

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Hyphantria cunea L. (LEPIDOPTERA: ARCTIIDAE) LARVALARINA BAZI
SEKONDER MADDELERİN VE AĞIR METALLERİN BİRLİKTE ETKİSİ

ELİF FATMA TOPKARA

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

SAMSUN
2016

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Elif Fatma TOPKARA tarafından hazırlanan "*Hyphantria cunea* L. (Lepidoptera: Arctiidae) Larvalarına Bazı Sekonder Maddelerin ve Ağır Metallerin Birlikte Etkisi" adlı tez çalışması .../.../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Erguzhan YANAR
Biyoloji Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Şevket KANDEMİR
Amasya Üniversitesi
Fen Bilgisi Anabilim Dalı

Üye

Doç. Dr. Eylem AKMAN GÜNDÜZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Biyoloji Anabilim Dalı

Üye

Doç. Dr. Deniz EKİNCİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Üye

Doç. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ
Ahi Evran Üniversitesi
Biyoloji Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2016

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

Elif Fatma TOPKARA

ÖZET

Doktora Tezi

Hyphantria cunea L. (LEPIDOPTERA: ARCTIIDAE) LARVALARINA BAZI
SEKONDER MADDELERİN VE AĞIR METALLERİN BİRLİKTE ETKİSİ

Elif Fatma TOPKARA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan YANAR

Bu çalışmanın amacı *Hyphantria cunea*'nın birinci neslinin son larva evresine sekonder maddelerden tanik asit ve gallik asidin, ağır metallere ise demir, çinko, bakır, nikel ve kobaltın toplam besin tüketim miktarı, pupa ağırlığı, pupa protein ve lipid miktarı ve gelişim süresi üzerine olan birlikte etkisini araştırmaktır. Bunun için kontrol besinine kuru ağırlığın % 2.5, % 5 ve % 7.5'lik konsantrasyonlarında tanik asit ve gallik asit katılarak 6 besin hazırlanmıştır. % 4, % 8 ve % 12 konsantrasyonlarında nikel, çinko, bakır, kobalt ve demir çözeltileri hazırlanarak 15 besin yapılmıştır. Tanik asit ve gallik asidin her birinin % 5'lik konsantrasyonlarına ağır metallerin % 8'lik çözeltileri ilave edilerek 10 besin hazırlanmıştır. Lipit miktarının belirlenmesinde kloroform kullanılmıştır. Protein analizi semi-mikro Kjeldahl metodu ile Kjeltex Auto 1030 analizörü (Tecator, Sweden) ile yapılmıştır. Tüm analizler ANOVA-Dunnet testi ile belirlendi. Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle toplam besin tüketim miktarları, pupa ağırlıkları, pupa protein miktarları ve pupa lipid miktarları azalmıştır ($P<0,05$). Aksine, artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle bunlarda artış olduğu bulunmuştur. Artan konsantrasyonlarda demir ve bakır ilavesiyle toplam besin tüketim miktarları, pupa ağırlıkları, pupa protein miktarları ve pupa lipid miktarlarının azaldığı, gelişim süresinin ise uzadığı bulunmuştur. Çinko konsantrasyonunun artışıyla pupa protein miktarı artmış, lipid miktarı ise azalmıştır ($P<0,05$). Bu çalışmada, kullanılan sekonder maddelerin ve ağır metallerin ilgili konsantrasyonlarına larvaların dirençli olduğu ve pupa evresine ulaşabildikleri gözlemlenmiştir.

Ekim 2016, 92 sayfa

Anahtar kelimeler: Yapay besin, *Hyphantria cunea*, Sekonder metabolit, Ağır metal, Tanik asit, Gallik asit, Demir, Bakır, Nikel, Çinko, Kobalt.

ABSTRACT

Doctoral Dissertation

THE SINERGISTIC EFFECT OF SOME SECONDARY COMPOUNDS AND HEAVY METALS ON *Hyphantria cunea* L. (LEPIDOPTERA: ARCTIIDAE) LARVAE

Elif Fatma TOPKARA

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Biology

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Oğuzhan YANAR

The aim of this study was research the co-effects of tannic acid and gallic acid, which are secondary materials, and iron, zinc, copper, nickel and cobalt, which are heavy metals, on the total diet consumption amount, pupal weight, pupal protein and lipid amount and development time in the last instar of first generation of *Hyphantria cunea*. To this end, 2.5%, 5% and 7.5% concentrations of tannic acid and gallic acid were added to the dry weight of control diet and 6 artificial diets were prepared. 15 artificial diets were made by preparing 4%, 8% and 12% concentrations of nickel, zinc, copper, cobalt and iron solutions. 10 artificial diets were prepared by adding 8% solutions of heavy metals to 5% concentrations of tannic acid and gallic acid. Chloroform was used to find out the lipid amount. Protein analysis was conducted with semi-micro Kjeldahl method and Kjeltac Auto 1030 analyzer (Tecator, Sweden). All the analyses were determined with ANOVA-Dunnet test. With the increasing concentrations of tannic acid addition to the control diet, a decrease was found in total diet consumption amount, pupal weight, pupal protein and lipid amount. On the contrary, an increase was found in these with the addition of increasing concentrations of gallic acid ($P<0,05$). With increasing concentrations of iron and copper addition, total diet consumption amount, pupal weight, pupal protein and lipid amounts were found to decrease while development time was found to extend. With the increase in zinc concentration, pupal protein amount was found to increase, while lipid amount was found to decrease ($P<0,05$). In this study, it was observed that the larvae were resistant to the related concentrations of secondary compounds and heavy metals used and that they could reach the pupa stage.

October 2016, 92 pages

Key Words: Artificial diet, *Hyphantria cunea*, Secondary compound, Heavy metals, Tannic acid, Gallic acid, Iron, Copper, Nickel, Zinc, Cobalt.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince bilgisini, yardımını, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan YANAR'a en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince fikirleri ile yol bana gösteren ve destekte bulunan, Tez İzleme Komitesi'nde yer alan değerli hocalarım Doç. Dr. Eylem AKMAN GÜNDÜZ ve Doç. Dr. Deniz EKİNCİ'ye ve diğer jüri üyelerim Doç. Dr. Şevket KANDEMİR ve Doç. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ'a değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Lisansüstü eğitimim süresince bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Mahmut BİLGENER'e en kalbi duygularımla teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım süresince daima yanımda olan ve bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım İlknur BIYIK, Ülker RİZVANLI ve Gizem AYKOL'a teşekkürlerimi sunarım.

Kendi alanı olmadığı halde bana yardımcı olan, her zaman ve her koşulda yanımda olan sevgili dostum Ayşe VAN'a çok teşekkür ediyorum.

Tüm yaşamım boyunca olduğu gibi lisansüstü eğitimim süresince de benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2016, Samsun

Elif Fatma TOPKARA

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sekonder Metabolitler ve Bitki Savunması.....	2
1.1.1. Fenolik bileşikler ve bitki-herbivor etkileşimleri	3
1.1.1.1. Tanenler ve tanik asit	4
1.1.1.2. Gallik asit.....	5
1.1.2. Fenolik bileşiklerin herbivorlara etkileri.....	6
1.2. Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler	8
1.2.1. Elemental savunma hipotezi	10
1.2.2. Nikel (Ni)	13
1.2.2.1. Nikelin böceklerle etkileri.....	14
1.2.3. Çinko (Zn)	16
1.2.3.1. Çinkonun böceklerle etkileri.....	17
1.2.4. Bakır (Cu).....	18
1.2.4.1. Bakırın böceklerle etkileri.....	19
1.2.5. Kobalt (Co).....	20
1.2.5.1. Kobaltın böceklerle etkileri	20
1.2.6. Demir (Fe)	21
1.2.6.1. Demirin böceklerle etkileri	21
1.3. <i>Hyphantria cunea</i> L. (Lepidoptera: Arctiidae)'nın Karakteristik ve Ekolojik Özellikleri	22
1.4. Tezin Amacı	27
2. MATERYAL VE YÖNTEM	29
2.1. Larvaların Elde Edilmesi	29
2.2. Beslenme Deneyleri	29
2.3. Yapay Besin İçerikleri	30
2.4. Kloroform ile Lipit Analizi.....	32
2.5. Kjeldahl Metodu ile Protein Analizi	33
2.6. İstatistiksel Analizler.....	33
3. BULGULAR	35
4. TARTIŞMA.....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR

SİMGELER

cm ³	Santimetreküp
F	Varyans Analizi Test Değeri
g	Gram
HCl	Hidroklorikasit
kg	Kilogram
mg	Miligram
ml	Mililitre
M	Molar
µg	Mikrogram
NaOH	Sodyumhidroksit
ppm	Parts per million (Milyonda bir birim)
P	Önemlilik Seviyesi
sd	Serbestlik Derecesi
°C	Santigrat
%	Yüzde

KISALTMALAR

Co	Kobalt
Cu	Bakır
Fe	Demir
GA	Gallik Asit
KB	Kontrol Besini
Micro-PIXE	Micro-particle induced x-ray emission (PIXE)
Ni	Nikel
TA	Tanik Asit
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tanik asidin açık formülü	5
Şekil 1.2. Gallik asidin açık formülü	6
Şekil 1.3. <i>Hyphantria cunea</i> larvası	25
Şekil 1.4. <i>Hyphantria cunea</i> pupası	25
Şekil 1.5. <i>Hyphantria cunea</i> dişi (a) ve erkeği (b)	26
Şekil 1.6. <i>Hyphantria cunea</i> yumurtaları.....	26
Şekil 2.1. Beslenme deneyi için kurulan düzenekler	29
Şekil 3.1. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının besin gruplarına göre toplam besin tüketim miktarı ortalamalarının karşılaştırılması	38
Şekil 3.2. <i>Hyphantria cunea</i> pupalarının besin gruplarına göre ağırlık ortalamalarının karşılaştırılması	41
Şekil 3.3. Tam-olmayan bir pupa şekli (a) ve tam bir pupa şekli (b).....	42
Şekil 3.4. <i>Hyphantria cunea</i> pupalarının besin gruplarına göre protein miktarı ortalamalarının karşılaştırılması	45
Şekil 3.5. <i>Hyphantria cunea</i> pupalarının besin gruplarına göre lipit miktarı ortalamalarının karşılaştırılması	48
Şekil 3.6. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının besin gruplarına göre gelişme süresi ortalamalarının karşılaştırılması	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yamamoto yapay besinin içindeki madde miktarları (1 kg için)	31
Çizelge 2.2. Besin tipleri ve besin içerikleri	32
Çizelge 3.1. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen toplam besin tüketim miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması	36
Çizelge 3.2. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa ağırlıkları ve kontrol grubu ile kıyaslanması	39
Çizelge 3.3. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa protein miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması	43
Çizelge 3.4. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa lipit miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması	46
Çizelge 3.5. <i>Hyphantria cunea</i> larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen gelişme süreleri ve kontrol grubu ile kıyaslanması	49

1. GİRİŞ

Bitkiler ve böcekler 350 milyon yıldan daha uzun süredir birlikte yaşamaktadırlar. Genellikle bitkilerin herbivor böceklerle birlikte evrimleştiğine inanılmaktadır (Ehrlich & Raven, 1964; Feeny, 1976; Rhoades & Cates, 1976; Strong vd, 1984); buna rağmen, birlikte evrimleşme sürecinin doğası hala tam anlamıyla aydınlatılamamıştır. Birlikte evrimleşmede, hem bitkiler hem de bitkilerle beslenen böcekler birbirlerinin savunma sisteminden kaçmak için çeşitli stratejiler geliştirmiştir.

Doğal populasyonlarda bitkiler, kendilerine saldıran düşmanlarından kaçamadıkları, saklanamadıkları ya da daha uygun yerlere göç edemedikleri için, kendilerini korumak ve adaptasyon göstermek zorundadırlar (Nagy & Schäfer, 2002; Scheel & Wasternack, 2002). Bitkiler herbivor saldırısına karşı koymak için, herbivorlara toksik ve caydırıcı etkilere sahip olan proteinler ve sekonder metabolitler ya da özelleşmiş morfolojik yapılar üretirler (Usha Rani & Jyothsna, 2010; War vd, 2011a,b). Bitkiler hem böceklerin konak bitki tercihini dolayısıyla hayatta kalmalarını ve üreme başarılarını etkileyerek doğrudan, hem de zararlı böceklerin doğal düşmanları gibi diğer türleri çekerek dolaylı olarak herbivorlara karşı mücadele ederler (Howe & Jander, 2008; Dudareva vd, 2006; Arimura vd, 2009).

Doğrudan savunmalar ya herbivorları öldüren ya da gelişimlerini yavaşlatan terpenoidler, alkaloidler, antosiyaninler, fenoller ve kinonlar gibi toksik kimyasalların üretilmesi ya da bitki yüzeyindeki mekanik koruma (örneğin, kıllar, trikollar, dikenler, iğneler ve daha kalın yapraklar) gibi herbivorun biyolojisini etkileyen bitki karakteristikleriyle ilgilidir (Hanley vd, 2007). Yapısal savunmalar herbivorları beslenmeden direkt olarak caydırmayla bitkiye bir fitness avantajı sunan morfolojik ve anatomik özellikleri içerir (Agrawal vd, 2009). Kalınlaşmış yapraklar dokuların sindirilebilirliğini ve lezzetliliğini azaltarak ve dolayısıyla herbivor zararını azaltarak herbivorlara karşı bitki savunmasında aktif bir rol oynar (Hanley vd, 2007; Handley vd, 2005). Yaprak yüzey mumu, dikenler ya da trikollar, kalın hücre duvarı ve odunlaşma gibi bitkinin yapısal özellikleri herbivorların beslenmesi bakımından ilk fiziksel bariyeri oluştururlar ve canlının büyümesini, gelişmesini

etkileyen ve toksin olarak bulunan sekonder metabolitler bir sonraki saldırıdan bitkiyi koruyan daha sonraki bariyeri böylece oluşturmuş olurlar (Hanley vd, 2007; Agrawal vd, 2009).

Böceklere karşı dolaylı savunmalar herbivorların doğal düşmanlarını özellikle cezbeden ve/veya besin sağlama (örneğin, ekstra floral nektar) ve doğal düşmanların etkisini arttırmak için bulunan uçucuların bir karışımının salınmasıyla ilgilidir (Arimura vd, 2009). Bir parazitoidin kendi konağını hızlı bir şekilde öldürmesi ve böylece bitkiyi ileriki hasara karşı korumuş olmasından dolayı uçucu kimyasallarla herbivorların avcılarının cezbedilmesi bitkiye faydalı olabilmektedir (Sabelis & de Jong, 1988). Bununla beraber, bitkiler ve herbivorlar arasındaki silahlanma yarışı devam edecektir ve herbivorlar dirençli bitki genotiplerine karşılık olarak birlikte-evrimleşmeye devam etmektedirler (War vd, 2012).

1.1. Sekonder Metabolitler ve Bitki Savunması

Bitkiler, primer bileşiklerin yanı sıra bir dizi sekonder metabolit de üretmektedir. Bitkiler, organizmaların üremelerine, gelişmelerine, büyümelerine doğrudan karışmayan fakat türlerin hayatta kalmalarını, gelişmelerini, davranışlarını etkileyen ve **sekonder metabolit** olarak bilinen kimyasalları içermektedirler. Bu kimyasallar genellikle primer metabolit ürünlerin sentez ürünleridir (Whittaker, 1970). Bu savunma metabolitleri ya inaktif formlarda depolanırlar ya da böcek ya da mikroorganizma saldırısına karşılık indüklenebilirler. Sekonder metabolitler yalnızca farklı streslerden bitkileri korumazlar, aynı zamanda bitkilerin fitnessını da artırırlar (War vd, 2012).

Sekonder bileşikler allelopati, herbivorların caydırılması, herbivorların avcılarının cezbedilmesi ve tozlaştırıcıların cezbedilmesi gibi farklı ekolojik görevleri yerine getirirler (Chou & Kuo, 1986; Harborne, 1977; Baas, 1989; Dicke & Sabelis, 1989). Bu bileşikler hücrelerde, örneğin vakuolde, tutulur ya reçineler ya da hücre duvar materyali olarak ekstraselüler olarak salgılanırlar.

Sekonder bileşikler, non-protein aminoasitler, siyanojenik glikozitler, glikosiyanatlar, alkaloidler, çeşitli peptidler, proteinlerden kardiyak glikozitleri, terpenler, saponinler, flavonoidler, poliasetilenler ve aflatoksinlerden ve diğer fenolik maddelerden (tanenler ve ligninler dâhil) ibarettir.

1.1.1. Fenolik bileşikler ve bitki-herbivor etkileşimleri

Fenolik bileşikler, aromatik halkada bir ya da daha fazla hidroksil grup taşıyan aromatik bileşiklerdir. Benzoik asitler, hidroksisinamik asitler (ve bunların türevleri), stilbenler, flavonoidler (özellikle flavonoller), hidroliz olabilen tanenler, yoğunlaşmış tanenler (katekin polimerler) ve lignin bunlar arasındadır (Constable, 1999). Fenol oksidasyonunun ürünleri ve yan ürünleri semikinon radikallerini, kinonları ve reaktif oksijen türlerini (örneğin, hidrojen peroksit ve hidroksil radikaller) içermektedir; bunların herbiri herbivor böceklerin bağırsak lümeninde besinlere zarar verebilir ve dokularında sitotoksik etkiler yaparlar (Gant vd, 1988; Felton vd, 1989, 1992; Canada vd, 1990; Zheng vd, 1997; Thiboldeaux vd, 1998; Galati vd, 2002; Hagerman vd, 2003).

Kimyasal yapıları ve fizikokimyasal çevrelere (örneğin, pH, redox potansiyeli, oksidazların konsantrasyonları, oksidanlar ve antioksidanlar) bağlı olarak alınan fenolikler tarafından oynanan fizyolojik roller değişmektedir (Larson, 1995; Metadiowa vd, 1999; Sugihara vd, 1999; Galati vd, 2002; Sakihama vd, 2002; Hagerman vd, 2003). Örneğin, bazı fenolik maddeler serbest radikalleri ortamdan uzaklaştırarak antioksidanlar olarak görev yapabilirler (Buettner, 1993; Hagerman vd, 1998; Halliwell & Gutteridge, 1999).

Sekonder metabolitler arasında, bitki fenollerini savunma bileşiklerinin en yaygın grubundan biridir ki bunlar, böcekler dâhil herbivora karşı konak bitki direncinde temel bir rol oynarlar (Usha Rani & Jyothsna, 2010; War vd, 2011a,b; Sharma vd, 2009).

Fenolik bileşikler bitki-herbivor etkileşiminde farklı roller oynarlar. Örneğin, hidroksisinamik asitler çiğneme zararına karşı bitki hücre duvarlarını korurlar (Santiago vd, 2005; Santiago vd, 2006). Fenolik bir heteropolimer olan lignin böceklere ve patojenlere karşı bitki savunmasında temel bir rol oynar (Barakat vd, 2010). Lignin sentezinin herbivor ya da patojen saldırısıyla indüklendiği ve herbivor fekunditesini ya da patojenin artışı olumsuz etkilediği bulunmuştur (Johnson vd, 2009). Fenollerin oksidasyonu ile şekillenen kinonlar yaprak proteinlerini kovalent olarak bağlarlar ve herbivordaki protein sindirimini önlerler (Bhonwong vd, 2009). Ayrıca, kinonlar böceklere direkt toksisite de gösterirler (Duffey & Stout, 1996; Bhonwong vd, 2009). Herbivorluğa karşı çoğu bitki türünde özellikle de en yaygın

olarak odunsu bitkilerde (Bernays vd, 1989; Peters & Constabel, 2002) biriktirilen tanenler proteinleri bağlama yoluyla biyolojik etkilerini gösterirler. Bunların böceklerden memelilere kadar herbivorların büyük bir kısmını etkiledikleri gösterilmiştir (Bernays vd, 1989).

1.1.1.1. Tanenler ve tanik asit

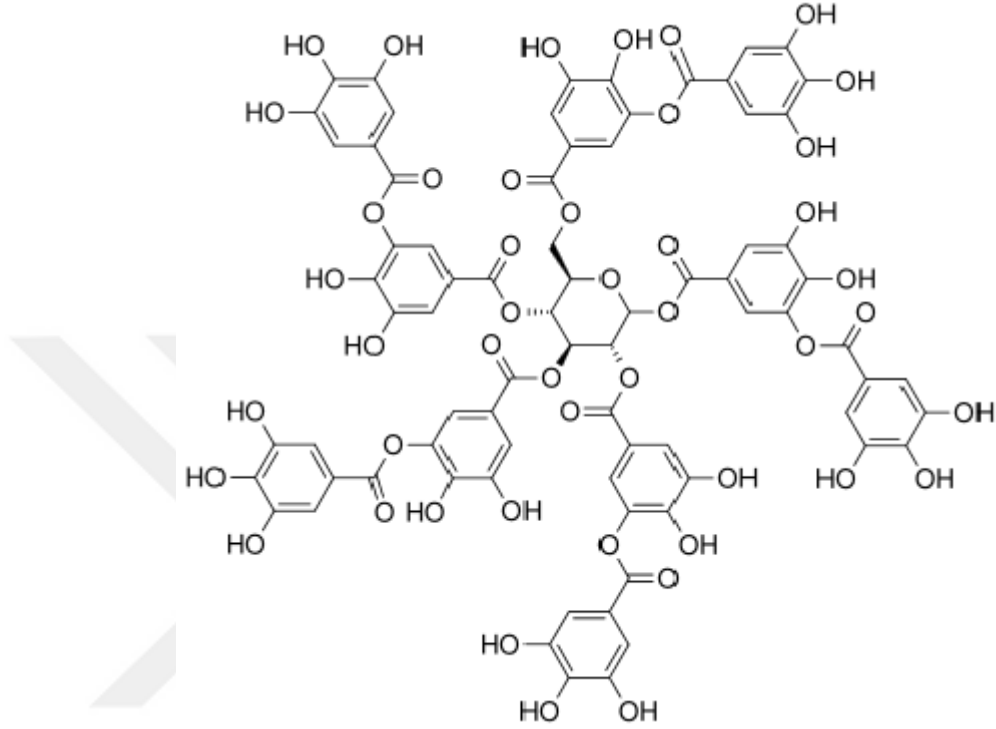
Tanenler doğada yaygın şekilde dağılım gösterirler ve selüloz, hemiselüloz ve lignini takiben en çok bulunan dördüncü bitki bileşenidirler (White, 1957). Bitkilerden en fazla elde edilen sekonder metabolitlerdir. Genellikle ağaç yapraklarının kuru ağırlığında oranları %5-%10 arasında değişmektedir. Tanik asit, 8 tane gallik asit molekülünden ve glikoz molekülünden meydana gelen bir polimerdir. Kapalı kimyasal formülü $C_{76}H_{52}O_{46}$ 'dır. Hidroliz olduğunda gallik asit, elajik asit ve glikoz alt birimlerine indirgenir. Tanenlerin başlıca 2 sınıfı vardır: hidroliz olabilen tanenler ve yoğunlaşmış tanenler (proantosiyanidinler) (Hagerman & Butler, 1991). Hidroliz olabilen tanenler arasında galloil glikozlar ve ellajitanenler vardır. Yapıları galloil gruplarla esterleşen poliol bir çekirdek (genellikle glukoz) içerir. Bu tür tanenlerde, gallik asit ya da elajik asit merkezi karbohidrat çekirdeğine bağlanır (Muthukumar vd, 1985). Ellajitanenler, galloil grupların (örneğin, heksahidroksidifenoil parçaları) oksidatif bağlanımı ile bitkilerdeki galloil glukozlardan sentez edilirler (Moilanen & Salminen, 2008; Quideau & Feldman, 1996). Yoğunlaşmış tanenlerde, flavan-3-ol'ler ya da flavan 3, 4-dioller karbon zincirine karbonla bağlanırlar ve kimyasal olarak bir karbohidrata bağlanmazlar (Muthukumar vd, 1985).

Tanenler ve polifenoller siklik adenosin monofosfat (Kwon vd, 1978a,b) ile oksin ve giberellik asit (Green & Corcoran, 1975; Jacobson & Corcoran, 1977) ile birbirini etkileyerek daha yüksek bitkilerin büyüme, gelişim ve üremesini etkilerler. Blum & Rice (1969) 10^{-8} M'da gallik asit ve tanik asidin *Phaseolus vulgaris*'te nodül formasyonunu önemli ölçüde azalttığını buldular.

Tanenler bitkinin savunmasız kısımlarını mikrobiyal saldırıdan da korumaktadır (Mahadevan, 1982) ve bunlar, virüsleri (Cadman, 1960) ve mikroorganizmaların ekstraselüler enzimlerini inaktive ederler (Mahadevan, 1982).

Tanenlerin biyokimyasal aktiviteleri yararlı antioksidanlardan zararlı prooksidanlara ve toksinlere kadar değişmektedir. Eğer tanenler serbest radikalleri

yok ederlerse ya da oksitlenen diğer bileşikleri azaltırlarsa ve nispeten değişmez semikinon radikallerini biçimlendirirlerse, antioksidanlar olarak görev yaparlar (Buettner, 1993; Hagerman vd, 1998; Halliwell & Gutteridge, 1999).



Şekil 1.1. Tanik asidin açık formülü

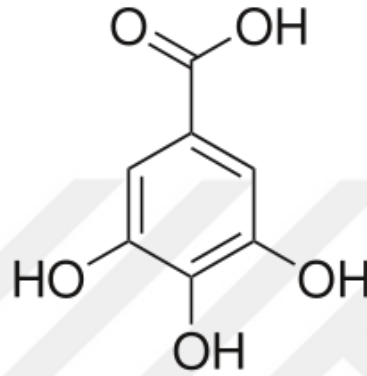
1.1.1.2. Gallik asit

Gallik asit moleküler ağırlığı düşük bir fenolik maddedir. Bu fenolik madde bitkilerde gallik asit olarak meydana gelir fakat genellikle bitkiler tarafından üretilen gallik asidin basit esterleri olan gallotanenlerinin parçalanmasının başlıca ürünüdür (Hagerman & Butler, 1991; Hagerman vd, 1992). Gallik asidin toksik etkileri tavşanlarda, ratlarda, koyunlarda ve *Trichosurus vulpecula*'larda kanıtlanmıştır (Booth vd, 1959; Dollahite vd, 1962; Murdiati vd, 1992; Oswald, 1993). Gallik asit fenilalanin yoluyla değil direkt olarak şikimik asit yoluyla sentezlenir. Kapalı kimyasal formülü $C_7H_6O_5$ 'dır.

Tanenlerin alkalın ya da asit hidrolizinden ya da *Penicillium glaucum* ya da *Aspergillus niger*'in zayıf (etkisiz) sıvı besiyerlerinin hidrolizinden genellikle elde edilen gallik asit (3,4,5-trihydroxybenzoic acid) gallik asit metil ester (GM), gallik

asit laurik ester (GL) ve propil gallatın yapımında kullanılmaktadır ki bunlar, besin antioksidan maddeleri olarak geniş ölçüde kullanılmaktadırlar. Böylece, gallik asit ve türevleri besinde genellikle mevcuttur (Aruoma vd, 1993).

Bu fitokimyasalın antioksidan, antibakteriyal, antienflamatuvar, antimutajenik ve kimyasal koruyucu özellikleri olduğu bilinmektedir (Kang vd, 2008; Kim vd, 2006; Birošová vd, 2005; Giftson vd, 2009).



Şekil 1.2. Gallik asidin açık formülü

1.1.2. Fenolik bileşiklerin herbivorlara etkileri

Fenolik bileşiklerin bazılarının (örneğin hidroksisinamatlar, hidroksisinamoil eşleniği, flavonoidler) anti-mikrobiyal özelliklere sahip olmalarından dolayı (örneğin, Malmberg, 1984; Ding vd, 2000), herbivorların neden olduğu zarar gören bitki dokularındaki bu bileşiklerin birikimi herbivorlara karşı direkt savunmada ve fırsatçı patojenlere karşı bitkiyi korumada rol oynar.

Herbivorluğa karşı çoğu bitki türünde, yaygın olarak da ağaçlarda (Bernays vd, 1989; Peters & Constabel, 2002) biriktirilen tanenler, proteinleri bağlama yoluyla biyolojik etkilerini gösterirler. Bunların böceklerden memelilere kadar herbivorların büyük bir kısmını etkiledikleri gösterilmiştir (Bernays vd, 1989). Tanenlerin omurgalı bağırsaklarında antioksidan olarak görev yaptıkları düşünülmektedir (Hagerman vd, 1998; Khennouf vd, 2003).

Bağırsaktaki tanenlerin kimyasal olarak yok edilmesi fizikokimyasal çevre (örneğin pH, redoks potansiyeli ve oksidanlar ve antioksidanların konsantrasyonları) gibi kimyasal yapılarına da bağlıdır (Galati vd, 2002; Hagerman vd, 2003; Larson,

1995; Metadiewa vd, 1999; Sakihama vd, 2002; Sugihara vd, 1999). Peroksidaz ve katalaz gibi bağırsaktaki enzimlerin faaliyeti fenolik oksidasyonu düzenleyebilir ya da engelleyebilir.

Ağaç yapraklarıyla beslenen larvaların besinlerden bol miktarda tanen alabileceğine, hâlbuki tırtıl midесinin pH'sının genellikle yüksek olduğuna işaret edilmiştir. Yüksek pH'dan dolayı tanen-protein bağlanması engellendiğinden, yüksek pH'nın uyumlu bir adaptasyon olduğu ve tanen miktarı yüksek besinlerle beslenen tırtıllarda tanenlerin sindirimi önleyici etkilerini azalttığı ileri sürülmüştür (Feeny, 1970; Berenbaum, 1980).

Doğal olarak tanence zengin bitkilerle beslenen böceklerin orta bağırsak epitelinde koruyucu bir kitin tabakası ya da protein peritrofik membranı adı verilen koruyucu bir tabakanın var olduğu gösterilmiştir (Bernays vd, 1989). Bu membranların tanenlerin direkt etkisinden orta bağırsak epitelini bir barikat gibi koruduğu ve bağırsak lümeninde tanenleri seçici olarak tuttuğu bilinmektedir (Bernays vd, 1989). Bunun sunucunda proteinlerin yapısında bulunan azot dışıyla kaybedilir. Netice olarak da bu böceklerin besinlerindeki proteinlerden daha az yararlandıkları görülür. Bu da muhtemelen sindirimi önleyici etkilerin artması ve sindirimin yavaşlamasından dolayı ortaya çıkar (Bernays vd, 1989).

İkisi de polifaj Lepidopter olan *Malacosoma disstria* Hübner (Lasiocampidae) ve *Orgyia leucostigma* Smith (Lymantriidae)'in 3 ağaç türünde beslenmesi araştırılmıştır (Stehr & Cook, 1968; Baker, 1972; Nicol vd, 1997; Panzuto vd, 2001). *O. leucostigma* larvaları kuru ağırlık olarak % 8'lik tanik asitli besinin tüketiminden etkilenmezken, % 0.5 gibi çok düşük miktarda tanik asitli besinin *M. disstria* larvalarının, tüketim ve sindirim oranını düşürdüğü ve bunun sonucu olarak da büyüme oranını azalttığı belirtilmiştir (Karowe, 1989). *O. leucostigma* larvalarının orta bağırsak sıvısındaki antioksidanların yüksek konsantrasyonu ile ilişkili olarak fenol oksidasyonu sınırlanmakta ve tüketilen tanenleri tolere edebilme yeteneğinin arttığı belirtilmektedir (Barbehenn & Martin, 1992; Barbehenn vd, 2001). Bunun aksine, *M. disstria* larvalarının orta bağırsak lümeninde aşırı fenol oksidasyonu meydana gelmektedir.

1.2. Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler

Toprak, atmosfer ve litosfer arasında bulunan bir ara katmandır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, çevrede gerçekleşen bir takım olaylar ve aynı zamanda insanlardan kaynaklanan bir takım olaylardan dolayı sürekli değişmektedir (Probst vd, 2012). Bu doğal süreçler (volkanlar, erozyon, kaynak suyu) ve insan kökenli aktiviteler bazen bitki, hayvan ve insanlar için topraklarda toksik düzeylerdeki ağır metallerin lokal birikimine neden olmaktadır (Sharma & Agrawal, 2005; Florea & Büsselberg, 2006; Boyd, 2010). Bu insan kaynaklı toprak kirleticileri çoğunlukla sanayi, madencilik, motorlu araçlar ve tarım dâhil olmak üzere bir takım olayların neticesinde meydana gelmektedir (Butler & Trumble, 2008). Metaller nispeten küçük miktarlarda organizmalara genellikle toksik olduklarından dolayı kirleticilerin önemli bir grubunu oluştururlar.

Kimyasal olarak “ağır metal” terimi bu maddelerin atom ağırlıklarının veya özgül ağırlıklarının yüksek olmalarından kaynaklanmaktadır. Ağır metaller, yoğunlukları 5 g/cm^3 ’ten veya atom ağırlıkları 50 ve 50’den daha büyük olan elementlerdir. Ağır metaller örnek olarak bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), civa (Hg), kobalt (Co), krom (Cr), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) verilebilir (Özdemir, 1981).

Biyolojik olarak “ağır metal” terimi ise çok düşük konsantrasyonlarda bile hem bitkilere hem de hayvanlara toksik olabilen metaller ve metalloidlerin bir dizisine aittir. Bu ağır metaller potansiyel olarak fitotoksik elementlerdir (Rascio & Navari-Izzo, 2011). Ayrıca, biyobirikime yol açtıkları için oldukça tehlikeli maddelerdir.

Metallerin çeşitli seviyelerde yerkürenin kabuğunda doğal olarak mevcut olmasına ve birçok metalin hücreler için gerekli olmasına rağmen (örneğin bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), çinko (Zn)), tüm metaller yüksek konsantrasyonlarda canlılara toksiktir (Yang vd, 2005). Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi metaller küçük miktarlar verildiğinde bile hem bitkiler hem de hayvanlar için toksiktir (Prasad, 2004).

Bitkiler, toprak üstü dokularındaki metal konsantrasyonlarına göre normal bitkiler, metal biriktiren bitkiler ve çok fazla metal biriktiren bitkiler olmak üzere üç kategoriye ayrılabilirler (Reeves & Baker, 2000). Metal biriktiren bitkiler hiç birikim yapmayan bitkilere göre ağır metali 100 kattan daha fazla biriktirme yeteneğine

sahiplerdir (Brooks, 1998) ve yüksek konsantrasyonlarda fitotoksisitenin hiçbir semptomunu göstermezler (Rascio, 1977; Reeves, 2006). Bu bitkilerde biriktirilen element seviyeleri diğer organizmalar için öldürücü olabilir, fakat birikim yapan bitkilerde toksisiteye neden olmazlar. Kobalt, bakır, demir, mangan, molibden, nikel ve çinko gibi metaller bitkilerin normal büyümeleri ve metabolizmaları için gerekli olan esas elementlerken, arsenik, kadmiyum, civa, kurşun ya da selenyum gibi diğer bazı ağır metallerin bitkilerde bilinen hiçbir fizyolojik fonksiyonu yoktur (Rascio & Navari-Izzo, 2011). Bu elementler konsantrasyonları optimumun üstündeki değerlere yükseldiğinde kolayca zehirlenmeye yol açabilirler.

Bununla beraber, çok fazla metal biriktiren bitkiler hiç birikim yapmayan bitkilerden üç temel özellik bakımından ayrılırlar. Bu özellikler topraktan daha yüksek kapasitede ağır metal alımı, metallerin daha hızlı ve etkili şekilde kökten gövdeye translokasyonu ve yapraklardaki ağır metallerin büyük miktarlarını detoksifike etmek ve ayırmak için gerekli olan daha büyük bir yetenektir. Bitkiye giriş yapan ağır metallerin çoğu aminoasitler, organik asitler ya da metal bağlayan peptidlerle kompleks hale gelmeleri sonucunda detoksifike edildikleri ve/veya vakuollerde ayrıldıkları kök hücrelerinde daha sonra tutulurlar (Hall, 2002). Oradan filizlere aktarılırlar ve toprak üstü organlarında, özellikle yapraklarda, biriktirilirler (Rascio, 1977; Reeves, 2006).

Ağır metallerin detoksifikasyon ve ayırma işlemi, bitkiye fitotoksik etki olmadan ve bitkilerin fotosentetik mekanizmasına en az zarar verecek şekilde toprak üstü organlarından epidermis (Bidwell vd, 2004; Ma vd, 2005; Asemaneh vd, 2006; Freeman vd, 2006), trikomlar (Küpper vd, 2000) ve hatta kütikül (Robinson vd, 2003) gibi yerlerde meydana gelir. Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, katyon değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlıdır (Sharma & Dubey, 2005).

Çok fazla birikim yapan bitkilerin çoğu serpentin topraklarda bulunurlar ve bu habitatlar için endemiktirler (Brooks & Radford, 1978; Reeves & Baker, 2000; van der Ent vd, 2012). Serpentin topraklar ultramafik kayalardan meydana gelirler (Reeves vd, 1996) ve krom, kobalt, demir ve nikelin yüksek konsantrasyonları ile karakterize edilirler, fakat düşük konsantrasyonlarda azot, fosfor, potasyum ve silisyum içerirler (Brooks, 1987).

Doğada yaklaşık 450 angiosperm tür ağır metal (As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, Zn) biriktiren tür olarak tanımlanmıştır ki bunlar bilinen tüm türlerin % 0.2'sinden daha azdır. Doğada henüz tanımlanmamış metal biriktiren bitki türlerinin olabileceği düşünülmektedir. Bir ya da daha fazla ağır metali biriktirme derecesi farklı türlerde ya da popülasyonlarda ve bazı türlerin ekotiplerinde önemli derecede değişebilir (Roosens vd, 2003; Deng vd, 2007).

Karasal besin ağlarında böceklerin önemli rolleri vardır. Çok fazla birikim yapan bitkilerle beslenen herbivorlar bu bitkilerdeki metalleri kendi vücutlarında biriktirirler. Bu böceklerin vücutlarında biriktirilen metaller besin zinciriyle daha üst trofik seviyelerdeki canlılara aktarılır. Örneğin, Boyd & Martens (1998) yüksek metal içeren herbivor böceklerin sequesterleştirilen metallerle predatörlerine karşı korunabileceklerini ileri sürdüler.

Böceklerin çok fazla metal biriktiren bitkilerle beslenmeleri sonucunda vücutlarında biriktirdikleri nikelin büyük kısmı omurgalı predatörler için toksisiteye neden olabilir. Toksikolojik çalışmalar omurgalıların 500 µg/g'dan daha fazla nikel içeren diyetten negatif olarak etkilenebileceklerini (Outridge & Scheuhammer, 1993) ve böylece yüksek nikel içeren böceklerin fazla miktarlarda tüketilmeleri halinde kuşlar ya da diğer hayvanlar için zararlı olabileceklerini gösterir. Vücutlarında yüksek miktarda nikel içeren böceklerin predatörler için nahoş olabilecekleri ve böylece bu böceklerin av olarak reddedilmeleri muhtemeldir. *Thlaspi montanum*'da beslenen *Melanotrichus boydi*'nin vücudunda nikel biriktirmesi onu bazı predatörlere karşı korumakta (Boyd & Wall, 2001) fakat entomopatojenlere karşı koruyamamaktadır (Boyd, 2002).

1.2.1. Elemental savunma hipotezi

Boyd & Martens (1992) yapraklardaki metallerin herbivor böceklere ve patojenlere karşı bitkileri savunduğunu ileri sürdüler. Kimyasal bitki savunmaları (örneğin alkaloidler, terpenler, glukosinolatlar) genellikle fotosentezden sağlanır, fakat çok fazla biriktirilen metaller toprak mineralinden sağlanan, “elemental savunmalar” olarak adlandırılan (Martens & Boyd, 1994) bir takım savunmaları simgeler.

Elemental savunma hipotezi çok fazla metal birikiminin en azından habitatlardaki bazı herbivor/patojenleri negatif etkileyebileceği ve dolayısıyla

herbivorlar ve patojenler gibi bazı doğal düşmanlara karşı çok fazla birikim yapan bitkilerde gelişen bir kendini savunma stratejisi olarak görev yaptığını ileri sürer. Savunmanın başarılı olduğu 2 farklı metabolik yol vardır. Bunlardan biri, metal içeren bitki dokularının aşırı toksisite yoludur (Boyd & Martens, 1994; Martens & Boyd, 1994) ki bitki materyalinin tüketilmesi ölümle sonuçlanmaktadır. Diğer ise, caydırıcılık yoluyla ki bu durum yüksek miktarda metal içeren bitki dokusunun daha az tüketilmesi anlamına gelmektedir (Boyd & Martens, 1998).

Boyd (1998a) elemental savunmalarla organik bitki savunmaları arasındaki bazı farklılıklara değinmiştir. Bunlardan ilki, elemental savunmaların topraktan kazanıldığı fakat bitkiler tarafından sentezlenmediğidir. İkincisi, elementlerin kimyasal olarak indirgenemedikleridir ki bu durum, herbivor savunma mekanizmasını engellemektedir. Bir diğeri ise, bitkiler için elemental savunmaların organik bitki savunmalarından metabolik olarak daha az masraflı olmalarıdır.

Besin ağında farklı beslenme mekanizmalarına sahip olan omurgasızlar farklı şekillerde ve değişen konsantrasyonlarda metallere maruz kalırlar (Bengtsson vd, 1985; van Straalen vd, 1987; Posthuma, 1990; Heliövaara & Vaisanen, 1990a; Posthuma vd, 1992; Tranvik vd, 1993; Lindqvist, 1994) ve bu metallerin böcekler karşı etkileri farklılık gösterir. Jhee vd (2005) nikelin *Streptanthus polygaloides* bitkilerini çiğneyici herbivorlardan koruduğu fakat özsu-emici herbivorlardan koruyamadığı sonucuna varmışlardır. Herbivor böcekler, özellikle afitler gibi floemle beslenenler, beslenme şekillerinden dolayı ağır metal kontaminasyonundan direkt olarak etkilenebilirler (Merrington vd, 2001). Metallerin bitkilerden ziyade patojenler ya da herbivorlar için daha toksik olduğu gösterilmiştir (Poschenrieder vd, 2006).

Noccaea caerulea'te (eskiden *Thlaspi caerulea*) kadmiyum tarafından kirpikcanatlıların ve çinko tarafından sümüklüböceklerin, çekirgelerin ve tartılların (Pollard & Baker, 1997; Behmer vd, 2005; Jiang vd, 2005), *Brassica juncea*'da selenyum tarafından afitlerin (Hanson vd, 2004), *Pteris vittata*'da arsenik tarafından çekirgelerin (Rathinasabapathi vd, 2007) ve *Streptanthus polygaloides*'te nikel tarafından sümüklüböceklerin (Boyd & Jhee, 2005) caydırıldığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.

Çok fazla miktarda biriktirilen elementler beslenme (Pollard & Baker, 1997; Jhee vd, 1999; Hanson vd, 2004) ya da hayatta kalmanın (Boyd & Martens, 1994;

Boyd & Moar, 1999; Hanson vd, 2004) olumsuz etkilenmesi ile herbivorlara karşı savunma rolü oynayabilirler (Pollard & Baker, 1997; Boyd & Moar, 1999; Hanson vd, 2004).

Ağır metaller böceklerin ölüm oranları (Mitterbock & Fuhrer, 1988) ve büyüme oranlarında (Warrington, 1987) belirli etkilere sahip olmalarının yanı sıra, immün ve detoksifikasyon sistemleri gibi bazı doğuştan böcek direnç mekanizmalarına da direkt bir etkiye sahip olabilirler (Stone vd, 2001; van Ooik vd, 2007, 2008; Sun vd, 2008).

Yapılan bazı çalışmalar ağır metallerin böceklerin immün sistemlerindeki etkileri göstermiştir. Sorvari vd (2007)'nin *Formica aquilonia* karıncalarının immün savunmalarında endüstriyel ağır metal kontaminasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmada, enkapsülasyon tepkisinin ılımlı seviyelerde çevresel ağır metale maruz kalmayla arttırıldığını, fakat yüksek seviyelerde ise ortadan kaldırıldığını buldular. Benzer şekilde, sonbahar güvesi *Epirrita autumnata*'nın larvalarında hem enkapsülasyon oranının hem de fenoloksidaz aktivitesinin kirlenmemiş bir çevredeki larvalardan ziyade çevresel ağır metal kirlenmesine maruz kalan larvalarda önemli şekilde daha yüksek olduğu yapılan bir çalışma sonucu ortaya çıkarılmıştır (van Ooik vd, 2007, 2008).

Bununla beraber, yapılan bazı çalışmalar çok fazla metal biriktirmenin bitkilerde herbivorlara karşı savunucu etkilere sahip olmadıklarını da göstermiştir. Örneğin, ne *Arabidopsis halleri*'deki çok fazla çinko birikimi (Huitson & Macnair, 2003) ne de *Brassica juncea*'daki çok fazla selenyum birikimi (Hanson vd, 2003) salyangozları bu bitkilerde beslenmekten caydırmamaktadır. Ayrıca, *Streptanthus polygaloides*'teki çok fazla nikel birikimi muhtemelen floem özsuundaki nikel konsantrasyonlarının toksik seviyede olmadığından dolayı, afit saldırısına karşı bitkileri savunmada etkili olamamaktadır (Boyd & Martens, 1999). Bu sonuçlar çok fazla metal biriktirmenin koruyucu etkilerinin kesin olmadığını göstermekte, fakat bu durumun hem bitki türlerinin hem de ilişkili herbivorlar ya da patojenlerin ekolojik özelliklerine bağlı olabildiğini vurgulamaktadır (Boyd, 2004).

1.2.2. Nikel (Ni)

Bitkiler için çok düşük miktarlarda yararlı etkileri olduğu bildirilen nikelin (Mishra & Kar, 1974), artan endüstriyel faaliyetler, mineral ve organik gübreler, kimyasal ilaçlar ve endüstri atıkları ile ekolojik çevrede miktarının arttığı (Zornoza vd, 1999), bunun sonucunda ise aşırı konsantrasyonlarının bitkilerde olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Kritik toksik düzeyin toprakta 100 mg/kg, duyarlı bitkilerde 10 µg/g kuru maddeden ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde ise 50 µg/g kuru maddeden fazla olduğu bulunmuştur (Özbek vd, 1995).

Nikel topraktan ve besin solüsyonundan bitkiler tarafından kolayca absorbe edilebilir ve yüksek miktarlarda birikmesi ile büyümede zararlı etki gösterir. Yüksek nikel konsantrasyonları, bitkilerde çimlenme aşamasından başlayarak bitkinin büyüme ve gelişmesinde toksik etki yapar (Marschner, 1995). Nikel bitki kökleri tarafından kolayca absorbe edilip (Cataldo vd, 1978a,b; Soon vd, 1980), yüksek konsantrasyonlarda kök büyümesini ve sürgün gelişimini sınırlamaktadır (Mishra & Kar, 1974).

Yüksek nikel miktarının bitki organlarındaki bu sınırlama, fotosentez ve solunumun engellenmesi, yaprak klorofil içeriğinin ve hücre membran geçirgenliğinin azalması, fotosentetik elektron taşınmasının engellemesi, karbondioksit asimilasyonunun olumsuz etkilenmesi, hücre peroksidaz ve üreaz aktivitesinin düşmesi, protein sentezinin azalması, toplam azot seviyesinin azalması, kalsiyum, magnezyum, demir, bakır ve çinko gibi elementlerin hücrelerce kullanımının sınırlanması gibi fizyolojik ve biyokimyasal işlemlerin bozulmasından kaynaklanmaktadır (Lizukka, 1975; Tripathy vd, 1981; Heale & Ormrod, 1982; Morgutti vd, 1984; Robertson, 1985; Jones & Hutchinson, 1988; Heikkilä vd, 1989; Mohanty vd, 1989; Brown vd, 1990; Sheoran vd, 1990a; Pandolfini vd, 1992; Krupa vd, 1993; Piccini & Malavolta, 1992; Gerendas vd, 1998; Atta-Aly, 1999).

Nikel yüksek bitkilerde üreaz ve hidrogenaz gibi önemli enzimlerin yapısında ve aktivitesinde yer alır ve nitrojen metabolizması için gereksinim duyulan bir metaldir. Yapraklarda klorofil ve karotenoid konsantrasyonları yanında elektron taşıma zinciri (sitokrom, ferrodoksin ve plastosiyanin) seviyeleri üzerinde önemli etkileri vardır (Veeranjaneyulu & Das, 1982; Sheoran vd, 1990a,b; Krupa vd, 1993).

Yüksek miktarda ağır metal biriktiren bitkilerin çoğu nikel biriktirir. Reeves & Baker (2000) yüksek miktarda ağır metal biriktiren 418 taksanın belgelenmiş olduğunu ve bunların çoğunun (%76) nikel biriktirdiğini ifade etmişlerdir. Yüksek miktarda nikel biriktiren bitkiler genellikle nispeten yüksek miktarlarda krom, magnezyum ve nikel ve bunun yanı sıra düşük miktarlarda kalsiyum içeren, bundan dolayı bitki büyümesi için ilgi çeken bir ortam oluşturan (Kruckeberg, 1984; Proctor, 1999; Alexander vd, 2007) serpentin topraklarda büyürler (Brooks, 1987; Reeves & Baker, 2000).

Çok fazla metal biriktiren bitkileri içeren bitki komüniteleri bu bitkilerle etkileşim halinde olan böcek türleriyle (özellikle herbivorluk yoluyla) birlikte yaşarlar. Bu etkileşimler sayesinde, yüksek miktarlarda biriktirilen ağır metaller böcek komünitelerinin üyelerine transfer edilebilir ve bu elementlerin nispeten yüksek konsantrasyonları bazı böceklerin vücutlarında kalır (Boyd, 1998b).

1.2.2.1. Nikelin böceklere etkileri

Monofaj herbivorların metal biriktiren bitkilerle ortak evrimleşerek zarar görmeden bu bitkilerde beslendikleri düşünülmektedir. Bu hipotez ilk olarak çok fazla nikel biriktiren bitkilerle beslenen birkaç böceğin gözlemlenmesine dayanılarak yapılmıştır (Reeves vd, 1981; Boyd & Martens, 1992; Martens & Boyd, 1994). *Streptanthus polygaloides*'de beslenen *Melanotrichus boydi*'nin (Schwartz & Wall, 2001) ve Güney Afrika'da *Berkheya coddii*'de beslenen *Chrysolina pardalina*'nın bu bitkilerdeki aşırı nikel miktarlarından etkilenmeyerek beslenmeye devam ettikleri gösterilmiştir (Mesjasz Przybyłowicz & Przybyłowicz, 2001).

Diğer taraftan, bazı bitki türleri tarafından yüksek miktarda biriktirilen nikelin polifaj herbivorların birkaçı için aşırı toksik olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Boyd & Martens, 1994; Martens & Boyd, 1994; Boyd & Moar, 1999; Boyd vd, 2002). Örneğin, polifaj bir herbivor olan *Pieris rapae* larvaları yüksek miktarda nikel içeren *Thlaspi montanum*'un yapraklarıyla (3000 ppm) 12 gün beslendiklerinde bu larvaların ölüm oranı %100 iken, *T. montanum*'un düşük miktarda nikel içeren yapraklarıyla (18 ppm) beslendiklerinde ise ölüm oranının % 21 olduğu bulunmuştur (Boyd & Martens, 1994).

Boyd (1998a) metallerin sublethal etkilerinin (örneğin, herbivor büyüme oranının azaltılması, pupa sürecinin uzaması) çok fazla birikim yapmayan bitki türlerini koruyabileceklerini ileri sürmüştür. Boyd & Moar (1999) 93 µg/g'a kadar yapraklardaki nikel konsantrasyonlarının *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) larvalarının ortalama ağırlığını azalttığını ve pupa olma zamanını uzattığını buldular.

Nikel biriktiren bitkilerde beslenen böceklerin vücutlarına aldıkları nikelin böcek vücudunun hangi kısımlarında daha fazla bulunduğuyula ilgili yapılan çalışmalardan (Mesjasz-Przybyłowicz & Przybyłowicz, 2002; Przybyłowicz vd, 2003, 2004; Augustyniak vd, 2008) 2 genelleme çıkarılmıştır. Bunlardan ilki, nikelin nispeten yüksek seviyelerde bu böceklerin bağırsaklarında bulunmasıdır (*Stenoscepa* sp. için 700±10 µg/g; Augustyniak vd, 2008). İkincisi, yüksek nikel içeren böceklerde (*C. pardalina* ve *Stenoscepa* sp.), nikelin nispeten yüksek miktarlarının malphigi tüplerinde (*Stenoscepa* sp. için 760±32 µg/g; Augustyniak vd, 2008) kaydedilmiş olmasıdır.

Micro-PIXE çalışmaları sonucunda genellikle yüksek nikel içeren böceklerin bağırsakları hariç dokularda ölçülen nikel seviyelerinin nispeten düşük olduğu bulunmuştur. Yapılan bir çalışma sonucunda *Chrysolina pardalina* larvalarının değiştirilen derilerinde 1012 µg/g nikel olduğu bulunmuştur (Przybyłowicz vd, 2003). Przybyłowicz vd (2003) çok fazla birikim yapan bitkilerde beslenen böceklerin vücutlarından nikelin atılmasında deri değiştirmenin bir mekanizma olabileceğini öne sürdüler.

Dişi ve erkek *C. pardalina* bireylerinin kullanıldığı bir çalışmada (Przybyłowicz vd, 2003), erkek bireylerin orta bağırsağında bulunan nikel konsantrasyonunun (41 ppm) dişilerinkinden (16 ppm) daha fazla olduğu ve yine erkeklerin malphigi tübüllerindeki nikel konsantrasyonunun (39.5 ppm) dişilerdekilerden (33.8 ppm) fazla olduğu bulunmuştur.

Genellikle, predatörlere ya da patojenlere karşı bir savunma olarak vücutta biriktirilen element konsantrasyonunun etkisi birkaç faktöre bağlıdır (Boyd, 1998a). Bunlardan ilki, bir predatör ya da patojenin beslenme biçimine bağlı olarak muhtemelen alınan elementin dozundan bu canlıların etkilenmesidir. Örneğin, yüksek seviyede nikel içeren bir böceği tamamen tüketen (ve böylece avın bağırsak

içeriğini tüketen) bir predatör kuş hemolenfe saldıran bir patojenden ziyade çok farklı doz tatmaktadır. İkinci faktör ise, yüksek seviyede nikel içeren bir böcek vücudunun farklı kısımlarındaki farklı element konsantrasyonunun, saldırılarında özel dokuları hedef alan predatörler ya da patojenler için önemli olmasıdır.

Elemental savunma davranışsal savunma hareketinin bir parçasıdır. Örneğin, çekirgeler bir savunma davranışı olarak bağırsak içeriklerini geri kusabilirler ve eğer bu bağırsak içerikleri konak bitki kimyasallarını içerirse, bu kimyasallar saldırı yapacak olan bir predatörü negatif olarak etkileyebilir (Sword, 2001). Bu çalışmada, *Ptelea trifoliata* (Rutaceae)'nın tüketilen yapraklarındaki sekonder bitki bileşikleri sayesinde böcekçil bir kertenkelenin çekirgeleri reddettiğini göstermiştir (Sword, 2001). *Stenoscepa* sp. yüksek miktarda nikel konsantrasyonu içeren *B. coddii* yapraklarında beslenmekte ve böylece bu böceğin kusmuğu nispeten yüksek seviyede nikel konsantrasyonu içermektedir (Boyd, 2009). Bu durum herbivorların predatörlerine karşı aktif elemental savunmadan etkilendiklerini göstermektedir.

1.2.3. Çinko (Zn)

Çinko yeryüzünde bulunan yaygın bir metaldir ve bu metalin topraktaki miktarı ortalama yaklaşık 75 mg/kg'dır (Emsley, 2001). Endüstriyel alanlarda, madenlerde ve nehir havzalarının yakınında ve tarımsal alanlarda dağılmış çamurda bulunan çinko bileşikleri çinko klorid, çinko oksit, çinko sülfat ve çinko sülfittir. Bu alanlarda, çok fazla çinko biriktiren bitkiler kuru ağırlık olarak 12.000 mg/kg'dan fazla çinko biriktirebilirler (Deng vd, 2007).

Çinko, insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de çok çeşitli ve önemli metabolik görevlere sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezine katılmasının yanı sıra, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini direkt olarak etkilemektedir (Rout & Das, 2003). Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atık sularla, kanalizasyon suları ve asit yağmurları aracılığıyla toprağa ulaşmaktadır (Vaillant vd, 2005). Topraklardaki toplam çinko konsantrasyonu 10-300 ppm, bitkilerin alabildiği çinko konsantrasyonu ise 3.6-5.5 ppm arasında değişmektedir. Bitkilerdeki çinko konsantrasyonları normal bitkilerde 5-100 ppm arasındadır. Görülen toksisiteler ise genellikle 400 ppm'den sonra başlamaktadır (Özbek vd, 1995).

Çinko toksisitesinden dolayı bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler incilir, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout & Das, 2003). Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (van Assche & Clijsters, 1990).

1.2.3.1. Çinkonun böceklerle etkileri

Ağır metaller toksisiteleri sayesinde herbivorlara karşı rol oynarlar, fakat bu durum düşmanı zehirlemeden önce görülen zarardan bitkiyi korumaz. Böylece, herbivor saldırısından daha etkili bir savunma şekli beslenme caydırıcılığı sayesinde olabilir.

T. caerulea bitkisindeki çok fazla çinko birikiminin çöl çekirgesi *Schistocerca gregaria* ve bahçe sümüklüböceği *Deroceras caruanae*'yi caydırıp caydırmadığının araştırıldığı bir çalışmada (Pollard & Baker, 1997) hem çekirgelerin hem de sümüklüböceklerin yüksek çinkodan ($14045 \pm 891 \mu\text{g/g}$) ziyade düşük çinko içeren ($1474 \pm 451 \mu\text{g/g}$) bitkilerde beslenmeyi tercih ettikleri bulunmuştur. Bu durum, bu bitki türündeki çinko birikiminin herbivorluğa karşı bir savunma olarak geliştiğini güçlü şekilde göstermektedir. Sümüklüböcekler ve çekirgeler bitkiyi yemeyi reddetmeden önce yüksek çinko içeren bu bitkileri küçük miktarlarda tüketmişlerdir. Bu gibi örnek davranışlar bunlar gibi polifaj herbivorlar arasında yaygındır (Bernays & Chapman, 1978; Dirzo, 1980).

Düşük ($415 \pm 56 \mu\text{g/g}$), orta ($1502 \pm 148 \mu\text{g/g}$) ve yüksek ($5774 \pm 566 \mu\text{g/g}$) konsantrasyonda çinko içeren *T. caerulea* bitkileri ile *S. gregaria* çekirgesinin kullanıldığı iki aşamalı bir deneyin ilk aşamasında (Behmer vd, 2005) çekirgelerin düşük miktarda çinko içeren *T. caerulea* bitkileri ile beslenmeyi tercih ettikleri bulunmuştur. Deneyin ikinci aşamasında ise, çekirgelerin düşük (0.5 mg/g), orta (1.5 mg/g) ve yüksek (5.5 mg/g) miktarda çinko içeren yapay besinler ve kontrol (0.0 mg/g) besini olmak üzere toplam 4 besinde beslenmesi araştırılmış ve düşük ve orta miktarda çinko içeren besinlerdeki çekirgelerin kontrol besinindeki çekirgelerle benzer oranlarda tüketim yaptıkları bulunmuştur. Bunun aksine, yüksek miktarda çinko içeren besindeki çekirgelerin diğer besin gruplarındaki çekirgelere kıyasla beslenme oranının daha düşük olduğu sonucu da bulunmuştur.

Bitkilerin biriktirdikleri çinkonun herbivorluğa karşı bir savunma olarak geliştiğini gösteren bunlar gibi güçlü kanıtlar mevcuttur. Bunun tersi durumlar da söz konusu olabilir. Örneğin, Huitson & Macnair (2003) çok fazla birikim yapan *Arabidopsis halleri*'de çinkonun herbivorlara karşı koruyucu hiçbir rolünün olmadığını gösterdiler.

Çok fazla çinko biriktiren bitkilerle beslenen böcekler çinkoyu vücutlarında biriktirebilirler. Yapraklarında 1400 µg/g'a kadar çinko içeren *Silene vulgaris*'in bir popülasyonundaki afitlerin (*Brachycaudus lychnidis* L.) vücutlarında yüksek (9000 µg/g) çinko bulunduğu rapor edilmiştir (Ernst vd, 1990).

1.2.4. Bakır (Cu)

Bakır bitki bünyesinde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir (Kaçar & Katkat, 2006). Bakır kirliliği insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan fazla bakır toksik etki göstermektedir. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sossé vd, 2004).

Bakır yaşam için son derece önemlidir. Fotosentez ve mitokondriyal respirasyon, karbon ve nitrojen metabolizması, oksidatif stres koruması ve hücre duvar sentezi için gereklidir. Fizyolojik koşullar altında, bakır iki oksidasyon durumunda, Cu^{+1} ve Cu^{+2} , bulunmaktadır ve bu formlar arasında değişebilir (tek değerli bakır değişkendir). Bu durum biyokimyasal reaksiyonlarda azaltıcı ya da oksitleyici bir ajan olarak çalışmak için bakıra imkân sağlar. Fakat aynı zamanda, bakır iyonları özellikle Fenton kimyası sayesinde serbest radikallerin üretimini katalizleyebildikleri için bu özellik bakırı potansiyel olarak toksik yapar, böylece proteinlerin, DNA ve diğer biyomoleküllerin zararını yönetir. Bundan dolayı, alımdan hemen sonra bakır iyonlarının büyük kısmı toksik bir formda birikmeden bakırı tolere etmek için metallothioneinler gibi süpürücü proteinlerle bağlanır (Hänsch & Mendel, 2009).

1.2.4.1. Bakırın böceklerle etkileri

Bakır bitkilerde ve hayvanlarda fizyolojik fonksiyonlara sahiptir fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilmektedir (Korentajar, 1991). Ernst'ün (1987) 400 µg/g bakır miktarının böcek larvalarına aşırı şekilde toksik olduğunu bulması özellikle ilgi çekicidir çünkü bakırın bu seviyesi, bitkilerin çok fazla birikim yapma seviyesi olan 1000 µg/g'ın oldukça altındadır (Baker & Brooks, 1989).

Bakırın böcekler üzerindeki etkisi hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. *Epirrita autumnata* larvaları ile yapılan bir çalışmada (van Ooik, 2008), bu larvaların kontrol yaprakları ve minimum (103.5±14 µg/g) ve maksimum (207±14 µg/g) bakırla kontamine olmuş yapraklarda beslenmeleri sonucunda, kontrolle kıyaslandığında minimum bakır miktarının bu larvada enkapsülasyon oranını yükselttiği, bunun aksine maksimum bakır dozunun ise enkapsülasyon oranını azalttığı bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada (Ortel vd, 1993), kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 10 ve 50 ppm bakıra maruz bırakılan *L. dispar* pupalarından sağlıklı çıkan erginlerin sayısının daha az olduğu bulunmuştur. Başka çalışmalarda ise, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında bakıra maruz kalmış *Ceratitis capitata* ve *Coptera occidentalis*'in gelişme oranlarının daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Ortel vd, 1993; Kazimirova vd, 1997).

Ağır metal biriktiren bitkilerle beslenen böcekler vücutlarında bu metalin bir kısmını biriktirebilirler. Kontrol ve bakırla muamele edilen mısır bitkisinde (*Zea mays*) beslenen *Locusta migratoria*'nın vücudunda biriktirdiği bakır miktarının incelendiği bir çalışmada (Crawford vd, 1996), uygulama yapılan mısırdaki beslenen çekirgelerin vücutlarında biriktirdikleri bakır konsantrasyonunun (85.0 µg/g) kontroldekilerden (67.1 µg/g) fazla olduğu bulunmuştur. Dışkıya ait ortalama bakır miktarının ise bakır ile muamele edilen bitkilerde yüksek olduğu görülmüştür (78.1 µg/g). Bakır ile muamele edilen mısırdaki beslenen böceklerin kontrol mısırındakilerden ziyade önemli ölçüde daha fazla bakır tükettikleri ve kontrol bitkilerindekilerden ziyade daha fazla bakırı dışarı attıkları bulunmuştur.

1.2.5. Kobalt (Co)

Kobalt doğal olarak oluşan bir elementtir ve kayalarda, topraklarda, su ve vejetasyonda geniş dağılım göstermektedir. Yerkabuğunda en çok bulunan 31. elementtir (Krauskopf & Bird, 1995) ve 17 ülkede madeni işletilmektedir.

Kobaltın gerekli bir nutrient olmasına rağmen, aşırı oral dozlar bir dizi zıt tepkiye neden olur. Kobalt daha yüksek konsantrasyonlarda insanlar, karasal ve denizel hayvanlar ve bitkiler için toksiktir (Nagpal, 2004).

Kobaltın en yüksek birikimi bitkilerin köklerde gerçekleşmektedir, buna rağmen bitkinin diğer kısımlarının değişen derecelerde birikim yaptıkları bulunmuştur (Euras, 2005; Sasmaz & Yaman, 2006). Daha yüksek bitkilerde, kobaltın güçlü şekilde köklere bağlandığı ve pasif taşıma sayesinde toprak solüsyonundan başlıca absorbe edildiği rapor edilmiştir (Pilon-Smits vd, 2009).

Kobalt bakımından doğal olarak zengin olan toprakların ayrıca nikel bakımından da daha zengin oldukları ve nikel fitotoksitesinin genellikle hâkim olduğu ileri sürülmüştür (Pinkerton vd, 1981; Robinson vd, 1999a,b). Kobalt diğer elementlerle kompleksler oluşturmak için etkileşime girer ve kobaltın ve bileşeninin sitotoksik ve fitotoksik aktiviteleri bu komplekslerin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlıdır (Smith & Carson, 1981).

1.2.5.1. Kobaltın böceklerle etkileri

Diğer ağır metaller gibi kobaltın da çeşitli canlılar üzerinde olumsuz etkileri mevcuttur. Cheruiyot vd (2013) tarafından yapılan bir çalışmada kobalt, nikel, çinko ve bakırı kullanan tercihsiz beslenme deneylerinde *S. exigua*'nın larval büyümesinin azaldığı ve bu herbivorun larval ölüm oranında artış meydana geldiği bulunmuştur. Bu çalışma, *S. exigua* için kobaltın 45 µg/g, bakırın ise 530 µg/g seviyesinde toksik olduğunu göstermiştir.

Coleman vd (2005) yapay besine belirli konsantrasyonlarda ilave ettikleri sekiz metalin (Ni, Zn, Cd, Co, Cr, Cu, Mn ve Pb) *Plutella xylostella* larvalarına karşı toksisite eşiklerini belirledikleri çalışmada, tüm metallerin belirli konsantrasyonda larval hayatta kalmayı etkilediği bulunmuştur. Manganın 1370 µg/g, çinkonun 275 µg/g, bakırın 195 µg/g, kromun 106 µg/g, kobaltın 40 µg/g, kadmiyumun 7.5 µg/g,

nikelin 20 µg/g ve kurşunun ise 15 µg/g'lık konsantrasyonlarda hayatta kalmada önemli düşüşe neden olduğu kanıtlanmıştır.

Çok fazla birikim yapan bitkilerle beslenen herbivor böcekler beslendikleri bitkilerdeki metallerin bir kısmını vücutlarında biriktirirler. Çok fazla nikel birikimi yapan *B. coddii* nikelin yanı sıra kobalt, krom, bakır, magnezyum, mangan, kurşun ve çinko metallerini de biriktirmektedir. Boyd vd (2006) bu bitkiyle beslenen çeşitli böceklerin vücutlarında biriken metallerin miktarlarını belirlemek için yaptıkları çalışma sonucunda, heteropter böcekler olan *Spilostethus rivularis* (Germar) için 630 µg/g ve *Veterna sanguineirostris* (Thb.) için 1800 µg/g, orthopter *Stenoscepa sp.* için 3500 µg/g nikelin bu böceklerin vücutlarında biriktiği bulunmuştur. İnceledikleri böceklerde bakırın ortalama konsantrasyonlarının 15-110 µg/g, çinkonun ortalama konsantrasyonlarının ise 79-1100 µg/g arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca, bu çalışmada kobaltın *Stenoscepa sp.* (4.8 ± 2.8 µg/g) ve *Chrysolina clathrata* (Clark) (2.6 ± 1.5 µg/g) dâhil sadece birkaç böcekte olduğu tespit edilmiştir.

1.2.6. Demir (Fe)

Demir 55.847 nispi atomik ağırlığa sahiptir ve bilinen altı izotopundan en çok bulunanları ^{54}Fe (%5.82), ^{56}Fe (% 91.66) ve ^{57}Fe (%2.19)'dir (Taylor, 1964). Kontamine topraklarda genellikle mevcut olan kadmiyum (Cd (II)), kurşun (Pb (II)), bakır (Cu (II)) ve krom (Cr (VI)) gibi iz ağır metaller hem mikroorganizmalarda hem de bitkilerde demire olan gereksinim semptomlarını arttırabilirler (Baysse vd, 2000; Yoshihara vd, 2006; Christian vd, 2008), böylece büyümeyi negatif olarak etkilerler. Ayrıca, bunlar proteinlerin sülfidril gruplarını birleştirebilir, bu durum enzimlerin aktivitesini engellemektedir.

Demir bitkiler ve hayvanların büyümesi için gerekli bir elementtir. Eksikliği çeşitli hastalıklara neden olabilir; bununla beraber, yüksek konsantrasyonu bitki büyümesini etkiler.

1.2.6.1. Demirin böceklere etkileri

Ağır metal biriktiren bitkilerle beslenen böcekler demiri vücutlarında biriktirebilirler. *Neodiprion sertifer* larvalarının *Pinus sylvestris* bitkisinin iğnelerinde yetiştirildiği bir çalışmada (Heliövaara & Väisänen, 1990b), demirin en yüksek değerlerinin

iğnelerde 1485.5 µg/g, dışkıda 963.1 µg/g, ergin dişilerde 81.8 µg/g ve boş kozalarda 157.6 µg/g olduğu bulunmuştur. Larvaların fabrikalara en yakın alanlardan kontamine iğnelerde yetiştirildiğinde, ağırlıkta % 10 ve dişiler tarafından bırakılan yumurta sayısında ise % 13'lük bir düşüşün meydana geldiği bulunmuştur. Eğer ağır metaller *N. sertifer*'de birikirse, daha sonra bu birikim küçük memeliler ve kuşlara besin zinciri boyunca aktarılabilir.

B. coddii'de beslenen *Protaphis pseudocardui*, *Orthesia* sp. ve *Norialsus berkheyae*'nin vücutlarındaki bazı ağır metallerin (Ni, Zn ve Fe) bu böceklerin vücudunun hangi kısımlarında bulunduğunu inceleyen çalışmada (Migula vd, 2007), *P. pseudocardui*'nin seçilen vücut kısımlarından en düşük demir miktarının abdomende (41 ± 0.5 µg/g), en yüksek demir miktarının ise bu böceğin ikinci bacak çiftinde (180 ± 12 µg/g) olduğu bulunmuştur. *Orthesia* sp. için tespit edilen demir miktarının en az metathoraksta (137 ± 1 µg/g), en fazla ise prothoraksta (407 ± 10 µg/g) olduğu tespit edilmiştir. *N. berkheyae* için belirlenen en yüksek demir miktarının bu böceğin metathoraksında (107 ± 2 µg/g), en az demir miktarının ise böceğin baş bölgesinde (43 ± 2 µg/g) olduğu belirlenmiştir.

Çok fazla birikim yapan bitkilerde beslenen ikinci larva evresindeki *Stenoscepa* sp.'nin doku ve organlarındaki bazı elementlerin (Ni, Fe, Zn, Cu) bu böcekteki dağılımının belirlendiği çalışmada (Augustyniak vd, 2008) demirin beyinde 65 ± 1 µg/g, bağırsakta 48 ± 1 µg/g ve malpigi tübüllerinde ise 118 ± 11 µg/g olduğu tespit edilmiştir.

1.3. *Hyphantria cunea* L. (Lepidoptera: Arctiidae)'nın Karakteristik ve Ekolojik Özellikleri

Anayurdu Kuzey Amerika olan sonbahar tırtılı *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) 1940'lardan beri ılıman olan kuzey yarım kürede çoğu bölgede koloni oluşturmuştur (Warren & Tadic, 1970). Kuzey Amerika'da, kuzeyde sadece bir tane fakat güneyde ise dörtten daha fazla nesil veren *H. cunea* habitatları Kanada'dan (45°N) Meksika Körfezi'ne (30°N) kadar değişiklik göstermektedir (Oliver, 1964; Morris & Fulton, 1970). *H. cunea*, Avrupa ve Asya'nın bazı bölgelerine kazara getirilmiştir (Warren & Tadic, 1970). Türkiye'de ilk kez 1975 yılında Edirne, İstanbul (Çatalca, Silivri), Tekirdağ'da görülmüş olan *H. cunea*

günümüzde Marmara ve Karadeniz Bölgeleri ile Kuzey Ege’de yayılmıştır (İren, 1977; Baş, 1982).

Waren & Tadic (1970) bu türün, böceklerin en polifagları arasında olduğunu ve Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya’daki konak bitkilerinin sayısının 630’u geçtiğini rapor ettiler. Tercih ettikleri konaklar yaprak dökken odunsu bitkilerdir fakat larvalar *Clematis* (Swain, 1936) ve hatta gymnospermiler (Oliver, 1964) gibi otsu bitkilerde de görülmektedir.

Toplu halde yaşayan larvalar koruma (Ito, 1977) ve termoregülasyon (Morris & Fulton, 1970; Rehnberg, 2002, 2006) için özellikle yaprak dökken ağaçların dış dallarında geniş ağlar örерler. Sıcak zonlarda yaşayıp kışlayan çoğu böcek düşük moleküler ağırlıklı şekerler ve polioller gibi soğuktan koruyucuların birikimi yoluyla soğuğa karşı dayanıklılık geliştirme ve/veya diyapoza girme ile çevresel streslere karşı koyarlar (Tauber vd, 1986; Danks, 1987; Denlinger, 1991; Storey & Storey, 1991). Soğuğa dayanma ve diyapoz kışlayan çoğu böcek için zorunlu iki bileşen olmasına rağmen, bu iki özellik arasındaki ilişki genellikle belirsizdir (Denlinger, 1991). *H. cunea* diyapoz geçiren bir türdür (Oliver, 1964). Bu tür Kanada’da fotoperiyot, sıcaklık, nispi nem ve besinin kalitesi kombinasyonları altında pupal diyapoza girmektedir (Morris, 1967). *H. cunea*’nın yılda 2 nesil veren Japonya popülasyonları kışın azalan fotoperiyoda tepki olarak pupal diyapoza girerler ve bunu takip eden yıla kadar toprak üstünde diyapoza giren bir pupa olarak kışı geçirirler (Masaki vd, 1968; Masaki, 1977; Gomi, 1996a,b). Türkiye’de de bu tür yılda iki nesil vermekte ve ikinci nesil pupal diyapoza girmektedir.

H. cunea’nın büyük bir istilası 1984-1985’de Türkiye’nin Samsun İlinde meydana gelmiştir ve bu istila fındık (*Corylus avellana* L.) fidanlıklarında ciddi yaprak dökülmelerine neden olmuştur (Sullivan vd, 2012). *H. cunea*’nın 1982’den beri önemli bir zararlı olduğu Çarşamba Ovası’nda 2007’den 2011’e kadar olan periyot dahil lokal olarak ciddi istilalar devam etmektedir (Işık & Yanılmaz, 1992; Tuncer, 1992; Sullivan vd, 2010). Batı Gürcistan’daki alanlarda ciddi istilalar yaşanmıştır (Japoshvili vd, 2006) ve bu zararlı Samsun İli ve Gürcistan sınırı arasındaki etkilenmemiş fındıklıkların birkaç yüzbinlik hektarına zarar verme potansiyeline sahiptir (Sullivan vd, 2012). Bu türün tarım alanlarında çok fazla tahribata neden olduğu bilinmektedir. Tahribata neden olduğu bitkilerin başında fındık, erik, elma gibi ekonomik öneme sahip olan meyve ağaçları gelmektedir.

Bu türle mücadelede botanik insektisitler, antifeedantlar (normal beslenme davranışını önleyen maddeler) ve mikroorganizmalar gibi doğal bitki koruma bileşiklerini aramak için araştırma yürütülmüştür (Zibae vd, 2010). Bitkiler tarafından sentezlenen sekonder organik bileşikler larval büyümedeki gecikme ve metamorfoz ya da antifeedantlarla böcek herbivorluğuna karşı bitkileri korumada önemli bir role sahiptir (Isman, 2006).

H. cunea'nın sistematik gösterimi aşağıdaki gibidir:

Alem: Animalia

Şube: Arthropoda

Sınıf: Insecta

Takım: Lepidoptera

Alt Takım: Jugata

Familya: Arctiidae

Alt Familya: Spilosominae

Cins: Hyphantria

Tür: *Hyphantria cunea*



Şekil 1.3. *Hyphantria cunea* larvası



Şekil 1.4. *Hyphantria cunea* pupası

a



b



Şekil 1.5. *Hyphantria cunea* dişisi (a) ve erkeği (b)



Şekil 1.6. *Hyphantria cunea* yumurtaları

1.4. Tezin Amacı

Bu çalışmada özellikle Türkiye'nin kuzeyinde populasyon yoğunluğunun çok olduğu yıllarda tarım ve orman arazilerine ciddi zararlar veren Türkiye için egzotik ve güçlü polifaj bir tür olan *H. cunea*'nın birinci neslinin son larva evresine bazı sekonder maddelerin ve bazı ağır metallerin birlikte etkisinin çalışılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, sekonder maddelerin bir grubu olan fenolik bileşiklerden tanik asit ve gallik asidin, ağır metallerden ise demir, çinko, bakır, nikel ve kobaltın son larva evresindeki *H. cunea* larvalarının toplam besin tüketim miktarları, pupa ağırlıkları, pupa lipit miktarları, pupa protein miktarları ve gelişim sürelerine olan etkileri incelenmiştir.

Çalışmada, kullanılan farklı sekonder maddelere ve ağır metallere karşı türün tepkisi belirlenerek, bunların farklı konsantrasyonlarına karşı larvaların dirençli olup olmadıkları ve pupa evresine ulaşip ulaşamadıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Ağır metaller böceklerin ölüm oranları (Mitterbock & Fuhrer, 1988) ve büyüme oranlarında (Warrington, 1987) belirli etkiler göstermektedirler. Bitki fenoliklerinin de herbivorlara karşı kimyasal savunmada önemli bir rol oynadığına inanılmasına rağmen, böcekler üzerinde bunların özel fizyolojik etkileri değişebilir (Harborne, 1991; Appel, 1993). *H. cunea* larvalarının da fizyolojik olarak sekonder maddelere karşı güçlü olduğu söylenebilir.

Doğadaki bitkilerde sadece sekonder maddeler ya da sadece ağır metaller tek başlarına bulunmayabilirler, bunlar birlikte de bulunabilmektedirler. Çalışmanın amacı, bu düşünceyle seçilen sekonder maddelerin ve ağır metallerin birlikte bu larva üzerinde yaptıkları etkileri araştırmaktır.



2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Larvaların Elde Edilmesi

H. cunea türüne ait larvalar Samsun İli Çarşamba İlçesi sınırları içinde muhtelif zamanlarda yapılan arazi çalışmaları sonucu toplanmıştır.

2.2. Beslenme Deneyleri

Literatürde birçok yayınlara (Lee vd, 2002, 2004; Henriksson vd, 2003) örtüşecek şekilde son larva evresine gelen larvalar her besin grubunda 15 larva olacak şekilde tek tek plastik kaplara alınarak gün aşırı olarak beslenme deneyine başlanmıştır. Bu beslenme deneylerinde, gün aşırı olarak yeni besin 0.001 hassasiyetli terazide tartılarak verilmiş ve kalan besinlerin etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları tartılmış ayrıca gün aşırı larvalardaki ağırlık değişimleri ve dışkıları tartılarak not edilmiş ve bu işleme larvalar pupa oluncaya kadar devam edilmiştir.



Şekil 2.1. Beslenme deneyi için kurulan düzenekler

2.3. Yapay Besin İçerikleri

Larvaları beslemek amacıyla Yamamoto (1969) tarafından geliştirilen yapay besin temel besin (kontrol besini) olarak kullanılmıştır ve bu besin içerisine çalışmanın amacına uygun olarak sekonder maddelerden tanik asit (TA) ve gallik asit (GA), ağır metallerden ise nikel (Ni), çinko (Zn), bakır (Cu), kobalt (Co) ve demir (Fe) belirli konsantrasyonlarda ilave edilerek besinler hazırlanmıştır. Yapay besine kuru ağırlığın % 2.5, % 5 ve % 7.5'lik konsantrasyonlarında tanik asit ve gallik asit katılarak 6 besin hazırlanmıştır. % 4, % 8 ve % 12 konsantrasyonlarında nikel, çinko, bakır, kobalt ve demir çözeltileri hazırlanılarak 15 besin yapılmıştır. Tanik asit ve gallik asidin her birinin % 5'lik konsantrasyonlarına ağır metallerin % 8'lik çözeltileri ilave edilerek 10 besin hazırlanmıştır. Biri kontrol besini olmak üzere toplamda 32 besin hazırlanmıştır.

Ağır metaller % 4'lük konsantrasyon için 0.788 mg, % 8'lik konsantrasyon için 1.576 mg ve % 12'lik konsantrasyon için 2.364 mg tartılarak stok çözeltiler elde edilmiştir. 10 ml olarak hazırlanan her bir stok çözeltiden 1 ml alınarak yapay besinlere ilave edilmiştir.

Yamamoto (1969) tarafından geliştirilen yapay besinde bulunan maddeler: buğday kepeği, protein olarak, kazein; karbohidrat olarak, sakkaroz, torula mayası, vitamin karışımı, tuz karışımı, kolesterol, sorbik asit, metil paraben, keten yağı, agar ve sudur (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Yamamoto yapay besinin içindeki madde miktarları (1 kg için)

Besin maddesi	Miktar
Buğday Kepeği (Wheatgerm)	80 g/kg
Kazein (Sigma (C-6554))	30 g/kg
Sukroz	30 g/kg
Torula mayası (Sigma (Y-4625))	16 g/kg
Vitamin karışımı (Vanderzant vitamin mixture Sigma (V-1007))	10 g/kg
Tuz karışımı (Wesson salt mixture Sigma (W-1374))	8 g/kg
Kolesterol (Sigma (C-2044))	0.2 g/kg
Sorbik asit (Sigma (S-1626))	2 g/kg
Metil paraben (Sigma (H- 3647))	1 g/kg
Keten yağı (Sigma (L-3026))	1 ml/kg
Agar	20 g/kg
Su	800 ml/kg

Çizelge 2.2. Besin tipleri ve besin içerikleri

Besin Tipi	Besin İçeriği
A	Kontrol Besini (KB)
B	KB+% 2.5 TA
C	KB+% 5 TA
D	KB+% 7.5 TA
E	KB+% 2.5 GA
F	KB+% 5 GA
G	KB+% 7.5 GA
H	KB+ % 4 Fe çözeltisi
I	KB+ % 8 Fe çözeltisi
J	KB+ % 12 Fe çözeltisi
K	KB+ % 4 Zn çözeltisi
L	KB+ % 8 Zn çözeltisi
M	KB+ % 12 Zn çözeltisi
N	KB+ % 4 Cu çözeltisi
O	KB+ % 8 Cu çözeltisi
P	KB+ % 12 Cu çözeltisi
R	KB+ % 4 Ni çözeltisi
S	KB+ % 8 Ni çözeltisi
T	KB+ % 12 Ni çözeltisi
U	KB+ % 4 Co çözeltisi
V	KB+ % 8 Co çözeltisi
Y	KB+ % 12 Co çözeltisi
a	KB+% 5 TA+% 8 Fe çözeltisi
b	KB+% 5 TA+% 8 Zn çözeltisi
c	KB+% 5 TA+% 8 Cu çözeltisi
d	KB+% 5 TA+% 8 Ni çözeltisi
e	KB+% 5 TA+% 8 Co çözeltisi
f	KB+% 5 GA+% 8 Fe çözeltisi
g	KB+% 5 GA+% 8 Zn çözeltisi
h	KB+% 5 GA+% 8 Cu çözeltisi
i	KB+% 5 GA+% 8 Ni çözeltisi
j	KB+% 5 GA+% 8 Co çözeltisi

2.4. Kloroform ile Lipit Analizi

Yukarıda bahsedilen beslenme çalışmalarının sonucunda elde edilen *H. cunea* türüne ait pupalar kurutulmak üzere 45°C'ye ayarlanmış etüve konulmuş ve pupalar sabit ağırlığa erişinceye kadar etüv içinde tutulmuştur. Kuruduktan sonra etüvden alınan pupalar yağ içeriklerinin tespit edilmesi için tüplere konularak yüzey alanını arttırmak için ezilmiş ve sonrasında saf kloroform içinde 24 saat tutulmuş ve bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Böylece, pupa örneklerinden yağ içeriği uzaklaştırılmıştır. Bir sonraki aşamada bu pupalar tekrar etüv içerisine konularak kurutulmaları sağlanmıştır. Kuruyan örnekler tartılarak pupaların lipitsiz

ağırlıkları not edilmiştir. Lipitsiz hale gelen pupalar üzerinde daha sonraki analizlere devam edilmiştir (Simpson, 1983).

2.5. Kjeldahl Metodu ile Protein Analizi

Lipitleri alınmış *H. cunea* türüne ait pupaların azot tayini semi-mikro Kjeldahl metodu ile Kjeltec Auto 1030 analizörü (Tecator, Sweden) ile yapılmıştır. Bunun için pupa örnekleri alınarak konsantre sülfürik asit ve potasyum sülfat-bakır sülfat (95-5) karışımında yaş yakmaya tabii tutulmuş, daha sonra % 40'lık NaOH ilave edilerek distile edilmiş ve çıkan azotlu maddeler % 4'lük borik asit içinde tutulmuştur. Borik asit çözeltisi, daha sonra 0,1 N HCl ile geri titrasyona tabii tutulmuştur (Allen vd, 1986). Bu işlem sonucunda bulunan % azot miktarları 6,25 sabitiyle çarpılarak % protein miktarları bulunmuştur (Monk, 1987).

2.6. İstatistiksel Analizler

Çalışmada *H. cunea* larvalarının toplam besin tüketim miktarlarının, pupa ağırlıklarının, pupa lipit miktarlarının, pupa protein miktarlarının ve gelişim sürelerinin istatistiksel açıdan birbirinden farklı olup olmadıkları ANOVA testi ile belirlendi ve Dunnet testi kullanıldı. Bu testler için SPSS 21 versiyonu kullanıldı.



3. BULGULAR

H. cunea larvalarıyla yapılan belirli konsantrasyonlarda ve kombinasyonlarda sekonder madde ve ağır metal eklenmiş ve biri kontrol besini olmak üzere farklı 32 yapay besinle beslenme deneyi sonuçları toplam besin tüketim miktarları, pupa ağırlıkları, pupa lipit miktarları, pupa protein miktarları ve gelişim süreleri başlıkları altında ele alınmıştır.



Çizelge 3.1. *Hyphantria cunea* larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen toplam besin tüketim miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması

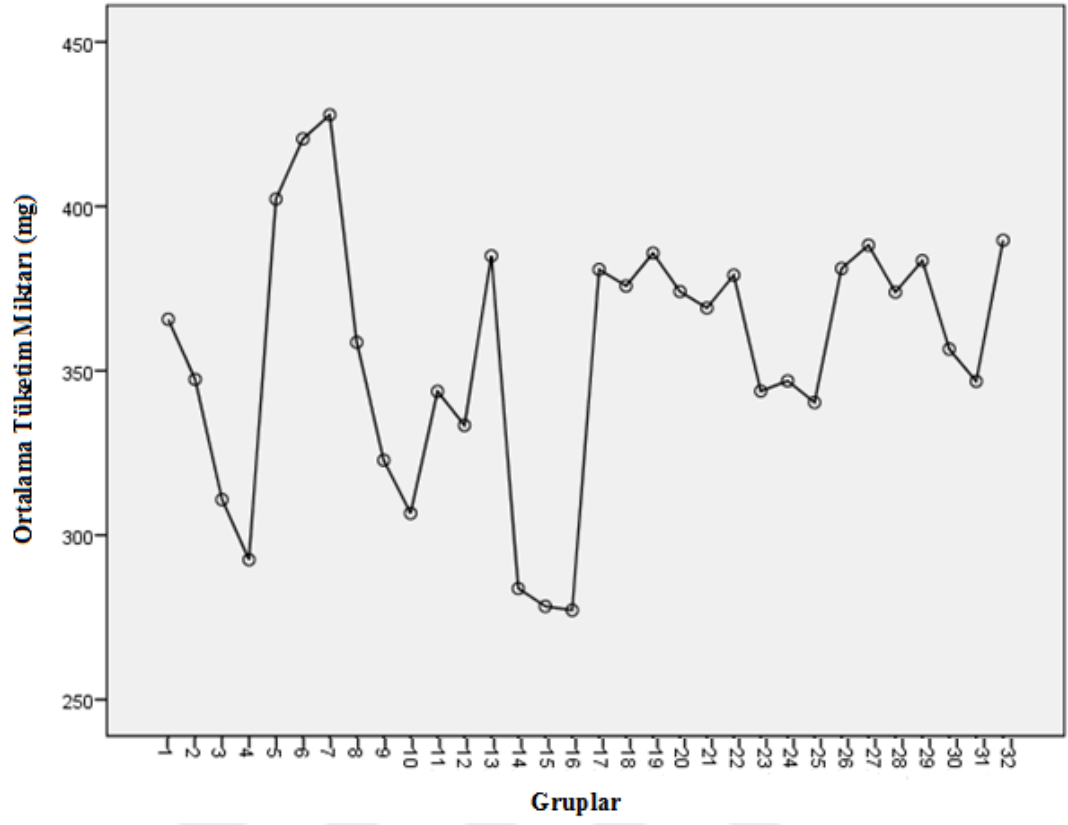
Gruplar	Birey Sayısı	Toplam Tüketim Miktarı (mg)	P
A (Kontrol)	15	365.6±0.4	-
B	15	347.3±0.4	.000
C	15	310.8±0.4	.000
D	15	292.5±0.4	.000
E	15	402.2±0.5	.000
F	15	420.5±0.5	.000
G	15	427.8±0.5	.000
H	15	358.6±0.4	.000
I	15	322.7±0.4	.000
J	15	306.6±0.4	.000
K	15	343.7±0.4	.000
L	15	333.4±0.4	.000
M	15	384.9±0.5	.000
N	15	283.7±0.3	.000
O	15	278.3±0.3	.000
P	15	277.1±0.3	.000
R	15	380.7±0.5	.000
S	15	375.7±0.5	.000
T	15	385.7±0.5	.000
U	15	374.0±0.5	.000
V	15	369.0±0.5	.000
Y	15	379.0±0.5	.000
a	15	343.8±0.4	.000
b	15	346.9±0.4	.000
c	15	340.3±0.4	.000
d	15	381.0±0.5	.000
e	15	388.1±0.5	.000
f	15	373.8±0.5	.000
g	15	383.4±0.4	.000
h	15	356.5±0.5	.000
ı	15	346.7±0.4	.000
j	15	389.6±0.5	.000
Total	480	355.3±1.7	-
s.d.	479	-	-
F	578.379	578.379	-
P	<0,05	<0,05	<0.05

H. cunea larvalarının farklı besinlerde beslenme deneyinden elde edilen sonuçlara göre en az tüketim miktarının % 12 oranında Cu içeren P besini ile beslenen larvalarda, en yüksek tüketim miktarının ise % 7.5 gallik asit içeren G besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle toplam tüketim miktarı azalmıştır. Bu grupların tümünün toplam tüketim miktarları kontrol grubunun toplam tüketim miktarından azdır. Aksine, artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle tüketim miktarının arttığı hatta en yüksek tüketim miktarının bu grup içerisinde olduğu bulunmuştur. Ağır metallerden besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonlarının artışıyla tüketim miktarları azalmıştır. Bu grupların tüketim miktarları kontrol grubunun tüketim miktarından düşüktür. Nikel ve kobaltın tekli konsantrasyonlarının kullanıldığı tüm gruplarda tüketim miktarları kontrol grubundan daha yüksektir. Çinko, nikel ve kobalt metallerinin tekli konsantrasyonlarını içeren tüm grupların % 8'lik konsantrasyonlarındaki tüketim miktarlarının % 4'lükten daha az olduğu yani metal konsantrasyonunun artması sonucu tüketim miktarının düştüğü bulunmuştur. Fakat bu metallerin % 12'lik konsantrasyonlarındaki tüketim miktarlarının kendi grupları içinde en üst seviyede olması da şaşırtıcıdır.

Besine tanik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde, % 8 Ni içeren d besini ve % 8 Co içeren e besini hariç diğer tüm grupların tüketim miktarlarının kontrol besininin tüketim miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde ise, % 8 Cu içeren h besini ve aynı oranda nikel içeren ı besininin kontrol grubunun tüketim miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur.

Yapılan bu deneyin sonucunda tüm besin gruplarının tüketim miktarlarının kontrol besininin tüketim miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur.



Şekil 3.1. *Hyphantria cunea* larvalarının besin gruplarına göre toplam tüketim miktarı ortalamalarının karşılaştırılması

Çizelge 3.2. *Hypantiria cunea* larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa ağırlıkları ve kontrol grubu ile kıyaslanması

Gruplar	Birey Sayısı	Pupa Ağırlığı (mg)	P
A (Kontrol)	15	58.0±1.0	-
B	15	48.3±0.9	.000
C	15	40.9±0.7	.000
D	15	35.3±0.7	.000
E	15	62.6±1.1	.005
F	15	63.7±1.2	.000
G	15	64.9±1.2	.000
H	15	39.8±0.2	.000
I	15	31.8±0.2	.000
J	15	28.7±0.2	.000
K	15	45.6±0.5	.000
L	15	43.7±0.9	.000
M	15	54.1±0.9	.038
N	15	30.2±0.2	.000
O	15	29.3±0.2	.000
P	15	26.1±0.2	.000
R	15	66.4±1.0	.000
S	15	63.2±1.0	.001
T	15	69.6±1.0	.000
U	15	64.1±1.0	.000
V	15	60.9±1.0	.267
Y	15	67.3±1.0	.000
a	15	37.5±0.9	.000
b	15	40.9±0.5	.000
c	15	44.2±0.9	.000
d	15	65.0±1.0	.000
e	15	42.5±0.9	.000
f	15	39.5±0.9	.000
g	15	34.0±0.9	.000
h	15	42.6±0.9	.000
i	15	41.2±0.9	.000
j	15	60.2±1.0	.669
Total	480	48.2±0.6	-
s.d.	479	-	-
F	241.365	241.365	-
P	<0,05	<0,05	<0.05

H. cunea larvalarının farklı besinlerde beslenme deneyinden elde edilen sonuçlara göre en az pupa ağırlığının % 12 oranında Cu içeren P besini ile beslenen larvalarda, en fazla pupa ağırlığının ise % 12 oranında Ni içeren T besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

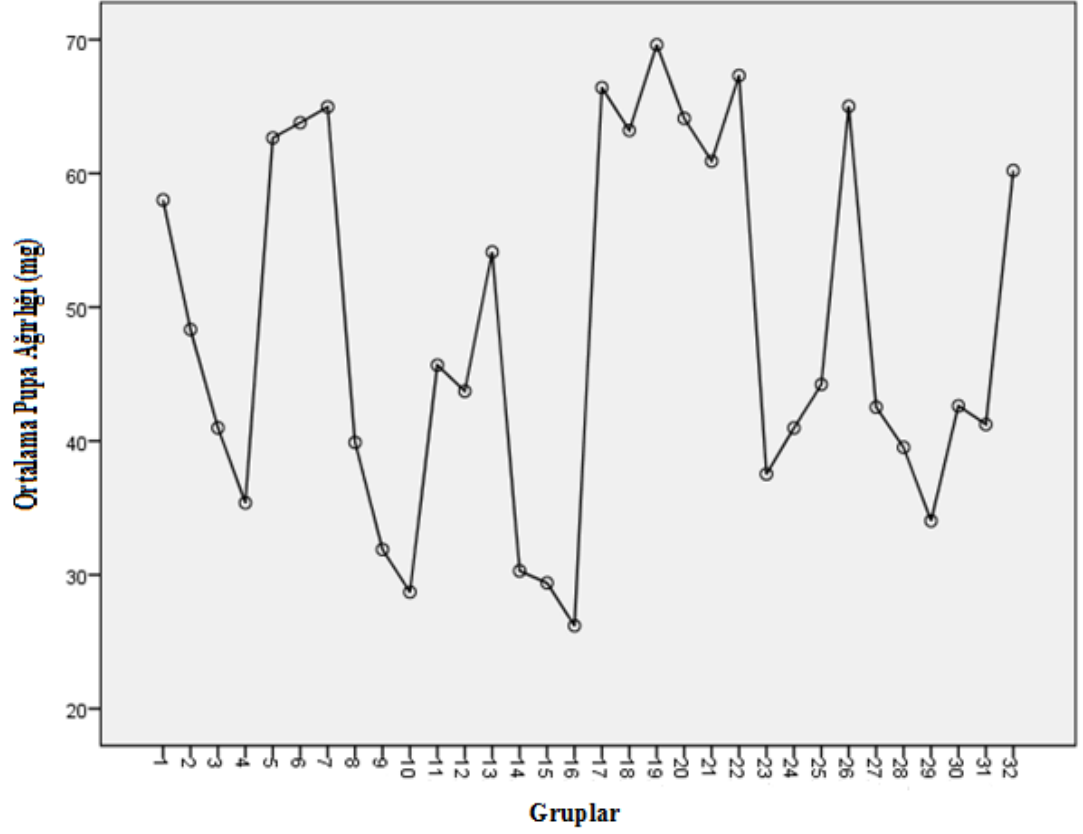
Çinko, nikel ve kobalt metallerinin tekli konsantrasyonlarını içeren tüm grupların % 8'lik konsantrasyonlarındaki pupa ağırlıklarının % 4'lükten az olduğu yani metal konsantrasyonunun artması sonucu pupa ağırlığının düştüğü bulunmuştur. Fakat bu metallerin % 12'lik konsantrasyonlarındaki pupa ağırlıklarının kendi grupları içinde en üst seviyede olması şaşırtıcıdır. Özetle, düşükten yükseğe konsantrasyon artışında pupa ağırlığı önce azalmış, sonrasında ise artmıştır.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle pupa ağırlığı azalmıştır. Bu gruplarının tümünün pupa ağırlıkları kontrol grubunun pupa ağırlığından azdır. Bunun aksine, artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle pupa ağırlığının arttığı bulunmuştur. Bu grupların tümünün pupa ağırlıkları ise kontrol grubunun pupa ağırlığından fazladır. Ağır metallerden besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonu arttıkça pupa ağırlığı azalmıştır. Nikel ve kobaltın tekli konsantrasyonlarının kullanıldığı tüm gruplarda pupa ağırlıkları kontrol grubundan daha yüksektir. Diğer üç metalin (Fe, Zn ve Cu) farklı konsantrasyonlarının kullanıldığı grupların pupa ağırlıklarının tümü kontrol grubunun pupa ağırlığından düşüktür.

Besine tanik asit ve her bir ağır metal tek olarak eklendiğinde, % 8 Ni içeren d besini hariç diğer tüm grupların pupa ağırlıklarının kontrol besininin pupa ağırlığından daha düşük olduğu bulunmuştur. Tanik asit içeren tüm grupların pupa ağırlıklarının kontrol grubundan düşük, nikel içeren tüm grupların ise pupa ağırlıklarının kontrol grubundan yüksek olduğu göz önüne alınırsa, d besinindeki nikelin tanik asidin etkisine daha baskın geldiği söylenebilir.

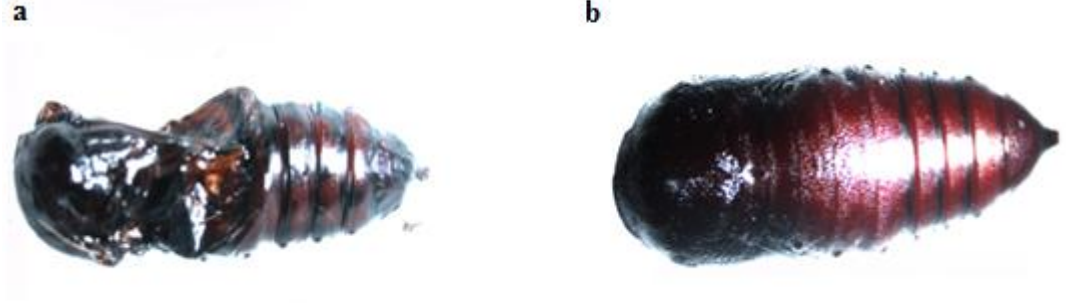
Besine gallik asit ve her bir ağır metal tek olarak eklendiğinde, % 8 Co içeren j besininin kontrol grubunun pupa ağırlığından daha yüksek olduğu bulunmuştur. % 5 gallik asit ve % 8 nikelin kullanıldığı grupların her birinin pupa ağırlıkları kontrolden daha yüksek iken, bu sekonder madde ve ağır metalin birlikte kullanıldığı 1 besininin pupa ağırlığının kontrolden düşük olması ilginçtir.

V ve j besinleri hariç diğer tüm besin gruplarındaki pupaların pupa ağırlıklarının kontrol grubundan istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. V ve j besinleri % 8 oranında Co içeren besinlerdir. j besinindeki gallik asidin kobaltın etkisini kontrol besinine göre istatistiksel açıdan değiştirmedığı görülmektedir.



Şekil 3.2. *Hyphantria cunea* pupalarının besin gruplarına göre ağırlık ortalamalarının karşılaştırılması

Bazı pupaların olması gereken pupa şekline tam anlamıyla sahip olamadıkları görülmüştür. Bu da bazı pupaların olması gerekenden daha düşük pupa ağırlıklarına sahip oldukları anlamına gelmektedir.



Şekil 3.3. Tam-olmayan bir pupa şekli (a) ve tam bir pupa şekli (b)

Çizelge 3.3. *Hyphantria cunea* larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa protein miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması

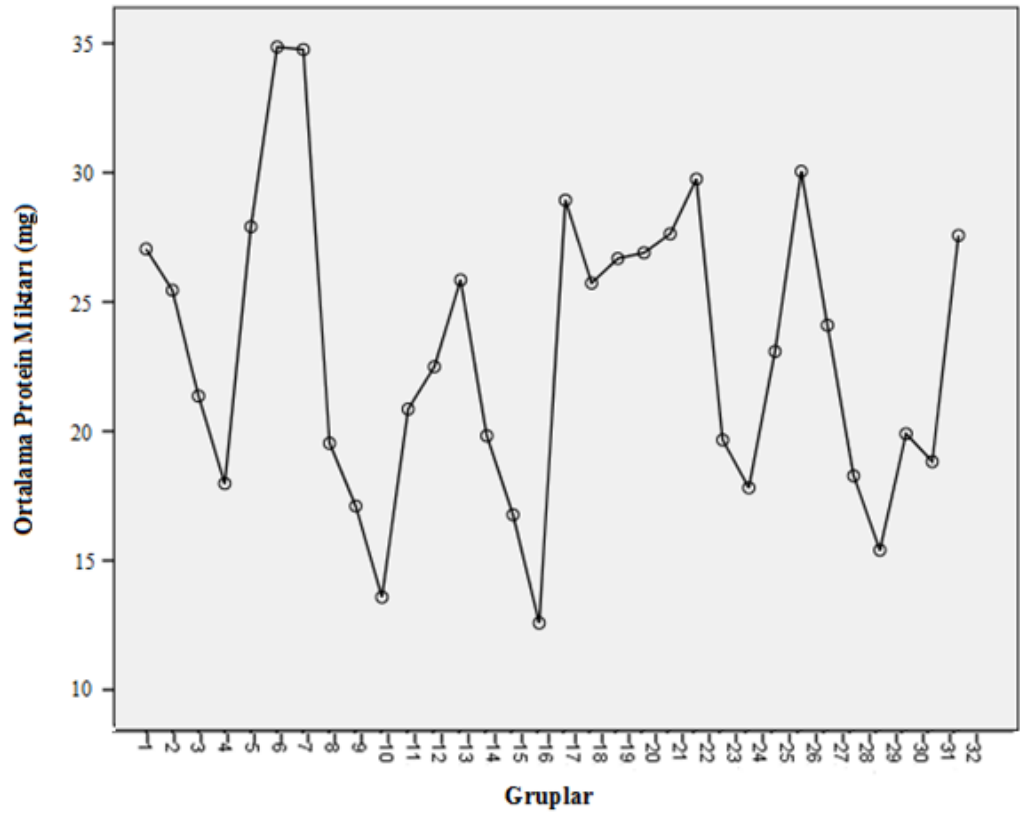
Gruplar	Birey Sayısı	Pupa Protein Miktarı (mg)	P
A (Kontrol)	15	27.1±0.4	-
B	15	25.5±0.4	.106
C	15	21.4±0.3	.000
D	15	18.1±0.3	.000
E	15	27.9±0.5	.883
F	15	34.8±0.6	.000
G	15	34.7±0.2	.000
H	15	19.6±0.1	.000
I	15	17.2±0.1	.000
J	15	13.7±0.0	.000
K	15	20.9±0.2	.000
L	15	22.5±0.4	.000
M	15	25.9±0.4	.436
N	15	19.9±0.1	.000
O	15	16.9±0.1	.000
P	15	12.7±0.1	.000
R	15	28.9±0.4	.027
S	15	25.8±0.4	.301
T	15	26.7±0.4	1.000
U	15	26.9±0.4	1.000
V	15	27.6±0.4	.999
Y	15	29.8±0.4	.000
a	15	19.7±0.4	.000
b	15	17.9±0.2	.000
c	15	23.1±0.4	.000
d	15	30.0±0.4	.000
e	15	24.1±0.5	.000
f	15	18.3±0.4	.000
g	15	15.5±0.4	.000
h	15	20.0±0.4	.000
ı	15	18.9±0.4	.000
j	15	27.6±0.4	1.000
Total	480	23.1±0.2	-
s.d.	479	-	-
F	193.724	193.724	-
P	<0,05	<0,05	<0.05

H. cunea larvalarının farklı besinlerde beslenme deneyinden elde edilen sonuçlara göre en az pupa protein miktarının % 12 oranında Cu içeren P besini ile beslenen larvalarda, en yüksek pupa protein miktarının ise % 5 gallik asit içeren F besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle pupa protein miktarı azalmıştır. Bu grupların tümünün protein miktarları kontrol grubunun protein miktarından azdır. Bunun yanı sıra, besine artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle protein miktarının kısmen arttığı hatta en yüksek protein miktarının bu grup içerisinde olduğu bulunmuştur. Ağır metallerden besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonlarının artışıyla pupa protein miktarı azalmıştır. Bu grupların protein miktarları kontrol grubunun protein miktarından düşüktür. Artan çinko ve kobalt konsantrasyonlarıyla bu grupların protein miktarları artış göstermiştir. Artan nikel konsantrasyonu ile protein miktarı önce azalmış, sonrasında ise çok az da olsa artış göstermiştir.

Besine tanik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde, % 8 Ni içeren d besini hariç diğer tüm grupların protein miktarlarının kontrol besininin protein miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde ise, % 8 oranında kobalt içeren j besini hariç diğer grupların protein miktarlarının kontrol grubunun protein miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur.

H. cunea larvalarının tüm besin grupları içerisinde B, E, M, S, T, U, V ve j besin grupları dışındaki diğer grupların pupa protein miktarlarının kontrol besininin protein miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. Tanik asit ve gallik asit ile metallerin kombinasyonlarını içeren tüm gruplar içerisinde sadece gallik asit ve kobalt içeren grubun istatistiksel olarak kontrol grubuyla aynı olması ilginçtir.



Şekil 3.4. *Hyphantria cunea* pupalarının besin gruplarına göre protein miktarı ortalamalarının karşılaştırılması

Çizelge 3.4. *Hyphantria cunea* larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen pupa lipit miktarları ve kontrol grubu ile kıyaslanması

Gruplar	Birey Sayısı	Lipit Miktarı (mg)	P
A (Kontrol)	15	17.3±0.2	-
B	15	12.9±0.2	.000
C	15	12.4±0.2	.000
D	15	10.7±0.2	.000
E	15	17.8±0.2	.897
F	15	18.1±0.3	.215
G	15	18.7±0.3	.003
H	15	9.9±0.0	.000
I	15	7.9±0.0	.000
J	15	7.1±0.0	.000
K	15	18.5±0.2	.019
L	15	11.7±0.2	.000
M	15	9.0±0.2	.000
N	15	8.2±0.1	.000
O	15	7.7±0.1	.000
P	15	6.5±0.1	.000
R	15	19.8±0.2	.000
S	15	17.5±0.2	1.000
T	15	22.1±0.2	.000
U	15	18.0±0.2	.519
V	15	15.7±0.2	.000
Y	15	20.3±0.2	.000
a	15	8.3±0.2	.000
b	15	17.1±0.2	1.000
c	15	11.6±0.2	.000
d	15	20.3±0.2	.000
e	15	9.4±0.2	.000
f	15	17.9±0.2	.745
g	15	13.7±0.2	.000
h	15	16.6±0.2	.519
i	15	16.4±0.2	.242
j	15	21.7±0.2	.000
Total	480	14.4±0.2	-
s.d.	479	-	-
F	362.588	362.588	-
P	<0,05	<0,05	<0.05

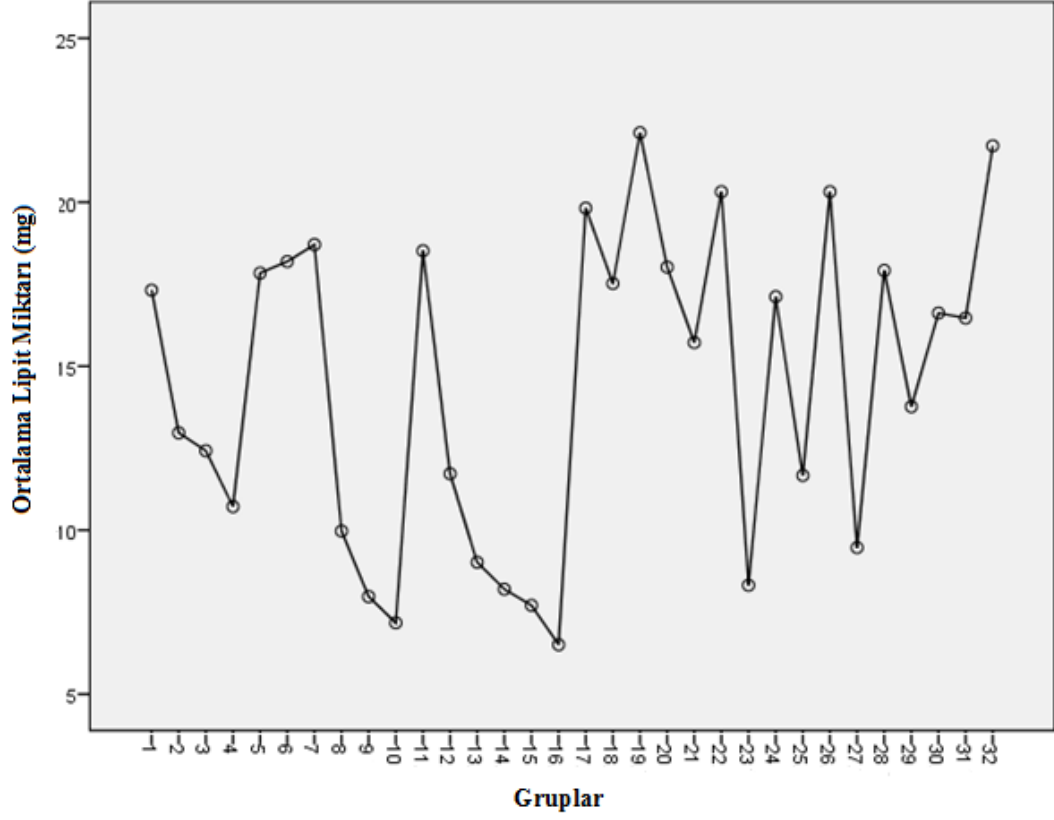
Tüm besin grupları içerisinde en düşük lipit miktarının % 12 Cu içeren P besini ile beslenen larvalarda, en yüksek lipit miktarının ise % 12 Ni içeren T besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle lipit miktarı azalmıştır. Bu gruplarının tümünün lipit miktarı kontrol grubunun lipit miktarından azdır. Artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesinde ise lipit miktarında artış olduğu bulunmuştur. Bu gruplarının tümünün lipit miktarları ise kontrol grubunun lipit miktarından fazladır. Ağır metallerden besine eklenen demir, çinko ve bakır konsantrasyonları arttıkça lipit miktarı azalmıştır. Bu ağır metalleri içeren gruplar içerisinde sadece % 4 Zn içeren grubun lipit miktarı kontrol grubunun lipit miktarından fazladır. Nikelin tekli konsantrasyonlarının kullanıldığı tüm gruplarda lipit miktarlarının kontrol grubundan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Tekli konsantrasyonlarda kobalt içeren tüm besin gruplarının lipit miktarları (% 8 Co içeren V besini hariç) kontrol grubuna göre daha yüksektir. Ara değerde (% 8) kobalta sahip olan bu besin grubunun kendisinden düşük (% 4) ve yüksek (% 12) oranlarda kobalt içeren besin gruplarının lipit miktarlarından düşük olması ilginçtir.

Besine tanik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde, % 8 Ni içeren d besini hariç diğer tüm grupların lipit miktarlarının kontrol besininin lipit miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde ise, % 8 oranında Fe içeren f besini ve yine aynı oranda kobalt içeren j besini dışındaki diğer grupların lipit miktarlarının kontrol grubunun lipit miktarından daha düşük olduğu bulunmuştur.

H. cunea larvalarının tüm besin grupları içerisinde E, F, S, U, b, f, h ve ı besin grupları dışındaki diğer grupların lipit miktarlarının kontrol besininin lipit miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. Tekli konsantrasyonlarda gallik asit içeren besin grupları içerisinde % 7.5 konsantrasyona sahip G besini dışında kendisinden daha düşük konsantrasyonlara sahip olan besinlerin kontrol grubundan istatistiksel olarak farklı olmaması dikkat çekmektedir. Bir ara değerde (% 8) nikel konsantrasyonuna sahip olan S besinin kendisinden düşük (% 4) ve yüksek (% 12) konsantrasyonlarda nikel içeren grupların kontrol grubuna göre farklı olmaması ilginçtir. Tanik asit ve tekli konsantrasyonlarda metal içeren besin grupları içerisinde kontrol grubuna göre farklı olmayan tek besin grubu çinko içeren b besin

grubudur. Gallik asit ve tekli konsantrasyonlarda metal içeren besin grupları içerisinde ise g ve j besin grupları istatistiksel olarak kontrol grubundan farklıdır.



Şekil 3.5. *Hyphantria cunea* pupalarının besin gruplarına göre lipit miktarı ortalamalarının karşılaştırılması

Çizelge 3.5. *Hyphantria cunea* larvalarının beslenme deneylerinden elde edilen gelişme süreleri ve kontrol grubu ile kıyaslanması

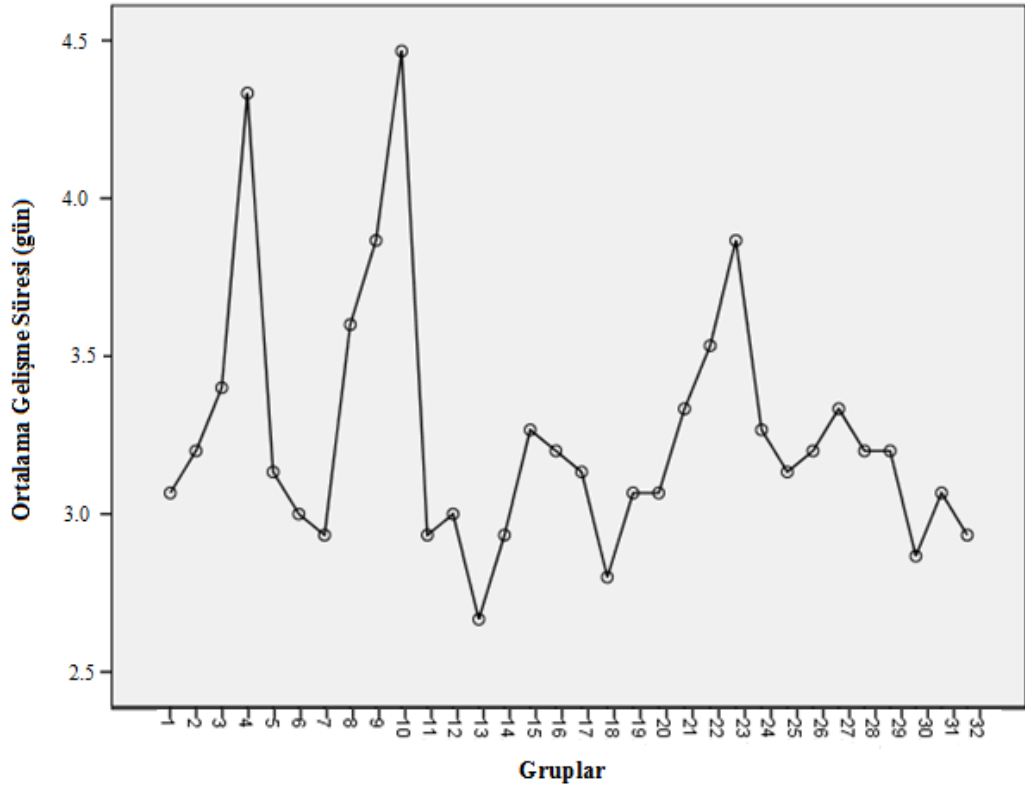
Gruplar	Birey Sayısı	Gelişme Süresi (gün)	P
A (Kontrol)	15	3.0±0.0	-
B	15	3.2±0.1	1.000
C	15	3.4±0.1	.264
D	15	4.3±0.1	.000
E	15	3.1±0.0	1.000
F	15	3.0±0.0	1.000
G	15	2.9±0.0	1.000
H	15	3.6±0.1	.005
I	15	3.8±0.0	.000
J	15	4.4±0.1	.000
K	15	2.9±0.0	1.000
L	15	3.0±0.0	1.000
M	15	2.6±0.1	.091
N	15	2.9±0.0	1.000
O	15	3.2±0.1	.921
P	15	3.2±0.1	1.000
R	15	3.1±0.0	1.000
S	15	2.8±0.1	.585
T	15	3.0±0.0	1.000
U	15	3.0±0.0	1.000
V	15	3.3±0.1	.585
Y	15	3.5±0.1	.024
a	15	3.8±0.0	.000
b	15	3.2±0.1	.921
c	15	3.1±0.0	1.000
d	15	3.2±0.1	1.000
e	15	3.3±0.1	.585
f	15	3.2±0.1	1.000
g	15	3.2±0.1	1.000
h	15	2.8±0.0	.921
i	15	3.0±0.0	1.000
j	15	2.9±0.0	1.000
Total	480	3.2±0.0	-
s.d.	479	-	-
F	16.092	16.092	-
P	<0,05	<0,05	<0.05

Larvaların farklı besinlerde beslenme deneyinden elde edilen sonuçlara göre en kısa gelişme süresinin % 12 oranında Zn içeren M besini ile beslenen larvalarda, en uzun gelişme süresinin ise % 12 oranında Fe içeren J besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle gelişme süresi uzamıştır. Bu gruplarının tümünün gelişme süreleri kontrol grubunun gelişme süresinden daha uzundur. Bunun yanı sıra, besine artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle gelişme süresinin kısaldığı bulunmuştur. Ağır metallerden besine eklenen demir, bakır ve kobalt konsantrasyonlarının artışıyla gelişme süresi uzamıştır. Artan çinko konsantrasyonu ile gelişme süresi önce uzamış, sonrasında ise kısalmıştır ki en kısa gelişme süresi en yüksek çinko konsantrasyonuna (% 12) sahip olan besin grubundadır (M). Çinkonun aksine, besindeki nikel miktarının artışıyla gelişme süresi önce kısalmış, sonrasında ise uzamıştır.

Besine tanik asit ve her bir metal tek olarak eklendiğinde, tüm grupların gelişme sürelerinin kontrol besininin gelişme süresinden daha uzun olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve her bir metalin tek olarak ilavesinde ise, % 8 oranında demir içeren f besini ve yine aynı oranda çinko içeren g besin grubunun gelişme sürelerinin kontrol grubunun gelişme süresinden daha uzun olduğu bulunmuştur.

Tüm besin grupları içerisinde D, H, I, J, Y ve a besin gruplarının gelişme sürelerinin kontrol besininin gelişme süresinden istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. Bu gruplar içerisinde özellikle tekli konsantrasyonlarda demir içeren grupların tümünün kontrol grubundan istatistiksel olarak farklı olması dikkat çekmektedir. Sekonder maddeler ile metallerin kombinasyonlarını içeren tüm gruplar içerisinde ise sadece tanik asit ve demir içeren grubun istatistiksel olarak kontrol grubundan farklı olması ilginçtir.



Şekil 3.6. *Hyphantria cunea* larvalarının besin gruplarına göre gelişme süresi ortalamalarının karşılaştırılması



4. TARTIŞMA

Kontrol grubuna göre, besine ilave edilen tanik asit konsantrasyonu arttıkça larvaların toplam besin tüketim miktarında azalma olduğu, bunun aksine gallik asit konsantrasyonu arttıkça toplam tüketim miktarında artış olduğu bulunmuştur. En yüksek tüketim miktarının % 7.5 konsantrasyonunda gallik aside sahip olan besinde (G besini) olduğu bulunmuştur.

Tanik asit ve gallik asit her ikisi de fenolik bileşik olmasına rağmen, gösterdikleri etki farklıdır. Bu sonuç, belirli fenolik bileşiklerin ekolojik aktivitelerinin kimyasal yapılarına bağlı olduğu (Barbehenn & Constabel, 2011) ifadesiyle benzerdir. Ayrıca, farklı fenolik bileşikler farklı etkilere sahiptir (Barbehenn & Constabel, 2011).

En yüksek tanik asit konsantrasyonunu içeren besinle (D besini) beslenen larvalarda en düşük tüketim miktarının elde edilmesi literatürde daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla (Simpson & Raubenheimer, 2001; Hemming & Lindroth, 1995; Hemming & Lindroth, 2000; Yanar, 2007) benzerdir. Tanenler astrenjan (ağız buruşturucu) acı polifenollerdir ve birçok zararlı böceğin beslenme caydırıcıları olarak görev yaparlar (War vd, 2012). Toplam tüketim miktarının azalmasının nedeni, tanik asidin doğrudan beslenmeyi caydırıcı özelliğinden kaynaklanabilir (Simpson & Raubenheimer, 2001).

Yapılan bazı çalışmalar (Sorvari vd, 2007; van Ooik vd, 2008) karasal böceklerin savunma sistemlerinde ağır metallerin hem negatif hem de pozitif etkileri olduğunu ortaya çıkarmıştır (Dubovskiy vd, 2011). Bu durum besine ilave edilen demir ve bakır metallerinin tüketime negatif etkileri olduğunu göstermektedir. Besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonlarının artışıyla bu grupların tüketim miktarlarının azaldığı bulunmuştur. Demir ve bakır ilave edilen grupların tümünün besin tüketim miktarlarının kontrol grubundan düşük olduğu bulunmuştur. Crawford vd (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, bakır ile kontamine edilen konaklarda beslenen *Aphis fabae* afitlerinin vücutlarında bakır biriktirmedikleri, bakırın önemli miktarının dışarı atıldığı bulunmuştur. Nikel ve kobalt içeren besinle beslenen larvaların tüketim miktarları kontrol grubundakilerden yüksektir. Bu iki metal grubunun dışında (nikel ve kobaltlı besin grupları) tekli konsantrasyonlarda kullanılan diğer metaller içerisinde sadece % 12 Zn içeren besin grubunun (M besini)

tüketim miktarı kontroldekinden fazladır. Bu sonuç en yüksek çinko konsantrasyonu verimizin (% 12 Zn) dışında Behmer vd (2005) artan konsantrasyonlarda çinko içeren yapay besinde *S. gregaria* çekirgelerinin tüketim miktarının azaldığını bulmalarıyla örtüşmektedir.

Yumurtadan çıktıktan sonra bakır ve kadmiyuma maruz kalan *L. dispar* güvesinin larvaları, önce yapay besinde beslenen ve daha sonra 4. larva evresinde metallerle maruz bırakılan larvalara kıyasla metallerle daha duyarlıdır (Gintenreiter vd, 1993). Çalışmamızda son larva evresinde artan bakır konsantrasyonunun *H. cunea* larvalarının tüketim miktarını azalttığı bulunmuştur.

Çinko, nikel ve kobalt metallerini içeren tüm grupların besindeki madde konsantrasyonu arttıkça tüketim miktarlarının önce azaldığı, sonrasında ise arttığı bulunmuştur. Yapılan çalışmalarla çeşitli böceklerin yüksek konsantrasyondan ziyade düşük konsantrasyonlarda çinko (Jhee vd, 1999; Pollard & Baker, 1997) ve nikel (Boyd vd, 2002) tükettikleri bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar bizim sonuçlarımızla zıttır.

Tanik asit ve her bir metalin birlikte kullanıldığı gruplarda, % 8 Ni içeren d besini ve aynı oranda kobalt içeren e besininin tüketim miktarlarının kontrol grubunun tüketim miktarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Noret vd (2005) çinkodan ziyade, organik savunmaların (glukosinolatlar) *T. caerulescens*'i tüketen salyangozları caydırdığını buldular. Bu sonuç tanik asit verisi ile örtüşmekte fakat tanik asit ile metallerin birlikte kullanıldığı durumlarla çelişmektedir. Birçok böcek türü genellikle tanenlerin büyük miktarlarını tolere edebilirler (Barbehenn & Constabel, 2011). Tanik asitli besinlerde tüketim miktarı kontrol grubuna göre düşüktür. Demir, çinko ve bakır metalleri eklenen besinlerle beslenen larvaların tüketim miktarları kontrol grubuna göre düşüktür. Tanik asit ve bu metallerin birlikte bulunduğu besinlerde yine tüketim miktarının kontrol grubuna göre düşük olduğu fakat çok az da olsa tüketim miktarının arttığı bulunmuştur. Nikel ve kobalt metalleri ekli besinlerde tüketim miktarları kontrol grubuna göre fazladır, tanik asit ile bu metaller birlikte kullanıldıklarında ise yine tüketim miktarı kontrol grubuna göre fazladır. Bu miktarın sadece metallerin yaptıkları etkiden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak tanik asit larvaların tüketim miktarında düşüşe neden olurken (Simpson & Raubenheimer, 2001; Hemming & Lindroth, 1995, 2000;

Yanar, 2007), metallere birlikte kullanıldığında tüketim miktarlarında artışa neden olmuştur.

Besine gallik asit ve metal birlikte ilave edildiğinde ise, tüm grupların (% 8 oranında bakır içeren h besini ve nikel içeren ı besini hariç) besin tüketim miktarları kontrol grubundan yüksektir. Gallik asidin metallerle birlikte besin tüketim miktarına olan etkisi farklıdır. Demir, çinko ve bakır metalleri ekli besin gruplarında tüketim miktarları kontrol grubuna göre düşüktür. Gallik asitle bu metaller birlikte kullanıldığında ise tüketim miktarlarının arttığı hatta demir ve çinko içeren besin gruplarının (f ve g besini) tüketim miktarlarının kontrol grubundan fazla olduğu bulunmuştur. Nikel ve kobalt metalleri tek olarak kullanıldıklarında bu grupların tüketim miktarları kontrol grubuna göre fazladır. Gallik asit ile bu metaller birlikte kullanıldığında ise çıkan sonuçlar farklılık göstermiştir. Gallik asit ile nikelin birlikte kullanılması sonucunda tüketim miktarı hem gallik asidin hem de nikelin tek olarak kullanıldıklarındaki tüketim miktarından düşüktür. Gallik asidin kobalt ile birlikte kullanıldığı besin grubunda ise (j besini) tüketim miktarı kontrol grubundan fazladır. Gallik asit antienflamatuvar etkisinden dolayı serbest radikalleri temizler (Kim vd, 2006). Bundan dolayı bazı metallerin etkisini azaltır. Azaltılan etkiden dolayı gallik asidin etkisi baskın hale gelmiş olur. Tek başına gallik asitli besin kontrol grubuna göre larvaların tüketim miktarından fazla iken, metallerle birlikte kullanıldığında nikel ile olan kombinasyonu (ı besini) hariç diğer besin gruplarında tüketim miktarlarının artmasına neden olmuştur.

Kontrol grubuna göre, besinlerde tanik asit miktarının artışıyla pupaların ağırlıkları azalmış; bunun aksine, gallik asit miktarının artışıyla pupaların ağırlıkları artmıştır. Simpson & Raubenheimer (2001) *L. migratoria* ile yaptıkları bir çalışmada, tanik asitli besinlerle beslenip pupa olan çekirgelerde tanik asit miktarının artışıyla pupa ağırlığının azaldığını bulmuştur. Yanar vd (2016) tanik asitli besinlerle beslenen *H. cunea* larvalarının pupa ağırlığının diğer besin grubuyla beslenip pupa olan larvalara göre düşük olduğunu bulmuştur. *Rheumaptera hastata* larvalarının kuru ağırlık bakımından % 3'lük proantosiyonidin (kondans tanen) içeren besin ile beslenmeleri sonucunda, bu maddenin pupa ağırlığı ve hayatta kalma oranında olumsuz bir etkiye neden olduğu gösterilmiştir (Bryant vd, 1993). Yanar vd (2016) *H. cunea* larvalarıyla yaptıkları bir çalışmada, besinde artan gallik asit miktarıyla

pupa ağırlığının arttığını buldular. Yapılan bu farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar bizim sonuçlarımızla uyumludur.

Hemming & Lindroth (1995) fenolik glikozitlerin yüksek seviyelerini içeren yapraklarda beslenen *L. dispar* ve *M. disstria* larvalarının daha düşük seviyelerini içeren yapraklarda beslenen larvalara kıyasla daha az geliştiklerini ve daha düşük pupa ağırlıklarına sahip olduklarını buldular. Pupa ağırlıklarının düşük oluşu erginlerin yavru üretme oranını (fekundite) etkileyebilmektedir (Honek, 1993). Gallik asitli besinlerle beslenen grupların pupa ağırlıklarının fazla oluşu fekunditeyi olumlu etkileyebilir.

van Ooik vd (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, *E. autumnata* güvelerinin kontrol yapraklarında beslendiklerinde metalle kontamine yapraklara göre daha yüksek pupa ağırlıklarına sahip oldukları bulunmuştur. Bu çalışmada besindeki demir ve bakır miktarı arttıkça pupa ağırlıkları azalmıştır. Çinko ilave edilen grupların tümünün pupa ağırlıkları yine kontrol grubundan azdır. Nikel ve kobalt ilave edilen grupların pupa ağırlıkları ise kontrol grubundan fazladır. Çinko, nikel ve kobalt metallerini içeren tüm grupların % 8'lik konsantrasyonlarındaki pupa ağırlıklarının % 4'lükten daha az olması fakat bu metallerin % 12'lik konsantrasyonlarındaki pupa ağırlıklarının kendi grupları içinde en üst seviyede olması da ilginçtir.

Bu çalışmada tanik asit ve metal ekli tüm grupların (% 8 Ni içeren d besini hariç) pupa ağırlıkları kontrol besininin pupa ağırlığından daha azdır. Demir, bakır ve nikel metallerinin kullanıldıkları grupların pupa ağırlıkları tanik asit ile birlikte kullanıldıkları grupların pupa ağırlıklarından düşüktür. Tanik asidin bu metallere baskın gelerek etkilerini arttırdıkları söylenebilir. Bunun yanı sıra, tanik asidin zıt etkisi de gözlemlenmiştir. Çinko ve kobaltın tanik asitle birlikte kullanıldığı gruplarda pupa ağırlıkları bu metallerin tekli kullanıldıkları gruplardan azdır, hatta tanik asit tek kullanıldığında kontrol grubundan fazla olan kobaltın etkisini azaltmıştır.

Gallik asidin metallerle birlikte pupa ağırlığına olan etkisi farklılık göstermiştir. Gallik asit ve her bir metalin kullanıldığı gruplardan % 8 Co içeren j besininin pupa ağırlığının kontrol grubununkinden daha fazla olduğu bulunmuştur. Bu grup için kobaltın tek başına olan etkisi ile gallik asitle birlikte kullanıldığında

olan etkisinde herhangi bir farklılık yoktur. Bunun yanı sıra, demir ve bakırın gallik asit ile birlikte kullanıldığı gruplarda (f ve h besini), gallik asit bu metallerin tek başlarına yaptığı etkiyi arttırmıştır. Çinko ve nikelin gallik asitle birlikte kullanıldığı gruplarda ise, gallik asit bu metallerin tek başlarına yaptığı etkiyi azaltmıştır. Nikel ekli grupların pupa ağırlığının kontrolden fazla olması fakat gallik asit ekli gruplarda bu ağırlığın oldukça az olması dikkat çekicidir. Bu sonuçlar doğrultusunda gallik asidin pupa ağırlığı üzerine olan üç etkisi (pozitif, negatif ve nötr) görülmektedir.

Bazı pupaların olması gereken pupa şekline tam anlamıyla sahip olamadıkları görülmüştür. Bu da bazı pupaların olması gerekenden daha düşük pupa ağırlıklarına sahip oldukları anlamına gelmektedir. *Panolis flammea* ve *Bupalus piniarius*'un kullanıldığı bir çalışmada (Heliövaara vd, 1989), larval besinleri emisyon kaynağına daha yakın olan pupaların daha küçük oldukları bulunmuştur. Böceklerin pupa boyutundaki düşüş üreme potansiyelini de etkiler (Dixon & Wratten, 1971; Nakamura & Morimoto, 1980; Leather & Wellings, 1981; Dixon vd, 1982; Gilbert, 1984; Bink, 1986). Bu pupalar tekli konsantrasyonlarda tanik asit içeren tüm grupların birkaçında ve tanik asit ile metallerin birlikte kullanıldığı birkaç grubun (TA+Cu, TA+Ni, Ta+Co) sadece birkaçında bulunmuştur. Bu sekonder madde ile metallerin kullanıldığı gruplardaki tam pupa olamama çok az sayıda örnekte olduğu için ortalamayı değiştirmedeği düşünülmektedir. Bu pupalar ergin olmadan önce analiz edildikleri için pupaların ergin olup olamayacakları bilinmemektedir.

Kontrol grubuna göre, tanik asit içeren besinlerde besine ilave edilen madde konsantrasyonu arttıkça, bu gruplardaki pupaların protein miktarları azalmış; bunun aksine, gallik asit konsantrasyonu arttıkça protein miktarları artmıştır. Bu iki sekonder maddenin tüm grupları içerisinde en az konsantrasyonlarını (% 2.5) içeren besin grupları (B ve E) dışında diğerleri kontrol grubundan istatistiksel olarak farklıdır.

Simpson & Raubenheimer (2001) *L. migratoria*'nın, tanik asitli besinlerle beslenenlerin tanik asitsiz besinlerle beslenenlere göre pupa protein miktarlarının daha fazla olduğunu bulmuştur ki bu bulgu bizim verimizle zıttır. Yanar vd (2016) *H. cunea* larvalarıyla yaptıkları bir çalışmada, besine ilave edilen tanik asit miktarının artışıyla pupa protein miktarının azaldığını; bunun aksine, gallik asit konsantrasyonunun artışıyla pupa protein miktarının arttığını buldular. Larva evresinden ergin evreye taşınan depo proteinleri, ergin herbivor böceklerde özellikle

sınırlı azot tüketiminden dolayı erginlerde önemli rol oynayabilir (Hahn, 2005). Bu yüzden, besinlerdeki gallik asit protein depolamada tür için avantaj olabilir.

Besindeki demir ve bakır miktarındaki artış bu grupların pupa protein miktarlarını azaltmıştır. Bu grupların protein miktarları kontrol grubunun protein miktarından azdır. Çinko içeren grupların tümünün protein miktarları yine kontrol grubundan azdır fakat madde konsantrasyonu arttıkça protein miktarı da artmıştır. Besindeki artan nikel konsantrasyonu ile protein miktarı önce azalmış, sonrasında ise çok az da olsa artış göstermiştir. Kobalt konsantrasyonunun artışıyla bu metali içeren grupların protein miktarlarında artış olduğu bulunmuştur.

Ni, K, Ca, Zn ve Fe metallerinin fonksiyonel proteinlerin ko-faktörleri olarak önemli olmasına rağmen (Dadd, 1985), bu çalışmada demir içeren tüm grupların pupa protein miktarları kontrol grubundan düşüktür.

Besine tanik asit ve metal eklenen tüm grupların (% 8 Ni içeren d besini hariç) pupa protein miktarlarının kontrol besininin protein miktarından daha az olduğu bulunmuştur. Böceklerde tanenlerin negatif etkileri yüksek tanen konsantrasyonuna bağlı olabilir (Aerts vd, 1999). Bu çalışmada tanik asidin protein miktarı açısından metaller üzerinde farklı etkileri olduğu bulunmuştur. Demir, bakır ve nikel eklenen besin gruplarının protein miktarları, tanik asit ile birlikte bulunduğu besin gruplarının protein miktarından düşüktür. Yalnızca nikelin kullanıldığı besin grubunun (S besini) protein miktarı kontrol grubundan azdır fakat tanik asit ile birlikte bu miktar kontrol grubundan fazladır. Bunun yanı sıra, çinko ve kobaltın tanik asitle birlikte kullanıldığı grupların protein miktarları bu metallerin kullanıldığı grupların protein miktarından azdır. Tanik asit bu metallerin etkisini azaltmıştır.

Gallik asit ve her bir metal besine birlikte eklendiğinde, gallik asidin pupa protein miktarına olan etkisi farklılık göstermiştir. Besine demir ve bakır ilavesiyle grupların protein miktarları gallik asit ile kullanıldıkları grupların protein miktarından düşüktür. Gallik asidin bu metallere baskın gelerek etkilerini arttırdıkları söylenebilir. Çinko ve nikel ekli grupların protein miktarları, gallik asit ile bu metallerin birlikte kullanıldığı grupların protein miktarından fazladır. Gallik asit bu metallerin etkilerini azaltmıştır. Ayrıca, gallik asit kobalt ile birlikte kullanıldığında protein miktarına herhangi bir etki yapmamıştır.

Sekonder maddelerden tanik asit ve gallik asidin lipit miktarına olan etkileri farklıdır. Kontrol grubuna göre, besindeki tanik asit miktarı arttıkça lipit miktarı azalmış, gallik asit miktarı arttıkça lipit miktarı artmıştır. Tanik asit içeren grupların lipit miktarlarının tümünün kontrol grubundan az olduğu; bunun aksine, gallik asit içeren grupların ise lipit miktarlarının kontrol grubundan fazla olduğu bulunmuştur.

Yanar vd (2016) tarafından *H. cunea* larvalarıyla yapılan bir çalışmada, besindeki tanik asit miktarı arttıkça lipit miktarının azaldığı; bunun aksine, gallik asit miktarı arttıkça lipit miktarının arttığı bulunmuştur. Bu çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Yağ dokusunun depo fonksiyonu holometabolus böceklerin yaşamı için esastır. Larval beslenme evreleri boyunca, enerji rezervleri hem metamorfoz süresince kullanılmak hem de yeni ergin birey için biriktirilir. Böcekler metamorfoz süresince hayatta kalmak için nutrient deposunun en azından çok küçük bir miktarını biriktirme ihtiyacı duyarlar (Mirth & Riddiford, 2007). Ergin dönem süresince kullanılan lipitler, ergin öncesi gelişme evrelerinde depolanan lipitlerden karşılanmaktadır (Giron & Casas, 2003). Tanik asit miktarı arttıkça lipit miktarındaki azalma tür için dezavantaj olabilirken, gallik asit miktarı arttıkça lipit miktarının yüksek olması türe avantaj sağlayabilir.

Demir, çinko ve bakır ekli besinlerde konsantrasyon arttıkça lipit miktarı azalmıştır, hatta en az lipit miktarı % 12 Cu içeren P besin grubundadır. Bu ağır metalleri içeren besin grupları içerisinde sadece % 4 Zn içeren besin grubunun (K besini) lipit miktarı kontrol grubundakinden fazladır. Nikel ekli tüm grupların lipit miktarlarının kontrol grubundan fazla olduğu, en fazla lipit miktarının % 12 Ni içeren besin grubunda (T besini) olduğu bulunmuştur. % 8 nikel ve kobalt ekli besinlerle beslenen larvaların lipit miktarı % 4'lükten azdır; buna rağmen, % 12'lik konsantrasyonlarda lipit miktarı en yüksektir.

Larva evresinde depolanan nutrient miktarı böceğin ergin evresi için önemlidir (Briegel, 1990). Beslenme yapmayan ergin böcekler hayatta kalma ve üremeyi desteklemek için bu rezervlere ihtiyaç duyarlar. Diğer taraftan, ergin evrede beslenme yapan böcekler özellikle üreme için gerekli olan hazırlıkta besinlerden elde ettikleri nutrientleri kullanırlar (Arrese & Soulages, 2010). Bu durumda demir, çinko ve bakır içeren besin gruplarında beslenen larvaların lipit miktarındaki azalma ergin evreye geçtiklerinde bu türe dezavantaj sağlayabilir.

Besine tanik asit ve metal eklenmesiyle, tüm grupların (d besini hariç) lipit miktarlarının kontrol grubundan düşük olduğu bulunmuştur. Gallik asidin metallerle birlikte kullanıldığı gruplarda ise lipit miktarlarının (f ve j besinleri hariç) kontrol grubundan düşük olduğu bulunmuştur.

Yağ dokuda biriktirilen nutrient rezervlerinin seviyesi böcek büyüme oranı, metamorfozun zamanlaması ve yumurta gelişimi gibi böceklerin yaşamında önemli birkaç noktayı ayarlar (Mirth & Riddiford, 2007). Metallerle sekonder maddelerin birlikte kullanıldıkları besin gruplarında (e besini ve ı besini hariç) sekonder maddelerin lipit miktarını arttırması bu durumda önemlidir.

Besinde tanik asit miktarı arttıkça gelişme süresi uzamış, besindeki gallik asit miktarı arttıkça ise gelişme süresi kısalmıştır. Tanik asit içeren grupların tümünün gelişme sürelerinin kontrol grubundan daha uzun olduğu bulunmuştur.

Bitki flavonoidleri bazı böceklerin davranışını, büyümesini ve gelişimini etkiler (Simmonds, 2001, 2003; Simmonds & Stevenson, 2001). Yanar vd (2016) tarafından *H. cunea* larvalarıyla yapılan bir çalışmada, besindeki tanik asit konsantrasyonunun artışıyla gelişme süresinin uzadığı; bunun aksine, gallik asit konsantrasyonunun artışıyla gelişme süresinin kısaldığı bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar şimdiki çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur. Yapılan bir çalışmada (Hemming & Lindroth, 2000) fenolik glikozitlerin *L. dispar* ve *M. disstria*'nın gelişme sürelerini uzattıkları bulunmuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar yukarıdaki literatürle benzerdir.

Besindeki demir, bakır ve kobalt miktarındaki artışla gelişme sürelerinin uzadığı bulunmuştur. En uzun gelişme süresi en fazla miktarda demir içeren besin grubundadır (J besini). Demir içeren tüm gruplarının gelişme süreleri kontrolden uzundur. En kısa gelişme süresi en yüksek çinko konsantrasyonuna sahip olan besin grubundadır (M). Behmer vd (2005) tarafından *S. gregaria* ile yapılan bir çalışmada, besindeki çinko konsantrasyonunun artışıyla gelişme süresinin uzadığı bulunmuştur. Bu çalışmada besindeki çinko konsantrasyonundaki artış gelişme süresini değiştirmiştir. Boyd & Moar (1999) 93 µg/g'a kadar yapraklardaki nikel konsantrasyonlarının *S. exigua* larvalarının pupa olma zamanını uzattığını bulmuştur. Bu çalışmada nikelli gruplar içerisinde sadece % 8 nikel sahip olan grubun gelişme süresi kontroldekinden daha kısadır.

Elemental savunmalar herbivorlarda gelişme süresinin uzaması gibi sublethal etkilere neden olabilir. Bu durum, herbivorun doğal düşmanlara (predatörler, parazitoidler ya da patojenler) maruz kalmasını arttırabilir ya da üreme oranında düşüşe neden olur (Price vd, 1980). Bu durumda, besindeki demir, bakır ve kobalt miktarı arttıkça larvaların gelişme sürelerinin uzaması tür için dezavantaj sağlar.

Besine ilave edilen tanik asit gelişme süresini uzatır. Besine çinko ve nikel ilave edilen grupların gelişme süreleri tanik asit ile birlikte kullanıldıkları grupların gelişme sürelerinden daha kısadır. Tanik asit bu gruplarda gelişme süresinin uzamasına neden olarak tür için dezavantaja sebep olmuştur. Yanar & Topkara (2014) *Euproctis chrysorrhoea* ile yaptıkları çalışmada, besindeki tanik asit artışıyla gelişme süresinin uzadığını buldular. Bunun yanı sıra, bakırın tanik asit ile birlikte kullanıldığı grupta (c besini) gelişme süresi yalnızca bu metalin kullanıldığı gruptan (O besini) daha kısadır. Tanik asit bu metalin olumsuz etkisini azaltarak larvaların daha kısa sürede pupa olmalarını sağlamıştır. Bu sekonder madde demir ve kobalt ile beraber kullanıldığında ise gelişme süresinde herhangi bir etkiye neden olmamıştır.

Jhee vd (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, yapay besine ilave edilen nikel ve tanik asit miktarı arttıkça *P. xylostella* larvalarının hayatta kalma ve pupa olma yüzdelерinin azaldığı bulunmuştur. Hem hayatta kalma yüzdeleri hem de pupa olma yüzdeleri yalnızca nikel ve tanik asit ekli gruplarda bunların kombinasyonunun kullanıldığı gruplardan yüksektir. Bu sonuç sinerjistik etkinin farklı olduğunu göstermektedir.

Besine gallik asit ve metal ilavesinde, tüm grupların gelişme sürelerinin kontrol grubuyla istatistiksel olarak aynı olduğu bulunmuştur. Yanar & Topkara (2014) *E. chrysorrhoea* ile yaptıkları çalışmada, besindeki gallik asit artışıyla gelişme süresinin kısaldığını buldular. Bu bulgu bizim verimizle uyumludur. Demir ve çinkonun gallik asit ile birlikte kullanıldığı gruplarda gelişme süresi kontrol grubunun gelişme süresinden uzundur. Gelişme süresinin uzamasının, besin arama ve beslenme sırasında doğal düşmanlarla karşılaşma şansının artması (Bernays, 1997) ya da gelişme ve beslenmenin uzamasıyla birlikte avlanma/parazitizm riskinin artması (Moran & Hamilton, 1980; Loader & Damman, 1991; Benrey & Denno, 1997) gibi durumlar birçok tür gibi bu tür için de geçerlidir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bitkiler birçok karasal besin ağının temelini oluşturdıklarından dolayı, bitkilerdeki sekonder maddeler ve metaller besin zincirinin daha üst seviyelerindeki canlılar için önemli rol oynarlar. Bu maddeler bitkileri tüketen canlılar için genellikle caydırıcı ya da toksik olabilirler.

H. cunea larvalarının beslenme deneyinden elde edilen sonuçlardan, en az tüketim miktarının en yüksek konsantrasyonda bakır içeren P besini ile beslenen larvalarda, en fazla tüketim miktarının ise en yüksek konsantrasyonda gallik asit içeren G besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Besine ilave edilen tanik asit miktarının artışıyla toplam tüketim miktarının azaldığı; aksine, gallik asit miktarının artışıyla tüketim miktarının arttığı bulunmuştur. Ağır metallere besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonlarının artışıyla tüketim miktarları azalmıştır. Nikel ve kobalt ilave edilen tüm grupların tüketim miktarları kontrol grubundan daha yüksektir.

Besine tanik asit ve her bir metalin ilave edildiği tüm grupların (% 8 nikel içeren d besini ve % 8 kobalt içeren e besini hariç) tüketim miktarlarının kontrol grubununkinden düşük olduğu bulunmuştur. Yalnızca tanik asit larvaların tüketim miktarlarında düşüşe neden olurken, metallere birlikte kullanıldığında tam tersi bir etkiye neden olarak grupların tüketim miktarlarında artışa neden olmuştur. Gallik asit kontrol grubuna göre larvaların tüketim oranlarında artışa neden olurken, metallere birlikte kullanıldığında ise (1 besini hariç) grupların tüketim miktarlarının artmasına neden olmuştur. Yapılan bu çalışmanın sonucunda tüm besin gruplarının tüketim miktarlarının kontrol besininin tüketim miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur.

Tüm besin grupları içerisinde en az pupa ağırlığının en yüksek konsantrasyonda bakır içeren P besini ile beslenen larvalarda, en fazla pupa ağırlığının ise yine aynı oranında nikel içeren T besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle pupa ağırlığı azalmıştır. Bunun aksine, artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle pupa ağırlığının arttığı bulunmuştur. Ağır metallere besine eklenen demir ve bakır

konsantrasyonu arttıkça pupa ağırlığı azalmıştır. Nikel ve kobalt ekli tüm grupların pupa ağırlıkları kontrol grubundan fazladır. Demir, çinko ve bakırın kullanıldığı tüm grupların pupa ağırlıklarının kontrol grubunun pupa ağırlığından düşük olduğu bulunmuştur.

Tanik asit demir, bakır ve nikel ile birlikte kullanıldığı gruplarda bu metallerin etkinliğini arttırarak bu grupların pupa ağırlıklarının artmasına neden olmuştur. Tanik asidinin çinko ve kobalt ile birlikte kullanıldığı gruplarda ise tam tersi bir etki söz konusudur. Gallik asit demir ve bakır ile birlikte kullanıldığı grupların pupa ağırlıklarında artışa neden olurken, çinko ve nikel ile birlikte kullanıldığı grupların pupa ağırlıklarında ise azalmaya neden olmuştur. Kobalt ile kombinasyonunda ise herhangi bir etki göstermemiştir. Bu sonuçlardan, gallik asidin pupa ağırlığı üzerine farklı etkileri olduğu bulunmuştur.

Bazı pupaların olması gereken pupa şekline tam anlamıyla sahip olamadıkları görülmüştür. Bu da bazı pupaların olması gerekenden daha düşük pupa ağırlıklarına sahip oldukları anlamına gelmektedir. Bu pupalar yalnızca tanik asidin kullanıldığı tüm grupların birkaçında ve tanik asit ile metallerin birlikte kullanıldığı birkaç grubun (TA+Cu, TA+Ni, Ta+Co) sadece birkaçında bulunmuştur.

Tüm besin gruplarındaki (V ve j besinleri hariç) pupaların pupa ağırlıklarının kontrol grubundan istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur. V ve j besinleri % 8 oranında kobalt içeren besinlerdir. j besinindeki gallik asidin kobaltın etkisini kontrol besinine göre istatistiksel açıdan değiştirmedeği görülmektedir.

Beslenme deneyinden en az pupa protein miktarının en yüksek oranında bakır içeren P besini ile beslenen larvalarda, en fazla pupa protein miktarının ise % 5 gallik asit içeren F besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur.

Kontrol besinine artan konsantrasyonlarda tanik asit ilavesiyle pupa protein miktarının azaldığı; bunun aksine, artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle protein miktarının kısmen arttığı bulunmuştur. Ağır metallerden besine eklenen demir ve bakır konsantrasyonlarının artışıyla pupa protein miktarı azalmıştır. Artan çinko ve kobalt konsantrasyonlarıyla bu grupların protein miktarları artmıştır. Nikel konsantrasyonundaki artışla protein miktarı önce azalmış, sonrasında ise çok az da olsa artmıştır.

Besine tanik asit ve metal ilavesinde, tüm grupların (% 8 nikel içeren d besini hariç) protein miktarlarının kontrol grubunun protein miktarından düşük olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve metal eklendiğinde ise, tüm grupların (% 8 oranında kobalt içeren j besini hariç) protein miktarları kontrol grubunun protein miktarından düşüktür.

Tüm besin gruplarının (B, E, M, S, T, U, V ve j besin grupları hariç) pupa protein miktarlarının kontrol besininin protein miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur.

Tüm besin grupları içerisinde en düşük lipit miktarının en yüksek konsantrasyonda bakır içeren P besini ile beslenen larvalarda, en yüksek lipit miktarının ise yine aynı konsantrasyonda nikel içeren T besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur. Tanik asit konsantrasyonundaki artışla lipit miktarı azalmıştır. Aksine, gallik asit konsantrasyonundaki artışla lipit miktarında artış olduğu bulunmuştur.

Besine eklenen ağır metallere demir, çinko ve bakır konsantrasyonları arttıkça lipit miktarı azalmıştır. Besine nikel ilave edilen tüm grupların lipit miktarlarının kontrol grubundan daha fazla olduğu bulunmuştur. Kobalt ilave edilen tüm besin gruplarının (V besini hariç) lipit miktarları kontrol grubuna göre yüksektir.

Besine tanik asit ve metal eklendiğinde, tüm grupların (% 8 nikel içeren d besini hariç) lipit miktarlarının kontrol besininin lipit miktarından düşük olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve metal eklendiğinde ise, % 8 oranında demir içeren f besini ve yine aynı oranda kobalt içeren j besini dışındaki diğer grupların lipit miktarlarının kontrol grubunun lipit miktarından düşük olduğu bulunmuştur.

H. cunea larvalarının tüm besin grupları içerisinde E, F, S, U, b, f, h ve ı besin grupları dışındaki diğer grupların lipit miktarlarının kontrol besininin lipit miktarından istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur.

Beslenme deneyinden elde edilen sonuçlara göre, en kısa gelişme süresinin en yüksek konsantrasyonda çinko içeren M besini ile beslenen larvalarda olduğu bulunmuştur. En uzun gelişme süresi ise yine aynı konsantrasyonda demir içeren J besini ile beslenen grupta kaydedilmiştir.

Besindeki tanik asit konsantrasyonundaki artışla gelişme süresi uzamıştır. Bunun yanı sıra, besine artan konsantrasyonlarda gallik asit ilavesiyle gelişme

süresinin kısaldığı bulunmuştur. Ağır metallerden besine eklenen demir, bakır ve kobalt konsantrasyonlarının artışıyla gelişme süresi uzamıştır. Artan çinko konsantrasyonu ile gelişme süresi önce uzamış, sonrasında ise kısalmıştır. En kısa gelişme süresi en yüksek çinko konsantrasyonuna sahip olan besin grubundadır (M). Çinkonun aksine, besindeki nikel miktarının artışıyla gelişme süresi önce kısalmış, sonrasında ise uzamıştır.

Besine tanik asit ve her bir metalin ilavesinde, tüm grupların gelişme sürelerinin kontrol grubunun gelişme süresinden daha uzun olduğu bulunmuştur. Besine gallik asit ve her bir metalin ilavesinde ise, % 8 oranında demir içeren f besini ve yine aynı oranda çinko içeren g besin grubunun gelişme sürelerinin kontrol grubunun gelişme süresinden daha uzun olduğu bulunmuştur.

Tüm besin grupları içerisinde D, H, I, J, Y ve a besin gruplarının gelişme sürelerinin kontrol grubunun gelişme süresinden istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur.

Herbivor bir böcek ergin olma ve kendi yavrularını meydana getirme süresince bir takım sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Ergin olmak için, larva evresinde böcek fazla miktarda tüketim yapmak zorundadır. Besin ağında farklı beslenme mekanizmalarına sahip olan omurgasızlar farklı şekillerde ve değişen konsantrasyonlarda sekonder maddelere ve metallere maruz kalmaktadırlar. Metaller düşük konsantrasyonlarda bile toksik olabildiklerinden dolayı doğal ekosistemler için bir tehdit oluşturmaktadırlar. Böcekler elementlerin kendileri için toksik ya da gerekli olduğunu onları tadararak anlayabilirler.

Bu çalışmada kullanılan farklı sekonder maddelere ve ağır metallere karşı türün tepkisi belirlenmiş, kullanılan sekonder maddelerin ve ağır metallerin ilgili konsantrasyonlarına larvaların dirençli olduğu ve pupa evresine ulaşabildikleri gözlemlenmiştir. Sekonder maddelerin ve ağır metallerin birlikte kullanılması larvaya olan farklı etkileri göstermektedir. Bu maddelerin kombinasyonlarının etkisi bir herbivorda daha karmaşık bir etkiye neden olabilir. Bileşikler etkileşebilirler, öyle ki kombinasyondaki etkileri tek başına olan etkilerinden farklılık gösterir. Etkileşimlerin kombinasyondaki bileşiklerin toksisitesini arttırabileceğini (sinerjizm) ya da toksisitesini azaltabileceğini (antagonizm) çalışmamızdaki sonuçlar kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak polifaj bir tür olan *H. cunea* larvalarının sekonder maddelere ve ağıır metallere karşı geniş bir ekolojik hoşgrlğe sahip olduğu söylenebilir. Bu türün sekonder maddelere ve ağıır metallere karşı geniş bir ekolojik hoşgrlğe sahip olması türle mücadelenin de zor olduğu anlamına gelmektedir. Yapılan daha önceki çalışmalar ve bu çalışmada bulunduğumuz sonuçlar *H. cunea* ile mücadele için gelecekteki çalışmalara ışık tutacaktır.





6. KAYNAKLAR

- Aerts R J, Barry T N & McNabb W C (1999). Polyphenols and agriculture: Beneficial effects of proanthocyanidins in forages. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 75: 1-12.
- Agrawal A A, Fishbein M, Jetter R, Salminen J P, Goldstein J B, Freitag A E & Sparks J P (2009). Phylogenetic ecology of leaf surface traits in the milkweeds (*Asclepias* spp.): Chemistry, ecophysiology, and insect behavior. *New Phytologist*, 183: 848-867. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02897.x
- Alexander E B, Coleman R G, Keeler-Wolf T & Harrison S P (2007). *Serpentine geoecology of Western North America: Geology, soils, and vegetation*. Oxford Press, New York, USA.
- Allen S E, Grimshaw H M, Parkinson J A, Quarmby C & Roberts J D (1986). *Chemical analysis*. Editor: Champman S B, *Methods in Plant Ecology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 411-466.
- Appel H (1993). Phenolics in ecological interactions: The importance of oxidation. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 1521-1552. doi: 10.1007/BF00984895
- Arimura G I, Matsui K & Takabayashi J (2009). Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: Proximate factors and their ultimate functions. *Plant and Cell Physiology*, 50(5): 911-923. doi: 10.1093/pcp/pcp030
- Arrese E L & Soulages J L (2010). Insect fat body: Energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology*, 55: 207-225. doi:10.1146/annurev-ento-112408-085356
- Aruoma O I, Murcia A, Butler J & Halliwell B (1993). Evaluation of the antioxidant and prooxidant actions of gallic acid and its derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41: 1880-1885. doi: 10.1021/jf00035a014
- Asemaneh T, Ghaderian S M, Crawford S A, Marshall A T & Baker A J M (2006). Cellular and subcellular compartmentation of Ni in the Eurasian serpentine plants *Alyssum bracteatum*, *Alyssum murale* (Brassicaceae) and *Cleome heratensis* (Capparaceae). *Planta*, 225: 193-290. doi: 10.1007/s00425-006-0340-y
- Atta-Aly M A (1999). Effect of nickel addition on the yield and quality of parsley leaves. *Scientia Horticulturae*, 82: 9-24.
- Augustyniak M, Przybylowicz W, Mesjasz-Przybylowicz J, Migula P, Tarnawska M, Glowacka E & Babczynska A (2008). Nuclear microprobe studies of grasshopper feeding on nickel hyperaccumulating plants. *X-Ray Spectrometry*, 37: 142-145. doi: 10.1002/xrs.1037
- Baas W J (1989). *Secondary plant compounds, their ecological significance and consequences for the carbon budget. Introduction of the carbon/nutrient cycle theory*. Editors: Lambers H, Cambridge M L, Konings H, Pons T L, *Causes*

and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants, SPB Academic Publishing, The Hague, 313-340.

- Baker A J M & Brooks R R (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements-review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1: 81-126.
- Baker W L (1972). *Eastern Forest Insects*. U.S. Department of Agriculture*Forest Service, Miscellaneous Publication, 1175, Washington, DC.
- Barakat A, Bagniewska-Zadworna A, Frost C J & Carlson J E (2010). Phylogeny and expression profiling of CAD and CAD-like genes in hybrid *Populus* (*P. deltoides* x *P. nigra*): Evidence from herbivore damage for subfunctionalization and functional divergence. *BMC Plant Biology*, 10: 100. doi: 10.1186/1471-2229-10-100
- Barbehenn R V, Bumgarner S L, Roosen E F & Martin M M (2001). Antioxidant defenses in caterpillars: Role of the ascorbate-recycling system in the midgut lumen. *Journal of Insect Physiology*, 47: 349-357.
- Barbehenn R V & Constabel C P (2011). Tannins in plant-herbivore interactions. *Phytochemistry*, 72: 1551-1565.
- Barbehenn R V & Martin M M (1992). The protective role of the peritrophic membrane in the tannin-tolerant larvae of *Orgyia leucostigma* (Lepidoptera). *Journal of Insect Physiology*, 12: 973-980.
- Baş R (1982). Türkiye için yeni bir bitki zararlısı. *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera, Arctiidae). Tez (basılmamış), 65, İstanbul.
- Baysse C, De Vos D, Naudet Y, Vander Monde A, Ochsner U, Meyer J M, Budzikiewicz H, Schäfer M, Fuchs R & Cornelis P (2000). Vanadium interferes with siderophore-mediated iron uptake in *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology*, 146: 2425-2434. doi: 10.1099/00221287-146-10-2425
- Behmer S T, Lloyd C M, Raubenheimer D, Stewart-Clark J, Knight J, Leighton R S, Harper F A & Smith J A C (2005). Metal hyperaccumulation in plants: Mechanisms of defence against insect herbivores. *Functional Ecology*, 19: 55-66. doi: 10.1111/j.0269-8463.2005.00943.x
- Benrey B & Denno R F (1997). The slow-growth-high-mortality hypothesis: a test using the cabbage butterfly. *Ecology*, 78: 987-999.
- Berenbaum M (1980). Adaptive significance of midgut pH in larval Lepidoptera. *The American Naturalist*, 115: 138-146.
- Bernays E A (1997). Feeding by lepidopteran larvae is dangerous. *Ecological Entomology*, 22: 121-123.
- Bernays E A & Chapman R F (1978). *Plant chemistry and acridoid feeding behavior*. Editor: Harborne J B, *Biochemical Aspects of Plant and Animal Coevolution*, Academic Press, London, UK, 99-141.

- Bernays E A, Driver G C & Bilgener M (1989). Herbivores and plant tannins. *Advances in Ecological Research*, 19: 263-302.
- Bengtsson G, Gunnarsson T & Rundgen S (1985). Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus* (Collembola). *Journal of Applied Ecology*, 22: 967-978. doi: 10.2307/2403244
- Bhonwong A, Stout M J, Attajarusit J & Tantasawat P (2009). Defensive role of tomato polyphenol oxidases against cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and beet armyworm (*Spodoptera exigua*). *Journal of Chemical Ecology*, 35: 28-38. doi: 10.1007/s10886-008-9571-7
- Bidwell S D, Crawford S A, Woodrow I E, Sommer-Knudsen J & Marshall A T (2004). Sub-cellular localization of Ni in the hyperaccumulator, *Hybanthus floribundus* (Lindley) F. Muell. *Plant, Cell and Environment*, 27: 705-716. doi: 10.1111/j.0016-8025.2003.01170.x
- Bink F A (1986). Acid stress in *Rumex hydrolapathum* (Polygonaceae) and its influence on the phytophage *Lycaena dispar* (Lepidoptera: Lycaenidae). *Oecologia*, 70: 447-451.
- Birošová L, Mikulášová M & Vaverková S (2005). Antimutagenic effect of phenolic acids. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czech Republic*, 149: 489-491.
- Blum V & Rice E L (1969). Inhibition of symbiotic nitrogen fixation by gallic and tannic acids and possible roles in old field succession. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 96: 531-544. doi: 10.2307/2483789
- Booth A N, Masri M S, Robbins D J, Emerson O H, Jones F T & Deeds F (1959). The metabolic fate of gallic acid and related compounds. *Journal of Biological Chemistry*, 234: 3014-3016.
- Boyd R S (1998a). *Hyperaccumulation as a plant defensive strategy*. Editor: Brooks R R, *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining*, CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 181-201.
- Boyd R S (1998b). The significance of metal hyperaccumulation for biotic interactions. *Chemoecology*, 8: 1-7. doi: 10.1007/s000490050002
- Boyd R S (2002). Does elevated body Ni concentration protect insects against pathogens? A test using *Melanotrichus boydi* (Heteroptera: Miridae). *The American Midland Naturalist*, 147: 225-236.
- Boyd R S (2004). Ecology of metal hyperaccumulation. *New Phytologist*, 162: 563-567. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01079.x
- Boyd R S (2009). High-nickel insects and nickel hyperaccumulator plants: A review. *Insect Science*, 16: 19-31. doi: 10.1111/j.1744-7917.2009.00250.x

- Boyd R S (2010). Heavy metal pollutants and chemical ecology: Exploring new frontiers. *Journal of Chemical Ecology*, 36: 46-58. doi: 10.1007/s10886-009-9730-5
- Boyd R S, Davis M A, Wall M A & Balkwill K (2002). Nickel defends the South African hyperaccumulator *Senecio coronatus* (Asteraceae) against *Helix aspersa* (Mollusca: Pulmonidae). *Chemoecology*, 12: 91-97. doi: 10.1007/s00049-002-8331-3
- Boyd R S, Davis M A, Wall M A & Balkwill K (2006). Metal concentrations of insects associated with the South African Ni hyperaccumulator *Berkheya coddii* (Asteraceae). *Insect Science*, 13: 85-102. doi: 10.1111/j.1744-7917.2006.00070.x-i1
- Boyd R S & Jhee E M (2005). A test of elemental defence against slugs by Ni in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator *Streptanthus* species. *Chemoecology*, 15: 179-185. doi: 10.1007/s00049-005-0310-z
- Boyd R S & Martens S N (1992). *The raison d'être for metal hyperaccumulation by plants*. Editors: Baker A J M, Proctor J, Reeves R D, *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*, Intercept Limited, 279-289.
- Boyd R S & Martens S N (1994). Nickel hyperaccumulated by *Thlaspi montanum* var. *montanum* is acutely toxic to an insect herbivore. *Oikos*, 70: 21-25. doi: 10.2307/3545694
- Boyd R S & Martens S N (1998). The significance of metal hyperaccumulation for biotic interactions. *Chemoecology*, 8: 1-7. doi: 10.1007/s000490050002
- Boyd R S & Martens S N (1999). Aphids are unaffected by the elemental defense of the nickel hyperaccumulator *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae). *Chemoecology*, 9: 1-7. doi: 10.1007/s000490050027
- Boyd R S & Moar W J (1999). The defensive function of Ni in plants: Response of the polyphagous herbivore *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to hyperaccumulator and accumulator species of *Streptanthus* (Brassicaceae). *Oecologia*, 118: 218-224. doi: 10.1007/s004420050721
- Boyd R S & Wall M A (2001). Responses of generalist predators fed high-Ni *Melanotrichus boydi* (Heteroptera: Miridae): Elemental defense against the third trophic level. *American Midland Naturalist*, 146: 186-198.
- Briegleb H (1990). Metabolic relationship between female body size, reserves, and fecundity of *Aedes aegypti*. *Journal of Insect Physiology*, 36: 165-172.
- Brooks R R (1987). *Serpentine and Its Vegetation: A Multidisciplinary Approach*. Dioscorides Press, Portland, USA.
- Brooks R R (1998). *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining*. Editor: Brooks R R, *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*, CAB International, Wallingford, UK, 1-14.

- Brooks R R & Radford C C (1978). Nickel accumulation by European species of the genus *Alyssum*. *Proceedings of the Royal Society of London Biological Sciences*, 200: 217-224. doi: 10.1098/rspb.1978.0016
- Brown P H, Welch R M & Madison J T (1990). Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid, and nitrogen levels in Barley. *Plant and Soil*, 125: 19-27. doi: 10.1007/BF00010740
- Bryant J P, Reichardt P B, Clausen T P & Werner R A (1993). Effects of mineral nutrition on delayed induced resistance in Alaska paper birch. *Ecology*, 74: 2072-2084. doi: 10.2307/1940853
- Buettner G (1993). The pecking order of free radicals and antioxidants: Lipid peroxidation, a- tocopherol, and ascorbate. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 300: 535-543. doi:10.1006/abbi.1993.1074
- Butler D C & Trumble J T (2008). Effects of pollutants on bottom-up and top-down processes in insect-plant interactions. *Environmental Pollution*, 156: 1-10. doi:10.1016/j.envpol.2007.12.026
- Cadman C H (1960). *Inhibition of plant virus infection by tannins*. Editor: Pridham J B, *Phenolics in Plants in Health and Disease*, Pergamon Press, Oxford, 101-105.
- Canada A T, Giannella E, Nguyen T D & Mason R P (1990). The production of reactive oxygen species by dietary flavonols. *Free Radical Biology and Medicine*, 9: 441-449. doi:10.1016/0891-5849(90)90022-B
- Cataldo D A, Gerland T R & Wildburg R E (1978a). Nickel in plants. I. Uptake kinetics using intear soybean seedlings. *Plant Physiology*, 62: 563-565.
- Cataldo D A, Gerland T R & Wildburg R E (1978b). Nickel in plants. II. Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiology*, 62: 566-570.
- Cheruiyot D J, Boyd R S & Moar W J (2013). Exploring lower limits of plant elemental defense by cobalt, copper, nickel and zinc. *Journal of Chemical Ecology*, 39: 666-674. doi: 10.1007/s10886-013-0279-y
- Chou C H & Kuo Y L (1986). Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan. Allelopathic exclusion of understorey by *Leucaena leucophylla* (Lam) de Wit. *Journal of Chemical Ecology*, 12: 1431-1448.
- Christian O D, Aleš S, Paulina D, Andre S, Wilhelm B & Erika K (2008). Involvement of siderophores in the reduction of metal induced inhibition of auxin synthesis in *Streptomyces* spp.. *Chemosphere*, 74: 19-25.
- Coleman C M, Boyd R S & Eubanks M D (2005). Extending the elemental defense hypothesis: Dietary metal concentrations below hyperaccumulator levels could harm herbivores. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 1669-1681. doi: 10.1007/s10886-005-5919-4

- Constable C P (1999). *A survey of herbivore-induced defense proteins and phytochemicals*. Editors: Agrawal A A, Tuzun S, Bent E, *Induced plant defenses against pathogens and herbivores: Biochemistry, Ecology and Agriculture*, The American Phytopathological Society, St. Paul, 137-166.
- Crawford L A, Hodkinson I D & Lepp N W (1995). The effect of elevated host-plant copper and cadmium on the performance of the aphid *Apis fabae* (Homoptera: Aphididae). *Journal of Applied Ecology*, 32: 528-535.
- Crawford L A, Lepp N W & Hodkinson I D (1996). Accumulation and egestion of dietary copper and cadmium by the grasshopper *Locusta migratoria* R & F (Orthoptera: Acrididae). *Environmental Pollution*, 92(3): 241-246. doi: 10.1016/0269-7491(96)00004-8
- Dadd R H (1985). *Nutrition: Organisms*. Editors: Kerkut G A, Gilbert L I, *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Pergamon Press, Oxford 313-390.
- Danks H V (1987). *Insect Dormancy: An Ecological Perspective*. Biological Survey of Canada, Ottawa.
- Deng D M, Shu W S, Zhang J, Zou H L, Lin Z, Ye Z H & Wong M H (2007). Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alfredii*. *Environmental Pollution*, 147: 381-386.
- Denlinger D L (1991). *Relationship between cold hardiness and diapauses*. Editors: Lee Jr R E, Denlinger D L, *Insects at Low Temperature*, Chapman and Hall, New York, 174-198.
- Dicke M & Sabelis M W (1989). *Does it pay to advertize for body guards?* Editors: Lambers H, Cambridge M L, Konings H, Pons T L, *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*, SPB Academic Publishing, The Hague, 341-358.
- Ding H, Lamp R L & Ames N (2000). Inducible production of phenolic acids in wheat and antibiotic resistance to *Sitodiplosis mosellana*. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 969-984. doi: 10.1023/A:1005412309735
- Dirzo R (1980). Experimental studies on slug-plant interactions: The acceptability of thirty plant species to the slug *Agriolimax caruanae*. *Journal of Ecology*, 68: 981-998. doi: 10.2307/2259470
- Dixon A F G, Chambers R J & Dharma T R (1982). Factors affecting size in aphids with particular reference to the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 32: 123-128.
- Dixon A F G & Wratten S D (1971). Laboratory studies on aggregation, size and fecundity in the black bean aphid, *Aphis fabae* Scop. *Bulletin of Entomological Research*, 61: 97-111. 111

- Dollahite J W, Pigeon R F & Camp B J (1962). The toxicity of gallic acid, pyrogallol, tannic acid, and *Quercus havardi* in the rabbit. *American Journal of Veterinary Research*, 23: 1264-1267.
- Dubovskiy I M, Grizanov E V, Ershova N S, Rantala M J & Glupov V V (2011). The effects of dietary nickel on the detoxification enzymes, innate immunity and resistance to the fungus *Beauveria bassiana* in the larvae of the greater wax moth *Galleria mellonella*. *Chemosphere*, 85: 92-96. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.05.039
- Dudareva N, Negre F, Nagegowda D A & Orlova I (2006). Plant volatiles: Recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25: 417-440. doi: 10.1080/07352680600899973
- Duffey S S & Stout M J (1996). Antinutritive and toxic components of plant defense against insects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 32: 3-37. doi: 10.1002/(SICI)1520-6327(1996)32:1<3::AID-ARCH2>3.0.CO;2-1
- Ehrlich P R & Raven P H (1964). Butterflies and plants: A study in coevolution. *Evolution*, 18: 586-608. doi: 10.2307/2406212
- Emsley J (2001). *Natures Building Blocks: An AZ Guide to the Elements*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Ernst W H O (1987). *Population differentiation in grassland vegetation*. Editors: Van Andel J, Bakker J P, Snaydon R W, *Disturbance in Grasslands*, Dr. W. Junk Publishers, NL-Dordrecht, 213-228.
- Ernst W H O, Schat H & Verkleij J A C (1990). Evolutionary biology of metal resistance in *Silene vulgaris*. *Evolutionary Trends in Plants*, 4: 45-51.
- Euras, 2005. *Fact Sheet 8-MERAG Program-Building Block: Bioconcentration, bioaccumulation and biomagnification of metals*. Ghent, Belgium: EURAS.
- Feeny P (1970). Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology*, 51: 565-581. doi: 10.2307/1934037
- Feeny P (1976). Plant apparency and chemical defense. *Recent Advances in Phytochemistry*, 10: 1-40. doi: 10.1007/978-1-4684-2646-5_1
- Felton G W, Donato K K, Del Vecchio R J & Duffey S S (1989). Activation of plant polyphenol oxidases by insect feeding damage reduces the nutritive quality of foliage for noctuid herbivores. *Journal of Chemical Ecology*, 15: 2667-2694. doi: 10.1007/BF01014725
- Felton G W, Donato K K, Broadway R M & Duffey S S (1992). Impact of oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietary protein to a noctuid herbivore. *Journal of Insect Physiology*, 38: 277-285. doi: 10.1016/0022-1910(92)90128-Z

- Florea A M & Büsselberg D (2006). Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds. *Biometals*, 19: 419-427. doi: 10.1007/s10534-005-4451-x
- Freeman J L, Quinn C F, Marcus M A, Fakra S & Pilon-Smits E A H (2006). Selenium tolerant diamondback moth disarms hyperaccumulator plant defense. *Current Biology*, 16: 2181-2192.
- Galati G, Sabzevari O, Wilson J X & O'brien P J (2002). Prooxidant activity and cellular effects of the phenoxyl radicals of dietary flavonoids and other polyphenolics. *Toxicology*, 177: 91-104. doi: 10.1016/S0300-483X(02)00198-1
- Gant T W, Ramakrishna R, Mason R P & Cohen G M (1988). Redox cycling and sulphydryl arylation: Their relative importance in the mechanism of quinone cytotoxicity to isolated hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions*, 65: 157-173. doi: 10.1016/0009-2797(88)90052-X
- Gerendas J, Polacco J C, Freyermuth S K & Sattelmacher B (1998). Co does not replace Ni with respect to urease activity in zucchini (*Cucurbita pepo* convar. giromontiina) and soybean (*Glycine max*). *Plant and Soil*, 203: 127-135. doi: 10.1023/A:1004343416511
- Giftson J S, Jayanthi S & Nalini N (2009). Chemopreventive efficacy of gallic acid, an antioxidant and anticarcinogenic polyphenol, against 1,2-dimethyl hydrazine induced rat colon carcinogenesis. *Investigational New Drugs*, 28: 251-259. doi: 10.1007/s10637-009-9241-915
- Gilbert N (1984). Control of fecundity in *Pieris rapae* I. The problem. *Journal of Animal Ecology*, 53: 581-588.
- Gintenreiter S, Ortel J & Nopp H J (1993). Effects of different dietary levels of cadmium, lead, copper and zinc on the vitality of the forest pest insect *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae: Lepidoptera). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 25: 62-66.
- Giron D & Casas J (2003). Lipogenesis in adult parasitic wasp. *Journal of Insect Physiology*, 49, 141-147.
- Green B F & Corcoran M R (1975). Inhibitory action of five tannins on growth induced by several gibberellins. *Plant Physiology*, 56: 801-806. doi: 10.1104/pp.56.6.801
- Gomi T (1996a). A mechanism for the decrease in developmental period of a trivoltine population of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae). *Applied Entomology and Zoology*, 31: 217-223.
- Gomi T (1996b). Mixed life cycles in the transitional zone between voltinisms in the fall webworm, *Hyphantria cunea*. *Experientia*, 52: 273-276. doi: 10.1007/BF01920722

- Hagerman A E & Butler L G (1991). *Tannins and lignins*. Editors: Rosenthal G A, Berbenbaum M R, *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites*, Academic Press, New York, 355-388.
- Hagerman A E, Dean R T & Davies M J (2003). Radical chemistry of epigallocatechin gallate and its relevance to protein damage. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 414: 115-120.
- Hagerman A E, Riedl K M, Jones G A, Sovik K N, Ritchard N T, Hatzfeld P W & Riechel T L (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5): 1887-1892. doi: 10.1021/jf970975b
- Hagerman A E, Robbins C T, Weerasuriya Y, Wilson T C & Mc Arthur C (1992). Tannin chemistry in relation to digestion. *Journal of Range Management*, 45: 57-62. doi: 10.2307/4002526
- Hahn D A (2005). Larval nutrition affects lipid storage and growth, but not protein or carbohydrate storage in newly eclosed adults of the grasshopper *Schistocerca americana*. *Journal of Insect Physiology*, 51: 1210-1219.
- Hall J L (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(366): 1-11. doi: 10.1093/jexbot/53.366.1
- Halliwell B & Gutteridge J M C (1999). *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press, Oxford.
- Handley R, Ekbom B & Agren J (2005). Variation in trichome density and resistance against a specialist insect herbivore in natural populations of *Arabidopsis thaliana*. *Ecological Entomology*, 30: 284-292. doi: 10.1111/j.0307-6946.2005.00699.x
- Hanley M E, Lamont B B, Fairbanks M M & Rafferty C M (2007). Plant structural traits and their role in anti-herbivore defense. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8: 157-178. doi: 10.1016/j.ppees.2007.01.001
- Hanson B, Garifullina G F, Lindblom S D, Wangeline A, Ackley A, Kramer K, Norton A P, Lawrence C B & Pilon Smits E A H (2003). Selenium accumulation protects *Brassica juncea* from invertebrate herbivory and fungal infection. *New Phytologist*, 159: 461-469. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00786.x
- Hanson B, Lindblom S D, Loeffler M L & Pilon-Smits E A H (2004). Selenium protects plants from phloem feeding aphids due to both deterrence and toxicity. *New Phytologist*, 162: 655-662. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01067.x
- Harborne J B (1977). *Introduction to Ecological Biochemistry*. Academic Press, London.
- Harborne J B (1991). *Flavonoid Pigments*. Editors: Rosenthal G A, Berenbaum M B, *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites*, Academic Press, New York, 389-429.

- Hänsch R & Mendel R R (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 259-266.
- Heale E L & Ormrod D P (1982). Effects of nickel and copper on *Acer rubrum*, *Cornus stolonifera*, *Lonicera tatarica*, and *Pinus resinosa*. *Canadian Journal of Botany*, 60: 2674-2681.
- Heikkälä M M D, Berry W L, Wallace A & Herman D (1989). Alleviation of nickel toxicity by calcium salinity. *Soil Science*, 147: 413-415. doi: 10.1097/00010694-198906000-00006
- Heliövaara K, Väisänen R & Kemppe E (1989). Change of pupal size of *Panolis flammea* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Bupalus piniarius* (Geometridae) in response to concentration of industrial pollutants in their food plant. *Oecologia*, 79: 179-183.
- Heliövaara K & Väisänen R (1990a). Heavy metal contents in pupae of *Bupalus piniarius* (Lepidoptera: Geometridae) and *Panolis flammea* (Lepidoptera: Noctuidae) near an industrial source. *Environmental Entomology*, 19 (3): 481-485. doi: 10.1093/ee/19.3.481
- Heliövaara K & Väisänen R (1990b). Concentrations of heavy metals in the food, faeces, adults, and empty cocoons of *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera, Diprionidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 13-18. doi: 10.1007/BF01701822
- Hemming J D C & Lindroth R L (1995). Intraspecific variation in aspen phytochemistry-effects on performance of gypsy moths and forest tent caterpillars. *Oecologia*, 103: 79-88. doi: 10.1007/BF00328428
- Hemming J D C & Lindroth R L (2000). Effects of phenolic glycosides and protein on gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) and forest tent caterpillar (Lepidoptera: Lasiocampidae) performance and detoxification activities. *Environmental Entomology*, 29: 1108-1115.
- Henriksson J, Haukioja E, Ossipov V, Ossipova S, Sillanpää S, Kapari L & Pihlaja K (2003). Effects of host shading on consumption and growth of the geometrid *Epirrita autumnata*: Interactive roles of water, primary and secondary compounds. *Oikos*, 103: 3-16. doi: 10.1034/j.1600-0706.2003.12306.x
- Honek A (1993). Intraspecific variation in body size and fecundity in insects-A general relationship. *Oikos*, 66: 483-492.
- Howe G A & Jander G (2008). Plant immunity to insect herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 41-66. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825
- Huitson S & Macnair M R (2003). Does zinc protect the zinc hyperaccumulator *Arabidopsis halleri* from herbivory by snails? *New Phytologist*, 159: 453-459. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00783.x

- Işık M & Yanılmaz A F (1992). Studies on natural enemies and control measures of the fall webworm (*Hyphantria cunea* Drury. Lep.: Arctiidae) in hazelnut plantation in Samsun. *Zirai Mücadele Araştırma Yıllığı*, 22-23 (1987-1988): 55-58 (Abstract), Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun.
- Isman M B (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51: 45-66. doi: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151146
- Ito Y (1977). *Birth and death*. Editor: Hidaka T, *Adaptation and Speciation in the Fall Webworm*, Kodansha, Tokyo, 101-128.
- İren Z (1977). Önemli meyve zararlıları, tanınmaları, zararları, yaşayışları ve mücadele metodları. Ankara Bölge Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Yayınları, Mesleki Eserler Serisi, No.36, 165, Ankara.
- Jacobson A & Corcoran M R (1977). Tannins as gibberellin antagonists in the synthesis of amylase and acid phosphatase by barley seeds. *Plant Physiology*, 59: 129-133.
- Japoshvili G, Nikolaishvili A, Dzeladze N & Gogvadze L (2006). The fall webworm (*Hyphantria cunea*) in western Georgia. *Proceedings of the Georgian Academy of Science, Biological Series B*, 4(4): 122-126.
- Jhee E M, Dandridge K L, Christy A M & Pollard A J (1999). Selective herbivory on low-zinc phenotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae). *Chemoecology*, 9: 93-95. doi: 10.1007/s000490050038
- Jhee E M, Boyd R S & Eubanks M D (2005). Nickel hyperaccumulation as an elemental defense of *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae): Influence of herbivore feeding mode. *New Phytologist*, 168: 331-344. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01504.x
- Jhee E M, Boyd R S & Eubanks M D (2006). Effectiveness of metal-metal and metal-organic compound combinations against *Plutella xylostella*: Implications for plant elemental defense. *Journal of Chemical Ecology*, 32 (2): 239-259. doi: 10.1007/s10886-005-9000-0
- Jiang R F, Ma D Y, Zhao F J & McGrath S P (2005). Cadmium hyperaccumulation protects *Thlaspi caerulescens* from leaf feeding damage by thrips (*Frankliniella occidentalis*). *New Phytologist*, 167: 805-814. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01452.x
- Johnson M T J, Smith S D & Rausher M D (2009). Plant sex and the evolution of plant defenses against herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 18079-18084. doi: 10.1073/pnas.0904695106
- Jones M D & Hutchinson T C (1988). Nickel toxicity in mycorrhizal bich seedlings infected with *Lactarius rufus* and *Scleroderma flavidum*. I. Effects on growth, photosynthesis, respiration and transpiration. *New Phytologist*, 108: 451-459.

- Kaçar B & Katkat V (2006). *Bitki Besleme*. Nobel Yayınları, No: 849.
- Kang M S, Oh J S, Kang I C, Hong S J & Choi C H (2008). Inhibitory effect of methyl gallate and gallic acid on oral bacteria. *Journal of Microbiology*, 46: 744-750. doi: 10.1007/s12275-008-0235-7
- Karowe D N (1989). Differential effect of tannic acid on two tree-feeding Lepidoptera: Implications for theories of plant-herbivore chemistry. *Oecologia*, 80: 507-512. doi: 10.1007/BF00380074
- Kazimirova M, Slovak M & Manova A (1997). Host-parasitoid relationship of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Coptera occidentalis* (Hymenoptera: Proctotrupoidea, Diapriidae) under host heavy metal stress. *European Journal of Entomology*, 54: 409-420.
- Khenouf S, Benabdallah H, Gharzouli K, Amira S, Ito H, Kim T H, Yoshida T & Gharzoluli A (2003). Effect of tannins from *Quercus suber* and *Quercus coccifera* leaves on ethanol-induced gastric lesions in mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 1469-1473. doi: 10.1021/jf020808y
- Kim S H, Jun C D, Suk K, Choi B J, Lim H, Park S, Lee S H, Shin H Y, Kim D K & Shin T Y (2006). Gallic acid inhibits histamine release and pro-inflammatory cytokine production in mast cells. *Toxicological Sciences*, 91: 123-131. doi: 10.1093/toxsci/kfj063
- Korentajar L (1991). A review of the agricultural use of sewage sludge. Benefits and potential hazards. *Water SA*, 17(3): 189-196.
- Krauskopf K B & Bird D K (1995). *Introduction to geochemistry*. McGraw Hill, New York.
- Kruckeberg A R (1984). *California Serpentine: Flora, Vegetation, Geology, Soils, and Management Problems*. University of California Press, Berkeley, USA.
- Krupa Z, Siedlecka A, Maksimics W & Baszynski T (1993). In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *Journal of Plant Physiology*, 142: 664-668. doi:10.1016/S0176-1617(11)80899-0
- Küpper H, Lombi E, Zhao F J & McGrath S P (2000). Cellular compartmentation of cadmium and zinc in relation to other elements in the hyperaccumulator *Arabidopsis halleri*. *Planta*, 212: 75-84. doi: 10.1007/s004250000366
- Kwon Y M, Min K H & Lee C B (1978a). Effects of cyclic AMP and tannin on the amylase biosynthesis induced by gibberellin in aleurone layer. I. Acid phosphatase. *Sikmul Hakhoe Chin*, 21: 13-20.
- Kwon Y M, Min K H, Lee C B & Lee C H (1978b). Effects of cyclic AMP and tannin on the amylase biosynthesis induced by gibberellin in aleurone layer. II. Amylase. *Sikmul Hakhoe Chin*, 21: 21-27.

- Larson R A (1995). *Antioxidant mechanisms of secondary natural products*. Editor: Ahmad S, *Oxidant-induced Stress and Antioxidant Defenses in Biology*, Chapman and Hall, New York, 210-237.
- Leather S R & Wellings P W (1981). Ovariole number and fecundity in aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 30: 128-133.
- Lee K P, Behmer S T, Simpson S J & Raubenheimer D (2002). A geometric analysis of nutrient regulation in the generalist caterpillar *Spodoptera littoralis* (Boisduval). *Journal of Insect Physiology*, 48: 655-665.
- Lee K P, Raubenheimer D & Simpson S J (2004). The effects of nutritional imbalance on compensatory feeding for cellulose-mediated dietary dilution in a generalist caterpillar. *Physiological Entomology*, 29: 108-117. doi: 10.1111/j.0307-6962.2004.00371.x
- Lindqvist L (1994). Metal uptake and accumulation during growth of *Aglais urticae* (Lepidoptera: Nymphalidae) larvae. *Environmental Toxicology*, 23: 975-978.
- Lizukka T (1975). Interaction among nickel, iron, and zinc in mulberry tree grown on serpentine soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 47-55. doi: 10.1080/00380768.1975.10432620
- Loader C & Damman H (1991). Nitrogen content of food plants and vulnerability of *Pieris rapae* to natural enemies. *Ecology*, 72: 1586-1590.
- Ma J F, Ueno D, Zhao F J & McGrath S P (2005). Subcellular localisation of Cd and Zn in the leaves of a Cd-hyperaccumulating ecotype of *Thlaspi caerulescens*. *Planta*, 220: 731-736. doi: 10.1007/s00425-004-1392-5
- Mahadevan A (1982). *Biochemical Aspects of Disease Resistance: Preformed Inhibitory Substances "Prohibitins"*. Today & Tomorrow's Printers and Publishers.
- Malmberg A (1984). N-Feruloylputrescine in infected potato tubers. *Acta Chemica Scandinavica B*, 38: 153-155. doi: 10.3891/acta.chem.scand.38b-0153
- Marschner H (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (Second edition). Academic Press, 88, London, UK.
- Martens S N & Boyd R S (1994). The ecological significance of nickel hyperaccumulation: A plant chemical defense. *Oecologia*, 98: 379-384. doi: 10.1007/BF00324227
- Masaki S (1977). *Life cycle programming*. Editor: Hidaka T, *Adaptation and Speciation in the Fall Webworm*, Kodansha, Tokyo, 31-60.
- Masaki S, Umeya K, Sekiguchi Y & Kawasaki R (1968). Biology of *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae) in Japan? Photoperiodic induction of diapause in relation to the seasonal life cycle. *Applied Entomology and Zoology*, 3: 55-66.

- Merrington G, Miller D, McLaughlin M J & Keller M A (2001). Trophic barriers to fertilizer Cd bioaccumulation through the food chain: a case study using a plant-insect predator pathway. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41: 151-156. doi: 10.1007/s002440010232
- Mesjasz-Przybylowicz J & Przybylowicz W J (2001). Phytophagous insects associated with the Ni-hyperaccumulating plant *Berkheya coddii* (Asteraceae) in Mpumalanga, South Africa. *South African Journal of Science*, 97: 596-598.
- Mesjasz-Przybylowicz J & Przybylowicz W J (2002). Micro-PIXE in plant sciences: Present status and perspectives. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 189: 470-481. doi: 10.1016/S0168-583X(01)01127-2
- Metadiewa D, Jaiswal A K, Cenas N, Dickanaitė E & Segura-Auilar J (1999). Quercetin may act as a cytotoxic prooxidant after its metabolic activation to semiquinone and quinoidal product. *Free Radical Biology and Medicine*, 26: 107-116. doi: 10.1016/S0891-5849(98)00167-1
- Migula P, Przybylowicz W J, Mesjasz-Przybylowicz J, Augustyniak M, Nakonieczny M, Głowacka E & Tarnawska M (2007). Micro-PIXE studies of elemental distribution in sap-feeding insects associated with Ni hyperaccumulator, *Berkheya coddii*. *Plant and Soil*, 293: 197-207. doi: 10.1007/s11104-007-9231-7
- Mirth C K, Riddiford L M (2007). Size assessment and growth control: How adult size is determined in insects. *Bio Essays*, 29: 344-355.
- Mishra D & Kar M (1974). Nickel in plant growth and metabolism. *The Botanical Review*, 40: 395-452. doi: 10.1007/BF02860020
- Mitterbock F & Fuhrer E (1988). Effects of fluoride-polluted spruce leaves on nun moth caterpillars (*Lymantria monacha*). *Journal of Applied Entomology*, 105: 19-27.
- Mohanty N, Vass J & Demeter S (1989). Impairment of photosystem 2 activity at the level of secondary quinone electron acceptor in chloroplasts treated with cobalt, nickel, and zinc ions. *Physiologia Plantarum*, 76: 386-390. doi: 10.1111/j.1399-3054.1989.tb06208.x
- Moilanen J & Salminen J P (2008). Ecologically neglected tannins and their biologically relevant activity: chemical structures of plant ellagitannins reveal their *in vitro* oxidative activity at high pH. *Chemoecology*, 18: 73-83. doi: 10.1007/s00049-007-0395-7
- Monk C D (1987). Sclerophylly in *Quercus virginiana* Mill. *Castanea*, 52(4): 256-261.
- Moran N & Hamilton W D (1980). Low nutritive quality as defense against herbivores. *Journal of Theoretical Biology*, 86: 247-254.

- Morgutti S, Sacchi G A & Cocucci S M (1984). Effects of Ni^{2+} on proton extrusion, dark CO_2 fixation and malate synthesis in maize roots. *Physiologia Plantarum*, 60: 70-74. doi: 10.1111/j.1399-3054.1984.tb04252.x
- Morris R F (1967). Factors inducing diapause in *Hyphantria cunea*. *The Canadian Entomologist*, 99: 522-528. doi: 10.4039/ent99522-5
- Morris R F & Fulton C W (1970). Models for the development and survival of *Hyphantria cunea* in relation to temperature and humidity. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 70: 1-60.
- Murdiati T B, Mc Sweeney C S & Lowry J B (1992). Metabolism in sheep of gallic acid, tannic acid and hydrolysable tannin from *Terminalia oblongata*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43: 1307-1319.
- Muthukumar G, Sivaramakrishnan R & Mahadevan A (1985). Effect of tannins on plants and on their productivity. *Proceedings of the Indian National Science Academy B*, 51(2): 270-281.
- Nagpal N K (2004). *Water quality guidelines for cobalt*. Ministry of Water, Land and Air Protection, Water Protection Section, Water, Air and Climate Change Branch, Victoria.
- Nagy F & Schäfer E (2002). *Light perception and signal transduction*. Editors: Scheel D, Westernack C, *Plant Signal Transduction*, Oxford University Press, Oxford, 6-19.
- Nakamura H & Morimoto N (1980). A study of weight and size of cocoon and adult fecundity in *Neodiprion sertifer* Geoffroy, associated with different level of population density in some areas. *Journal of the Faculty of Agriculture, Shinshu University*, 17: 11-23.
- Nicol R W, Arnason J T, Helson B & Abou-Zaid M M (1997). Effect of host and nonhost trees on the growth and development of the forest tent caterpillar, *Malacosoma disstria* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *The Canadian Entomologist*, 129: 991-999.
- Noret N, Meerts P, Tolrà R, Poschenrieder C, Barceló J & Escarré J (2005). Palatability of *Thlaspi caerulescens* for snails: Influence of Zn and glucosinolates. *New Phytologist*, 165: 763-772. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01286.x
- Oliver A D (1964). A behavioral study of two races of the fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae) in Louisiana. *Annals of the Entomological Society of America*, 57: 192-194. doi: 10.1093/aesa/57.2.192
- Ortel J, Gintenreiter S & Nopp H (1993). The effects of host metal stress on a parasitoid in an insect/insectrelationship (*Lymantria dispar* L., Lymantriidae, Lepid, *Glyptapanteles liparidis* Bouche, Braconidae, Hym.). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 24: 421-426. doi: 10.1007/BF01146156

- Oswald L (1993). Effects of an allelochemical on diet selection and metabolism in a generalist arboreal folivore, the common brushtail possum (*Trichosurus vulpecula*). BSc Hons Thesis, Monash University, Clayton, Australia.
- Outridge P M & Scheuhammer A M (1993). Bioaccumulation and toxicology of nickel: implications for wild animals and birds. *Environmental Review*, 1: 172-197.
- Özbek H, Kaya Z, Gök M & Kaptan H (1995). *Toprak Bilimi*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.
- Özdemir H İ (1981). *Genel Anorganik ve Teknik Kimya*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Pandolfini T, Gabbrielli R & Comparini C (1992). Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. *Plant, Cell and Environment*, 15: 719-725. doi: 10.1111/j.1365-3040.1992.tb01014.x
- Panzuto M, Lorenzetti F, Mauffette Y & Albert P J (2001). Perception of aspen and sun/shade sugar maple leaf soluble extracts by larvae of *Malacosoma disstria*. *Journal of Chemical Ecology*, 27: 1963-1978. doi: 10.1023/A:1012282618332
- Peters D J & Constabel C P (2002). Molecular analysis of herbivore-induced condensed tannin synthesis: cloning and expression of dihydroflavonol reductase from trembling aspen (*Populus tremuloides*). *The Plant Journal*, 32: 701-712. doi: 10.1046/j.1365-313X.2002.01458.x
- Piccini D F & Malavolta E (1992). Effect of nickel on two common bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 2343-2356.
- Pilon-Smits E A H, Quinn C F, Tapken W, Malagoli M & Schiavon M (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 267-274. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.009
- Pinkerton B P, Brown K W, Thomas J C & Zabcik D (1981). Plant uptake of cobalt from a petroleum sludge affected soil. *Agron Abstr.* 32.
- Pollard A J & Baker A J M (1997). Deterrence of herbivory by zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae). *New Phytologist*, 135: 655-658. doi: 10.1046/j.1469-8137.1997.00689.x
- Poschenrieder C, Tolrà R & Barceló J (2006). Can metals defend plants against biotic stress? *Trends in Plant Science*, 11(6): 288-295.
- Posthuma L (1990). Genetic differentiation between populations of *Orchesella cincta* (Collembola) from heavy metal contaminated sites. *Journal of Applied Ecology*, 27: 609-622. doi: 10.2307/2404306
- Posthuma L, Hogervorst R F & van Straalen N M (1992). Adaptation to soil pollution by cadmium excretion in populations of *Orchesella cincta* (Collembola). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22: 146-156. doi: 10.1007/BF00213314

- Prasad M N V (2004). *Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems* (Second edition). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Price P W, Bouton C E, Gross P, McPheron B A, Thompson J N & Weis A E (1980). Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 11: 41-65.
- Probst A, Bur T, Crouau Y, Bianco A & Gandois L (2012). Toxicity of Pb and of Pb/Cd combination on the springtail *Folsomia candida* in natural soils: Reproduction, growth and bioaccumulation as indicators. *Science of the Total Environment*, 414: 187-197.
- Proctor J (1999). Toxins, nutrient shortages and droughts: The serpentine challenge. *Trends in Ecology and Evolution*, 14: 334-335. doi: 10.1016/S0169-5347(99)01698-5
- Przybylowicz W J, Mesjasz-Przybylowicz J, Migula P, Glowacka E, Nakonieczny M & Augustyniak M (2003). Functional analysis of metals distribution in organs of the beetle *Chrysolina pardalina* exposed to excess of nickel by Micro-PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 210: 343-348. doi: 10.1016/S0168-583X(03)01029-2
- Przybylowicz W J, Mesjasz-Przybylowicz J, Migula P, Turnau K, Nakonieczny M, Augustyniak M & Glowacka E (2004). Elemental microanalysis in ecophysiology using ion microbeam. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 219-220: 57-66. doi: 10.1016/j.nimb.2004.01.028
- Quideau S & Feldman K S (1996). Ellagitannin chemistry. *Chemical Reviews*, 96: 475-503.
- Rascio N (1977). Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos*, 29: 250-253. doi: 10.2307/3543610
- Rascio N & Navari-Izzo F (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180: 169-181. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016
- Rathinasabapathi B, Rangasamy M, Froeba J, Cherry R H, McAuslane H J, Capinera J L, Srivastava M & Ma L Q (2007). Arsenic hyperaccumulation in the Chinese brake fern (*Pteris vittata*) deters grasshopper (*Schistocerca americana*) herbivory. *New Phytologist*, 175: 363-369. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02099.x
- Reeves R D (2006). *Hyperaccumulation of trace elements by plants*. Editors: Morel J L, Echevarria G, Goncharova N, *Phytoremediation of metal contaminated soils*, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, New York, 1-25.
- Reeves R D & Baker A J M (2000). *Metal-accumulating plants*. Editors: Raskin I, Ensley B D, *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*, John Wiley and Sons, New York, USA, 193-229.

- Reeves R D, Baker A J M, Borhidi A & Berazain R (1996). Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba. *New Phytologist*, 133: 217-224. doi: 10.1111/j.1469-8137.1996.tb01888.x
- Reeves R D, Brooks R R & Macfarlane R M (1981). Nickel uptake by Californian *Streptanthus* and *Caulanthus* with particular reference to the hyperaccumulator *S. polygaloides* Gray (Brassicaceae). *American Journal of Botany*, 68: 708-712. doi: 10.2307/2442798
- Rehnberg B G (2002). Heat retention by webs of the fall webworm *Hyphantria cunea* (Lepidoptera : Arctiidae): Infrared warming and forced convective cooling. *Journal of Thermal Biology*, 27: 525-530. doi: 10.1016/S0306-4565(02)00026-8
- Rehnberg B G (2006). Temperature profiles inside webs of the fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera : Arctiidae): Influence of weather, compass orientation, and time of day. *Journal of Thermal Biology*, 31: 274-279. doi: 10.1016/j.jtherbio.2005.10.006
- Rhoades D F & Cates R G (1976). *Toward a general theory of plant antiherbivore chemistry*. Editors: Wallace J W, Mansell R L, *Biochemical interactions between plants and insects*, Plenum, New York, 168-213.
- Robertson A I (1985). The poisoning of roots of *Zea mays* by nickel ions, and the protection afforded by magnesium and calcium. *New Phytologist*, 100: 173-189. doi: 10.1111/j.1469-8137.1985.tb02769.x
- Robinson B H, Brooks R R & Clothier B E (1999a). Soil amendments affecting nickel and cobalt uptake by *Berkheya coddii*: Potential use for phytomining and phytoremediation. *Annals of Botany*, 84: 689-694. doi: 10.1006/anbo.1999.0970
- Robinson B H, Brooks R R & Hedley M J (1999b). Cobalt and nickel accumulation in *Nyssa* (tupelo) species and its significance for New Zealand agriculture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 42: 235-240.
- Robinson B H, Lombi E, Zhao F J & McGrath S P (2003). Uptake and distribution of nickel and other metals in the hyperaccumulator *Berkheya coddii*. *New Phytologist*, 158: 279-285. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00743.x
- Roosens N, Verbruggen N, Meerts P, Ximenez-Embun P & Smith J A C (2003). Natural variation in cadmium tolerance and its relationship to metal hyperaccumulation for seven populations of *Thlaspi caerulescens* from Western Europe. *Plant, Cell and Environment*, 26: 1657-1672. doi: 10.1046/j.1365-3040.2003.01084.x
- Rout G R & Das P (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie*, 23: 3-11.
- Sabelis M W & de Jong M C M (1988). Should all plants recruit bodyguards. Conditions for a polymorphic ESS of synomone production in plants. *Oikos*, 53: 247-252. doi: 10.2307/3566070

- Sakihama Y, Cohen M F, Grace S C & Yamasaki H (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: Phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177: 67-80.
- Santiago R, Malvar R A, Baamonde M D, Revilla P & Souto X C (2005). Free phenols in maize pith and their relationship with resistance to *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) attack. *Journal of Economic Entomology*, 98(4): 1349-1356. doi: 10.1603/0022-0493(2005)098[1349:FPIMPA]2.0.CO;2
- Santiago R, Butron A, Arnason J T, Reid L M, Souto X C & Malvar R A (2006). Putative role of cell wall phenylpropanoids in *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2274-2279. doi: 10.1021/jf0524271
- Sasmaz A & Yaman M (2006). Distribution of chromium, nickel and cobalt in different parts of plant species and soil in mining area of Keban, Turkey. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1845-1857. doi: 10.1080/00103620600767017
- Scheel D & Wasternack C (2002). *Signal transduction in plants: Cross-talk with the environment*. Editors: Scheel D, Wasternack C, *Plant signal transduction*, Oxford University Press, Oxford, 1-5.
- Schwartz M D & Wall M A (2001). *Melanotrichus boydi*, a new species of plant bug (Heteroptera: Miridae: Orthotylini) restricted to the nickel hyperaccumulator *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae). *Pan-Pacific Entomologist*, 77: 39-44.
- Sharma H C, Sujana G & Rao D M (2009). Morphological and chemical components of resistance to pod borer, *Helicoverpa armigera* in wild relatives of pigeonpea. *Arthropod-Plant Interact*, 3: 151-161. doi: 10.1007/s11829-009-9068-5
- Sharma P & Dubey R S (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 35-52.
- Sharma R K & Agrawal M (2005). Biological effects of heavy metals: An overview. *Journal of Environmental Biology*, 26: 301-313.
- Sheoran I S, Aggrawal N & Singh R (1990a). Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, 23: 345-359.
- Sheoran I S, Aggrawal N & Singh R (1990b). Effect of cadmium and nickel on in vivo carbon dioxide exchange rate of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Plant Soil*, 129: 243-249. doi: 10.1007/BF00032419
- Simmonds M S J (2001). Importance of flavonoids in insect-plant interactions: Feeding and oviposition. *Phytochemistry*, 56: 245-252.

- Simmonds M S J (2003). Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*, 64: 21-30. doi: 10.1016/S0031-9422(03)00293-0
- Simmonds M S J & Stevenson P C (2001). Effects of isoflavonoids from Cicer on larvae of *Helicoverpa armigera*. *Journal of Chemical Ecology*, 27(5): 965-977. doi: 10.1023/A:1010339104206
- Simpson S J (1983). Changes during the fifth instar of *Locusta migratoria* in the rate of crop emptying and their relationship to feeding and food utilization. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 33: 235-243. doi: 10.1111/j.1570-7458.1983.tb03263.x
- Simpson S J & Raubenheimer D (2001). The geometric analysis of nutrient-allelochemical interactions: a case study using locusts. *Ecology*, 82: 422-439. doi: 10.1890/0012-9658(2001)082[0422:TGAONA]2.0.CO;2
- Smith I C & Carson B L (1981). *Trace metals in the environment. Volume 6: Cobalt*. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers INC.
- Soon Y K, Bates T E & Moyer J R (1980). Land application of chemically treated sewage sludge. III. Effects on soil and plant heavy metal content. *Journal of Environmental Quality*, 9: 497-504. doi: 10.2134/jeq1980.00472425000900030035x
- Sorvari J, Rantala L M, Rantala M J, Hakkarainen H & Eeva T (2007). Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. *Environmental Pollution*, 145: 324-328. doi: 10.1016/j.envpol.2006.03.004
- Sossé B A, Genet P, Dunand-Vinit F, Toussaint L M, Epron D & Badot P M (2004). Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166: 1213-1218. doi: 10.1016/j.plantsci.2003.12.032
- Stehr F W & Cook E F (1968). *A revision of the genus Malacosoma Hübner in North America (Lepidoptera: Lasiocampidae): Systematics, biology, immatures, parasites*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Stone D, Jepson P & Laskowski R (2001). Trends in detoxification enzymes and heavy metal accumulation in ground beetles (Coleoptera: Carabidae) inhabiting a gradient of pollution. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 132: 105-112.
- Storey K B & Storey J M (1991). *Biochemistry of cryoprotectants*. Editors: Lee Jr. R E, Denlinger D L, *Insects at low temperature*, Chapman and Hall, New York, 64-93.
- Strong D R, Lawton J H & Southwood S R (1984). *Insects on plants: Community patterns and mechanisms*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Sugihara N, Arakawa T, Ohnishi M & Furuno K (1999). Anti- and pro-oxidative effects of flavonoids on metal-induced lipid hydroperoxide-dependent lipid

- peroxidation in cultured hepatocytes loaded with α -linolenic acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 27: 1313-1323. doi: 10.1016/S0891-5849(99)00167-7
- Sullivan G T, Karaca I, Ozman-Sullivan S K & Kara K (2012). Tachinid (Diptera: Tachinidae) parasitoids of overwintered *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) pupae in hazelnut plantations in Samsun Province, Turkey. *Journal of the Entomological Research Society*, 14(1): 21-30.
- Sullivan G T, Karaca I, Ozman-Sullivan S K & Kolarov J (2010). Ichneumonid (Hymenoptera) parasitoids of overwintering *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) pupae in hazelnut plantations of the central Black Sea region of Turkey. *Zootaxa*, 2608: 63-68.
- Sun H X, Zhou Q, Tang W C, Shu Y H & Zhang G R (2008). Effects of dietary nickel on detoxification enzyme activities in the midgut of *Spodoptera litura* Fabricius larvae. *Chinese Science Bulletin*, 53: 3324-3330. doi: 10.1007/s11434-008-0423-1
- Swain R B (1936). *The biological control of the fall webworm in Colorado*. Colorado State College, Fort Collins.
- Sword G A (2001). Tasty on the outside, but toxic in the middle: grasshopper regurgitation and host plant-mediated toxicity to a vertebrate predator. *Oecologia*, 128: 416-421. doi: 10.1007/s004420100666
- Tauber M J, Tauber C A & Masaki S (1986). *Seasonal Adaptations of Insects*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Taylor S R (1964). Trace element abundances and the chondritic Earth model. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28(12): 1989-1998. doi: 10.1016/0016-7037(64)90142-5
- Thiboldeaux R L, Lindroth R L & Tracy J W (1998). Effects of juglone (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone) on midgut morphology and glutathione status in Saturniid moth larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 120: 481-487. doi: 10.1016/S0742-8413(98)10070-1
- Tranvik L, Bengtsson G & Rundgren S (1993). Relative abundance and resistance traits of two Collembola species under metal stress. *Journal of Applied Ecology*, 30: 43-52. doi: 10.2307/2404269
- Tripathy B C, Bhatia B & Mohanty P (1981). Inactivation of chloroplast photosynthetic electron transport activity by Ni^{+2} . *Biochimica Biophysica Acta*, 638: 217-224. doi: 10.1016/0005-2728(81)90230-9
- Tuncer C (1992). Amerikan Beyaz Kelebeği (*Hyphantria cunea* Drury, Lepidoptera: Arctiidae)'nin Samsun ve çevresindeki biyolojisi ve özellikle konukçu bitkilerin değişik açılardan etkileri üzerinde araştırmalar. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 149, Ankara.

- Usha Rani P & Jyothsna Y (2010). Biochemical and enzymatic changes in rice as a mechanism of defense. *Acta Physiol Plant*, 32: 695-701. doi: 10.1007/s11738-009-0449-2
- Vaillant N, Monnet F, Hitmi A, Sallanon H & Coudret A (2005). Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. *Chemosphere*, 59: 1005-1013. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.030
- van Assche F V & Clijsters H (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell and Environment*, 13: 195-206. doi: 10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x
- van der Ent A, Baker A J M, Reeves R D, Pollard A J & Schat H (2012). *Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and Fiction*. Plant Soil.
- van Ooik T (2008). Effects of heavy metal pollution and host plant leaf chemistry on the immune defense and life history traits of an insect herbivore. Doctoral Dissertation, Annales Universitatis Turkuensis Department of Biology, Ecology, 26, Finland.
- van Ooik T, Pausio S & Rantala M J (2008). Direct effects of heavy metal pollution on the immune function of a geometrid moth, *Epirrita autumnata*. *Chemosphere*, 71(10): 1840-1844. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.02.014
- van Ooik T, Rantala M J & Saloniemi I (2007). Diet-mediated effects of heavy metal pollution on growth and immune response in the geometrid moth *Epirrita autumnata*. *Environmental Pollution*, 145(1): 348-354. doi: 10.1016/j.envpol.2006.03.008
- van Straalen N M, Burghouts T B A, Doornhof M J, Groot G M, Janssen M P M, Joosse E G N, van Meerendonk J H, Theeuwes J P J J, Verhoef H A & Zoomer H R (1987). Efficiency of lead and cadmium excretion in populations of *Orchesella cincta* (Collembola) from various contaminated forest soils. *Journal of Applied Ecology*, 24(3): 953-968. doi: 10.2307/2403992
- Veeranjaneyulu K & Das V S R (1982). Intrachloroplast localization of ⁶⁵Zn and ⁶³Ni in Zn-tolerant plant (*Octimum basilicum* Benth.). *Journal of Experimental Botany*, 33(137): 1161-1165. doi: 10.1093/jxb/33.6.1161
- War A R, Paulraj M G, Ahmad T, Buhroo A A, Hussain B, Ignacimuthu S & Sharma H C (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling and Behavior*, 7(10): 1306-1320.
- War A R, Paulraj M G, War M Y & Ignacimuthu S (2011a). Jasmonic acid-mediated induced resistance in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) against *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Growth Regulation*, 30: 512-523. doi: 10.1007/s00344-011-9213-0

- War A R, Paulraj M G, War M Y & Ignacimuthu S (2011b). Herbivore- and elicitor-induced resistance in groundnut to Asian armyworm, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Signaling and Behavior*, 6: 1769-1777.
- Warren L O & Tadic M (1970). The Fall Webworm, *Hyphantria cunea* (Drury). *Arkansas Agricultural Experiment Station Bulletin*, 759: 1-106.
- Warrington S (1987). Relationship between SO₂ dose and growth of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, on peas. *Environmental Pollution*, 43: 155-162. doi: 10.1016/0269-7491(87)90073-X
- White T (1957). Tannins, their occurrence and significance. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 8: 377-385. doi: 10.1002/jsfa.2740080702
- Whittaker R H (1970). *The biochemical ecology of higher plants*. Editors: Sondheimer E, Simeone J B, *Chemical Ecology*, Academic Press, Boston, 43-70.
- Yamamoto R T (1969). Mass rearing of tobacco hornworm. II. Larval rearing and pupation. *Journal of Economic Entomology*, 62: 1427-1431. doi: 10.1093/jee/62.6.1427
- Yanar O (2007). Meşe güvesi *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) ve Amerikan Beyaz Kelebeği *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae)'de besin seçimi ve gelişimine etki eden kimyasal faktörlerin geometrik analizlerle belirlenmesi. Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimler Üniversitesi, 84, Samsun.
- Yanar O & Topkara E F (2014). The synergistic effect of phenolic compounds on polyphagous herbivore *Euproctis chrysorrhoea* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae). *Munis Entomology and Zoology*, 9(1): 313-319.
- Yanar O, Topkara E F & Gömeç S (2016). Synergy of secondary compounds in the artificial foods of the last instar of *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae). *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(3): 195-205. doi: 10.15666/aeer/1403_195205
- Yang X, Feng Y, He Z & Stoffella P J (2005). Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18: 339-353. doi: 10.1016/j.jtemb.2005.02.007
- Yoshihara T, Hodoshima H, Miyano Y, Shoji K, Shimada H & Goto F (2006). Cadmium inducible Fe deficiency responses observed from macro and molecular views in tobacco plants. *Plant Cell Reports*, 25: 365-373. doi: 10.1007/s00299-005-0092-3
- Zheng J, Cho M, Jones A D & Hammock B D (1997). Evidence of quinone metabolites of naphthalene covalently bound to sulfur nucleophiles of proteins of murine clara cells after exposure to naphthalene. *Chemical Research in Toxicology*, 10(9): 1008-1014. doi: 10.1021/tx970061j

- Zibae I, Bandani A R, Sendi J J, Talaei-Hassanloei R & Kouchaki B (2010). Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and medicinal plants on *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Arctiidae). *Information Systems Journal*, 7: 251-261.
- Zornoza P, Robles S & Martin N (1999). Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower plants. *Plant and Soil*, 208: 221-226. doi: 10.1023/A:1004517414730



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif Fatma TOPKARA

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Tarihi : 15.02.1986

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ondokuz Mayıs Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi (2004)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü (2009)

Yüksek Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı (Şubat 2010-Şubat 2012)

Yayınlar

1. Çavdar S, Yanar O, Topkara E F, Bilgener M & Firidin B (2012). Entomopatojenik Bakteriler ve Biyolojik Mücadele, Ekoloji 2012 Sempozyumu, 3-5 Mayıs 2012, Kilis.
2. Çavdar S, Yanar O, Topkara E F, Bilgener M & Firidin B (2012). Entomopatojenik Virüsler ve Biyolojik Mücadele, Ekoloji 2012 Sempozyumu, 3-5 Mayıs 2012, Kilis.
3. Topkara E F, Yanar O, Çavdar S, Bilgener M & Firidin B (2012). Herbivor Böceklerle Bitki Sekonder Maddelerinin Etkisi, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül 2012, İzmir.
4. Topkara E F, Yanar O, Çavdar S, Bilgener M & Firidin B (2012). Parazitoidlere Bitki Sekonder Maddelerinin Dolaylı Etkisi, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül 2012, İzmir.
5. Topkara E F, Yanar O, Çavdar S & Bilgener M (2012). *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae)'nın Son Larva Evresine Sekonder Maddelerin Sinerjistik Etkisi, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül 2012, İzmir.
6. Çavdar S, Yanar O & Topkara E F (2013). *Bacillus thuringiensis* Berliner *kurstaki* Tarafından Enfekte Edilen *Lymantria dispar* Larvalarının Hayatta Kalmasına Bitki Kalitesinin Etkisi, Ekoloji 2013 Sempozyumu, 2-4 Mayıs 2013, Tekirdağ.

7. Çavdar S, Yanar O & Topkara E F (2013). N kleopolihedrovir s Tarafından İnfekte Edilen *Lymantria dispar* Larvalarının Hayatta Kalmasına Bitki Kalitesinin Etkisi, Ekoloji 2013 Sempozyumu, 2-4 Mayıs 2013, Tekirdağ.
8. Topkara E F, Yanar O, Çavdar S & Bilgener M (2014). *Malacosoma neustria* (Lepidoptera: Lasiocampidae)'nın Son Larva Evresine Sekonder Maddelerin Sinerjistik Etkisi, 22. Ulusal Biyoloji Kongresi, 23-27 Haziran 2014, Eskişehir.
9. Yanar O & Topkara E F (2014). The synergistic effect of phenolic compounds on polyphagous herbivore *Euproctis chrysorrhoea* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae), Munis Entomology and Zoology, 9(1): 313-319.
10. Topkara E F & Yanar O (2015). Bitkilerin Biriktirdiğı Ağır Metallerin Herbivor Böceklere Etkileri, Ekoloji 2015 Sempozyumu, 6-9 Mayıs 2015, Sinop.
11. Yanar O, Aliyeva R & Topkara E F (2015). The Effects of Diet Quality on the Survival of *Vanessa atalanta* Larvae Infected by *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, 5th Entomopathogens and Microbial Control Cogress, 9-11 Eylül 2015, Ankara.
12. Yanar O, Bıyık İ & Topkara E F (2015). The Effects of Heavy Metals on Insect Infection, 5th Entomopathogens and Microbial Control Cogress, 9-11 Eylül 2015, Ankara.
13. Yanar O, Topkara E F & G me  S (2016). Synergy of secondary compounds in the artificial foods of the last instar of *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae), Applied Ecology and Environmental Research, 14(3): 195-205. doi: 10.15666/aeer/1403_195205
14. Yanar O, Bıyık İ & Topkara E F (2016). The effects of three different heavy metal (zinc, copper, nickel) on some biological and biochemical properties of the *Hyphantria cunea* larvae infected by *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, 3rd Ecology and Evolutionary Biology Symposium, 31 Ağıustos- 1 Eylül 2016, Ankara.