekosistemin yapısı üzerinde oldukça etkilidirler (Lindqvist ve Block, 1997; McGeoch, 1998). Son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı böcek türleri çevre kalitesinin indikatörleri olarak ve/veya farklı kimyasal maddelerin canlılar üzerindeki etkilerini gözlemek için yürütülen laboratuvar çalışmalarında model organizma olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalar arasında ağır metallerin böcekler üzerindeki değişik etkilerine yönelik çalışmalar oldukça dikkat çekicidir. Elde edilen sonuçlar, ağır metallerin böceğin biyokimyasal kompozisyonu (Ortel, 1991; Wu ve ark., 2006; El-Sheikh ve ark., 2010; Emre ve ark., 2013; Baghban ve ark., 2014; Yılmaz ve Gündüz, 2021), enzim aktivitesi (Migula ve ark., 2004; Li ve ark., 2005; Emre ve ark., 2013; Suganya ve ark., 2016), bağışıklık sistemi (Ooik ve ark., 2007; Sun ve ark., 2011; Gündüz ve ark., 2020), hayatta kalma (Nieminen ve ark., 2001; Gao ve ark., 2012), üreme (Gao ve ark., 2012), solunum (Ortel ve Vogel, 1989), büyüme ve gelişme (Gintenreiter ve ark., 1993; Ye ve ark., 2009; Safaee ve ark., 2014) gibi özelliklerini etkilediğini göstermiştir. Bu çalışmalardan yola çıkılarak, bu çalışmada küçük balmumu güvesi larvalarına besin yolu ile farklı konsantrasyonlarda bakır verilerek, bu larvalar üzerinde yetiştirilen parazitoit *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae)'un gelişim süresi, verim, eşey oranı ve ömür uzunluğu gibi yaşamsal faaliyetlerinin etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada parazitoit türü olarak *Bracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae), konukçu olarak Küçük Balmumu Güvesi, *Achroia grisella* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Pyralidae)'nın son evre larvaları kullanılmıştır. Parazitoit ve konukçu türünün stok kültürleri hazırlanarak çalışmalara başlanmıştır.

2.1. Konukçu Kültürlerinin Hazırlanması

Konukçu olarak kullanılan *A. grisella* stok kültürlerini hazırlamak için Biyoloji Bölümü Hayvan Fizyolojisi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan kültürlerden elde edilen erginler kullanılmıştır. Kültürlerin hazırlanmasında besin olarak Bronskill (1961) tarafından geliştirilen ve Sak ve ark. (2006) tarafından modifiye edilen yapay besin içeriği kullanılmıştır. Yapay besin ortamına bakır ilave etmek için öncelikle 2000 ppm konsantrasyonunda bakır içeren stok çözelti hazırlanmış, daha sonra bu çözelti kullanılarak 50, 100 ve 200 mg kg⁻¹ bakır içeren yapay besinler hazırlanmıştır. Konukçu kültürlerini oluşturmak için hazırlanan yapay besinden cam kavanozlara konulmuş ve her kavanoza 10-15 adet *A. grisella* ergini ilave edilerek kavanozların ağız kısımları hava sirkülasyonunu önlemeyecek şekilde bir bez ile kapatılmıştır. Hazırlanan kültürler 25±2 °C sıcaklık, % 65±5 bağıl nem ve 16:8 (A:K) fotoperiyot koşullarına sahip laboratuvarında muhafaza edilmiştir. Bu işlem düzenli aralıklarla her hafta tekrarlanarak bu kültürlerden elde edilen son evre larvalar denemelerde kullanılmıştır.

2.2. Parazitoit Kültürlerinin Hazırlanması

Parazitoit *B. hebetor* stok kültürlerinin kurulmasında Gündüz ve Gülel (2005)'in kullandığı yöntemden yararlanılmıştır. Bunun için içerisinde bir adet konukçu larvası ve %50 oranında seyreltilmiş bal çözeltisi emdirilmiş pamuk toplar bulunan deney tüplerine bir çift parazitoit konulmuştur. Hazırlanan tüpler yukarıda belirtilen laboratuvar şartlarında tutulmuş ve bu işlem belli aralıklarla tekrarlanarak yeni parazitoit kültürleri hazırlanmıştır.

2.3. Bakırın Parazitoitin Gelişim Süresi, Verim, Eşey Oranı ve Ömür Uzunluğuna Etkisinin Belirlenmesi

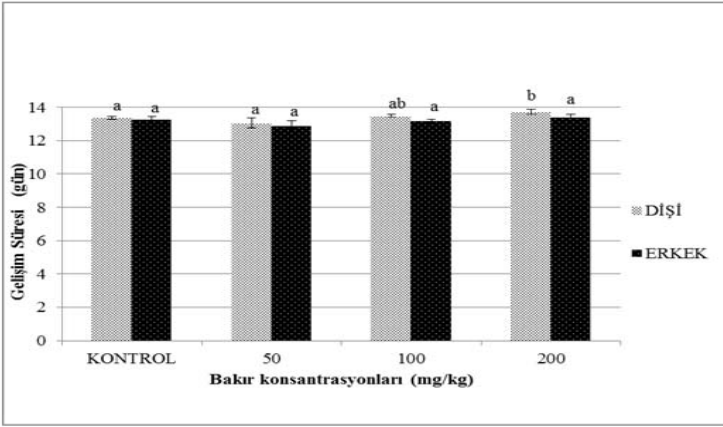
Ağır metallerin parazitoitin yumurtadan ergine kadar olan gelişim süresi, verim ve eşey oranına etkisini belirlemek için, yeni ergin olmuş dişi ve erkek parazitoitler çift oluşturularak ağır metal içeren besinle beslenmiş konukçu larvası ve bal emdirilmiş pamuk toplar bulunan deney tüplerine konulmuştur. Parazitoitler buldukları tüplerden gün aşırı çıkarılarak aynı şekilde hazırlanan yeni tüplere aktarılmıştır. Aktarma işlemi dişi parazitoit ölünceye kadar sürdürülmüş ve hazırlanan tüpler yukarıda belirtilen laboratuvar koşullarında tutulmuştur. Tüplerdeki parazitlenmiş konukçular her gün kontrol edilerek parazitoitlerin ergin olması için geçen süre, bir dişiden elde edilen ergin parazitoit sayısı ve eşeyleri belirlenerek kaydedilmiştir. Yeni ergin olan 0-24 gün yaşlı erkek ve dişi parazitoitler ayrı ayrı deney tüplerine konularak bunlara besin olarak ballı pamuk verilmiş ve ömür uzunluğu denemelerinde kullanılmıştır. Denemeler her bir konsantrasyon için 3 kez tekrarlanmıştır.

2.4. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Bakır uygulamasının parazitoitin gelişim süresi, verim, eşey oranı ve ömür uzunluğu üzerindeki etkisi tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) kullanılarak karşılaştırılmış, bu testten elde edilen sonuçların önemli olması halinde ortalamalar “Student-Newman-Keul (SNK) Testi” kullanılarak ayrılmıştır. Aynı grupta bulunan erkek ve dişi parazitoitlerin ömür uzunluklarının karşılaştırılmasında ise “Bağımsız-Örneklem T testi” kullanılmış ve $p=0.05$ güven sınırı esas alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bakırın dişi ve erkek parazitoitlerin gelişim süresine etkisi ile ilgili sonuçlar Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, bakır ilavesinin 200 mg kg^{-1} bakır içeren grupta bulunan dişilerin gelişim süresinde uzamaya neden olduğu ($P \leq 0.05$), ancak diğer gruplarda bulunan dişilerde önemli bir değişime neden olmadığı görülmektedir ($P > 0.05$). Ayrıca, erkeklerin gelişim sürelerinin kontrol grubunda bulunanlar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir ($P > 0.05$).



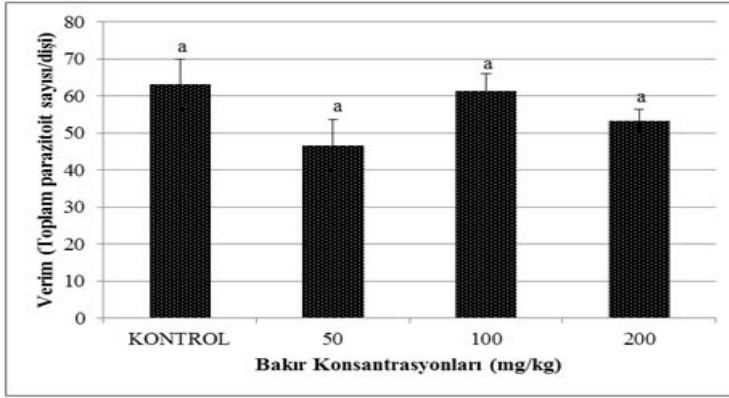
Şekil 1. Bakırın *B. hebetor*'un gelişim süresine etkisi. Aynı eşeyde aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

Figure 1. Effect of copper on developmental time of *B. hebetor*. Means within the same sex followed by the same letter are not significantly different (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

Kazimirova ve ark. (1997) benzer şekilde *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) türüne besin yolu ile ağır metal verdiklerinde bu konukçular üzerinde yetiştirilen parazitoit *Coptera occidentalis* (Hymenoptera: Proctotrupoidea: Diapriidae)'in gelişiminin bundan olumsuz etkilenmediğini belirlemişlerdir. Buna karşın

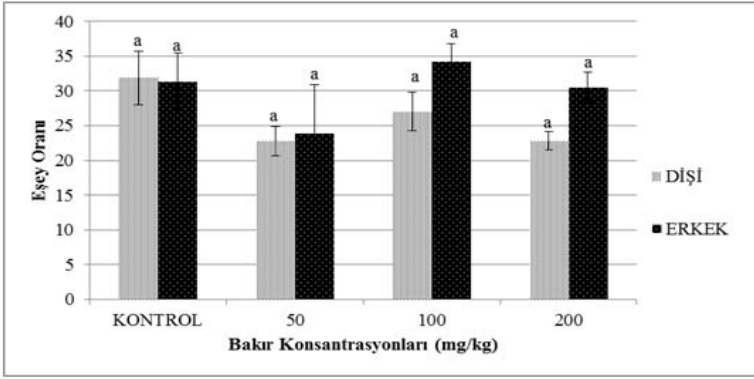
Ye ve ark. (2009) konukçu besinine ilave edilen bakırın besin zinciri yolu ile az miktarda aktararak *Nasonia vitripennis*'e (Hymenoptera:Pteromalidae) geçtiğini ve parazitoitin büyüme ve gelişimini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Ye ve ark. (2009) bu olumsuz etkinin bakırın doğrudan oluşturduğu stresten ziyade konukçunun besinsel açıdan yetersiz hale getirilmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. *Homona coffearia* (Lepidoptera: Tortricidae) ile gerçekleştirilen çalışmada da besine bakır (12.5-150 ppm) ilave edildiğinde larval gelişim süresinin uzadığı gözlenmiştir (Sivapalan ve Gnanapragasam, 1980). Singh ve Bhupinderjit (2017) ise farklı konsantrasyonda kadmiyum klorür çözeltisine maruz bırakılan rat dokularında yetiştirilen *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) larvalarında gelişimin yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında daha uzun sürdüğü tespit etmişlerdir. Ayrıca, Cohn ve ark. (1992), *D. melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) ile yaptıkları çalışmada farklı kurşun konsantrasyonlarına maruz bırakılan hem erkek hem de dişi böceklerde gelişimin yavaşladığını belirlemişlerdir. Ağır metallerin böceklerin gelişimine etkileri ile ilgili olarak bildirilen tüm bu çalışma sonuçlarının birbirinden farklı olması çalışmalarda kullanılan böcek türlerinin, hayat evrelerinin, uygulanan ağır metal konsantrasyonlarının, uygulanma şeklinin ve süresinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

Bakırın *B. hebetor*'un toplam verim ve eşey oranına etkisiyle ilgili olarak, Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde, bakır uygulanan gruplar ile kontrol grubunda bulunanlar arasında hem verim hem de eşey oranı açısından istatistiksel açıdan önemli herhangi bir farklılık bulunmadığı görülmektedir ($P > 0.05$).



Şekil 2. Bakırın *B. hebetor*'un verimine etkisi. Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

Figure 2. Effect of copper on fecundity of *B. hebetor*. Means followed by the same letter are not significantly different (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

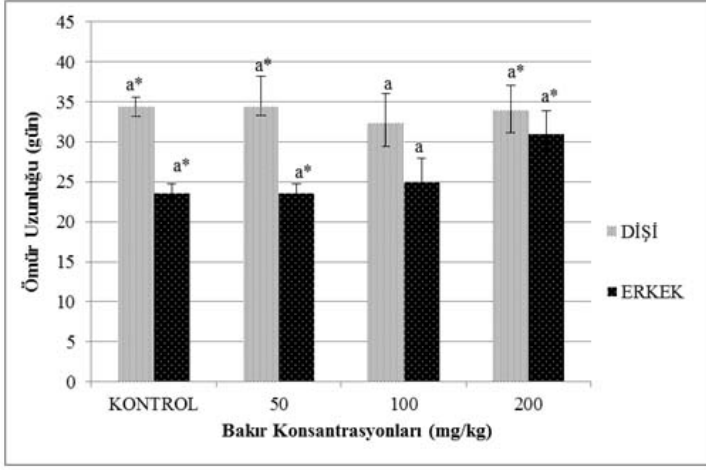


Şekil 3. Bakırın *B. hebetor*'un eşey oranına etkisi. Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

Figure 3. Effect of copper on sex ratio of *B. hebetor*. Means followed by the same letter are not significantly different (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

Bakır çeşitli metabolik aktivitelerin sürdürülmesi için gerekli esansiyel bir iz elementtir. Bu yüzden vücut dokularındaki bakır miktarı diğer esansiyel olmayan metallere göre daha kolay şekilde düzenlenebilir (Hunter ve Johnson, 1982). Ayrıca konukçuya besin yolu ile verilen bakır parazitoite onun verim ve eşey oranını etkileyecek düzeyde geçmemiş olabilir. Bu açıklamalar verim ve eşey oranlarında farklılık belirlenmemiş olmasının nedenini anlamamıza yardımcı olabilir. Bununla birlikte, Ye ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada konukçu yoluyla parazitoite geçen düşük miktardaki bakırın verimi olumsuz etkilediğini göstermişlerdir. Bir başka çalışmada ise, *Scotia segetum* (Lepidoptera: Noctuidae) türünün larvalarına besin yoluyla bakır verildiğinde verimin azaldığı gösterilmiştir (Zelenayora, 1986). Bakırın kullanıldığı ve böcek veriminin olumsuz etkilendiği bu iki çalışmada elde edilen sonuçların bulgularımızdan farklı olması aynı ağır metalin böcekler üzerindeki etkisinin türden türe, konsantrasyona ve uygulanma şekline göre farklı olduğunu göstermektedir.

Dişi ve erkek parazitoitlerin ömür uzunlukları bakır uygulanan gruplarda kontrol grubu ile benzer bulunmuştur ($P > 0.05$) (Şekil 4). Aynı grupta bulunan dişi ve erkeklerin ömür uzunlukları karşılaştırıldığında ise, 100 mg kg⁻¹ bakır içeren grup dışındaki tüm gruplarda eşeyler arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P \leq 0.05$).



Şekil 4. Bakırın *B. hebetor*'ün ömür uzunluğuna etkisi. Aynı eşeyde aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

: Aynı konsantrasyonda () ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (t testi, $P \leq 0.05$).

Figure 4. Effect of copper on longevity of *B. hebetor*. Means within the same sex followed by the same letter are not significantly different (One-way ANOVA, $P > 0.05$).

: Means within the same concentration followed by () is significant (t test, $P \leq 0.05$).

Ağır metal uygulamasının ömür uzunluğuna etkisi ile ilgili olarak Kazimirova ve ark. (1997) yaptıkları çalışma sonucunda kadmiyum ve kurşunun dişi parazitoitin ömür uzunluğunu arttırdığını, bakırın ise değiştirmedini belirlemişlerdir. Bulgularımızın aksine, ağır metallerin farklı böcek türlerinde ömür uzunluğunu azalttığına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır (Schmidt ve ark., 1991; Moe ve ark., 2001; Al-Misned, 2003; Cervera ve ark., 2004; Mircic ve ark., 2010).

4. SONUÇ

B. hebetor larva ektoparazitoiti bir türdür. Dişi parazitoit yumurtalarını konukçu larvası üzerine bırakır ve bırakılan yumurtalardan çıkan larvalar ergin öncesi gelişiminin tamamını bu konukçu larvası üzerinde tamamlar. Bu nedenle konukçudan alınan besin maddelerinin çeşidi ve miktarı parazitoit açısından oldukça önemlidir. Ergin öncesi dönemde alınan besinin parazitoitin gelişme süresi, verim, eşey oranı, ömür uzunluğu ve biyokimyasal kompozisyon gibi değişik özelliklerini etkilediği daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir.

Bu çalışmada küçük balmumu güvesi olarak bilinen *A. grisella* larvalarının besinine farklı konsantrasyonlarda bakır eklenerek, bu konukçular üzerinde yetiştirilen parazitoitlerin gelişim süresi, verim, eşey oranı ve ömür uzunluğu gibi yaşamsal özelliklerinin bu uygulamadan etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda sadece en yüksek bakır konsantrasyonunda bulunan dişilerin gelişim süresinde uzama olduğu, buna karşın araştırılan diğer özelliklerde önemli bir değişme olmadığı belirlenmiştir. Biyolojik özelliklerin etkilenmemiş olması bakırın esansiyel bir element olması ve/veya konukçu besinine ilave edilen bakırın oldukça az miktarda parazitoite geçmiş olması ile ilişkili olabilir. Çalışmada elde edilen sonuçlar bu konuda yapılan bazı çalışmalar ile benzerlik, bazıları ile farklılık göstermektedir. Bu durum ağır metalin etkisinin böcek türüne, gelişim evresine, ağır metalin türüne, konsantrasyonuna, uygulanma şekli ve süresine göre değişiklik göstermesiyle açıklanabilir.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): NEAG (%50), NKB (%50)

Veri Toplanması (Data Acquisition): NEAG (%50), NKB (%50)

Veri Analizi (Data Analysis): NEAG (%50), NKB (%50)

Makalenin Yazımı (Writing up): NEAG (%50), NKB (%50)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): NEAG (%50), NKB (%50)

KAYNAKLAR

- Al-Misned, F.A.M., 2003. Effect of cadmium on the longevity and fecundity of the blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). Kuwait Journal of Science and Engineering, 30(2): 81-84.
- Azam, I., Afsheen, S., Zia, A., Javed, M., Saeed, R., Sarwar, M.K., Munir, B., 2015. Evaluating insects as bioindicators of heavy metal contamination and accumulation near industrial area of Gujrat, Pakistan. BioMed Research International, 1: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2015/942751>.
- Baghban, A., Sendi, J.J., Zibae, A. and Khosravi, R., 2014. Effect of heavy metals (Cd, Cu, and Zn) on feeding indices and energy reserves of the cotton boll worm *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Plant Protection Research, 54(4): 368-371. doi: 10.2478/jppr-2014-0055.
- Bronskill, J.K., 1961. A cage to simplify the rearing of the greater wax moth, *Galleria mellonella* (Pyralidae). The Journal of the Lepidopterist's Society, 15: 102-104.
- Cervera, A., Maymo, A.C., Sendra, M., Martinez-Pardo, R., Garcera, M.D., 2004. Cadmium effects on development and reproduction of *Oncopeltus fasciatus* (Heteroptera: Lygaeidae). Journal of Insect Physiology, 50: 737-749. doi: 10.1016/j.jinsphys.2004.06.001.
- Cohn, J., Widzowski, D.V., Cory-Slechta, D.A., 1992. Lead retards development of *Drosophila melanogaster*. Comparative Biochemistry and Physiology, 102C (1): 45-49. doi: 10.1016/0742-8413(92)90041-5.
- El-Sheikh, Tarek M.Y., Hassan, M.I., Fouda Abd-Elghaphar, A.A. and Hasaballah, A.I., 2010. Toxicological effects of some heavy metal ions on *Culex pipiens* L.(Diptera:Culicidae). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 1: 63-76. doi:10.21608/eajbsf.2010.17465.

- Enre, I., Kayış, T., Coşkun, M., Dursun, O. and Cogun, H.Y., 2013. Changes in antioxidative enzyme activity, glycogen, lipid, protein and malondialdehyde content in cadmium-treated *Galleria mellonella* larvae. *Annals of the Entomological Society of America, Physiology, Biochemistry and Toxicology*, 106(3): 371-377. doi: 10.1603/AN12137.
- Gao, H.H., Zhao, H.Y., Du, C., Deng, M.M., Du, E.X., Hu, Z.Q and Hu, X.S., 2012. Life table evaluation of survival and reproduction of the aphid, *Sitobion avenae*, exposed to cadmium. *Journal of Insect Sciences*, 12 (44):44. doi: 10.1673/031.012.4401.
- Gintenreiter, S., Ortel, J., Nopp, H.J., 1993. Bioaccumulation of cadmium, lead, copper, and zinc in successive developmental stages of *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae, Lepid) – a life-cycle study. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 25: 55-61. <https://doi.org/10.1007/BF00230711>.
- Gündüz, N.E.A. ve Gülel, A., 2005. Ergin yaşı ve konukçu türünün parazitoit *Bracon hebetor* (say) (Hymenoptera: Braconidae)'un gelişme süresine etkisi. *Ondokuzmayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 31-36. <https://doi.org/10.7161/anajas.2005.20.2.31-36>.
- Gündüz, N.E.A., Mercan, S., Özcan, Ö., 2020. Effect of cadmium and lead on total hemocyte count of *Achroia grisella* Fabr. (Lepidoptera: Pyralidae). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1): 190-194. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.531102>.
- Hunter, B.A. ve Johnson, M.S., 1982. Food chain relationships of copper and cadmium in contaminated grassland ecosystems. *Oikos*, 38 (1): 108-117. <https://www.jstor.org/stable/3544572>.
- Kazimirova, M., Slovak, M., Manova, A., 1997. Host-parasitoid relationship of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Coptera occidentalis* (Hymenoptera: Proctotrupeoidea: Diapriidae) under host heavy metal stres. *European Journal of Entomology*, 94 (3): 409-420.
- Li, L., Xuemei, L., Yaping, G., Enbo, M., 2005. Activity of the enzymes of the antioxidative system in cadmium-treated *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acridoidae). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20: 412-416. doi: 10.1016/j.etap.2005.04.001.
- Lindqvist, L. and Block, M., 1997. Influence of life history and sex on metal accumulation in two beetle species (Insecta: Coleoptera). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 58: 518-522. <https://doi.org/10.1007/s001289900365>.
- McGeoch, M. A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*, 73: 181-201. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1997.tb00029.x>.
- Migula, P., Laszczyca, P., Augustyniak, M., Wilczek, G., Rozpedek, K., Kafel, A., Woloszyn, M., 2004. Antioxidative defence enzymes in beetles from a metal pollution gradient. *Biologia, Bratislava*. 59(5): 645-654. <https://www.researchgate.net/publication/228514312>.
- Mirčić, D., Jankovic-Tomanic, M., Nenadovic, V., Franeta, F. and Lazarevic, J. 2010. The effect of cadmium on the life history traits of *Lymantria dispar* L. *Archives of Biological Sciences Belgrade*, 62(4): 1013-1020. doi: 10.2298/ABS1004013M.
- Moe, S.J., Stenseth, N.C., Smith, R.H., 2001. Effects of a toxicant on population growth rates: sublethal and delayed responses in blowfly populations. *Functional Ecology*, 15: 712-721. <https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00575.x>.
- Nieminen, M., Nuorteva, P., Tulisalo, E., 2001. The effect of metals on the mortality of *Parnassium apollo* larvae, (Lepidoptera: Papilionidae). *Journal of Insect Conservation*, 5: 1-7. doi: <http://hdl.handle.net/1975/223>.
- Nummelin, M., Lodenius, M., Tulisalo, E., Hirvonen, H., Alanko, T., 2007. Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution. *Environmental Pollution*, 145: 339-347. doi: 10.1016/j.envpol.2006.03.002.
- Ooik, T., Rantala, M.J., Salonieni, I., 2007. Diet-mediated effects of heavy metal pollution on growth and immune response in the geometrid moth *Epirrita autumnata*. *Environmental Pollution*, 145: 348-354. doi:10.1016/j.envpol.2006.03.008.
- Ortel, J., 1991. Effects of lead and cadmium on chemical composition and total water content of the pupal parasitoid, *Pimpla turionellae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 59: 93-100. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1991.tb01491.x>.
- Ortel, J. and Vogel W.R., 1989. Effects of lead and cadmium on oxygen consumption and life expectancy of the pupal parasitoid, *Pimpla turionellae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 52 (1): 83-88. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1989.tb01251.x>.
- Safaei, S., Fereidoni, M., Shahri, N.M., Haddad, F., Mirshamsi, O., 2014. Effects of lead on the development of *Drosophila melanogaster*. *Periodicum Biologorum*, 116 (3): 259-265.

- Sak, O., Uçkan, F. and Ergin, E., 2006. Effects of cypermethrin on total body weight, glycogen, protein and lipid contents of *Pimpla turionella* (L.) (Hymenoptera: Ichneumonidae). The Belgian Journal of Zoology, 136: 53-58.
- Schmidt, G.H., Ibrahim, N.M.M., Abdallah, M.D., 1991. Toxicological studies on the long-term effects of heavy metal (Hg, Cd, Pb) in soil on the development of *Aiolopus thalassinus* (Fabr.) (Saltatoria: Acrididae). The Science of the Total Environment, 107: 109-133. doi: 10.1016/0048-9697(91)90254-c.
- Singh, D. ve Bhupinderjit, K.H., 2017. Effect of cadmium chloride on the development of *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) and its importance to postmortem interval estimate. Journal of Forensic Sciences and Criminal Investigation, 3 (5): 1-6. doi: 10.19080/JFSCI.2017.03.555622.
- Sivapalan, P. ve Gnanapragasam, N.C., 1980. Influence of copper on the development and adult emergence of *Homona coffearia* (Lepidoptera: Tortricidae) reared in vitro. Entomologia Experimentalis et Applicata, 28 (1): 59-63. doi: 10.1111/j.1570-7458.1980.tb02988.x.
- Stork, N.E., 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth?. Annual Review of Entomology, 63: 31-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>.
- Suganya, M., Karthi, S. and Shivakumar, M.S., 2016. Effect of cadmium and lead exposure on tissue specific antioxidant response in *Spodoptera litura*. Free Radicals and Antioxidants, 6(1): 90-100. doi: 10.5530/fra.2016.111.
- Sun, H.X., Dang, Z., Xia, Q., Tang, W.C., Zhang, G.R., 2011. The effect of dietary nickel on the immune responses of *Spodoptera litura* Fabricius larvae. Journal of Insect Physiology, 57: 954-961. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2011.04.008.
- Wu, G. Ye, G. Hu, C. and Cheng, J., 2006. Accumulation of cadmium and its effects on growth, development and hemolymph biochemical compositions in *Boettcherisca peregrina* larvae (Diptera: Sarcophagidae). Insect Science, 13: 31-39. doi: 10.1111/j.1744-7917.2006.00065.x.
- Ye, G.Y., Dong, S.Z., Dong, H., Hu, C., Shen, Z.C., Cheng, J.A., 2009. Effects of host (*Boettcherisca peregrina*) copper exposure on development, reproduction and vitellogenesis of the ectoparasitic wasp, *Nasonia vitripennis*. Insect Science, 16: 43-50. doi: 10.1111/j.1744-7917.2009.00252.x.
- Yılmaz, Y., Gündüz, N.E.A., 2021. Kadmiyumun küçük balmumu güvesi larvalarında protein, lipid ve karbohidrat miktarları ile etkileşimi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 36: 326-333. doi:10.7161/omuanajas.886642.
- Zelenayora, E., 1986. *Scotia segetum* (Lepidoptera, Noctuidae) oogenesis affected by copper ions added to semisynthetic diet of larvae. Biologia, 41: 563-577.