

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI



TERMAL STRESİN *Galleria mellonella* ve *Achroia grisella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)
ile EKTOPARAZİTOİT *Bracon hebetor* (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)'UN
BİYOLOJİSİ, BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve ANTIOKSİDAN ENZİMLERİNE ETKİLERİ

ERİNÇ ÇELİK BİÇER

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Olga SAK (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Aylin ER (Eş Danışman)
Prof. Dr. Hülya ALTUNTAŞ
Prof. Dr. Serdar SAK
Doç. Dr. Alp ALPER
Dr. Öğr. Üyesi Fevzi UÇKAN

BALIKESİR, EKİM - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**TERMAL STRESİN *Galleria mellonella* ve *Achroia grisella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) ile EKTOPARAZİTOİT *Bracon hebetor* (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)’UN BİYOLOJİSİ, BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve ANTİOKSİDAN ENZİMLERİNE ETKİLERİ**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Erinç ÇELİK BİÇER

Bu doktora tezi 'İklim Değişikliği' tematik alanında 100/2000 YÖK Doktora Burs Programı kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (Proje Numaraları: 2019-054, 2022-116 ve 2022-117) nolu projeler ile desteklenmiştir.

ÖZET

TERMAL STRESİN *Galleria mellonella* ve *Achroia grisella* (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) ile EKTOPARAZİTOİT *Bracon hebetor* (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)'UN BİYOLOJİSİ, BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve ANTİOKSİDAN ENZİMLERİNE ETKİLERİ
DOKTORA TEZİ
ERİNÇ ÇELİK BİÇER
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OLGA SAK)
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. AYLİN ER)
BALIKESİR, EKİM - 2024

İklim değişikliğine bağlı sıcaklık farklılıkları ektotermik canlılar olan böcekler için etkili bir stres faktörüdür. Tez kapsamında, sabit ve değişken ısı şoku şeklinde uygulanan termal stresin balmumu güveleri, *Galleria mellonella* ve *Achroia grisella*'nın biyolojisi, bağışıklık sistemi, antioksidan ve fenoloksidaz enzimleri ile konak-parazitoit ilişkisi içerisinde ektoparazitoit, *Bracon hebetor*'un biyolojisini nasıl etkilediği araştırıldı. Sabit ısı şokuna dokuz farklı sıcaklıkta maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın sırasıyla 40-50 °C ve 34-50 °C'lerde öldükleri belirlendi. Mortalite sonuçları *G. mellonella*'nın *A. grisella*'ya göre termal strese daha dayanıklı olduğunu gösterdi. Sabit ısı şokunda *G. mellonella*'nın gelişimi için optimum sıcaklık aralığı 30-38 °C iken *A. grisella*'da 30-34 °C oldu. Uygulama sıcaklıkları ve maruz kalma süresi arttıkça son evre larvaların ölüm oranları artarken yaşam sürelerinin de kısaldığı belirlendi. Sıcaklığın zamana bağlı etkisini incelediğimiz bağışıklık ve enzim aktivitesi deneylerinde özellikle 34 ve 40 °C'lerde her iki güvenin de toplam hemosit sayısı, mitotik indeks, güçlü enkapsülasyon, malondialdehit ve fenoloksidaz düzeyleri belirgin şekilde yükseldi. Ayrıca, *G. mellonella*'da süperoksit dismutaz ve *A. grisella*'da katalaz aktivitesinin de arttığı görüldü. Nitekim sabit ısı şokunda erginleşmeden önceki ilk ölümün *G. mellonella*'da 40 °C'de, *A. grisella*'da ise 34 °C'de olması bu sıcaklıkların gelişimsel ve fizyolojik açıdan kritik sıcaklıklar olduğunu gösterdi. Termal stresin *G. mellonella*-*B. hebetor* ilişkisindeki en belirgin etkisi 36 °C'de oldu; dişi başına düşen ortalama 24 yumurtadan %95'i erginleşti ve ergin yaşam süresi uzadı. Öte yandan hem sabit hem değişken ısı şokunda sıcaklık arttıkça konağın larval dönemi kısaldığı için konak-parazitoit ilişkisinin de bozulabileceği görüldü. Bulgularımız küresel ısınmanın böcekleri karmaşık ve beklenmedik şekilde etkileyebileceğini vurgulamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: İklim değişikliği, *Galleria mellonella*, *Achroia grisella*, *Bracon hebetor*, mortalite, bağışıklık ve enzim aktivitesi, biyolojik kontrol.

Bilim Kodları : 20313, 20315, 20317, 20321

Sayfa Sayısı : 172

ABSTRACT

**EFFECTS OF THERMAL STRESS ON THE BIOLOGY, IMMUNE SYSTEM and
ANTIOXIDANT ENZYMES OF *Galleria mellonella* and *Achroia grisella*
(LEPIDOPTERA: PYRALIDAE), and THE ECTOPARASITOID *Bracon hebetor*
(HYMENOPTERA: BRACONIDAE)
PH.D THESIS
ERİNÇ ÇELİK BİÇER
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
BIOLOGY**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. OLGA SAK)
(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. AYLİN ER)
BALIKESİR, OCTOBER - 2024**

Temperature differences due to climate change are an effective stress factor for ectothermic insects. The thesis investigated the effects of thermal stress, applied as constant and variable heat shock, on the biology, immune system, antioxidant and phenoloxidase enzymes of the wax moths, *Galleria mellonella* and *Achroia grisella*, and the biology of the ectoparasitoid, *Bracon hebetor*, in the host-parasitoid relationship. *G. mellonella* and *A. grisella* exposed to constant heat shock at nine different temperatures were found to die at 40-50 °C and 34-50 °C, respectively. The mortality results showed that *G. mellonella* was more resistant to thermal stress than *A. grisella*. The optimum temperature range under constant heat shock was 30-38 °C for *G. mellonella* growth and 30-34 °C for *A. grisella*. As the exposure temperatures and application time increased, the mortality rates of last instars increased, and their life span shortened. In the immunity and enzyme activity experiments examining the time-dependent effect of temperature, total hemocyte count, mitotic index, strong-encapsulation, malondialdehyde, and phenoloxidase levels of both moths increased noticeably, especially at 34 and 40 °C. Furthermore, superoxide dismutase activity in *G. mellonella* and catalase activity in *A. grisella* were also elevated. Thus, the first pre-adult emergence mortality under constant heat shock occurred at 40 °C for *G. mellonella* and at 34 °C for *A. grisella* indicating these temperatures were developmentally and physiologically critical. The most prominent effect of thermal stress on *G. mellonella*-*B. hebetor* relationship was at 36 °C; 95% of the average 24 eggs per female reached the adult stage and adult longevity was prolonged. However, host-parasitoid relationship may also be disrupted as the larval period of the host shortens with increasing temperature in both constant and variable heat shock. Our findings emphasize that global warming may affect insects in complex and unexpected ways.

KEYWORDS: Climate change, *Galleria mellonella*, *Achroia grisella*, *Bracon hebetor*, mortality, immunity and enzyme activity, biological control.

Science Codes : 20313, 20315, 20317, 20321

Page Number : 172

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	28
2.1 Konak Kültürleri	28
2.2 Parazitoit Kültürleri	29
2.3 Sıcaklık Uygulaması	30
2.3.1 Sabit ısı şoku deneyleri	30
2.3.2 Değişken ısı şoku deneyleri	31
2.4 Termal Stresin Konak Biyolojisine Etkisi	32
2.4.1 Koza örme süresi	32
2.4.2 Puplaşma süresi	33
2.4.3 Pupal periyot	33
2.4.4 Ergin öncesi gelişim süresi	33
2.4.5 Ergin ağırlığı	34
2.4.6 Ergin hayat uzunluğu	34
2.4.7 Yumurta verimi	34
2.5 Termal Stresin Konak Bağışıklığı ve Antioksidan Enzimlerine Etkisi	35
2.5.1 Bağışıklık sistemi deneyleri	36
2.5.1.1 Toplam hemosit sayısı	36
2.5.1.2 Farklı hemosit sayısı ve mitotik indeks	37
2.5.1.3 Enkapsülasyon durumu	38
2.5.2 Enzim aktivite deneyleri	39
2.5.2.1 Hemolenf toplanması	39
2.5.2.2 Toplam protein tayini	40
2.5.2.3 Süperoksit dismutaz aktivite tayini	41
2.5.2.4 Katalaz aktivite tayini	41
2.5.2.5 Lipit peroksidaz düzeyi	42
2.5.2.6 Fenoloksidaz aktivite tayini	42
2.6 Termal Stresin Konak-Parazitoit İlişkisine Etkisi	43
2.7 İstatistik	46
3. BULGULAR	47
3.1 Yüksek Sıcaklık ve Mortalite	47
3.2 Konak Biyolojik Özellikleri	55
3.2.1 Termal stresin <i>G. mellonella</i> 'ya etkisi	55
3.2.1.1 Koza örme süresi	55
3.2.1.2 Puplaşma süresi	55
3.2.1.3 Pupal periyot	56

3.2.1.4	Ergin öncesi gelişim süresi.....	57
3.2.1.5	Ergin hayat uzunluğu.....	57
3.2.1.6	Ergin ağırlığı.....	58
3.2.1.7	Yumurta verimi	58
3.2.2	Termal stresin <i>A. grisella</i> 'ya etkisi	59
3.2.2.1	Koza örme süresi	59
3.2.2.2	Puplaşma süresi	59
3.2.2.3	Pupal periyot.....	59
3.2.2.4	Ergin öncesi gelişim süresi.....	60
3.2.2.5	Ergin hayat uzunluğu.....	60
3.2.2.6	Ergin ağırlığı.....	61
3.2.2.7	Yumurta verimi	61
3.3	Termal Stresin Konak Bağışıklığına Etkisi.....	62
3.3.1	Toplam hemosit sayısı	62
3.3.2	Farklı hemosit sayısı	65
3.3.3	Mitotik indeks	74
3.3.4	Enkapsülasyon durumu	76
3.4	Termal Stresin Konak Antioksidan Enzimlerine Etkisi.....	81
3.4.1	Toplam protein.....	81
3.4.2	Süperoksit dismutaz aktivitesi	84
3.4.3	Katalaz aktivitesi.....	85
3.4.4	Lipit peroksidaz düzeyi.....	87
3.4.5	Fenoloksidaz aktivitesi.....	89
3.5	Termal Stresin Konak-Parazitoit İlişkisine Etkisi.....	91
3.5.1	Yumurta verimi	91
3.5.2	Yumurta çatlama süresi.....	91
3.5.3	Koza örme süresi.....	91
3.5.4	Puplaşma süresi.....	92
3.5.5	Pupal periyot	92
3.5.6	Ergin öncesi gelişim süresi	92
3.5.7	Erginleşme yüzdesi	92
3.5.8	Eşey oranı.....	92
3.5.9	Ergin hayat uzunluğu	93
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ	95
5.	KAYNAKLAR (APA)	142
	ÖZGEÇMİŞ	173

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Konak kültürleri; a) <i>G. mellonella</i> , b) <i>A. grisella</i> , c) Konak laboratuvar görünümü.	29
Şekil 2.2: Parazitoit kültürleri; a) Stok ve süksesif kültürler, b) Ergin ve kozadan çıkmak üzere olan dişi <i>B. hebetor</i> ile parazitlenmiş konak larvası.	29
Şekil 2.3: Deneylerde kullanılan sıcaklıklar (°C).	31
Şekil 2.4: Termal stres altındaki son evre konak larvaları; a) <i>G. mellonella</i> , b) <i>A. grisella</i>	32
Şekil 2.5: <i>A. grisella</i> larvasının koza örme süreci.	33
Şekil 2.6: <i>G. mellonella</i> 'da puplaşma süreci.	33
Şekil 2.7: Konak türlerin hayat döngüsü (yumurta, larva, pup, ergin); a) <i>G. mellonella</i> , b) <i>A. grisella</i>	35
Şekil 2.8: Neubauer hemositometre lamı ve sayım alanı.	37
Şekil 2.9: Protein (BSA) derişimi ile absorbands arasındaki doğrusal ilişki.	41
Şekil 2.10: a) Dişi <i>B. hebetor</i> 'un konağa bıraktığı yumurtalar, b) Birinci nesil bireylerin petri üzerinde numaralandırılması.	44
Şekil 2.11: a) Parazitlenmiş konak, <i>B. hebetor</i> larvaları ve larvaların koza örme davranışı, b) <i>B. hebetor</i> kozaları ve puplaşma süreci.	45
Şekil 2.12: Parazitlenmiş konak ve <i>B. hebetor</i> 'un koza içindeki ergin öncesi gelişim evreleri.	45
Şekil 2.13: Birinci nesil <i>B. hebetor</i> bireylerinin hayat uzunluğu; a) Dişi birey, b) Erkek birey.	45
Şekil 3.1: <i>G. mellonella</i> 'da termal stresin ortalama kümülatif mortaliteye (% 95 CI) etkisi.	53
Şekil 3.2: <i>A. grisella</i> 'da termal stresin ortalama kümülatif mortaliteye (%95 CI) etkisi. ..	54
Şekil 3.3: <i>G. mellonella</i> hemosit tipleri; a) Granülosit, b) Plazmatosit, c) Sferülosit, d) Önositoit, e) Prohemosit.	65
Şekil 3.4: Enkapsülasyon durumları; a) <i>G. mellonella</i> , b) <i>A. grisella</i> . Ölçü çubuğu: 50 µm. ..	79

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: <i>G. mellonella</i> , <i>A. grisella</i> ve <i>B. hebetor</i> sistematığı.....	24
Tablo 3.1: <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının termal strese verdiği tepkiler.	47
Tablo 3.2: <i>A. grisella</i> son evre larvalarının termal strese verdiği tepkiler.	48
Tablo 3.3: Termal stresin <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının yaşam süresine etkisi.	49
Tablo 3.4: Termal stresin <i>A. grisella</i> son evre larvalarının yaşam süresine etkisi.	49
Tablo 3.5: <i>G. mellonella</i> 'da termal strese bağlı LTemp değerleri.....	50
Tablo 3.6: <i>G. mellonella</i> 'da termal strese bağlı LTime değerleri.	51
Tablo 3.7: <i>A. grisella</i> 'da termal strese bağlı LTemp değerleri.	51
Tablo 3.8: <i>A. grisella</i> 'da termal strese bağlı LTime değerleri.....	52
Tablo 3.9: Termal stres altında <i>G. mellonella</i> ve <i>A. grisella</i> son evre larvalarının erginleştikleri sıcaklıklar (°C).	55
Tablo 3.10: <i>G. mellonella</i> 'da sabit ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.....	56
Tablo 3.11: <i>G. mellonella</i> 'da değişken ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.....	56
Tablo 3.12: <i>G. mellonella</i> 'da sabit ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.	57
Tablo 3.13: <i>G. mellonella</i> 'da değişken ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.	57
Tablo 3.14: <i>G. mellonella</i> 'da sabit ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.	58
Tablo 3.15: <i>G. mellonella</i> 'da değişken ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.....	58
Tablo 3.16: <i>A. grisella</i> 'da sabit ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.....	59
Tablo 3.17: <i>A. grisella</i> 'da değişken ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.....	60
Tablo 3.18: <i>A. grisella</i> 'da sabit ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.	61
Tablo 3.19: <i>A. grisella</i> 'da değişken ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.	61
Tablo 3.20: <i>A. grisella</i> 'da sabit ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.	62
Tablo 3.21: <i>A. grisella</i> 'da değişken ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.....	62
Tablo 3.22: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının toplam hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.50$).	63
Tablo 3.23: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>A. grisella</i> son evre larvalarının toplam hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.57$).	63
Tablo 3.24: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam hemosit sayıları ($\times 10^6$ hücre /mL).	64
Tablo 3.25: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam hemosit sayıları ($\times 10^6$ hücre /mL).....	65
Tablo 3.26: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının farklı hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu.	66
Tablo 3.27: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>A. grisella</i> son evre larvalarının farklı hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu.	67

Tablo 3.28: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında granülosit oranları (%).....	68
Tablo 3.29: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında granülosit oranları (%).....	69
Tablo 3.30: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında plazmatosit oranları (%).....	69
Tablo 3.31: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında plazmatosit oranları (%).....	70
Tablo 3.32: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında sferülosit oranları (%).....	71
Tablo 3.33: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında sferülosit oranları (%).....	72
Tablo 3.34: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında diğer hücre tipi oranları (%).....	73
Tablo 3.35: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında diğer hücre tipi oranları (%).....	74
Tablo 3.36: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının mitotik indekse etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.40$).....	74
Tablo 3.37: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>A. grisella</i> son evre larvalarının mitotik indekse etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.48$).....	74
Tablo 3.38: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında mitotik indeks oranları (%).....	75
Tablo 3.39: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında mitotik indeks oranları (%).....	76
Tablo 3.40: <i>G. mellonella</i> 'da sıcaklığa bağlı olarak enkapsülasyon (%) oranları ve zamana bağlı değişimleri.....	80
Tablo 3.41: <i>A. grisella</i> 'da sıcaklığa bağlı olarak enkapsülasyon (%) oranları ve zamana bağlı değişimleri.....	80
Tablo 3.42: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>G. mellonella</i> son evre larvalarının toplam protein ve enzim aktivitelere etkilerini gösteren ANOVA tablosu.....	81
Tablo 3.43: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin <i>A. grisella</i> son evre larvalarının toplam protein ve enzim aktivitelere etkilerini gösteren ANOVA tablosu.....	82
Tablo 3.44: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam protein miktarı.....	83
Tablo 3.45: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam protein miktarı.....	84
Tablo 3.46: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında SOD aktivitesi.....	85
Tablo 3.47: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında SOD aktivitesi.....	85
Tablo 3.48: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında CAT aktivitesi.....	86
Tablo 3.49: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında CAT aktivitesi.....	87
Tablo 3.50: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında MDA aktivitesi.....	88
Tablo 3.51: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında MDA aktivitesi.....	89
Tablo 3.52: <i>G. mellonella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında PO aktivitesi.....	90
Tablo 3.53: <i>A. grisella</i> 'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında PO aktivitesi.....	91
Tablo 3.54: <i>B. hebetor</i> 'da termal stresin yumurta verimi, erginleşme yüzdesi ve eşey oranına etkisi.....	94
Tablo 3.55: <i>B. hebetor</i> 'da termal stresin yumurta çatlama süresi, koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyotuna etkisi (gün).....	94
Tablo 3.56: <i>B. hebetor</i> 'da termal stresin ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi (gün).....	94

ÖNSÖZ

YÖK 100/2000 Doktora Bursları “İklim Değişikliği” Programına ve TÜBİTAK BİDEB tarafından yürütülen 2211/A-Genel Yurtiçi Doktora Burs Programı ile 2250-Lisansüstü Bursları Performans Programına doktora sürecimde sağladıkları maddi destek için teşekkür ederim.

Üniversite eğitimimin ilk gününden itibaren ne zaman ve nerede olursa olsun sabırla ve özenle bana zaman ayırıp faydalı olabilmek için büyük bir ilgiyle elinden gelenin fazlasını sunan, bilime olan aşkı ile bana yol gösteren ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağım, samimiyetini ve sevgisini her daim hissettiğim, çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Olga SAK’a bütün kalbimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve doktora eğitimim süresince hızlı, pratik, çözüm odaklı kişiliği ve bilimsel bakış açısıyla çalışmalarımızı güzelleştiren, doktora tezimin belirlenmesinden yazımına kadar her zaman desteğini hissettiğim, idari işlerinin yoğunluğuna rağmen bana zaman ayıran, sabırla dinleyen ve mesleki tecrübeleriyle yol gösteren değerli eş danışman hocam Prof. Dr. Aylin ER’e sonsuz teşekkürler.

Tez izleme komisyonunda bulunan ve kıymetli zamanını ayırarak değerli fikirleri ve tavsiyelerini paylaşan, sunumlarımdaki katkılarıyla her zaman daha iyisini yapmam için beni destekleyen, güçlü bilimsel öngörülerini ile yol gösteren, ihtiyaç duyduğum her an çekinmeden iletişime geçebildiğim çok değerli jüri üyeleri, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ALTUNTAŞ’a ve Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Alp ALPER’e içtenlikle teşekkür ederim.

Tezimin enzim aktivitesi bölümünü Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi’nde yapabilmemi sağlayan Arş. Gör. Dr. Serhat KAYA’ya, yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK 1001 projesine beni dahil ederek çok değerli tecrübelerini benimle paylaşan Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Tülin AŞKUN’a ve kıymetli zamanını bana ayırarak benimle sabahlara kadar çalışıp kümülatif mortalite analizini uygulamama yardımcı olan Balıkesir Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Şükrü Metin PANCARCI’ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca lisans eğitimimden itibaren manevi desteklerini hep hissettiğim, görüşlerini ve bilgi birikimlerini sabırla benimle paylaşan çok değerli hocalarım Prof. Dr. Serdar SAK’a ve Dr. Öğr. Üyesi Berna SANÖN’e çok teşekkür ederim.

Tezim boyunca böcek bakımını beraber üstlendiğimiz için yükümü hafifleten, iş disiplini, tez canlılığı, insan ilişkileri ve pratik çözümleri sayesinde çalışma ortamına neşe ve heyecan katan, her anlamda gerçek bir doktora yol arkadaşı olan canım arkadaşım Dr. Pınar GÜNER’e çok teşekkür ederim.

Son olarak doktora sürecinde hayatımızı birleştirdiğimiz, desteği ile güç ve moral bulduğum, sabrı ve konuşmalarıyla bana huzur veren ve bakış açımı güzelleştiren sevgili eşim Adem BİÇER’e ve hayatımın her evresinde yanımda olan, beni sonsuz sevgiyle kucaklayan, çocukluğumdan beri içimdeki merakı ve keşfetme duygusunu aktif tutan ve onlara her baktığımda ne kadar şanslı olduğumu tekrar hissettiğim değerli aileme sonsuz teşekkürler...

Balıkesir, 2024

ERİNÇ ÇELİK BİÇER

1. GİRİŞ

İklim, bir bölgede gerçekleşen hava olaylarının birkaç on yıl boyunca her gün takip edilmesi ve bu süre zarfında ölçülen atmosferik değerlerin (sıcak veya soğuk, açık veya bulutlu, kuru veya nemli, rüzgârlı veya sakin, yüksek veya alçak basınçlı gibi) ortalamasının alınması olarak tanımlanabilir (Sondergard, 2009; Rummukainen, 2012; Cracknell ve Varotsos, 2021). Ekosistemin abiyotik faktörlerinden biri olan iklim (Huston ve McBride, 2002), günümüzde insan eylemi ve eylemsizliği nedeniyle hızla ısınmaktadır (Harley, 2011). Karmaşık ve etkileşimli bir sistem olarak çalıştığı bilinen iklimde meydana gelebilecek herhangi bir değişim milyonlarca yıldır o iklime uyum sağlayarak evrimleşmiş ve ekosistemin parçası olan biyotik sistemler için önemli bir krize dönüşebilir. Zaman içinde elbette ki iklimlerde alışılmışın dışına çıkan ve ekstrem atmosferik koşulların gözleendiği durumlar da söz konusu olmuştur (Cracknell ve Varotsos, 2021; Seneviratne ve ark., 2021). Bu gibi durumlar mevcut ekosistemi dolayısıyla o iklime uyum sağlamış canlıların dengesini bozabilmekte ve hatta yok olmasına neden olabilmektedir (Jeffs ve Lewis, 2013). Günümüzde yaşadığımız atmosferik parametrelerde ise nadiren yaşanan bu tip ekstrem hava koşullarının sıklığının ve şiddetinin tehlikeli şekilde arttığı belirlenmiştir (Stange ve Ayres, 2010). Bu tehlike 1760 yılında sanayi devrimi ile başlayan ve atmosferin daha önce insanlığın yaşadığından çok daha hızlı bir şekilde ısınmasının nedeni olan sera gazından kaynaklanmaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP)'nin 2019 yılında yayınladığı bir rapor sanayi devriminin başlangıcından 2019 yılına kadar geçen sürede yeryüzü sıcaklıklarının 1 °C yükseldiğini göstermiştir (UNDP, 2019). Bundan tam bir sene sonra dünyanın dört bir yanındaki sıcaklık gözlem veri tabanı yetkililerinden gelen ve sıcaklıklardaki anormallikleri aylık ve yıllık raporlar halinde yayınlayan ABD Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA); 2011-2020 yılları arasında ölçülen küresel ortalama kara ve okyanus yüzey sıcaklığının Dünya'nın en sıcak on yılı olarak kayıtlara geçtiğini bildirmiştir (NOAA, 2020). Aynı zamanda elektronik ortamda sürekli olarak güncellenen NOAA verileri incelendiğinde her geçen ayın ve dolayısıyla yılın bir öncekinden daha sıcak olduğu da görülmektedir (NOAA, 2024). Bu sebeplerdendir ki, iklim değişikliği son yıllarda bütün Dünya ülkelerinin ortak olarak paylaştığı bir iklim krizi haline gelmiştir.

Antropojenik kaynaklı iklim değişikliği ekosistemleri bin yıldır benzeri görülmemiş koşullara maruz bırakarak tatlı su, deniz ve kara ekosistemlerinde değişimlere neden olmuş ve dolayısıyla okyanus ile karadaki türleri büyük ölçüde etkilemiştir (IPCC, 2022). Özellikle popülasyon bakımından karasal iklimin ve hatta Dünya'nın hâkimi olan böcekler

(May, 1988) gibi ektotermik organizmaların iklim değişikliğine bağlı artan yeryüzü sıcaklıklarından etkilenmeleri beklenen bir durumdur (Hance ve ark., 2007; Mandrioli, 2012; Jeffs ve Lewis, 2013; Colinet ve ark., 2015). Bir böceğin vücut sıcaklığı çevrenin sıcaklığı, nemi ve hatta rüzgâr hızından etkilenebileceği gibi böceğin rengi, vücut boyu, kabuğunun olup olmaması, kabuk yapısı ve kalınlığı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak da değişebilir (Digby, 1955; Shi ve ark., 2015; Freoa ve ark., 2023; Lahondere, 2023). *Drosophila* türleri (*Drosophila americana*, *D. novamexicana* ve *D. yakuba*, *D. santomea*) ile yapılan bir araştırmada kütikula pigmentasyonlarının vücut sıcaklığı ile ilişkili olduğu gösterilmiş ve bu durumun söz konusu türler için ekolojik açıdan öneminden bahsedilmiştir (Freoa ve ark., 2023). 1926 ve 1985 yıllarında yapılmış iki ayrı araştırmada *Bracon hebetor* erginlerinde abdomen renginin ergin öncesi dönemi hangi sıcaklıkta geçirdiklerine ve sıcaklığa maruz kaldıkları evreye göre değişebildiği görülmüştür. Yetiştirildikleri sıcaklık yükseldikçe gövde rengi siyahtan açık sarıya dönen *B. hebetor* erginleri bu sayede aşırı sıcağa ve soğuğa karşı vücut sıcaklıklarını koruyabilmişlerdir (Schlottke, 1926; Ahmed ve ark., 1985). Halihazırda birçok hayvanda olduğu gibi böcekler de yükselen sıcaklıklarla başa çıkabilmek için vücutları ile çevre sıcaklığı arasındaki ısı akışını dengeleyen bir dizi davranışsal, morfolojik, fizyolojik ve moleküler adaptasyonlar geliştirmiştir (Perez ve Aron, 2020). Sinekler (Gomes ve ark., 2018), arılar (Southwick ve Heldmaier, 1987) ve güvelerin (Heinrich, 1971) dahil olduğu birçok böcek türü, vücut sıcaklığını endotermi ve evaporasyon (buharlaşma) yoluyla fizyolojik olarak düzenlemektedir (Ørskov ve ark., 2019). Böceklerde termoregölasyon genel olarak aşırı ısınmayı ve soğumayı engellemeyi amaçlayan iki ana kategoride incelenebilir (Lahondere, 2023). Böcekler vücut sıcaklığını arttırmak için çevre sıcaklığını davranışsal veya fizyolojik mekanizmalar için kullanabilir. Endotermi olarak adlandırılan bu mekanizmaya en iyi örnek kanatlı böceklerin antagonist uçuş kaslarının uçma esnasında eşzamanlı kasılması yoluyla endojen olarak ürettikleri ısı enerjisidir. Endotermi uçuştan önce veya uçuş esnasında ısınmak, optimumun altındaki çevre koşullarında performans göstermek ve soğuk stresi riskini en aza indirmek için kullanılan bir stratejidir (Lahondere, 2023). Böcekler vücut sıcaklıklarını azaltmak için ise evaporasyon ile soğuma yöntemini kullanmaktadır (Prange, 1996; Lahondere, 2023; Glass ve ark., 2024). Bunun yetersiz olduğu zamanlarda ise böceklerin serin ortamlara çekildiği bilinmektedir (Lahondere, 2023). Lepidoptera takımına ait böcekler endotermiyi, heliotermi denen ve güneş ısısını doğrudan emerek vücut ısılarını arttırmaya dayanan bir strateji ile birlikte kullanırlar (Wasserthal, 2012). Bunu vücutlarını kaplayan kürk etkili pul ve kıllarıyla gerçekleştirirler

ve bu yapının yalıtımı sayesinde ısı kaybını da önlemiş olurlar. Ancak, toraks bölgelerinde pul ve kıl olmadığı için uçuş esnasında heliotermi sayesinde kazandıkları ısıyı kaybetme eğilimindedirler. Bu yüzden aşırı ısınmadan korunmak için uçuş ve süzülme davranışları gösterirler. Tüm bunlara ek olarak kelebek ve güvelerin vücutlarının aşırı ısınmayı ve soğumayı önleyecek bir anatomiye sahip oldukları da bilinmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı Lepidoptera erginleri geceleri ve ortalamanın altındaki sıcaklıklarda da aktif olabilen ve ekstrem iklim koşullarında uçabilen böcek grupları olarak bilinmektedir (Wasserthal, 2012). Böceklerin termal strese direnmeleri ve termal stresten kaynaklanabilecek geçici ve/veya kalıcı hasarları tolere etmelerinde önemli bir yeri olan kanatların (Wasserthal, 2012; Lahondere, 2023) henüz gelişmediği juvenil dönemlerde ise larvaların ekstrem koşullarda (aşırı soğuk veya sıcak) yaşamlarını daha rahat sürdürebilmeleri için kendilerine yeni mikroklimatik niş arama (Wasserthal, 2012) veya yaratma davranışında buldukları gözlenmiştir (Lahondere, 2023). Örneğin Poitou ve ark. (2021) çalışmalarında çam kese böceği olarak bilinen *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae) larvalarının kış aylarında gelişimlerini daha rahat sürdürebilmek için ideal bir yaşam alanı oluşturma konusundaki yeteneklerini vurgulamışlardır (Poitou ve ark., 2021). Bütün bu böcek aksiyonlarının sebebi ise bu küçük yapıli ektotermik omurgasızların fizyolojilerinin sıcaklık değişimlerine karşı aşırı duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır (Colinet ve ark., 2015).

Çalışmalar doğada sıcaklık stresinin, karasal ve sucul ekosistemlerde zamansal ve mekânsal ölçeklerde değiştiğini göstermiştir (Kearney ve ark., 2009; Potter ve ark., 2013; Ma ve ark., 2021). Böcekler yaşamları boyunca çoğunlukla doğada fizyolojik süreçlerini ve ekolojik yaşam koşullarını etkileyen ölümcül olan veya olmayan aşırı yüksek sıcaklıklara ulaşabilen termal dalgalanmalara maruz kalmaktadır (Easterling ve ark., 2000; Ma ve ark., 2021). Sıcaklıkların gün içerisinde 2 saat boyunca (12:30-14:30) en yüksek seviyelerde seyrettiği düşünüldüğünde (Zhang ve ark., 2019), araştırmacılar küresel iklim değişikliği yüzünden artan yeryüzü sıcaklık ortalamasından ziyade gün içerisinde yaşanan ekstrem sıcaklıkların böcekleri bireysel, popülasyon ve komünite açısından daha çok etkileyeceğini varsaymaktadır. Buna göre gün içerisinde ekstrem sıcaklığa maruz kalan böcekler zarar görebilirler, ancak bu sıcaklıklar arasındaki optimum sıcaklık değerleri böceklerin fizyolojik açıdan onarılmasına izin verir (Ma ve ark., 2021). Küresel iklim değişikliği sürecinde ise gün içerisinde yaşanan ve öldürücü aşırı yüksek sıcaklıkların ciddi seviyelerde arttığı ve giderek artacağı tahmin edilmektedir (Radka ve ark., 2010; IPCC,

2018). Buna karşılık böceklerin aşırı yüksek sıcaklıklardan aldıkları zararların onarılmasını sağlayan düşük sıcaklık seviyelerinin gözlenme sıklığı ise büyük ölçüde azalmaktadır. Sonuçta ısınan bir dünyada, böcekler çoğunlukla yüksek vücut sıcaklıkları ile hayatlarını sürdürmeye çalışacaktır (Kearney ve ark., 2009). Dolayısıyla iklim değişikliğinin böcekler üzerindeki etkisini araştırırken değişken sıcaklıkların etkilerini ihmal etmek hatalı ve eksik sonuçlara ulaşılmasına neden olabilir. Buna ek olarak uzunca bir süre yüksek sıcaklığa maruz kalan böceklerin aynı zamanda bağışıklıklarını korumaları, hayatlarını sürdürmek için harcadıkları mevcut enerjilerini yenilemelerini zorlaştırabilir ve bu durum başta böceğin hayatta kalması üzere fizyolojisi ve bağışıklık sistemini de etkileyebilir (Karl ve ark., 2011).

Ektotermik canlılar olan böceklerin biyolojileri ile çevre sıcaklığının yakından ilişkili olduğu bilinen bir gerçektir (Colinet ve ark., 2015). Her böcek türünün gelişimi için kendine özgü optimum bir sıcaklık aralığı vardır (Chapman, 1998) ve yüksek sıcaklıklara karşı oldukça hassastırlar (Wernegreen, 2012; Rinehart ve ark., 2000; Denlinger ve Yocum, 2019). Bununla birlikte böcekler sahip oldukları kısa yaşam döngüsü ve yüksek üreme hızı sayesinde bitkiler ve omurgalı hayvanlara kıyasla iklim değişikliğine çok daha hızlı tepki oluşturabilirler (Mandrioli, 2012). Yüksek sıcaklıkla karşılaşan bir böceğin verdiği tepkiler hücresel (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010; Burggren, 2012) ve fizyolojik (Uçkan ve Ergin, 2003; Hance ve ark., 2007; Wojda ve Jakubowicz, 2007; Cui ve ark., 2008; Wojda ve ark., 2009; Burggren, 2012; Colinet ve ark., 2015; Qin ve ark., 2018) boyutlarda olabileceği gibi tür ve popülasyon düzeyinde de karşımıza çıkabilir (Hance ve ark., 2007; Karl ve ark., 2011; Jeffs ve Lewis, 2013). Böceklerin termoregülasyon yetenekleri karşılaştıkları sıcaklık ile başa çıkamayacak noktaya geldiğinde ise göç edebilen böcekler rutin göç yollarını değiştirerek daha soğuk bölgelere doğru popülasyon dağılımı gösterebilirler (Schlemmer, 2018). Ancak, böceklerin coğrafik dağılımlarının fizyolojileri ile sınırlı olduğu da unutulmamalıdır (Chown ve ark., 2002). Göç etme şansı olmayan böceklerin ise yüksek sıcaklıklarla karşılaştıklarında vücudu hızla öldürücü sıcaklık düzeyine yükselirken hücresel dehidrasyon, sitoplazma viskozitesinde artma ve hücrenin pH ile iyon dengesinde ise bozulma meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık böceklerin proteinlerini denatüre ederek membran ve enzim yapılarını bozmakta ve hücreleri ölüme götürmektedir (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010; Burggren, 2012). Bu esnada ölümcül sıcaklığın etkisini zaman kavramı olmadan belirlemek mümkün değildir. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, böceğin ölmesi için geçen

süre de o kadar kısalmaktadır (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010). Bu bağlamda, böcekleri belli bir süre içinde öldürmeyen sıcaklıklar hayat uzunluğu (Uçkan ve Ergin, 2003; Qin ve ark., 2018), morfoloji (Hance ve ark., 2007; Burggren, 2012), üreme (Cui ve ark., 2008; Colinet ve ark., 2015) ve bağışıklık sistemi (Wojda ve Jakubowicz, 2007; Wojda ve ark., 2009) gibi özellikler ile konak-parazitoit ilişkilerini de (Hance ve ark., 2007; Joodaki ve ark., 2018) olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

Böcekler yaşamlarını ancak hayati faaliyetlerinin (biyokimyasal, gelişimsel, fizyolojik, davranışsal gibi) aksamayacağı bir vücut sıcaklığında devam ettirebilirler (Kwadha ve ark., 2017). Bu sıcaklıkların altındaki ve üstündeki değerler ise onları hayatlarını sürdürmeleri konusunda zorlamaktadır. Termotolerans için geliştirdikleri adaptasyonların yetersiz kaldığı bir noktada ise sıcaklıklar onları yaralayabilir ve hatta öldürebilir (Burggren, 2012). Yüksek sıcaklıkların öldürücü etkisinin belirlendiği çalışmalar çoğunlukla zararlı böcek türlerinden ve onların zararlarından kurtulmak için termal stresin kullanılması şeklinde olmuştur (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011). Bunun nedeni yüksek sıcaklık uygulamasının böceklerin fiziksel mücadelesinde kullanılan önemli bir yöntem olmasıdır (Fields, 1992). Tarımsal ekosistemde zararlı böcekler ile etkileşime girmeden ürün elde etmek mümkün olmadığı gibi (Adhikari, 2022), tahıl depolama silolarında kuru bakliyatların depolanması sürecinde de zararlı böceklerden korunmak oldukça güçtür (Hamel ve ark., 2020). Yıllardır süregelen bu sorunlar düşünüldüğünde fiziksel mücadele zararlı böcek popülasyonunu kontrol altına almak ve verdikleri zararları azaltmak için kullanılan mücadele sistemlerinin en eskilerinden biri olmuştur (Adhikari, 2022). Aynı zamanda fiziksel mücadele yöntemlerinin içinde sıcaklık kullanımının da oldukça eskiye dayandığı bilinmektedir (Hansen ve ark., 2011). Bunun en eski örnekleri arasında 1792 yılında Fransa'da depolanan tahıl ürünlerine bulaşan pirinç tanesi güvesi, *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae)'ya karşı termal tedavi uygulanması yer alabilir (Fields ve White, 2002). Fiziksel mücadelede çevresel ve hayvansal toksisite, gıda güvenliği ve uluslararası etkinlik kriterlerini sağlamak için yüksek bütçelerde araştırma yapılmasını gerektirecek resmi düzenlemeye ve tescile gerek yoktur (Adhikari, 2022). Fiziksel mücadele esnasında sıcaklığı aşırı yükseltmek zararlı böceklerin olağan davranışlarını kesintiye uğratar ve verdikleri zararı azaltır (Adhikari, 2022). Özellikle tahta kurularından kurtulmak için yumurtadan ergine kadar yüksek sıcaklığın uygulandığı çok sayıda çalışmaya literatürde rastlanmaktadır (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011). Ayrıca fiziksel mücadelede kullanılan yüksek sıcaklıklar sadece

zararlı böcekleri öldürmek için değil zararlıların yaşam döngüsünü değiştirmek veya morfolojik bozukluklar yaratarak bulaş riskini azaltmak için de kullanılmaktadır (Régnière ve ark., 2012; Adhikari, 2022).

Öldürücü sıcaklıkların altındaki yüksek sıcaklıklarda böceklerin gelişim aşamalarında aksama, hayat uzunluklarında kısalma, üreme fonksiyonlarında bozulma ve davranışlarında anormallikler gözlenmiştir (Denlinger ve Yocum, 2019; Cui ve ark., 2008). Gelişimde görülen gecikme veya duraksama muhtemelen aşırı sıcaklıkların neden olduğu en iyi belgelenmiş gelişimsel patolojidir (Burggren, 2012). Yapılan çalışmalar pupa evresinde sıcaklığa maruz kalan *Sarcophaga crassipalpis* (Diptera: Sarcophagidae) ve *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae)'in bu evreden çıkamadığını göstermiştir (Mitchell ve Lipps 1978; Denlinger ve ark., 1991; Cui ve ark., 2008). Ayrıca ısı stresine maruz kalan *D. melanogaster* ve bazı *Aedes* türlerinde gelişimsel anormallikler ve fenokopi mutasyonları gözlenmiştir (Horsfall ve Anderson, 1963; Horsfall ve ark., 1964; Cui ve ark., 2008). Yüksek sıcaklıklara maruz kalan *D. melanogaster* erginlerinin hayat uzunlukları artarken (Hercus ve ark., 2003) *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) dişilerinin (Zhang ve ark., 2016) hayat uzunlukları ise önemli oranda azalmıştır. Başka bir araştırmada ise ısı stresine maruz kalan *Bactrocera oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) erginlerinin gıda eksikliğinde uçuş performansı, hayat uzunluğu ve uçuş sonrası verimlerinde azalma gözlenmiştir (Wang ve ark., 2009). Ayrıca stres durumunda böceklerin sadece hayatta kalmak için değil aynı zamanda nesillerini devam ettirmek için de üreme özelliklerini çalışır durumda tutmaları gerekmektedir (Jørgensen ve ark. 2006, Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010). Nitekim, artan sıcaklıkların böceklerin üreme sistemlerinde de önemli farklılıklara neden olabileceği gözlenmiştir (Cui ve ark., 2008; Colinet ve ark., 2015). Ancak, bu farklılıklar sıcaklığa maruz kalma şekline (değişken veya sabit sıcaklık) ve sıcaklığın derecesine göre böcek veriminde artmaya veya azalmaya neden olabilmektedir (Colinet ve ark., 2015). Örneğin, yüksek sıcaklık uygulaması sonucunda *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Phycitidae) ve *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)'nin üreme fonksiyonlarında azalma gözlenmiştir (Arbogast, 1981; Cui ve ark., 2008). Ayrıca stresli sıcaklıkların oosit gelişimini bozduğu (Gruntenko ve ark., 2003), sperm üretimini ve sperm canlılığını azalttığı (Rinehart ve ark., 2000; Colinet ve Hance, 2009) ve eşleşme davranışındaki başarıyı düşürdüğü de tespit edilmiştir (Colinet ve ark., 2015).

Aşırı sıcaklığa maruz kalan böceklerde en iyi gözlenebilecek anormalliklerden biri de davranış problemleridir. Yüksek sıcaklığa maruz kalma sırasında ve sonrasında ortaya çıkan hareketlere ısı koması veya ısı sersemleticisi gibi isimler verilebilmektedir (Burggren, 2012). Yapılan bir çalışmada, ergin olmadan önce belirli zaman aralıklarında ısı şokuna maruz kalan *D. melanogaster* bireylerinin genel olarak morfolojileri normal gözükse de yürüme ve uçuş davranışlarında anormallikler olduğu gözlenmiştir (Burggren, 2012). *D. melanogaster* ile yapılan diğer bir ısı şoku araştırmasında ise ısının uygulandığı gelişim aşamasına bağlı olarak morfolojide bozulmalar olduğu, bazı kütüküler anormalliklerin indüklendiği ve embriyonik dönemde ısıya maruz kalındığında ise karın segmentasyonunda bozukluklar olduğu tespit edilmiştir (Welte ve ark., 1995). Bu böceklerin larval veya pupal dönemlerinde ısıya maruz kalmaları durumunda ise kanat kusurlarının olduğu belirlenmiştir (Milkman, 1962; Mitchell ve Lipps, 1978; Mitchell ve Petersen, 1982; Burggren, 2012). Yabani *D. melanogaster* ile yapılan bir çalışmada en yüksek sıcaklıktaki yaz günlerinde hayatta kalan bireylerin %10'undan fazlasında önemli kanat ve abdominal anormallikler olduğu görülmüştür. Ayrıca güneşli bölgelerden toplanan meyve sineklerinin derin gölgeli bölgelerden alınanlara göre 2-3 kat daha fazla deformasyon sergilediği de gözlenmiştir (Roberts ve Feder, 1999).

Böcekler iklim değişikliğine karşı oldukça savunmasız canlılardır; çünkü çevre sıcaklığındaki değişimler onların küçük boyutları ve temel fizyolojik işlevlerini bozabilecek kadar etkili bir stres faktörüdür (Deutsch ve ark., 2008). Böcekler üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilecek herhangi bir faktör ise stres olarak sınıflandırılabilir (Eggert ve ark., 2015). Stres ve bağışıklık sistemi birbiriyle yakından ilişkili olduğundan ortam sıcaklığındaki ani değişiklikler böceğin bağışıklık sisteminin uyarılmasına neden olacaktır (Eggert ve ark., 2015; Wojda, 2017). Böcekler açık dolaşım sistemine sahip oldukları için bağışıklık sistemlerinin hızlı uyarılması gibi bir avantajları vardır. Bu sayede böcek kan hücreleri (hemositler) böceğin vücuduna giren yabancı maddeleri kısa sürede bulur ve hızlı bir şekilde bağışıklık tepkisi oluşturmaya başlayabilir (Dubovskiy ve ark., 2016). Böcekler, humoral ve hücrel savunma mekanizmalarını içeren oldukça gelişmiş bir bağışıklık sistemine sahiptir (Lavine ve Strand, 2002; Bauerfeind ve Fischer, 2014). Bu iki savunma sistemi büyük ölçüde birbirine bağlıdır ve koordine şekilde çalışırlar (Lavine ve Strand, 2002). Humoral savunma sürecinde melanizasyon, hemolenfin pıhtılaşması ve antimikrobiyal peptitlerin sentezi olmak üzere üç tip reaksiyon gerçekleşmektedir (Vilmos ve Kurucz, 1998). Hücrel savunma süreci ise hemositler aracılığı ile gerçekleşir ve

enkapsülasyon, nodül oluşumu ve fagositoz gibi süreçleri içermektedir (Gillespie ve ark., 1997; Lavine ve Strand, 2002; Catalán ve ark., 2012). Hemositler, hemolenf olarak adlandırılan böcek vücut sıvısı içindeki hücrelerin genel adıdır (Rowley ve Ratcliffe, 1981) ve çoğunlukla prohemositler, granülositler, plazmatositler, sferülositler ve önositoidler olmak üzere beş gruba ayrılırlar (Gupta, 1991; Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Bu beş farklı hemosit kombinasyonunun böceğin evresine, deri değiştirme aşamasına, cinsiyetine, açlık durumuna ve bir patojen ile bulaş olup olmamasına göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir (Ghasemi ve ark., 2013). Bu hücreler böceğin çevresiyle uyumunu sağlamak için fizyolojik adaptasyonlarını etkileyen en hayati fonksiyonlarını yönetir (Sharma ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013). Lepidoptera larvalarında hemositlerle ilgili her şey hematopoietik organlar ile kontrol edilmektedir (Grigorian ve Hartenstein, 2013). *Ephestia kuehniella* ile yapılan bir çalışmada toplam hemosit sayısının larval gelişim evresi arttıkça kademeli olarak yükseldiği ve prepup döneminde maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Plazmatositler ve granüler hücrelerin çoğu aşamada en sık rastlanan hücreler olduğu da gözlenmiştir. Hemositlerin mitotik indeksinin ise her larva evresinin erken döneminde sonraki aşamalara ve prepup dönemine göre daha yüksek olduğu bulunmuş ve hatta en düşük mitotik aktiviteye prepup döneminde rastlanmıştır. Ayrıca mitotik indeksin böceğin gelişim aşamasına göre değiştiği de belirlenmiştir. Ek olarak mitotik evrede gözlenen hücrelerin çoğunlukla prohemositler olduğu da kaydedilmiştir (Ghasemi ve ark., 2013). Halihazırda bazı çalışmalarda prohemositlerin diğer hücrelerin kök hücresi gibi davrandığı (Gupta, 1991) ve yaklaşık %43'ünün plazmatositlere, granülositlere ve sferülositlere farklılaştığını kanıtlar nitelikte sonuçlara da ulaşılmıştır (Yamashita ve Iwabuchi, 2001). *Antheraea mylitta* (Lepidoptera: Saturniidae) ile yapılan bir çalışmada sıcaklık stresine maruz kalan larvaların prohemositleri, plazmatositleri ve önositoidlerinin arttığı diğer hemosit tiplerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar ısı stresine maruz kalan *A. mylitta* larvalarından toplanan hemolenflerdeki hücrelerin şeklinde bozulmaya ve hücre içeriklerinde dağılmaya da rastlamıştır (Pandey ve ark., 2010).

Yüksek sıcaklık gibi çevresel streslerin böceklerde hemosit sayılarını etkilediğini gösteren uzun yıllara dayanan çalışmalar mevcuttur (Tauber ve Yeager, 1935; Rosenberger ve Jones, 1960; Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Araştırmalar böceklerin ısı şokuna maruz kalma şekline ve/veya süresine göre böcek bağışıklığının farklı şekillerde etkilenebileceğini göstermektedir. Uzun süreli ekstrem sıcaklık artışlarının muhtemelen

böceğin moleküler stres mekanizmalarını değiştirmesi nedeniyle böcek bağışıklık performansını azaltıcı yönde etkisi olacağı düşünölmektedir (Karl ve ark., 2011; Bauerfeind ve Fischer, 2014). Nitekim, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) larvaları alışık olmadıkları kadar yüksek bir sıcaklık değeri olan 38 °C'ye 2 saat maruz kaldıklarında hemosit yoğunluğunda önemli bir fark gözlenmezken, 24 saat maruz kaldıklarında ise hemosit yoğunluğunda azalma olduğu görölmüştür (Kiuchi ve ark., 2008). Araştırmacılar söz konusu azalmaya hemosit hücrelerinin G2 durgunluğuna girmesinin neden olduğunu ifade etmişlerdir (Kiuchi ve ark., 2008). Bununla beraber, aynı böcek ile yapılan başka bir çalışmada 50-55 °C'deki suya kısa süreli olarak daldırılan larvaların hemosit yoğunluğunda ise 2-3 katlık bir artış olduğu görölmüştür (Nittono, 1960). Düşük ve yüksek sıcaklıklar böcekler için bir stres kaynağı olduğundan hemosit sayısının sıcaklıktaki değişiklikle doğrudan değişmesi mümkün görölmektedir (Ghasemi ve ark., 2013). Özellikle böceklerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasının ardından plazmositlerin sayısının arttığı ve bu durumun termoregölasyon davranışına benzer bir mekanizma yoluyla larvaların çevresel uygunluğunu arttırabileceği belirlenmiştir (Ghasemi ve ark., 2013). Çoğu durumda sıcaklık azalmasına tepki olarak hücrelerin G2 durgunluğuna girdiği (Kiuchi ve ark., 2008) veya G1 fazında daha uzun süre kaldığı (Moore ve ark., 1997; Ghasemi ve ark., 2013), sıcaklık artışına tepki olarak ise hücrelerin bölünmesi için geçen sürenin kısaldığı ve mitotik oranın arttığı sonucuna varılmıştır (Bloemkolk ve ark., 1992; Ghasemi ve ark., 2013). Yüksek sıcaklık sonucunda artan toplam hemosit sayısının başka olası nedenleri olarak ise ısıya maruz kalan larvaların kuruması sonucu vücut sıvısını kaybetmesi ve larvaların iç organlarına bağlı hemositlerinin hemolenf dolaşımına salınması gösterilmektedir (Ghasemi ve ark., 2013).

Böcek savunma sisteminin hemosit aracılı kısmını içeren (enkapsölasyon, nodöl oluşumu ve fagositoz) süreçler böcek bağışıklık sisteminin en hızlı tepki veren kısmıdır (Dubovskiy ve ark., 2016). Böceğin vücuduna girmiş olan bakteri veya maya gibi az sayıda mikrobiyal hedefin tek bir hemosit tarafından yutulmasına fagositoz denir ve bu hemositler genellikle granüler hemositlerdir (Costa ve ark., 2005; Wang ve ark., 2017). Granüler hemositlerin aynı zamanda nodöl oluşumu sırasında yabancı cisimlerle ilk temas kuran ve granüler içeriğini dışarı veren hücreler olduğu da tespit edilmiştir (Gupta, 1991). Nodölasyon ve enkapsölasyon ise böcek vücuduna giren çok sayıda patojene veya metazoan parazite karşı daha etkili olan doğuştan gelen bağışıklık tepkisidir ve istilacının yok edilmesini sağlar (Dubovskiy ve ark., 2016). Literatürde Lepidopteran böceklere enjekte edilmiş yabancı

patojenler sonucunda oluşan hücresel enkapsülasyon süreçlerini ayrıntılı olarak incelemiş çalışmalar mevcuttur (Levin, 2007, Dubovskii ve ark., 2010; Ono ve ark., 2020; Gornard ve ark., 2024). Bu çalışmalarda böcek vücuduna biyotik organizmalar (trematodlar, nematodlar, parazitoitler, parazit ve parazitoit yumurta ve larvaları, mantarlar) ve/veya deneysel objeler (sephadex boncukları, naylon boncuklar, pamuk lifleri) enjekte edilerek böcek bağışıklık sisteminin en önemli unsurlarından biri olan hücresel enkapsülasyon mekanizması incelenmeye çalışılmıştır (Richards ve Edwards, 2002). Enkapsülasyon yabancı cisimlerin böceğin yüzeyinde fiziksel veya enzimatik bir hasar oluşturması ile başlamaktadır (Ratcliffe ve Gagen, 1977; Lavine ve Strand, 2002). Bu hasardan sonra fagositoza aracılık eden hemositler o noktaya hücum eder ve küçük nesnelere direk ortadan kaldırırken büyük olanların kapsüllemesini başlatır (Dubovskii ve ark., 2010). Yabancı cisimle ilk temas anında başlayan enkapsülasyon sürecinin 2 ile 24 saat boyunca aktif olarak gerçekleştiği bilinmektedir (Carton ve ark., 2008; Dubovskiy ve ark., 2016). Çoğu durumda istilacının nüfuz etmesinden 72 saat sonra enkapsülasyonun tamamlandığı belirlenmiştir (Ratcliffe ve Gagen, 1977; Dubovskiy ve ark., 2016). Araştırmalar enkapsülasyonun başlangıcında yaralanmanın önemli olduğunu göstermektedir (Rizki ve Rizki, 1980; Rizki ve Rizki 1983). Şöyle ki, vücuda giren patojenin böceğe mekanik veya enzimatik etkisi sırasında yara ve hasar ile ilişkili karmaşık mekanizmaya sahip sinyaller (Damage Associated Molecular Patterns-DAMPs) sonucunda patojene hemosit yapışması başlamaktadır (Altincicek ve Vilcinskas, 2006; Abreu-Blanco ve ark., 2011; Krautz ve ark., 2014). Diğer önemli bir nokta ise böcek vücuduna giren patojenin yüzey bileşenleridir; parazitoid, nematod ve yapay hedefler gibi (mikroplastik, sephadex vb.) yüzey bileşenleri konağa benzemeyen istilacıların hemositler tarafından daha kolay tanınıp enkapsüle edildikleri belirlenmiştir (Rizki ve Rizki, 1980; Rizki ve Rizki 1983; Carton ve ark., 2008; Dubovskiy ve ark., 2016). Öyle ki böceklere enjekte edilen yabancı maddeler böceklere ait bir doku ile kaplandığında veya direkt olarak bir böcek dokusu olduğunda enkapsülasyon oranında azalma ve başarısızlıklar gözlenmiştir (Rizki ve Rizki, 1980; Rizki ve Rizki 1983). Böceklerdeki enfeksiyonun yayılmasını kontrol etmek için hücresel savunma ile sinerjik çalışan humoral savunma sistemi; oksijen, azot ve antibakteriyel peptitlerden kaynaklanan reaktif türlerin üretimini içerir. Böceklerde immün yanıtın oluşumu sırasında en önemli yapı taşlarından birinin omurgasızlardaki doğal immün tepkisinin bir etkisi olarak çalışan tirozinaz fenoloksidaz (PO) olduğu kabul edilmektedir. Böcekte bu yanıtın oluşmasıyla hücresel savunma mekanizmalarının harekete geçtiği ve patojene yapışacak hücrelerin yapışkan proteinler üretmesinin sağlandığı bilinmektedir. Bu

da patojene ilişkin moleküler yapıların tanınmasıyla başlamaktadır (Siva-Jothy ve ark., 2005; Catalán ve ark., 2012).

Çevre sıcaklığındaki değişikliklerin bağışıklık sistemi parametreleri (bağışıklık tepkisi genlerinin ekspresyonu, toplam hemosit sayısı, enkapsülasyon ve melanizasyon) ile PO ve lizozimlerin aktivitesindeki artışlarla böceğin bağışıklık performansı arttırıyor gibi görünmektedir (Catalán ve ark., 2012; González-Santoyo ve Córdoba-Aguilar, 2012; Lavine ve Strand, 2002; Murdock ve ark., 2012a, 2012b). Bunlara ek olarak böcekler de dahil birçok organizma, temel fonksiyonlarını koruyabilmek için ısı şoku gibi ani olumsuz etkilere karşı tepki olarak geliştirdikleri başka mekanizmalara da sahiptirler (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010; Richter ve ark., 2010). Stres koşullarında organizmayı koruyucu bir işlev gören bu mekanizmalar ısı şoku proteinleri (Hsp) olarak adlandırılmış ve ilk kez 1962'de Ferruccio Ritossa tarafından 37 °C'ye maruz bırakılmış *D. melanogaster*'de gözlenmiştir (Ritossa, 1962; Wojda, 2017). Hsp'nin artışı kontrol eden etken de stresle indüklenebilen ısı şoku faktörleri (Hsf) olarak adlandırılmıştır (Christians ve ark., 2002). Hsp'ler moleküler ağırlıklarına, amino asit dizilimlerine ve işlevlerine göre gruplara ayrılmakta ve tüm ana protein aileleri böceklerde bulunmaktadır (King ve MacRae, 2015; Wojda, 2017). İnsanlarda da Hsf'nin dört grubunun (Hsf 1-4) olduğu bilinmektedir (Wojda, 2017). Ayrıca memelilerden evrimsel uzaklıklarına rağmen böceklerin bağışıklık sistemi ile insan bağışıklık sinyal mekanizmalarının ortak özelliklere sahip olması da oldukça dikkat çekicidir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmanın ardından bir transkripsiyon faktörü olan Hsf aktivasyonu meydana gelmektedir. Hsp'lerin böceklerin bağışıklık tepkisinde önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir (Wojda, 2017). Termal stres ile karşılaşan bir böceğin tepki olarak Hsp üretimini arttırdığı çalışmalar literatürde mevcuttur (Yocum ve Denlinger, 1992; Sinclair ve ark., 2007; Farahani ve ark., 2020).

Isı şoku proteinlerine ek olarak antioksidan sistemler de stresli hücrelere koruyucu bir işlev sağlayabilmektedir (Farahani ve ark., 2020; Miao ve ark., 2020). Termal strese maruz kalan böceklerde oluşan fizyolojik stres sonucunda reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesinde artış gözlenmektedir (Ali ve ark., 2017). Oksidatif hasara neden olarak zarar veren ROS üretimi genel olarak antioksidan süreçler ile senkronizedir; ancak çevresel stres dönemlerinde bu aktiviteler arasındaki denge bozulabilir ve bu da daha çok ROS sentezine yol açabilir (Joanisse ve Storey, 1998; Lopez Martinez ve ark., 2009; Lalouette ve ark., 2011). ROS üretiminin fazla olması DNA'ya, proteinlere ve lipitlere zarar verir (Schieber

ve Chandel, 2014). ROS hasarını önleyip ROS'u ortadan kaldırmak ve homeostazisi sürdürmek için canlılar antioksidatif enzimler ve moleküler antioksidanlar dahil olmak üzere karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmiştir (Joanisse ve Storey, 1998). ROS hasarını önleyen antioksidan enzimler böceklerde esas olarak süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve glutatyon S transferaz (GST) enzimleridir (Felton ve Summers, 1995; Wang ve ark., 2001). Lipid peroksidasyonunun derecesi, malondialdehit (MDA) konsantrasyonunun ölçülmesiyle dolaylı olarak belirlenebilir (Meng ve ark., 2009). SOD, süperoksit radikallerini oksijen ve hidrojen peroksit (H_2O_2) dönüştürür ve hem CAT hem de POD H_2O_2 'nin oksijen ve suya parçalanmasını katalize eder (Covarrubias ve ark., 2008). Böceklerin fizyolojik adaptasyon süreçlerinin bir göstergesi olarak termal stres sonucunda antioksidan sistemlerinin aktivitelerinde bir artış olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Ali ve ark., 2017; Chen ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2015). Bu artış termal stresin böceklerde oksidatif bir stres oluşturduğunu ve oluşan bu stresle mücadelede oldukça yetenekli olduklarının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Jia ve ark., 2011; Miao ve ark., 2020).

Böcekler dahil tüm organizmalarda sıcaklık faktörünün dışında seçici baskı uygulayan diğer bir etken ise bakteriyel enfeksiyondur (Wojda, 2017). Araştırmacılar sıcaklık ve bakteriyel enfeksiyon uygulamasının çapraz şekilde birbirini etkilediğini ve ısı şoku nedeniyle artan Hsp'lerin böcek bağışıklık direncini parazitlere karşı arttırırken, parazit enjeksiyonuyla bağışıklığı güçlenen bireylerin de ısı şokuna karşı daha dayanıklı olacağını göstermiştir (Altınççek ve ark., 2008; Adamo, 2010; Wojda, 2017). Nitekim, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) ile yapılan bir çalışmada ısı şokundan, kadmiyum stresinden veya bağışıklığın *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* ile uyarılmasından sonra Hsp70 proteininin (MdHSP70) ekspresyonunda anlamlı derecede artış olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada Hsp70 geninin ekspresyonu RNAi teknolojisi ile baskılandıktan sonra aynı stres koşulları uygulandığında (ısı şoku, kadmiyum ve bakteri enfeksiyonu) sinekte ölüm oranlarının arttığı da tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Hsp70'in *M. domestica*'da stres ve bağışıklık tepkileri ile ilgili olduğu ve bu proteinin ekspresyonundaki artışın sineğin dokularını bakteriyle mücadele sonucu oluşan ROS'a karşı koruyabileceği ifade edilmiştir (Tang ve ark., 2012). Büyük balmumu güvesi, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) ile yapılan çalışmalarda ise güvenin larvaları yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve hemen ardından bireylere *Bacillus thuringiensis* veya *Beauveria bassiana* bakterileri enjekte edilmiştir. Sonuç olarak, *G. mellonella* larvalarında

bağışıklık tepkisinin arttığı ve larvaların daha uzun süre hayatta kalmayı başardıkları gözlenmiştir. Bu durumun bağışıklığın uyarılmasına bağlı antimikrobiyal peptitleri kodlayan genlerin ekspresyonunun artması ile bağlantılı olduğu bulunmuş ve böcek hemolenfinin daha yüksek savunma aktivitesi kazanması ile sonuçlandığı gözlenmiştir (Wojda ve ark., 2009; Wojda ve Taszłow, 2013; Taszłow ve Wojda, 2015). *G. mellonella* ile yapılan diğer çalışmalarda ise larvalar hem yüksek sıcaklıkta hem de bakteriyel enfeksiyon sonrası optimum sıcaklıkta bekletildiklerinde yağ dokusu ve hemolenfteki Hsp90 seviyesinde yükselme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bakteri enfeksiyonu sonrası bağışıklığı güçlenen *G. mellonella* bireylerinin artan sıcaklığa bağlı olarak gelişen enfeksiyona karşı daha dirençli olduğu da belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre Hsp90'ın hem ısı şokuyla hem de bakteri enfeksiyonu ile indüklenen düzenleyici bağışıklık yollarının ortak bir üyesiymiş gibi görüldüğü ifade edilmiştir (Wojda ve Jakubowicz, 2007; Wojda ve Kowalski, 2013).

Böceklerde ısı stresi, bakteri enfeksiyonu, Hsp'ler ve bağışıklık tepkileri ile ilgili araştırmalara ek olarak ele alınan bir diğer konu yüksek sıcaklık uygulaması ile kazanılan bağışıklığın nesiller boyunca aktarılıp aktarılamayacağıdır. Trans-generational immune priming (TGIP), bağışıklık uyarılmasının bir sonraki jenerasyona aktarılmasını ifade etmektedir (Eggert ve ark., 2015). Nitekim yapılan araştırmalar sıcaklık şokunun ilginç bir şekilde sonraki nesillerin bağışıklığını önceden hazırlıklı olması yönünde etkileyebileceğine dair veriler sunmaktadır (Eggert ve ark., 2015; Wojda, 2017). Örneğin kısa süreli sıcak (40 °C'de 1 saat) veya soğuk (4 °C'de 2 saat) şokuna maruz kalan kırmızı un böceği, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) ebeveynlerinin yavruları entomopatojen bakteri, *B. thuringiensis* ile enfekte edildiğinde sadece soğuk uygulanan ebeveyn yavrularının hayatta kalma oranlarında önemli bir artış olduğu görülmüştür (Eggert ve ark., 2015). Aynı çalışmada ebeveynlere uygulanan sıcak ve soğuk şokunun enfeksiyondan bağımsız olarak yavruların gelişme zamanını geciktirdiği de bulunmuştur. Ayrıca doğuştan gelen bağışıklık sisteminin önemli bir enzimi olan PO aktivitesinin soğuk şokuna maruz kalan ebeveynlerin yavrularında arttığı, sıcak şokuna maruz kalan ebeveynlerin yavrularında ise azaldığı da tespit edilmiştir. Araştırmacılar direnç mekanizmalarının nesiller boyu taşınmasında sadece patojen kaynaklı faktörlerin değil, stresli bir ortamın göstergesi olan daha genel faktörlerin de etkili olabileceği sonucuna varmışlardır. Elde edilen bu veriler, bugüne kadar her bir nesil için gösterilen stres tepkileri ve bağışıklık arasındaki etkileşimlerin kuşaklar arasında da olduğunu göstermesi açısından

oldukça önemlidir (Eggert ve ark., 2015). Bununla beraber, bağışıklık tepkisinin kuşaktan kuşağa hangi mekanizma(lar) ile aktarıldığı ise tam olarak bilinmemektedir. Ancak, araştırmacılar böceklerde bir çeşit bağışıklık hafızası olduğunu düşünmektedir. Bu aktarım sayesinde bir önceki bağışıklık uyarılması onları diğerlerine hazırlamakta ve sonraki nesillerin bağışıklık sistemini etkileyerek hayatta kalma başarılarını arttırabilmektedir (Wojda, 2017). Sonuç olarak, mevcut çalışmalara göre farklı böceklerin farklı adaptasyon yetenekleri olabileceği düşünüldüğünde iklim değişikliğine karşı böceklerin ne tip bağışıklık tepkileri gösterdikleri hala çalışılması ve aydınlatılması gereken merak uyandırıcı konular arasındadır.

İklim değişikliğine bağlı oluşan sıcaklık farklılıklarına karşı bir sonraki jenerasyonda etkisini görebileceğimiz diğer bir konu da böceklerde eşey dağılımıdır. Canlıların çevresel faktörlerden sıcaklık değişimine karşı eşey dağılımlarını nasıl ayarladıklarını anlayabilmemiz için az sayıda da olsa teorik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan birinde Werren ve Charnov (1978), ebeveynlerin yavru eşey oranını ayarladığını varsayarak pertürbasyon ve siklik modellerini geliştirmişlerdir. Pertürbasyon modeline göre, soğuk veya sıcak hava dalgaları sırasında olağandışı ölüm dönemleri meydana gelir ve bir cinsiyetteki ölüm oranı diğerinden daha yüksek olursa, dişi ebeveynin gelecek nesildeki rekabeti azaltmak için en yüksek ölüm oranına sahip eşeyi çoğaltacak şekilde davranacağı öngörülmektedir. Werren ve Charnov (1978) tarafından geliştirilen siklik modele göre ise erkek ve dişilerin nispi üreme başarıları mevsimsel olarak farklılık gösteriyorsa, sıcaklık gibi mevsimsel faktörlere karşı cinsiyet dağılımının ayarlanabileceği öngörülmektedir. Ayrıca bu modele göre canlıların habitatlarındaki mikroiklimlere göre de eşey oranlarını ayarlayabilmeleri olası görünmektedir. Dişi/erkek oranında çevreye bağlı olarak ortaya çıkan varyasyonlar incelenirken hayvan taksonları içerisinde en çok çalışılan gruplardan birisi de parazitoit hymenopterlerdir (Ode ve Hardy, 2008). Bunun nedeni, bu gruptaki çoğu parazitoitte eşey dağılımının oldukça değişken olması ve böylece uygun eşey oranının evrimleşmesini etkileyecek faktörlerin (genetik, gelişimsel, davranışsal, ekolojik) araştırılmasına olanak tanınmasıdır (Ode ve Hardy, 2008). Parazitik arılarda üreme sürecinin temelini uygun bir konağın bulunması ve yavruların eşey dağılımının ayarlanması oluşturmaktadır (Godfray, 1994). Eşey dağılımını etkileyen faktörler ise ebeveynlerin özellikleri, konağın nicel ve nitel özellikleri, çevresel etkenler ve lokal çiftleşme rekabetini (local mate competition-LMC) etkileyen faktörler olmak üzere dört gruba ayrılabilir (King, 1987). Optimum koşullar altında (sıcaklık, nem, konak bolluğu

gibi) dişi parazitoitin üreme özelliklerini içsel fizyolojik etkenlerin yönettiği düşünülebilir. Bu durumda, hymenopter türler arrhenotoki tipte partenogenez yoluyla üredikleri için döl verimi ve eşey dağılımı üzerinde etkili olan temel faktör çiftleşme sırasında dişiler tarafından elde edilen sperm stoğudur (Nguyen ve ark., 2013). Öte yandan, sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan fizyolojik bir baskı, yumurtanın döllenme özelliğini değiştirerek dişi ebeveynin umduğundan farklı bir eşey dağılımına sahip olmasına da neden olabilir (Moiroux ve ark., 2014).

Normal şartlar altında haplodiploid eklem bacaklı yumurtaları döllenmediği zaman dişi yavrular oluşurken, döllenmediğinde ise erkek bireyler meydana gelmektedir (Flanders, 1956). Bununla beraber, sıcaklık faktörünün erkekleri kısırlaştırarak veya spermi etkisiz hale getirerek eşey oranını fizyolojik olarak değiştirebildiği de bilinmektedir (Wilkes, 1959; Wilkes, 1963; King, 1987; Nguyen ve ark., 2013). Bazı türler geniş bir sıcaklık aralığında sabit bir eşey oranına sahip olsalar da (Ichiki ve ark., 2003; Jacas ve ark., 2008), genellikle ebeveynler ve/veya yumurtalar düşük veya yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında daha fazla erkek birey üretilmektedir (King, 1987; Colinet ve Boivin, 2011; Moiroux ve ark., 2014). Sıcaklığın yumurta döllemesi üzerindeki bu etkisi, fizyolojik bir kısıtlama sonucunda birincil (dişi ebeveynin belirlediği yumurtlama aşamasındaki oran) veya ikincil (erginleşme aşamasındaki) cinsiyet oranlarının planlanandan farklı olabileceği anlamına gelmektedir (Moiroux ve ark., 2014). Nitekim, yapılan bir çalışmada yumurta parazitoiti, *Trichogramma euproctidis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)'de düşük ve yüksek sıcaklık uygulamasının birincil (yumurtanın eşeyi) ve ikincil (erginlerin eşeyi) cinsiyet oranlarını ne yönde değiştireceği böceğin yumurtlama davranışı incelenerek belirlenmiştir (Moiroux ve ark., 2014). Sonuçta, normal sıcaklıktan daha düşük veya daha yüksek sıcaklıktaki yumurtalardan daha fazla oranda erkek birey çıktığı ve bu iki durumun altında yatan mekanizmaların da birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta *T. euproctidis*'un eşey dağılımında bazı davranışsal değişikliklerin olduğu ve yumurtaların erkek olmasının avantajlı olabileceği ifade edilmiştir. Düşük sıcaklıkta ise beklenen dişi eşey oranı normal sıcaklıktakine benzer olmuş fakat fizyolojik kısıtlamalar ovipozisyon süresince yumurtanın döllemesini engellediği için dişi olması beklenen yumurtalardan daha fazla oranda erkek birey çıkmıştır. Sonuç olarak, araştırmacılar elde ettikleri verilerle hem yumurtanın eşey dağılımının hem de ikincil eşey oranını etkileyen fizyolojik kısıtlamaların sıcaklığa bağlı olarak değişebileceğini göstermişlerdir (Moiroux ve ark., 2014). Isı stresinin parazitoit arıların üreme sistemi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı diğer

bir çalışmada, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) erkekleri pup evresinde üç gün boyunca yüksek ısıya (32-44 °C) maruz bırakılmış ve daha sonra gelişimlerini tamamlayabilmeleri için kontrol sıcaklığına (30 °C) alınmışlardır (Nguyen ve ark., 2013). Sonuçta sıcaklığa bağlı olarak üç farklı etki gözlenmiştir; 42 °C'nin üzerinde bireyler ölmüş, 40 °C'de kısır ve 38 °C'de ise sub-fertil (doğurganlığı düşük) erkekler oluşmuştur. 38 °C'deki sub-fertilite, erkeklerin sperm sayısında kontrole göre %7'ye varan bir oranda azalma ile kendini göstermiş ve bu bireyler yaşlandıkça sperm sayısında artma gözlene de hiçbir zaman kontroldeki erkeklerin sperm seviyesine ulaşamamıştır. Ayrıca bu sıcaklıktaki erkeklerin hayatta kalma oranı kontrole göre (30 °C) önemli oranda azalmıştır. Kontrol sıcaklığı ve 38 °C'deki erkeklerin çiftleşme yetenekleri benzerlik gösterse de 38 °C'ye maruz kalan erkeklerle çiftleşen dişilerin kontrole göre ortalama 100 kat daha az sperm depoladıkları ve yavru cinsiyet oranlarının ise belirgin bir şekilde erkek çoğunluklu olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar 38 °C'de eşey dağılımındaki bu etkinin altında yatan fizyolojik mekanizmaların henüz bilinmediğini ifade etmişlerdir (Nguyen ve ark., 2013). Öte yandan, sadece dişi parazitoidlerin konaklarını öldürdüğü düşünülürse, erkek yanlı cinsiyet oranlarının kısa vadede parazitizm oranlarını azaltacağı ve bunun da biyolojik kontrolün etkinliğini azaltarak daha düşük ürün verimine neden olacağı bilinen bir gerçektir (Jeffs ve Lewis, 2013). Söz konusu çalışmalar (Nguyen ve ark., 2013; Moiroux ve ark., 2014) sıcaklığın parazitoidlerin üreme başarısını etkilediğini açıkça göstermekte ancak bu durumun altında yatan mekanizmaların tam olarak aydınlatılmamış olması biyolojik kontrolü de dikkate alacak daha çok sayıda araştırma yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Küresel ısınma sonucu artan sıcaklıklar birçok canlıda olduğu gibi doğal düşmanlardan biri olan parazitoidlerin de neslini tehlikeye sokmaktadır (Jeffs ve Lewis, 2013; Moiroux ve ark., 2014; J. Zhang ve ark., 2016). Parazitoidlerin besin zincirindeki konumlarından dolayı çoğu böceğe göre iklim değişikliği ve diğer çevresel problemlere karşı daha hassas olabilecekleri bilinmektedir (Hance ve ark., 2007; Jeffs ve Lewis, 2013). Bunun nedeni yüksek sıcaklık gibi bir stres faktörünün parazitoid türleri bireysel olarak doğrudan etkileyebilmesinin yanı sıra konakları aracılığı ile de etkileyebilecek olmasıdır (Hance ve ark., 2007). Ayrıca küresel ısınmanın konak-parazitoid ilişkisi üzerindeki etkileri karbondioksit ve azot artışı gibi diğer çevresel değişiklikler ile birleşince ve ortamdaki rekabetçi, mutualistik veya antagonistik türlerin varlığı ile daha da karmaşık bir hal alacaktır (Jeffs ve Lewis, 2013; Hance ve ark., 2007). İklim değişikliği karşısında konak-

parazitoit ilişkisinin ne yönde değişeceğini belirleyen temelde iki önemli faktör vardır; konak özgüllüğü ve dağılma yeteneği. Konak özgüllüğü açısından karşılaştırıldığında ektoparazitoit ve idiobiont olan türler, endoparazitoit ve koinobiont olanlara göre daha geniş bir konak çeşitliliğine sahip olma eğilimindedirler (Jeffs ve Lewis, 2013). Parazitoitler isimlendirilirken birçok biyolojik özellikleri dikkate alınmaktadır; larvalarının beslenme davranışına göre endo- ve ektoparazitoitler olarak, konaklarını etkileme şekillerine göre ise idiobiont (ovipozisyondan önce konağı öldüren veya felç eden) ve koinobiont (ovipozisyondan sonra konağın gelişimine izin veren) parazitoitler olarak tanımlanmaktadır (Rosen, 1985; Godfray, 1994; Hajek ve Eilenberg, 2018). Parazitoitlerin dağılma yetenekleri çok iyi bilinmese de vücut büyüklüklerine ve konak özgüllüklerine bakılarak bazı tahminlerde bulunulabilir. Örneğin konak yelpazesi geniş olan parazitoitlerin diğerlerine göre konak bulmada daha başarılı oldukları bilinmektedir. Ayrıca, parazitoitlerin hareket etme kabiliyetleri ile vücut büyüklükleri arasında doğrusal bir ilişki vardır; daha büyük vücuda sahip olan türler daha hareketli oldukları için konak türlerin dağılımındaki kaymaları daha iyi takip edebilmektedir (Jeffs ve Lewis, 2013). Örneğin farklı büyüklükteki parazitoit türler ile yapılan bir çalışmada, daha büyük vücuda sahip olan parazitoitin (*Hyposoter horticola* (Hymenoptera: Ichneumonidae)) küçük yapıya sahip olana (*Cotesia melitaearum* (Hymenoptera: Braconidae)) göre konak tür, *Melitaea cinxia* (Lepidoptera: Nymphalidae)'yı takip etme konusunda çok daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Lei ve Hanski, 1998). İklim değişikliklerine bağlı olarak parazitoit ve konak türlerin buldukları yeri değiştirmesinin konağın popülasyonu üzerinde bazı etkileri olacaktır. Belirli bir konak için spesifik olan parazitoitlerin diğerlerine göre konak mortalitesine daha fazla katkı yaptığı bilinmektedir. Öte yandan spesifik parazitoitleri olan konakların dağılma alanlarını genişlettiklerinde yeni bölgelerde daha az spesifik olan parazitoitlerle karşılaşmaları da muhtemeldir. Bu durum konağın parazitlenme oranlarını azaltarak popülasyonun artmasına neden olacaktır. Böylece küresel ısınma süresince konak türün yer değişimine neden olan etkenler daha rahat yaşayabileceği bir habitata geçmesini sağlayarak türün hayatta kalma başarısını arttıracaktır (Jeffs ve Lewis, 2013). İklim değişikliğine bağlı olarak konak sayısının artması zararlılarla mücadele konusunda da önemli sonuçlara neden olacaktır. İklim ısındıkça çok sayıda tarım ve orman zararlısı yer değiştirerek kutuplara doğru yayılmaktadır. Spesifik olan parazitoit türler konaklarının yayılmasını takip edemediğinde zararlı olan türlerin sayısı artacak ve bu durum önemli ürün kayıplarına neden olacaktır (Jeffs ve Lewis, 2013).

Bir komünitenin bütün bireylerinin iklim değişikliğine karşı benzer şekilde tepki vermesi mümkün değildir. Genel olarak parazitoitlerin iklimsel ısınmaya karşı başlıca üç farklı tepki vereceği düşünülmektedir: (1) dağılımlarını daha soğuk ortamlara kaydırmak, (2) fenolojilerini değiştirmek ve (3) fenotipik plastisite veya evrimsel adaptasyon yoluyla yerinde kalmaya devam etmek (Jeffs ve Lewis, 2013). Bu tür durumların hepsi mevcut komünitelerin yeniden düzenlenmesine yol açmaktadır (Hance ve ark., 2007). Öncelikli olarak değişen iklim koşullarının bütün canlı türlerinin dağılımlarını değiştirebildiği bilinmektedir. Öngörülen iklim değişikliği senaryoları, gelecekteki tür dağılımlarını tahmin etmek için türlerin fizyolojik sınırları çerçevesine bağlı dağılım yeteneklerini kullanmaktadır. (Jeffs ve Lewis, 2013). Parazitoitler yüksek sıcaklık gibi stres faktörlerinden davranış mekanizmalarını kullanarak uzaklaşırlar. Bununla beraber, parazitoitlerin iklim değişikliğinden dolayı coğrafik dağılımlarını genişletme kapasitesi, konaklarının bu değişikliklere nasıl tepki verdiklerine de bağlıdır (Hance ve ark., 2007). Örneğin soğuğa dayanıklı konak tür, *Phytomyza ilicis* (Diptera: Agromyzidae) ve soğuğa daha az toleransı olan parazitoiti, *Chrysocharis gemma* (Hymenoptera: Eulophidae)'nın iklim değişikliğine bağlı dağılımları incelendiğinde; normalde *P. ilicis*'in dağılım alanının merkezinde ve güney bölgesindeyken yüksek düzeyde parazitoit baskısına maruz kaldığı, kuzey kısımlarında ise *C. gemma*'nın parazitlenmesinden kaçabildiği ve dolayısıyla daha yüksek bir popülasyon yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür (Klok ve ark., 2003). Ancak, iklim değişikliğine bağlı olarak kışların daha ılıman hale gelmesi ile *P. ilicis*'in gelişimi ve hayatta kalması değişeceği için konak türün dağılımı hem doğrudan hem de dolaylı olarak (sıcaklıkların yükselmesi ile *C. gemma*'nın parazitlenme oranları değişeceği için) etkilenecektir (Hance ve ark., 2007). Bununla beraber, her parazitoit türünün iklim değişikliğine aynı şekilde tepki vermesi mümkün değildir. Bunun örneği ise İngiltere'de gözlenmiştir. İklim değişikliğine bitkilerden daha hızlı yanıt veren göçmen istilacı böcek türlerinin henüz yeterli savunma mekanizması oluşturmamış yeni bitki alanlarını istila ettiği bilinmektedir. Göç ederek hayatta kalma fırsatlarından yararlanan bu zararlıların, parazitoitleri tarafından takip edilemedikleri için yeni alanlardaki bitkilere verdikleri zarar artacaktır (Hance ve ark., 2007). Öte yandan, parazitoitler iklimsel değişikliklerle mücadele ederken konaklarını takip etmek ve konak uygunluğunu test etmek için 'sinomon' adı verilen spesifik uçucu işaretleri de kullanmaktadırlar. Sinomonlar, genellikle zararlı böcek istilasına maruz kalan bitkilerden salgılanan ve konak arayışındaki parazitoitleri yönlendiren bileşiklerdir. Sinomonların sıcaklık gibi iklimsel koşullardan etkilendiği bilinmektedir. Ayrıca her parazitoitin sinomonu tanımak ve uygun yanıtı

verebilmek için kendine özgü optimum bir sıcaklığı da vardır. Örneğin, *T. chilonis* türü aynı sinomon için en uygun tepkiyi 25-35 °C’de verirken, *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) için bu değer 30-35 °C arasındadır (Reddy ve ark., 2002). Sonuç olarak, yüksek sıcaklıklar ve aşırı sıcaklık dalgalanmaları bu kimyasalların etkisini azaltacak ve parazitoitlerin konaklarını bulma olasılığını düşürerek konak ve parazitoitin popülasyon dinamiklerinde değişikliklere neden olacaktır (Hance ve ark., 2007).

Parazitoitlerin küresel ısınmaya bağlı iklimsel değişikliklere karşı gösterdikleri diğer bir tepki ise fenolojilerini (biyolojik olayların zamanlamasını) değiştirmeleridir. Bütün canlılarda olduğu gibi konak ve parazitoitlerin de sağlıklı şekilde hayatlarını devam ettirebilmeleri için hayat evrelerinin zamansal olarak örtüşmesi gerekmektedir. Konak-parazitoit arasındaki senkronizasyon denge halindeki bir doğa için oldukça kritik bir öneme sahiptir. İklim değişikliğine karşı fenolojinin değiştirilmesi canlıların verdiği en belirgin tepkidir ve birçok bitki ve hayvan taksonu için ayrıntılı olarak incelenmiştir (Jeffs ve Lewis, 2013). Bununla beraber, konak ve parazitoit arasındaki fenolojik uyumsuzlukları araştıran çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Halbuki bir parazitoit ile konağı arasındaki fenolojik uyumsuzluk popülasyon dinamiklerini, birey sayısını ve dağılımlarını doğrudan etkileyerek her iki tür için de beklenmeyen sonuçlara neden olacaktır. Bu sonuçların türlerden birinin ya da ikisinin de yok olması veya istilacı tür popülasyonunda patlama ile besin zinciri ve ekosistem işleyişinin değişmesi şeklinde kendini göstermesi beklenmektedir. Normal şartlarda dengeli bir konak-parazitoit ilişkisinde, konak popülasyonundaki bütün bireylerin parazitlenme olasılığının düşük olması gerekir (Jeffs ve Lewis, 2013). Nitekim, parazitoit ve konağı arasında parazitlenme riskinin düşük olduğu ve karşılıklı etkileşimlerin dengelenmesine yardımcı olan bir dönem vardır. Bu dönem sayesinde konak popülasyonu yoğun bir parazitoit baskısından kurtularak belli bir denge içinde kalmaktadır. Eğer parazitlenme zamanı daha çok sayıda konağı etkileyecek şekilde değişirse bu durum konağın lokal olarak yok olmasına ve dolayısıyla parazitoitin de ortadan kalkmasına neden olacaktır. Öte yandan, konak tür bir şekilde hayatta kalır ancak sonraki nesilde birey sayısı azalır bu durum parazitoitin bölgesel olarak azalması veya yok olmasına neden olacak ve sonrasında ise konak popülasyonunda bir patlama meydana gelecektir (Hance ve ark., 2007). Bunlara ek olarak, küresel iklim değişiklikleri hayat döngülerini, tür dağılımlarını, komünite yapısını ve ekosistem işlevini de olumsuz olarak etkilemektedir. Ekosistem elemanlarından bitkiler, herbivor böcekler ve onların doğal düşmanları (predatörler, parazitoitler ve patojenler) arasında tritrofik etkileşimler vardır.

Bu etkileşimler belirli bir ortamda ve nispeten istikrarlı iklim koşullarında söz konusu türlerin birlikte geçirdikleri uzun bir evrimsel süreç sonucu oluşmuştur. İklim değişikliklerine bağlı sıcaklık farklılıkları, ekosistemi oluşturan her bir türün biyolojisini farklı şekillerde etkileyerek bazı türlerin yok olmasına neden olabilir ve böylece söz konusu tritrofik etkileşimler beklenmeyen bir şekilde değişebilir. Bu bağlamda, parazitoit türler üçüncü ve dördüncü besin seviyelerini temsil ettikleri için ciddi etkilerin beklendiği organizmalardır (Hance ve ark., 2007). Eklem bacaklı konaklarının popülasyon dinamiklerinde çok önemli bir role sahip olan parazitoitler besin zincirinin ayrılmaz bir parçasıdır ve tarımsal zararlıları baskılayarak önemli bir ekosistem hizmeti vermektedirler. Parazitoitlerin ekolojik ve fonksiyonel önemleri düşünüldüğünde, ısınan bir iklimin konak-parazitoit ilişkisi üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar oldukça az sayıdadır (Jeffs ve Lewis, 2013). Bu nedenle, iklim değişikliklerinin tritrofik beslenme seviyesindeki olası etkilerini belirlemek özellikle biyolojik kontrol uygulamaları ve zararlı kontrolü konusunda çok faydalı veriler sunacaktır.

Parazitoitlerin iklimsel ısınmaya karşı gösterdikleri başlıca tepkilerden üçüncüsü ise fenotipik plastisite veya evrimsel adaptasyon yoluyla buldukları alanda kalmaya devam etmeleridir. Ektotermik organizmaların gelişme ve hayatta kalma başarıları atmosferik sıcaklıkla yakından ilişkilidir ve bu tip organizmalar belirli iklimsel koşullar altında zamanla evrimleşerek çeşitli morfolojik, fizyolojik ve davranışsal adaptasyonlar geliştirmişlerdir. Bu nedenle küresel ısınmaya bağlı ekstrem koşullara uyum süreci bu organizmalar için oldukça zorlu olmaktadır (Hance ve ark., 2007). Örneğin, böcekler yüksek sıcaklık gibi olumsuz çevresel zorluklara karşı anında ve doğrudan tepki oluşturmaktadır. Dormansiye yol açan bu tepkiler, aşırı sıcaklara karşı davranışsal ve fizyolojik düzenlemeler sonucunda meydana gelmektedir (Hance ve ark., 2007). Dormansi, bir organizmanın yaşam döngüsünde büyüme, gelişme ve üremenin bastırıldığı mevsimsel olarak tekrar eden bir dönemi ifade etmektedir. Sıcaklık değişikliklerine bağlı olarak ortaya çıkan dormansi ya quiescence (durgunluk) ya da diyapoz aracılığı ile meydana gelebilir. Quiescence olumsuz çevre şartları altındayken anında ve doğrudan gelişimin engellenmesidir. Diyapoz ise gelişimin veya üremenin nörohormonal olarak engellendiği fizyolojik bir durumdur ve çoğunlukla gün uzunluğundaki değişiklikler veya aşırı sıcaklıklar sonucu meydana gelir (Danks, 1987; Hance ve ark., 2007). Parazitoit böcekler için diyapoz, genellikle konağın içindeyken veya kozasındayken meydana geldiği için konağın içinde bulunduğu şartlardan fazlasıyla etkilenmektedir. Bazı durumlarda konak

türlerin dormansiye, parazitlenme baskısının düşük olduğu zamanlarda olacak şekilde ayarladıkları görülmüştür (Hance ve ark., 2007). Bu tip konaklardan biri olan ve Arktik Kanada’da yaşayan *Gynaephora groenlandica* (Lepidoptera: Erebidae), kısa bir büyüme mevsimi ve düşük sıcaklıklar nedeniyle larval gelişimini birkaç yılda tamamlayabilmektedir. Ayrıca, böceğin larvaları her büyüme mevsiminin başında sadece kısa bir dönem için aktif olmakta ve daha sonra dormansiye girmektedir. Bu erken dormansinin parazitoitle karşılaşma olasılığını düşürmek için konağın gerçekleştirdiği bir adaptasyon olduğu düşünülmektedir. Nitekim, konak *G. groenlandica* larvalarının %20’si üçüncü ve dördüncü evrede *Hyposoter pectinatus* (Hymenoptera: Ichneumonidae) tarafından parazitlenirken, %50’si ise beşinci ve altıncı evredeyken *Exorista thula* (Diptera: Tachinidae) tarafından parazitlenmektedir. Konak açısından bakıldığında bu durum toplamda %56’lık bir mortaliteye neden olup söz konusu parazitoitlerin *G. groenlandica*’nın yaşamını önemli derecede etkilediklerini göstermektedir. Sonuçta, iklim değişiklikleri bunun gibi hassas olan konak-parazitoit dengelerini beklenmeyen şekilde bozabilir ve bu da gelecek nesillerin hayatı için önemli bir tehlike oluşturur (Hance ve ark., 2007). Yapılan bu tip çalışmalar açıkça göstermektedir ki; konak-parazitoit ilişkisinin artan sıcaklıklara karşı adaptasyonu araştırılırken yüksek sıcaklığın fizyolojik etkilerinin neler olacağı ekosistem içinde bir bütün olarak incelenmelidir. Sonuç olarak, milyonlarca yıldır birlikte evrimleşen canlı gruplarının her bir üyesi çok değerlidir ve herhangi bir türde meydana gelen değişiklik bütün canlıları etkileyecektir. Küresel iklim değişikliğine karşı herhangi bir şekilde uyum sağlayamayan konak-parazitoit sistemleri ise zaman içinde yok olacaktır.

Parazitoit türler konaklarını bulmaya çalışırken sıcaklık faktörü parazitoitin fonksiyonel tepkisini etkileyerek parazitlenme oranının değişmesine neden olmakta ve bu da konak-parazitoit ilişkisinin zarar görmesi ile sonuçlanmaktadır (Hance ve ark., 2007; Jeffs ve Lewis, 2013; Joodaki ve ark., 2018). Ayrıca, parazitizm oranları parazitoitlerin konaklarını başarılı bir şekilde bulmasına, uygun konak seçimine, yumurta bırakma yeteneğine ve bırakılan yumurta veya larvaların konağın bağışıklık savunmasını yenme/kaçınma becerisine de bağlıdır (Jeffs ve Lewis, 2013). Aslında parazitoitin konak canlıdayken yenmesi gereken bu savunma mekanizmaları konağın kendini koruması için parazitoitler dışında patojenler ve parazitlere karşı da kullanılmaktadır. Parazitoitler ve diğer yabancı istilacılara karşı birincil böcek savunması enkapsülasyon ve melanizasyon yoluyla gerçekleşir (Vilmos ve Kurucz, 1998; Smilanich ve ark., 2009). İlk olarak hemositler, bir

zarf veya kapsül oluşturmak üzere böcek içindeki yabancı cisme yapışırlar. Daha sonra humoral cevap başlatılır ve bir PO kaskadı oluşturulup yabancı cisim boğularak hemosit kapsülünün melanizasyonu gerçekleştirilir (Stoltz ve Guzo, 1986; Hung ve Boucias, 1996; Kanost ve Gorman, 2008; Gherlenda ve ark., 2016). Sonuç olarak, enkapsüle olan organizma ölebilir (Schmidt ve ark., 2001; Lavine ve Strand, 2002). Bu noktada parazitizmin başarılı olması parazitoitin virulansına ve konak direncinin seviyesine bağlıdır. Bu sistemler çoğunlukla sıcaklıktan etkilendiği için iklim değişikliğine bağlı artan sıcaklıklar konak-parazitoit ilişkilerini de değiştirebilmektedir (Jeffs ve Lewis, 2013). İklim değişikliğinin parazitoitlerin bulunduğu üçüncü beslenme düzeyindeki etkilerini anlamak, özellikle gelecekteki zararlı böcek istilalarını tahmin ederken veya biyolojik kontrol programlarında parazitoitleri kullanırken temel ve uygulamalı bir öneme sahip olacaktır (Hance ve ark., 2007). Yapılan bir çalışmada meyve sineği, *B. invadens* üzerinde yetiştirilen iki brakonid parazitoit, *Fopius arisanus* Sonan ve *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmed (Hymenoptera: Braconidae) beş farklı sıcaklığa (15, 20, 25, 30 ve 35 °C) maruz bırakılarak gelişme zamanı, hayat uzunluğu, parazitlenme oranı ve eşey dağılımındaki değişiklikler araştırılmıştır (Appiah ve ark., 2013). Çalışmanın sonucunda, her iki parazitoitin de gelişim oranlarının artan sıcaklıkla doğrusal olarak azaldığı ve ergin hayat uzunluklarının ise 35 °C’de en kısa ve 15 °C’de ise en uzun değere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca test edilen tüm sıcaklıklarda dişilerin erkeklerden önemli oranda daha uzun yaşadıkları da tespit edilmiştir. Parazitlenme yüzdelere bakıldığında; en yüksek değer *F. arisanus* için 25 °C’de iken *D. longicaudata* için 20 °C’de olmuş, en düşük oran ise her iki parazitoit için de 15 °C’de elde edilmiştir. Yavruların eşey oranları ise *F. arisanus* (20 °C hariç) ve *D. longicaudata* için bütün sıcaklıklarda benzer şekilde dişi ağırlıklı olmuştur (Appiah ve ark., 2013). Sıcaklık ve konak evresi parazitoitlerin başarılı bir şekilde gelişimlerini tamamlayabilmelerinde etkili olan iki önemli faktördür. Yapılan bir çalışmada, *Aenasius bambawalei* Hayat (Hymenoptera: Encyrtidae) yedi farklı sıcaklık değerine (21-39 °C), farklı sürelerde (2, 4, 8, 12, 16 ve 24 saat) maruz bırakılarak iki farklı konak evresinin (3. evre nimf ve ergin dişi) parazitlenme ve yavru eşey (dişi/erkek) oranlarını nasıl etkilediği tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2016). Elde edilen bulgulara göre yüksek sıcaklıklarda (30, 33 ve 36 °C) ve daha yaşlı konak evresinde parazitlenme oranının artış gösterdiği ve sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça (12, 16 ve 24 saat) ergin dişi konağın nimf evresine göre daha fazla parazitlendiği bulunmuştur. Özellikle parazitoitler 36 °C’de 24 saat tutulduklarında, dişi konak evresinin parazitlenme oranı nimfe göre neredeyse iki kat daha fazla olmuştur. Parazitoitin yavru eşey oranlarına bakıldığında; ısı

stresine maruz kalma süresi ve konak evresinin anlamlı değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Örneğin, parazitoit böcek 36 °C'ye 24 saat boyunca maruz kaldığında, 12 ve 16 saate göre yavru eşey oranı önemli oranda daha yüksek olmuş ve özellikle parazitlenen konak evresi ergin dişi ise eşey oranı önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak; ısı stresi altındayken *A. bambawalei*'nin parazitlenme ve yavru eşey oranlarını konağın hangi evrede olduğu etkilemiş ve bu da söz konusu parazitoitin konak evresi tercihini etkileyebileceğini göstermiştir (Zhang ve ark., 2016). Yapılan bu çalışma, ısı stresinin *A. bambawalei*'nin üreme kapasitesini etkileyebileceğini göstermesi ve konağı olan un güvesi, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) ile mücadelede bu parazitoitin kitle halinde üretilip kullanılabilmesi için önemli veriler sunmaktadır. Laboratuvar ortamlarında yapılan bu tip çalışmaların sayısı arttıkça konak-parazitoit arasındaki ilişkinin sıcaklıkla olan bağlantısı daha iyi anlaşılacak ve gelecekte bu bilgilerin biyolojik mücadelede kullanılması mümkün olabilecektir.

İklim değişikliği ve küresel ısınmanın canlılar için oldukça etkili olacağı tartışılmaz bir gerçektir. Ektotermik canlılar olan böceklerin biyolojileri ve çevre sıcaklıklarının yakından ilişkili olduğu düşünüldüğünde iklim değişikliğinden özellikle de yükselen sıcaklıklardan etkilenmeleri çok muhtemeldir. Çalışmamızda halk arasında büyük ve küçük balmumu güveleri olarak bilinen model organizmalar, *G. mellonella* ve *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae) ile ektoparazitoit bir tür olan *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) kullanıldı. Konak türler, *G. mellonella* ve *A. grisella* arıcılıkta çok sık rastlanan ve peteklerde tünel açarak arı kovanlarına ciddi zararlar veren istilacı böcek türleridir (Mahgoub ve ark., 2015). Yumurta, larva, pup ve ergin olmak üzere dört aşamalı gelişim evresine sahip balmumu güvelerinden *G. mellonella* türü *A. grisella*'ya kıyasla model organizma olarak çok daha sık tercih edilmektedir. Bunun nedeni çok büyük olasılıkla *G. mellonella*'nın *A. grisella*'ya göre nispeten daha büyük bir böcek olmasıdır (Cook ve McArthur, 2013). Literatürde larva ve pupa evrelerindeki *G. mellonella*'nın boyutları 12–20 mm iken *A. grisella*'nin en fazla 11.3-18 mm olabildiği ve erginlerinin kanat açıklığının ise *G. mellonella*'da 31 mm'ye kadar ulaşırken *A. grisella*'nin dişi bireylerinde en fazla 13 mm olabileceği belirtilmiştir (Ellis ve ark., 2013). Bu nedenle çalışmamızda konak-parazitoit ilişkisini incelediğimiz deneylerde konak olarak *G. mellonella*'nın son evre larvaları ile gregor, idiobiont ve bir larva ektoparazitoiti olan *B. hebetor*'u (Chau ve Quoc, 2015) model organizmalar olarak kullandık. *B. hebetor* hızlı ve kısa sürede biyolojik gelişimini tamamlaması ve kitle halinde üretiminin kolaylığı

nedeniyle Lepidoptera takımına ait zararlıların mücadelesi için kullanılan önemli bir biyolojik kontrol ajanıdır (Keever ve ark., 1985; Prozell ve Scholler, 1998; Alam ve ark., 2014). *B. hebetor*, Hymenoptera takımının 17.532 tür sayısı ile en büyük familyalarından biri olan Braconidae familyasına (Chau ve Quoc, 2015) ait bir türdür. Lepidoptera ordosunun Pyralidae familyasındaki farklı böcek türleri üzerinde larval gelişimini tamamlayan (Alam ve ark., 2014) *B. hebetor* dişileri genellikle konak seçimini bu türlerin son evre larvalarından yana kullanmaktadır. Konağını bulan bir *B. hebetor* dişi konağına zehir enjekte eder ve bu da böceğin 15 dakika içinde tamamen felç olmasına neden olur. Konak felç olduktan sonra dişi parazitoit genellikle konağın karın yüzeyine veya substratla temas eden tarafa birkaç yumurtadan oluşan bir yumurta kümesi bırakır. Taze bırakılan yumurtaların rengi kremi beyazdır ve daha sonra yarı saydam hale gelir. 1-2 gün içerisinde çatlayan yumurtalardan açık beyaz renkli larvalar çıkar ve olgunlaşan larvalar konaktan uzaklaşarak beyaz renkli bir koza içinde pupa evresine geçerler. Zaman içinde pupalar koyu kahve tonunda bir renk alır ve pupal periyotun sonunda ergin *B. hebetor*'lar ortaya çıkar (Alam ve ark., 2014). Tablo 1.1'de deneylerde kullandığımız model organizmaların sistematigi verilmektedir.

Tablo 1.1: *G. mellonella*, *A. grisella* ve *B. hebetor* sistematigi.

Alem	Animalia		
Şube	Arthropoda		
Sınıf	Insecta		
Takım	Lepidoptera	Hymenoptera	
Süperfamilya	Pyraloidea	Ichneumonoidea	
Familya	Pyralidae	Braconidae	
Alt Familya	Galleriinae	Braconinae	
Cins	<i>Galleria</i> (Fabricius, 1789)	<i>Achroia</i> (Hübner, 1819)	<i>Bracon</i> (Fabricius, 1804)
Tür	<i>Galleria mellonella</i> (Linnaeus, 1758) ^a	<i>Achroia grisella</i> (Fabricius, 1754) ^b	<i>Bracon hebetor</i> (Say, 1836) ^c

a; https://biodiversity.org.au/afd/taxa/Galleria_mellonella

b; https://biodiversity.org.au/afd/taxa/Achroia_grisella

c; https://biodiversity.org.au/afd/taxa/Bracon_hebetor

Canlıları olumsuz olarak etkileyen stres faktörleri sadece hücresel düzeyde değil popülasyon seviyesinde de değişikliklere yol açarak ekosistem düzeyinde ciddi problemlere neden olmaktadır. Küresel ısınma sonucu iklimsel değişiklikleri yoğun olarak hissettiğimiz bugünlerde yükselen sıcaklıkların biyolojik sistemler üzerindeki etkileri endişe vericidir. Bu bağlamda Dünya'nın en kalabalık hayvan grubunu oluşturan böceklerin ekolojik önemleri nedeniyle yükselen sıcaklıklardan nasıl etkilendiği de dikkat çekici bir araştırma alanıdır. Literatürde sıcaklık faktörü ile böcekler arasındaki ilişkileri inceleyen çok sayıda çalışma vardır (Hercus ve ark., 2003; Cui ve ark., 2008; Kiuchi ve ark., 2008; Wang ve ark., 2009; Tang ve ark., 2012; Appiah ve ark., 2013; Nguyen ve ark., 2013; Moiroux ve ark., 2014; Eggert ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2016a, 2016b; Wojda, 2017). Ayrıca termal stresin öldürücü boyutlara ulaşabileceğini gösteren çalışmalar (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011), öldürmeyen sıcaklıkların farklı böcek takımlarındaki türlerin biyolojik özelliklerini (Radmacher ve Strohm, 2011; Appiah ve ark., 2013; Ebrahimi ve ark., 2015; Qin ve ark., 2018; Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021) ve fekunditelerini nasıl etkilediğini gösteren çalışmalar (Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021) ile termal stres karşısında konak-parazitoit ilişkisinin ne yönde değiştiğini (Hance ve ark., 2007; Jeffs ve Lewis, 2013; Joodaki ve ark., 2018) inceleyen araştırmalar ise özellikle dikkat çekicidir. Bunlara ek olarak literatürde yüksek sıcaklıkların Lepidoptera takımındaki farklı türler ile *B. hebetor* arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalara rastlansa da (Payne, 1934; Singh ve ark., 2014; Noor-ul-Ane ve ark., 2018 ; Abbas ve ark., 2015; Wu ve ark., 2022) bu araştırmaların çok az bir kısmında *G. mellonella* konak olarak kullanılmıştır (Forouzan ve ark., 2008; Montazeri ve ark., 2019). Yine *G. mellonella*'da çeşitli patojenlerle harekete geçirilmiş bağışıklığın termal stresten etkilendiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Wojda ve Jakubowicz, 2007; Mowlds ve Kavanagh, 2008; Wojda ve ark., 2009; Wojda ve Kowalski, 2013; Wojda ve Taszłow, 2013; Taszłow ve Wojda, 2015; Kryukov ve ark., 2018; Kryukov ve ark., 2020). Sonuçta çalışmamızda kullanılan model organizmalar *B. hebetor* ve *G. mellonella*'da sıcaklık uygulamasına bağlı çeşitli araştırmalar olsa da *A. grisella*'da termal stresin etkilerini inceleyen herhangi bir makaleye rastlanmadı. Stres altındaki farklı böcek türlerinin farklı adaptasyon yeteneklerinin olabileceği düşünüldüğünde iklim değişiklikleri karşısında gelecekte böceklerin ne tip tepkiler gösterecekleri hala çalışılması ve aydınlatılması gereken merak uyandırıcı konular arasındadır.

Ekosistemin biyotik faktörlerinden böcekler tür zenginliği ve popülasyon yoğunlukları ile (Chapman 1998; Stork, 2017) canlı-cansız birçok materyalle etkileşim halinde olup karasal ve sucul sistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptirler (Stange ve Ayres, 2010). Böcekler önemli tozlaştırıcılar, organik atıkların parçalayıcısı, zararlı türlere karşı doğal bir kontrol canlısı veya zararlı tür olarak besin zincirinin akla gelebilecek her seviyesinde bulunabilirler (Stange ve Ayres, 2010). Bu da termal stresin böceklerde meydana getireceği değişiklikleri çok karmaşık ve beklenmedik hale getirmektedir. Tez çalışması kapsamında, termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* ile ektoparazitoit *B. hebetor*'un biyolojisi, konak bağışıklık sistemi, konak antioksidan enzimleri ve konak-parazitoit ilişkisi üzerindeki olası etkileri detaylı bir şekilde incelendi. Deneylerde öncelikle termal stresin petek zararlısı iki konak böcek türü (*G. mellonella* ve *A. grisella*) üzerindeki öldürücü olan ve öldürücü olmayan etkileri araştırıldı. Bunun için son evre konak larvaları dokuz farklı sıcaklık değerinde (30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C) ölene veya erginleşinceye kadar sabit ısı şokuna maruz bırakılarak lethal, suboptimum ve optimum sıcaklık değerleri belirlendi. Ayrıca sabit ısı şokunun erginleşebilen konak larvalarının bazı biyolojik özelliklerini nasıl etkilediği de tespit edildi. Sıcaklık birçok organizma için en kritik çevresel faktördür ve çok sayıda fizyolojik tepkiyi tetikleyerek büyümeyi, üremeyi ve coğrafik dağılımı etkilemektedir (Angilletta ve ark., 2002; Parmesan, 2006; Jia ve ark., 2011). Bu noktada gittikçe ısınan iklimleri de düşündüğümüzde sabit ısı şoku deneylerimizden elde edilecek sonuçların zararlı böcek-sıcaklık ilişkisi çalışmalarına önemli katkılar yapacağı düşüncesindeyiz. Öte yandan iklim değişikliği sürecinde yeryüzü sıcaklık ortalamasının giderek arttığı da bilinen bir gerçektir. Özellikle sıcaklıkların gün boyunca sabit kalmaması ve maksimum sıcaklığın derecesi ile bu derecede kalma süresinin de sürekli olarak değişmesi canlılar için bir diğer tehdit unsurudur. Bu nedenle tez çalışması kapsamında son evre konak larvaları 2 saat süre ile değişken ısı şokuna maruz bırakılarak bazı biyolojik özelliklerin nasıl etkilendiği de araştırıldı. İklim değişikliği sürecinde zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar seviyesinin altında tutabilmek için yükselen sıcaklıkların böcek biyolojisi üzerindeki olası etkilerini araştırmanın yanı sıra böcek bağışıklığının ve enzimatik aktivitelerin nasıl etkilendiğini belirlemek de büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda sabit ve değişken ısı şoku şeklinde yüksek sıcaklık faktörüne maruz kalan konak larvalarından elde edilen verilere göre termal stresin konak bağışıklık ve antioksidan enzimlerini nasıl etkilediği belirli sıcaklık değerleri ile farklı zaman aralıklarında ayrıntılı bir şekilde araştırıldı. Zararlı türlerin gelişim biyolojisi, bağışıklık sistemi ve enzim aktivitelerinin uzun ve kısa süreli yüksek

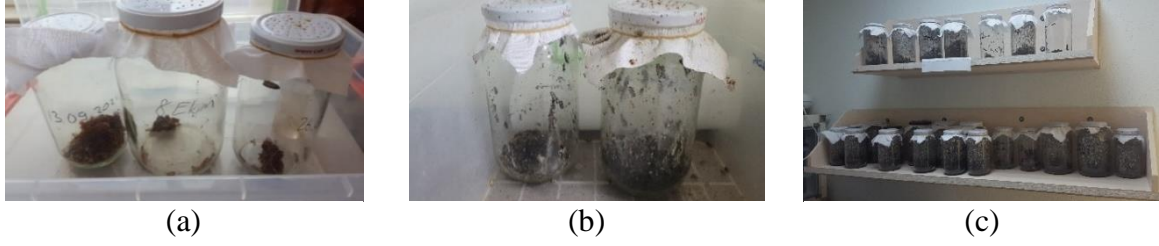
sıcaklıklarda nasıl değiştiğinin belirlenmesi doğada benzer turlerin iklim değişikliği srecinde verebilecekleri zararları önceden anlamamıza yardımcı olacaktır. Ayrıca ekolojik olarak ciddi bir öneme sahip olan parazitoitlerin konaklarıyla ilişkisi düşünöldüğünde iklim değişikliği srecinden sadece zararlı böceklerin değil yararlı böceklerin de etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu durum parazitoitlerin konaklarıyla arasındaki doğal dengeyi de bozacak ve söz konusu süreç biyolojik kontrol ve IPM (Entegre Zararlı Yönetimi) programlarının başarısını da olumsuz olarak etkileyecektir (Collier, 1995; Uçkan ve Gülel, 2002; Alam ve ark., 2014). Çalışmamızda konak-parazitoit ilişkisi kapsamında bir larva ektoparazitoiti olan *B. hebetor*'un konak *G. mellonella* ile termal stres altındaki ilişkileri incelendi. Bu amaçla parazitoitin hem belirli sıcaklıklara maruz kalmış konağına vereceği tepkiler hem de konağı ile beraber sıcaklığa maruz kaldığında birinci nesil parazitoitlerin bazı biyolojik özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikler tespit edildi. Elde edilen bilgiler benzer konak-parazitoit ilişkilerinin iklim değişikliği srecinde nasıl bir değişikliğe uğrayacağını önceden görmemize olanak sağlayacaktır. Bulgularımızın iklim değişikliğinin zararlı ve yararlı türler üzerindeki etkileri ile ilgili literatüre, böcek fizyolojisi, bağışıklığı ve enzim aktivite çalışmalarına, böceklerin kitle halinde üretiminin yapıldığı araştırmalar ile biyolojik kontrol uygulamalarına katkılar sağlayacağı düşünceindeyiz.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Konak ve parazitoit kültürlerinin yetiştirilmesinde böcek kültürlerinin birbirine karışma ihtimalini önlemek amacıyla üç farklı oda laboratuvar olarak kullanıldı. Konak türler 30 ± 1 °C sıcaklık, $\%60\pm 5$ nispi nem ve 12:12 saat (Aydınlık: Karanlık) fotoperiyot şartları devam ettirilen laboratuvarlarda yetiştirilirken; parazitoit kültürü 25 ± 2 °C sıcaklık, $\%50\pm 5$ bağıl nem ve 16:8 saat (Aydınlık: Karanlık) fotoperiyot şartlarına sahip başka bir laboratuvarda yetiştirildi. Laboratuvarlarda sıcaklıklar termostatlı radyatör kullanılarak sağlanırken, nispi nem Weewell WHC730 marka otomatik buhar makinesi ve radyatörün her iki yanına asılan içi su dolu plastik kaplarla ayarlandı. Aydınlık ve karanlık süresi ise elektrik panosuna takılan Legrand marka zaman ayarlı fotoperiyot cihazı ile devam ettirildi. Laboratuvarlara ait sıcaklık ve nem değerlerinin takibi TFA marka dijital termohigrometre ile yapıldı.

2.1 Konak Kültürleri

Deneylerde petek zararlıları olan büyük balmumu güvesi, *G. mellonella* ve küçük balmumu güvesi, *A. grisella* kullanıldı. Konak türlerin süksesif kültürlerinin kaynağını, araştırma laboratuvarımızda balsız kuru siyahlaşmış petekler ile beslenip üretimi yapılan *G. mellonella* ve *A. grisella*'ya ait larva, pup ve erginlerin bulunduğu çekirdek kültürler oluşturdu. Deneylerde kullanılacak larvaları elde etmek için çekirdek kültürlerden belirli aralıklarla alınan ergin dişi ve erkek bireyler içerisinde petek bulunan 1 litrelik cam kavanozlar içine bırakılarak stok kültürler oluşturuldu. Güvelerin süksesif kültürlerini oluşturmak için ise ayda iki kez stok kültürlerden alınan 0-1 günlük beşer adet ergin dişi ve erkek içerisinde besin bulunan 1 veya 5 litrelik cam kavanozların içine bırakıldı. Kavanozların ağzı hava sirkülasyonunu engellemeyecek şekilde beyaz pamuklu bez ve larvaların bezi delip kaçmalarını önlemek için orijinal metal kapakları (üstüne yaklaşık 50 adet ince delik açılmış) ile kapatıldı (Şekil 2.1). *G. mellonella* ve *A. grisella* kültürlerindeki böceklerin açlıktan ölmelerini veya kavanozları terk etmelerini engellemek amacıyla populasyon yoğunluğuna bağlı olarak azalan besini karşılamak üzere kavanozlara zaman zaman yeterli miktarda balsız kuru siyahlaşmış petek ilave edildi. Süksesif konak kültürlerini kurma işlemine hem kültürün devamını sağlamak hem de konak ve parazitoit ile ilgili sıcaklık uygulamalarında kullanılacak güveleri elde etmek için deneyler boyunca devam edildi.



Şekil 2.1: Konak kültürleri; a) *G. mellonella*, b) *A. grisella*, c) Konak laboratuvar görünümü.

2.2 Parazitoit Kültürleri

Deneyleerde parazitoit olarak idiobiont, gregor ve larva ektoparazitoiti *B. hebetor* kullanıldı. *B. hebetor* stok kültürünün özünü, araştırma laboratuvarımızda yetiştirilmekte olan *B. hebetor* erginleri oluşturdu. Parazitoit stok kültürlerini oluşturmak amacıyla ergin bireyler çiftleşmeleri ve dişilerin yumurta bırakabilmesi için konak olarak *G. mellonella* son evre larvalarının bulunduğu 250 mL'lik cam kavanozlar içine bırakıldı. Çapı 82.6 mm ve boyu 67.9 mm olan bu kavanozlardaki *B. hebetor* erginlerini beslemek için önceden %50 oranında çiçek balı çözeltisi emdirilmiş nohut büyüklüğündeki pamuklar kavanozlara yerleştirildi. Daha sonra ergin parazitoitlerin ve konak larvalarının kaçmasını engellemek için kavanozların ağzı beyaz pamuklu bez ile kapatıldı (Şekil 2.2). Süksesif parazitoit kültürlerini oluşturabilmek için söz konusu kültür kurma işlemleri iki günde bir tekrarlandı. Parazitoit kültürlerini kurma işlemine hem kültürün devamını sağlamak hem de sıcaklık uygulamalarında kullanılacak bireyleri elde etmek için deneyler boyunca devam edildi.



Şekil 2.2: Parazitoit kültürleri; a) Stok ve süksesif kültürler, b) Ergin ve kozadan çıkmak üzere olan dişi *B. hebetor* ile parazitlenmiş konak larvası.

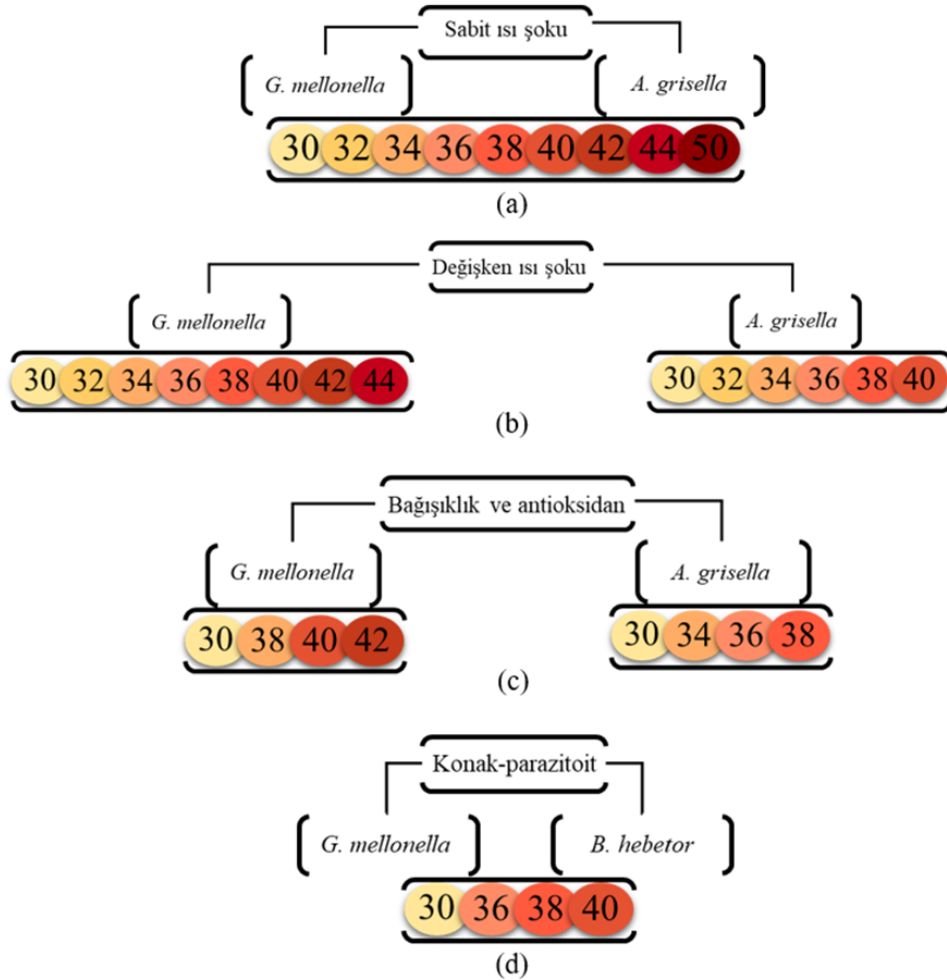
2.3 Sıcaklık Uygulaması

Termal stresin konak türlerin biyolojisi, bağışıklık sistemi ve antioksidan enzimleri ile konak-parazitoit ilişkisi üzerindeki olası etkilerini araştırmak için yüksek sıcaklık faktörü sabit ve değişken ısı şoku olmak üzere iki farklı şekilde uygulandı. Deneylerin her birine öncelikle benzer ağırlıkta konak larvası seçilerek başlandı. Bunun için stok kültür kavanozlarından alınan *G. mellonella* (260 ± 25 mg) ve *A. grisella* (35.7 ± 2.2 mg) son evre larvalarının 1×10^{-4} gram hassasiyette tartımı yapıldı ve ağırlıkları belirlenen larvalar 60x15 mm ölçülerindeki plastik petri kaplarına tek tek yerleştirildi. Böylece petriler termal stres uygulamaları için hazır hale getirildi. Sabit ve değişken ısı şoku ile ilgili bütün deneyler farklı zamanlarda rastgele olarak seçilen onar adet son evre larva ile üç kez tekrar edildi (her uygulama için 30 larva). Ayrıca her tekrarda kullanılan bireylerin farklı süksesif kültürlerden alınmasına özen gösterildi. Çalışmada termal stresin konak ve parazitoit böcekler üzerindeki olası etkileri incelenirken 30 °C kontrol grubu sıcaklığı olarak değerlendirildi.

2.3.1 Sabit ısı şoku deneyleri

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* üzerindeki olası etkilerini araştırmak için sabit ısı şoku deneylerine ilk olarak *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın en iyi gelişim gösterdiği (Ellis ve ark., 2013; Hanumanthaswamy ve ark., 2013) 30 °C ile başlandı. Daha sonra sıcaklık değeri her seferinde 2 °C arttırılarak farklı deney grupları oluşturuldu. Yapılan ön çalışmalarda her iki konak için de 46, 48 ve 50 °C'lerde son evre larvaların ölüm zamanları birbirine benzer olunca bu sıcaklıklardan en yüksek değer olan 50 °C ile deneylere devam edildi. Sabit ısı şokuna maruz kalacak plastik petri kaplarındaki son evre konak larvaları önceden dokuz farklı sıcaklığa (30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C) ayarlanmış etüvler içine yerleştirildi ve bireyler ölene veya ergin olana kadar bu sıcaklıklarda tutuldu (Şekil 2.3). Bu süre zarfında bireyler her gün aynı saatte yaklaşık 10 dakikalığına etüvden çıkarılıp gelişimleri kontrol edildi ve mekanik uyarana cevap vermeyen birey ölü olarak kabul edildi (Şekil 2.4). Sonuçta; son evre larva döneminden itibaren sabit ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* için ayrı ayrı letal, suboptimum ve optimum sıcaklık değerleri ile letal sıcaklık (LTemp), letal zaman (LTime) ve kümülatif mortalite (CI) değerleri belirlendi. Ayrıca her konak türün (*G. mellonella* ve *A. grisella*) sabit ısı şokuna maruz kalmış tek bir son evre larvası için yaşam süresi; termal strese maruz kaldığı andan öldüğü ana kadar (larva veya ergin olarak) geçen süre takip edilerek saat olarak belirlendi. Son olarak; sabit ısı şokuna maruz kalmış son evre larvalardan

erginleşebilenlerin olduğu optimum sıcaklıklar için termal stresin koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi (ergin çıkış süresi), ergin ağırlığı, ergin hayat uzunluğu (ergin yaşam süresi) ve yumurta verimi gibi bazı biyolojik özellikleri nasıl etkilediği detaylı bir şekilde incelendi.



Şekil 2.3: Deneylerde kullanılan sıcaklıklar (°C).

2.3.2 Değişken ısı şoku deneyleri

Son evre konak larvalarının sabit ısı şoku altındayken letal, suboptimum ve optimum sıcaklık değerlerinde termal strese verdiği tepkiler baz alınarak *G. mellonella* için 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C ile *A. grisella* için 30, 32, 34, 36, 38 ve 40 °C'ler değişken ısı şokuna maruz kalacakları sıcaklıklar olarak seçildi (Şekil 2.3). Her iki böcek için de belirlenmiş olan bu sıcaklıklarda kaç saat süre ile değişken ısı şokuna maruz kalınacağı Zhang ve arkadaşlarına (2019) göre belirlendi. Araştırmacılar deneylerinde sıcaklıkları 2 saat boyunca (12:30-14:30) en yüksek seviyelerde tutup ardından düşürmüşlerdi (Zhang ve

ark., 2019). Çalışmamızda konak larvaları seçilen sıcaklıklara sadece 2 saat maruz bırakılacağı için sabit ısı şoku altındayken 2 saatten daha kısa sürede ölümün gözlemlendiği sıcaklıklar olan *G. mellonella* için 50 °C ile *A. grisella* için 42, 44 ve 50 °C'ler değişken ısı şoku deneylerinde kullanılmadı (Şekil 2.4).

Sabit ısı şoku deneylerinde olduğu gibi stok kültürlerden alınan son evre larvalar tartıldıktan sonra plastik petri kaplarına tek tek yerleştirildi. Daha sonra petriler önceden sıcaklıkları ayarlanmış etüvler içine kondu ve son evre konak larvaları 2 saat süre ile değişken ısı şokuna maruz bırakıldı. Sürenin sonunda petriler etüvden çıkartılıp stok kültürler ile aynı laboratuvar şartlarına alındı ve larvaların gelişimleri her gün aynı saatte kontrol edilerek sabit ısı şoku deneylerinde olduğu gibi değişken ısı şokunun bazı biyolojik özellikleri (koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi, ergin ağırlığı, ergin hayat uzunluğu ve yumurta verimi) nasıl etkilediği belirlendi.



(a)



(b)

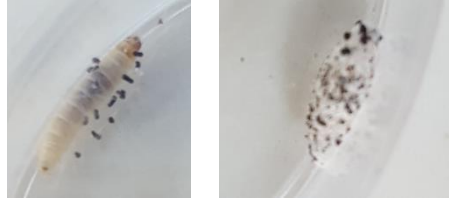
Şekil 2.4: Termal stres altındaki son evre konak larvaları; a) *G. mellonella*, b) *A. grisella*.

2.4 Termal Stresin Konak Biyolojisine Etkisi

2.4.1 Koza örme süresi

Sabit ve değişken ısı şoku olmak üzere iki farklı şekilde uygulanan termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının koza örme süresine etkilerini belirlemek için larvalar her gün aynı saatte kontrol edildi. Her iki tür için ayrı ayrı olmak üzere, her bir son

evre larvanın sıcaklığa maruz bırakıldığı gün ile tam bir koza oluşturduğu güne kadar geçen süre koza örme süresi (gün) olarak kaydedildi (Şekil 2.5).



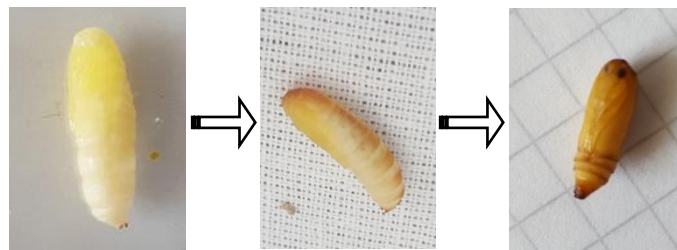
Şekil 2.5: *A. grisella* larvasının koza örme süreci.

2.4.2 Puplaşma süresi

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarının puplaşma süresine etkilerini belirlemek için günlük değişimleri her gün aynı saatte kontrol edilen son evre larvaların sıcaklığa maruz bırakıldığı gün ile pup olana kadar geçen süre puplaşma süresi (gün) olarak kabul edildi. Elde edilen değerler her iki tür için ayrı ayrı kaydedildi (Şekil 2.6).

2.4.3 Pupal periyot

Sabit ve değişken ısı şoku şeklinde termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarında pupal periyodun nasıl etkilendiğini belirleyebilmek için plastik petri kaplarındaki larvalar her gün aynı saatte kontrol edildi. Son evre konak larvalarının pup evresine girmesinin ardından puplaştığı gün ile ergin bireyin çıktığı güne kadar geçen süre pupal periyot (gün) olarak değerlendirildi (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: *G. mellonella*'da puplaşma süreci.

2.4.4 Ergin öncesi gelişim süresi

Termal strese farklı yüksek sıcaklıklarda maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarının gelişimleri her gün aynı saatte kontrol edilerek ergin öncesi gelişim süresindeki değişim tespit edildi. Her iki tür için son evre larvaların sıcaklığa maruz

bırakıldığı gün ile ergin bireyin çıktığı güne kadar geçen süre ergin öncesi gelişim süresi (gün) olarak kaydedildi (Şekil 2.7).

2.4.5 Ergin ağırlığı

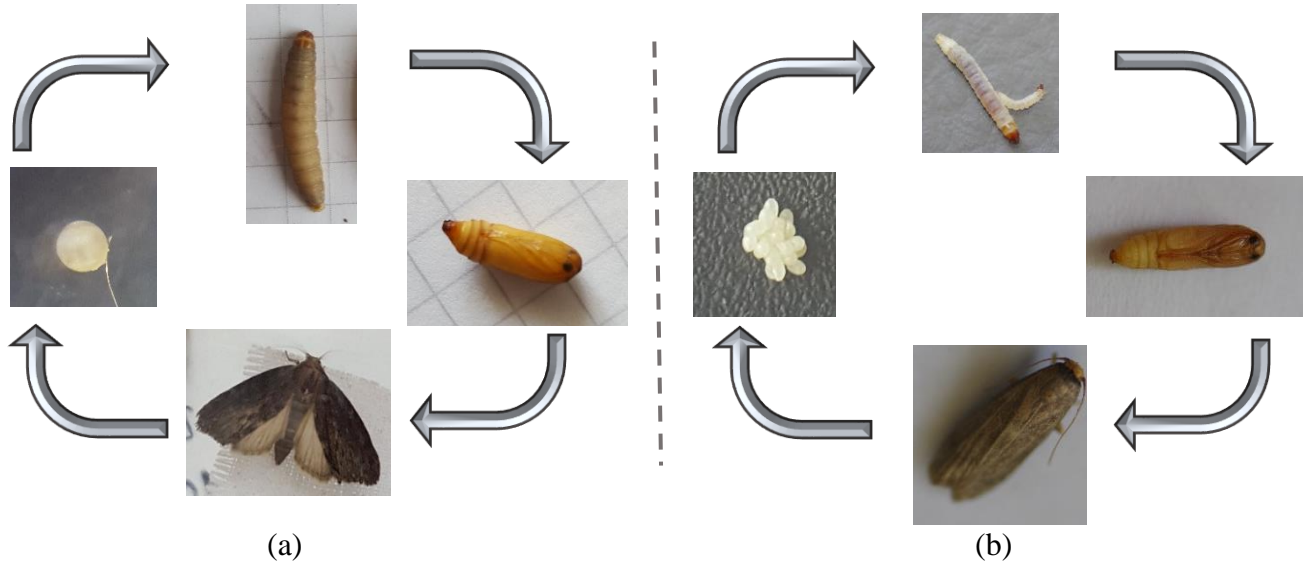
Termal stres (sabit ve değişken ısı şoku) altında gelişimini tamamlayan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarının bulunduğu petripler her gün aynı saatte kontrol edilerek erginleşebilen dişi bireyler tespit edildi. Sıcaklık uygulamasının ergin ağırlığını nasıl etkilediğini belirleyebilmek için erginleştikleri gün petriplerden alınan dişiler 1×10^{-4} gram hassasiyette tartıldı ve elde edilen değerler her iki tür için ergin ağırlığı (mg) olarak kaydedildi.

2.4.6 Ergin hayat uzunluğu

Sabit ve değişken ısı şoku şeklinde termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarından erginleşenlerde hayat uzunluğunun sıcaklık uygulamasından nasıl etkilendiğini belirleyebilmek için ağırlıkları ölçülen dişiler tek tek beherlere (80 mL) alındı. Daha sonra beherlerin ağzı hava sirkülasyonunu önlemeyecek şekilde tek katlı sargı beziyle kapatıldı ve bezin üzerine beherin ağzına uyacak şekilde yuvarlak kesilmiş beyaz A4 kâğıdı yerleştirildi. Bu şekilde hazırlanan beherler stok kültürler ile aynı laboratuvar ortamına alındı ve bireyler ölene kadar her gün aynı saatte kontrol edildi. Böylece ölen dişilerin erginleştikleri gün ile öldükleri gün arasında geçen süre ergin hayat uzunluğu olarak kaydedildi (Şekil 2.7).

2.4.7 Yumurta verimi

Termal strese maruz kalan son evre larvalardan erginleşen dişilerin hayat uzunluklarını takip etmek için alındıkları beherler (sargı beziyle kapatılmış ve üzerinde beyaz A4 kâğıdı bulunan) sıcaklık uygulamasının yumurta verimi üzerindeki etkisini belirlemek üzere stok kültürler ile aynı laboratuvar ortamına alındı. Beherlerin üzerine A4 kağıdının düşmesini engellemek için hava sirkülasyonunu önlemeyecek ağırlıkta bir şişe kapağı kondu. Hazırlanan bu düzenek ile dişi güvenin yumurta bırakma davranışını kolaylıkla gerçekleştirmesi sağlandı. Dişilerin bıraktığı yumurtalar (sargı bezi ve A4 kağıdı ile birlikte) birey ölene kadar her gün aynı saatte mikroskop (Olympus CX21, Japan) altında sayıldı. Her sayımda gerek duyulduğu takdirde dişilerin yumurta bıraktığı A4 kağıtları ile sargı bezleri yenisi ile değiştirildi. Sonuçta tek bir dişi bireyin hayatı boyunca bıraktığı yumurta sayısı (fekundite=verim) belirlendi (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Konak türlerin hayat döngüsü (yumurta, larva, pup, ergin); a) *G. mellonella*,
b) *A. grisella*.

2.5 Termal Stresin Konak Bağışıklığı ve Antioksidan Enzimlerine Etkisi

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella*'da bağışıklık ile antioksidan enzim sistemlerini nasıl etkilediğini araştırabilmek için öncelikle sabit ve değişken ısı şoku uygulamalarından elde edilen veriler kullanılarak sıcaklık belirleme çalışmaları yapıldı. Bunun için her iki konak türün termal strese verdiği tepkiler, LTemp değerleri ve sıcaklığa bağlı biyolojik özelliklerde görülen değişiklikler baz alınarak dört farklı sıcaklık değeri belirlendi. Bu doğrultuda deneylerde kullanılacak sıcaklıklara ilk olarak kontrol sıcaklığı olan 30 °C dahil edildi. Daha sonra *G. mellonella* için sabit ısı şoku altındayken larvaların erginleşebildiği sıcaklıklardan en yüksek sıcaklık olan 38 °C ile erginleşmenin olmadığı ilk sıcaklık olan 40 °C ve son olarak LTemp₅₀ değerine en yakın sıcaklık olan 42 °C seçildi. *A. grisella* için ise ısı stresi altındaki tek bir son evre larvanın yaşam süresi (saat) verilerine göre erginleşme olmadan ölümün görüldüğü ilk sıcaklık olan 34 °C ile bireylerin tamamının larva evresindeyken öldüğü ilk sıcaklık olan 36 °C ve son olarak bütün bireylerin larva halindeyken ölmesine rağmen kontrol sıcaklığındakiler ile benzer yaşam süresine sahip olmaları nedeniyle 38 °C seçildi. Sonuç olarak, termal stresin konak larvalarının bağışıklığı ile antioksidan ve fenoloksidaz aktivitelerine etkisini belirleyebilmek amacıyla *G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C; *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C'ler ile çalışılmaya karar verildi (Şekil 2.3). Ayrıca her bir sıcaklık değerinin zamana bağlı etkilerini görebilmek için larvalardan alınan hemolenf örnekleri 2, 24 ve 48 saat aralıklarla üç farklı

zaman dilimi için incelendi. Böylece konak bağışıklık sistemi kapsamında toplam hemosit sayısı (THS), farklı hemosit sayısı (FHS), mitotik indeks ve enkapsülasyon tepkisi ile antioksidan ve fenoloksidaz (PO) enzim aktivitelerinin analizleri yapıldı.

Bağışıklık sistemi ve enzim aktiviteleri ile ilgili bütün deneyler farklı zamanlarda ve farklı süksesif kültürlerden rastgele olarak seçilen son evre larvalar ile dört kez tekrar edildi. *G. mellonella* için hem bağışıklık sistemi hem de enzim deneylerinde her tekrarda dört adet larva olacak şekilde gruplar oluşturuldu (her uygulama için 16 larva). *A. grisella* için ise bağışıklık sistemi deneylerinde benzer şekilde her uygulama için 16 adet larva kullanılırken enzim aktiviteleri ile ilgili bütün deneyler her uygulamada 160 larva olacak şekilde dörderli gruplara ayrılarak oluşturuldu.

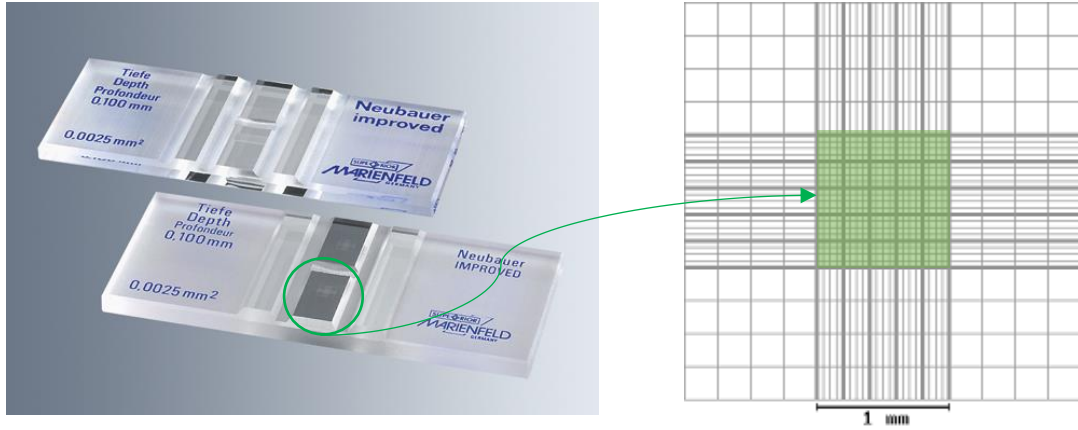
2.5.1 Bağışıklık sistemi deneyleri

2.5.1.1 Toplam hemosit sayısı

Termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* hemositlerinin sıcaklık faktöründen nasıl etkilendiğini belirleyebilmek için stok kültürlerden alınan benzer ağırlıktaki son evre larvalar (*G. mellonella*: 260±25 mg, *A. grisella*: 35.7±2.2 mg) 60x15 mm ölçülerindeki plastik petri kaplarına tek tek yerleştirildi. Daha sonra petriler bekletilmeden önceden sıcaklıkları ayarlanmış (*G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C; *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C) etüvlerin içine kondu ve son evre konak larvaları 2, 24 ve 48 saat süre ile ısı şokuna maruz bırakıldı. Sıcaklığa maruz kalma süreleri dolan bireyler etüvden çıkartılıp hiç bekletilmeden hemolenf örnekleri alındı. Bunun için son evre larvalar birinci sağ arka bacaklarının üzerinden lanset ile delindi ve 4 µL hemolenf mikrokapiller tüp (Sigma) yardımıyla toplandı. Elde edilen hemolenf örneği buzlu ortamda bekletilen ve içerisinde 36 µL antikoagulant (0.098 M NaOH, 0.186 M NaCl, 0.017 M Na₂EDTA ve 0.041 M Sitrik asit, pH= 4.5) bulunan 0.5 mL'lik ependorf tüplerine aktarıldı. 1:10 oranında seyreltilmiş hücre süspansiyonu Ependorf marka otomatik pipet (0.5-10 µL'lik) yardımıyla önce birkaç kez çekilip bırakılmak suretiyle karıştırıldı ve sonra hücre süspansiyonundan aynı mikropipet ile 10 µL alınarak 0.100 mm derinliğine sahip Neubauer hemositometresine (Improved Neubauer Hemocytometer; Superior, Germany) yüklendi (Şekil 2.8). THS'nı belirlemek için hücreler Olympus BX51 (Japan) marka mikroskop altında sayıldı ve 1 mL hemolenfteki hemosit sayısı olarak kaydedildi. Hemosit sayımı hemositometre lamının orta kısmında bulunan (Şekil 2.8'de yeşil renkle işaretli bölüm), 25 orta büyüklükte kareye ayrılmış ve her bir orta karenin de 16 küçük kareye bölündüğü 1 mm²'lik büyük karenin

tamamı sayılarak gerçekleştirildi. Mililitredeki THS'nın hesaplanması için kullanılan formül aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Hücre sayısı/mL} = \text{Yeşil karede sayılan hücre sayısı} * \text{sulandırma katsayısı} * 10^4$$



Şekil 2.8: Neubauer hemositometre lamı ve sayım alanı.

2.5.1.2 Farklı hemosit sayısı ve mitotik indeks

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella*'da son evre larvaların FHS'na olan etkisini belirleyebilmek için ilk olarak stok kültürlerden benzer ağırlıktaki (*G. mellonella*: 260±25 mg, *A. grisella*: 35.7±2.2 mg) bireyler seçildi. Daha sonra tek tek plastik petri kaplarına (60x15 mm) yerleştirilen larvalar önceden sıcaklıkları ayarlanmış (*G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C; *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C) etüvlerin içine kondu. Farklı sıcaklıklarda 2, 24 ve 48 saat süreyle tutulan larvalar sürelerin sonunda etüvden çıkartılıp %95'lik etanol (Sigma) ile silindi ve birinci sağ arka bacaklarının üzerinden lanset ile delindi. Her larvadan 5 µL olacak şekilde çıkan hemolenf mikropipet tüp yardımıyla toplandı. 5 µL'den daha az hemolenf çıkışı olan bireyler deneylerde kullanılmadı. Elde edilen hemolenf örnekleri önceden teknik alkol ile silinmiş lamlar üzerine damlatılıp yayma preparat yöntemi ile hazırlanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Hücreleri fikse etmek için kuruyan lamaların üzerini kaplayacak şekilde 0.2 mL metanol (Sigma) damlatıldı ve bu şekilde hazırlanan preparatlar oda sıcaklığında 10 dakika bekletildi. Sürenin sonunda lamaların üzerindeki kalan metanolün fazlası akıtılıp preparatlar tekrar kurumaya bırakıldı. Bu esnada hemositleri boyamak amacıyla Giemsa boya çözeltisi her uygulama için taze olarak hazırlandı. Bunun için ilk olarak 57 mL fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS-Sigma, pH = 7.4) 76x26 mm ebadındaki sekiz lamlık cam şale içerisine kondu ve üzerine 3 mL Giemsa boyası (Merck, Giemsa's Azure Eosine Methylene Blue Solution) yavaş yavaş eklendi. Bu şekilde hazırlanan boya çözeltisi kullanılmadan önce

oda sıcaklığında 10 dakika bekletildi. Metanol ile fiksasyon işlemi tamamlanan lamlar şale içerisindeki Giemsa boya çözeltisi içine alındı ve 15 dakika süre ile bu çözeltide tutularak boyanmaları sağlandı. Bu sürenin sonunda lamlar boya çözeltisinden tek tek çıkartılıp önce saf sudan daha sonra da PBS'den geçirildi ve dikey pozisyonda 24 saat süreyle kurumaya bırakıldı. FHS'nı belirlemek için kuruyan preparatlar Olympus BX51 marka mikroskop altında incelendi ve hücre farklılıkları Er ve ark. (2011)'nin çalışmasına göre belirlendi. Ayrıca mitotik evrede olan hemosit sayıları da tespit edildi. Her bir son evre larvadan alınan ve 5 µL'lik hemolenf ile hazırlanan preparatlardaki FHS ve mitotik indeks ile ilgili veriler yüzde (%) olarak değerlendirildi.

2.5.1.3 Enkapsülasyon durumu

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella*'da hemositlerin enkapsülasyon davranışına olan etkilerini incelediğimiz deneylerde konak larvaları aynı büyüklükte olmadığı için boyutları farklı olan boncuklar ile farklı hacimlerdeki cam mikroenjektörler kullanıldı. Yapılan ön çalışmalarda *G. mellonella* için enkapsülasyon hedefi olarak 40-120 µm çapındaki Sephadex DEAE A-25 (Sigma) kromatografi boncuklarının ve *A. grisella* için ise 20-50 µm çapındaki Sephadex G-100 Superfine (Sigma) boncuklarının uygun olduğu sonucuna varıldı. Ayrıca boncuk çözeltisinin larvalara enjeksiyonu sırasında *G. mellonella*'da değiştirilebilir uçlu ve 25 gauge iğnesi olan 50 µL'lik Hamilton marka mikroenjektör kullanılırken *A. grisella*'da 32 gauge iğnesi olan 5 µL'lik değiştirilebilir uçlu mikroenjektör kullanıldı.

Konak larvalarının hemositlerinde termal strese bağlı enkapsülasyon seviyeleri araştırılırken böcek içerisindeki kromatografi boncuklarının bulunmasını kolaylaştırmak amacıyla boncukların boyanması ile ilgili bazı çalışmalar yapıldı. Bunun için öncelikle boncuklar 0.5 µL'lik iki farklı ependorf tüpüne alındı. Daha sonra boncukların üzerine Sephadex DEAE A-25 için PBS içinde hazırlanan %1'lik Coomassie mavisi çözeltisi (Brilliant Blue G, Sigma) (Richards ve Parkinson, 2000) ve Sephadex G-100 Superfine için ise yine PBS içinde hazırlanan %1'lik Congo red çözeltisi (Sigma) (Wu ve ark., 2014) mikropipet yardımıyla ilave edildi. Bu şekilde hazırlanan boya çözeltilerinin içerisinde Sephadex A-25 boncukları 1 saat ve Sephadex G-100 boncukları ise 24 saat bekletilerek boncukların boyanmaları sağlandı. Bekleme süreleri sona erdiğinde ependorf tüplerinin tabanında boyanmış boncukların çökelti oluşturduğu görüldü. Ependorf tüplerinin üstündeki boya-PBS karışımından oluşan süpernatant kısmı ortamdan tamamen

uzaklaştırılana kadar çökelti üzerine PBS eklenerek boncukların yıkanması sağlandı (Richards ve Parkinson, 2000). Daha sonra PBS içindeki boyanmış boncuklardan oluşan stok boncuk çözeltileri konak son evre larvalarına enjekte edildi. Bunun için öncelikle stok kültürlerden benzer ağırlıktaki *G. mellonella* (260±25 mg) ve *A. grisella* (35.7±2.2 mg) son evre larvaları seçildi. Boncukların enjeksiyonunda *G. mellonella* için Sephadex A-25 stok boncuk çözeltisinden 10 µL (içerisinde 7-9 adet boncuk bulunan) ve *A. grisella* için ise Sephadex G-100 stok boncuk çözeltisinden 0.5 µL (boncuklar sayılmadığı için 0.1 µl'si boncuklu taban kısmından, 0.4 µl'si PBS'li üst kısımdan) olacak şekilde mikroenjektörler ile sıvı çekildi. Konak son evre larvaları boyanmış boncuk çözeltileri enjekte edildikten sonra tek tek plastik petri kaplarına (60x15 mm) kondu ve önceden sıcaklıkları ayarlanmış (*G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C; *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C) etüvlerin içine yerleştirildi. Farklı sıcaklıklarda 2, 24 ve 48 saat süreyle tutulan larvalar sürelerin sonunda etüvden çıkartılıp bekletilmeden Olympus SZ61 marka stereomikroskop altında 40'lık büyütmede disekte edildi. Larvaların tüm vücut bölgeleri incelenerek bulunan boyanmış boncuklar ince uçlu diseksiyon iğnesinin yardımıyla alınıp üzerinde bir damla PBS bulunan lamalar üzerine aktarıldı. Daha sonra lamel ile kapatılan preparatlar hemositlerin enkapsülasyon seviyelerini belirlemek üzere Olympus BX51 marka mikroskop altında incelendi.

2.5.2 Enzim aktivite deneyleri

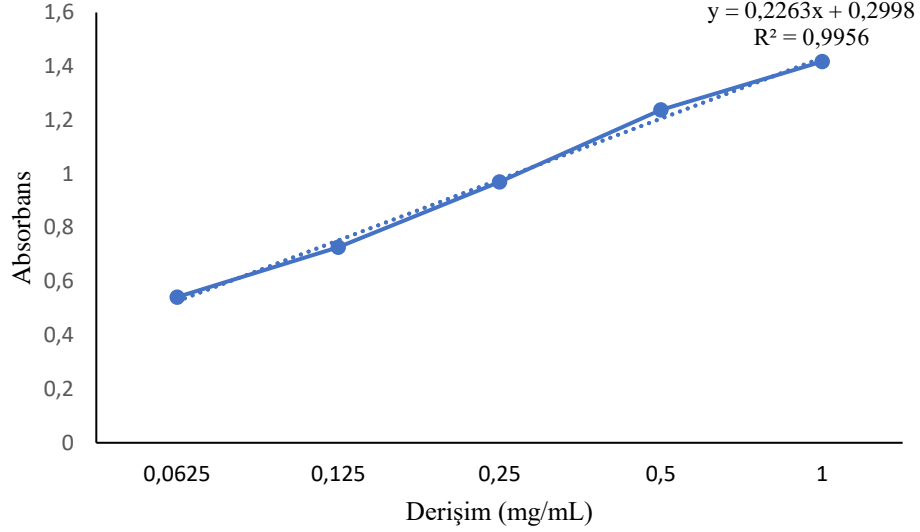
2.5.2.1 Hemolenf toplanması

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella*'da antioksidan ve PO enzim aktivitelerini nasıl etkilediğini araştırdığımız deneylerde konak larvaları aynı büyüklükte olmadığı için farklı hacimlerde hemolenf örnekleri toplanarak her iki tür için ayrı metotlar oluşturuldu. Bunun için öncelikle stok kültürlerden alınan benzer ağırlıktaki son evre larvalar (*G. mellonella*: 260±25 mg, *A. grisella*: 35.7±2.2 mg) 60x15 mm ölçülerindeki plastik petri kaplarına tek tek yerleştirildi. Daha sonra petri kapları önceden sıcaklıkları ayarlanmış (*G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C; *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C) etüvlerin içine kondu ve son evre konak larvaları 2, 24 ve 48 saat süre ile ısı şokuna maruz bırakıldı. Sıcaklığa maruz kalma süreleri dolduktan sonra bireyler etüvden çıkartılıp hiç bekletilmeden hemolenf örnekleri alındı. Bunun için son evre larvalar birinci sağ arka bacaklarının üzerinden lanset ile delindi ve çıkan hemolenf mikrokapiller tüp yardımıyla toplandı. Hemolenfler toplanırken antioksidan ve PO enzim aktiviteleri için farklı hacimlerde iki ayrı ependorf tüpü kullanıldı. Bunlardan 1.5 mL'lik ependorfa antioksidan enzim aktiviteleri için 180 µL PBS

ile 0.001 mg N-phenylthiourea (Sigma) eklenirken 0.5 mL'lik ependorf tüpüne ise PO aktivitesi için sadece 90 µL PBS kondu. Bu şekilde hazırlanan ependorflar bekletilmeden buzlu ortama alındı. *A. grisella*'da her larvadın 3 µL hemolenf elde edilebildi ve bunun 2 µL'si antioksidan enzim aktiviteleri için hazırlanan 1.5 mL'lik ependorf tüpüne; 1 µL'si ise PO aktivitesi için hazırlanan 0.5 mL'lik ependorf tüpüne aktarıldı. Sonuçta 10 adet son evre larvadın elde edilen toplam 30 µL hemolenf örneğinin 20 µL'si 1.5 mL'lik ependorf tüpünde, 10 µL'si ise 0.5 mL'lik ependorf tüpünde biriktirildi. *G. mellonella*'da tek bir larvadın 30 µL hemolenf elde edilebildi ve bunun 20 µL'si antioksidan enzim aktiviteleri için 1.5 mL'lik ependorf tüpüne ve 10 µL'si PO aktivitesi için 0.5 mL'lik ependorf tüpüne aktarıldı. Her iki tür için 32 adet farklı hacimdeki (1.5 mL'lik ve 0.5 mL'lik) ependorf tüpleri içerisinde toplanan hemolenf örnekleri 30 saniye vortekslelendikten sonra analizleri yapılmaya kadar -80°C'de (altı ayı geçmeyecek şekilde) muhafaza edildi. Enzim aktivite deneyleri 96 kuyucuklu mikropłaka okuyucu (Ltek Inno Microplate Spectrophotometer, Güney Kore) spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirildi.

2.5.2.2 Toplam protein tayini

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarının hemolenfinde termal strese bağlı olarak toplam protein (TP) miktarında görölen değişiklikler boyanın proteinlere bağlanarak renk oluşturması esasına dayanan Bradford (boya-bağlama) yöntemi ile belirlendi (Bradford, 1976). Bunun için daha önceden toplanan ve 1.5 mL'lik ependorflar içerisinde -80°C'de muhafaza edilen hemolenf örneklerinin oda sıcaklığında çözünmesi sağlandı ve örneklerin üzerinden 5 µL alınarak mikropłakaya aktarıldı. Aktarım sırasında ve deney boyunca örneklerin bozulmaması için ependorflar buzlu ortamda tutuldu. Daha sonra mikropłakadaki örneklerin üzerine 155 µL distile su ve 40 µL Bradford reaktifi (Coomassie brilliant blue G-250, Sigma) eklenerek oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyona bırakıldı. Sürenin sonunda örneklerin absorbans değerleri spektrofotometrede 595 nm'de ölçüldü. Standart eėri hazırlamak için sığır serum albümini (BSA, Sigma) kullanıldı ve farklı konsantrasyonlardaki standart proteinlerin absorbans değerlerine göre $y = 0,2263x + 0,2998$ regresyon doğrusu elde edildi (Şekil 2.9). Örneklerin absorbans değerleri regresyon denkleminde yerine konularak ve sulandırma katsayısı dikkate alınarak hemolenf TP değerleri mg/mL olarak belirlendi.



Şekil 2.9: Protein (BSA) derişimi ile absorbans arasındaki doğrusal ilişki.

2.5.2.3 Süperoksit dismutaz aktivite tayini

Termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarında hemolenfteki antioksidan enzimlerden süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin nasıl değiştiğini belirleyebilmek için Flohe ve Ötting metodu kullanıldı (Flohe ve Ötting, 1984). Bunun için toplam protein analizi sırasında 1.5 mL'lik ependorflar içerisinde kalan ve buzlu ortamda tutulan hemolenf örneklerinden alınan 6.5 µL süpernatant mikropalakaya aktarıldı. Daha sonra örneklerin üzerine önce 3.5 µL ksantin oksidaz ve ardından 190 µL SOD reaktifi (Ksantin-Sigma, Na₂EDTA-Sigma, Na₂CO₃-Sigma, BSA-Sigma ve nitro-blue tetrazolium (NBT)-Sigma karışımı) eklenerek oda sıcaklığında 20 dakika boyunca ışık altında inkübasyona bırakıldı. Sürenin sonunda kuyucuklardaki her bir örneğin üzerine 6.5 µL CuCl₂ (Sigma) çözeltisinden (0.8 mM) eklendi. Son olarak örneklerin 560 nm'deki absorbans değerleri ölçüldü ve SOD aktivitesi U/mg protein olarak kaydedildi.

2.5.2.4 Katalaz aktivite tayini

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarının hemolenfinden termal strese bağlı olarak antioksidan enzim sistemlerinin nasıl etkilendiği araştırılırken katalaz (CAT) aktivitesindeki değişiklikler için Aebi metodu kullanıldı (Aebi, 1984). Bunun için önceki analizlerden kalan ve 1.5 mL'lik ependorflar içerisinde buzlu ortamda tutulan hemolenf örneklerinden 6.5 µL süpernatant alındı ve mikropalaka kuyucuklarına aktarıldı. Daha sonra örneklerin üzerine 60 µL fosfat tamponlu tuz çözeltisi (50 mM) (Sigma, pH= 7.0) ve 133.5 µL H₂O₂ (30 mM) (Sigma) eklendi. Hemen ardından örnekler kinetik ölçümleri için

spektrofotometre cihazına kondu ve 10 saniyelik aralıklarla 2 dakika boyunca 240 nm'de absorbans değerleri alındı. Aktivite ile ilgili sonuçlar U/mg protein dk olarak kaydedildi.

2.5.2.5 Lipit peroksidaz düzeyi

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarında hemolenfteki antioksidan enzimlerden lipit peroksidaz (LPO) düzeylerini nasıl etkilediğini belirleyebilmek için Buege ve Aust metodu (Buege ve Aust, 1978) temel alındı. Bu bağlamda LPO düzeyini ölçmek için lipit peroksidasyonun son ürünü olan malondialdehit (MDA) seviyesi belirlendi. Bunun için öncelikle tiyobarbitürik asit (Sigma) (TBA) ve trikloroasetik asit (Sigma) (TCA)'den oluşan bir çözelti hazırlandı (TBA-TCA çözeltisi). Bu çözelti hazırlanırken öncelikle 7.5 g TCA ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 7.5 mL su içerisinde çözünene kadar karıştırıldı. TCA çözeltisi şeffaf bir görüntüye ulaşıncaya üzerine 0.187 g TBA eklendi ve çözelti 50 mL'ye HCl (Sigma) ile tamamlandı. TBA-TCA çözeltisi her deney sırasında taze olarak hazırlandı. Önceki analizlerden kalan ve 1.5 mL'lik ependorflar içerisinde buzlu ortamda tutulan hemolenf örneklerinden 75 µL süpernatant alınarak mikropłaka kuyucuklarına aktarıldı. Ardından örneklerin üzerine TBA-TCA çözeltisinden 150 µL eklenerek 90 °C'de 20 dakika boyunca inkübasyona bırakıldı. Böylece örneklerde oluşan TBA-MDA kompleksinin pembe renge dönüşmesi sağlandı. İnkübasyon süresinin sonunda örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakıldı. Son olarak örneklerin 532 nm'deki absorbans değerleri ölçüldü ve MDA seviyesi nmol/mg protein birimi olarak kaydedildi.

2.5.2.6 Fenoloksidaz aktivite tayini

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarının hemolenfinde termal strese bağlı olarak PO enzim aktivitesinde meydana gelen değişiklikleri belirleyebilmek için Brookman ve arkadaşlarının metodu (1989) temel alındı. Bunun için öncelikle 3,4-Dihidroksi-L-fenilalanin (L-DOPA, Sigma) çözeltisi 3 mg/mL olacak şekilde deney günü taze olarak hazırlandı (L-DOPA çözeltisi). Her mikropłaka için 16 mL L-DOPA çözeltisi gerektiğinden 48 mg L-DOPA önce 1 mL asetonda çözdürüldü ve kalan hacim PBS ile 16 mL'ye tamamlandı. Ardından daha önceden toplanan ve 0.5 mL'lik ependorf içerisinde -80°C'de muhafaza edilen hemolenf örneklerinin oda sıcaklığında çözünmesi sağlandı ve örneklerden 40 µL süpernatant alınarak mikropłaka kuyucuklarına aktarıldı. Daha sonra örneklerin üzerine buzlu ortamda tutulan L-DOPA çözeltisinden 160 µL eklendi. Hazırlanan örnekler PO aktivitesindeki değişimi belirleyebilmek için bekletilmeden

spektrofotometre cihazına kondu ve 30 dakika boyunca beşer dakika aralıklarla yedi kez 492 nm’de absorbans değerleri alındı. Aktivite ile ilgili sonuçlar mg protein⁻¹ min⁻¹ olarak kaydedildi.

2.6 Termal Stresin Konak-Parazitoit İlişkisine Etkisi

Termal stresin konak-parazitoit ilişkisi üzerindeki etkilerini araştırdığımız deneylerde konak olarak *G. mellonella* son evre larvaları kullanıldı. Deneylere ilk olarak sıcaklık belirleme çalışmaları ile başlandı. Bu doğrultuda konak son evre larvalarını sekiz farklı sıcaklık (30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C) altında değişken ısı şokuna maruz bıraktığımız uygulama sıcaklıklarından (Şekil 2.3) dört farklı sıcaklık değeri seçildi. Bunun için öncelikle en yüksek sıcaklık olan 44 °C ile deneylere başlandı ve daha sonra giderek dereceler düşürülüp *B. hebetor* dişilerinin hayatta kalıp kalmadıkları kontrol edildi. Böylece termal stresin konak-parazitoit ilişkisi içerisindeki olası etkilerinin incelendiği deneylerde kullanılacak olan ve *B. hebetor*’un hayatta kaldığı en yüksek üç sıcaklık (36, 38 ve 40 °C) değeri seçildi. Ayrıca kontrol sıcaklığı olan 30°C de deneylere dahil edildi (Şekil 2.3).

Termal stresin konak-parazitoit ilişkisi içerisinde *B. hebetor*’un biyolojik özelliklerini nasıl etkilediğini araştırabilmek için ilk olarak stok kültür kavanozlarından benzer ağırlıkta (260±25 mg) son evre *G. mellonella* larvaları seçildi. Daha sonra tek tek plastik petri kaplarına (60x15 mm) yerleştirilen larvalar değişken ısı şoku deneylerinde olduğu gibi 2 saat boyunca önceden belirlenmiş sıcaklıklara (30, 36, 38, 40 °C) ayarlanmış etüvlerin içinde bekletildi. Bu süre zarfında 60x15 mm boyutlarındaki başka bir plastik petriye birer tane *B. hebetor* dişi ve erkeği konularak çiftleşmeleri sağlandı ve erginler önceden %50 oranında çiçek balı çözeltisi emdirilmiş nohut büyüklüğündeki pamuklar ile beslendi. 2 saatin sonunda sıcaklığa maruz kalan konak larvası ile çiftleşmiş olan dişi parazitoit bir araya getirildi ve tekrar aynı sıcaklığa 2 saat daha maruz bırakılmak üzere etüvün içine yerleştirildi. Bu sürenin sonunda konak-parazitoit petrisi etüvden çıkartılıp parazitoit stok kültürleriyle aynı ortama kondu ve dişi birey ölene kadar her gün aynı saatte kontrol edildi. Dişinin konak üzerine bıraktığı yumurtalar her gün mikroskop (Olympus CX21, Japan) altında sayılarak dişi bireyin hayatı boyunca bıraktığı toplam yumurta sayısı belirlendi (Şekil 2.10a). Sayılan yumurtaların tekrar sayılmaması için renkli asetatlı kalemler ile petrilerin üzeri işaretlenip numaralandırıldı (Şekil 2.10b). Yumurtaların numaralandırılması sayesinde yumurtaların çatlama süresi ile bu yumurtalardan elde edilen

birinci nesil *B. hebetor* bireylerinin bazı biyolojik özelliklerinin (koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi, erginleşme yüzdesi, eşey oranı ve ergin hayat uzunluğu) termal stresten nasıl etkilendiği tespit edilebildi. Bu bağlamda *B. hebetor*'un konak üzerine bıraktığı yumurtalar her gün kontrol edilerek yumurtadan çıkan birinci nesil parazitoitlerin gelişimleri ayrıntılı olarak incelendi. Öncelikle petriyelerdeki numaralandırılan yumurtalardan çıkan larvaların petri içinde bir süre hareket edip tutunabilmeleri için beklendi. Daha sonra tutunan larvaların yumurtadan çıktıkları günden tam bir koza oluşturdukları güne kadar geçen süre koza örme süresi (gün) olarak kaydedildi (Şekil 2.11a). Koza örüp bir noktaya sabitlenen larvaların sabitlendiği gün ile pup olana kadar geçen süre puplaşma süresi (gün) olarak kabul edildi (Şekil 2.11b). Birinci nesil *B. hebetor* larvalarının pup evresine girmesinin ardından puplaştığı gün ile ergin bireyin çıktığı güne kadar geçen süre pupal periyot (gün) olarak değerlendirildi (Şekil 2.12). Konağı ile birlikte termal strese maruz kalan ana dişi *B. hebetor*'un konak üzerine bıraktığı her bir yumurtanın bırakıldığı gün ile birinci nesil erginlerin çıktığı güne kadar geçen süre ise ergin öncesi gelişim süresi (gün) olarak kaydedildi (Şekil 2.13). Ayrıca konak üzerindeki yumurtalardan çıkan ergin birey sayıları toplanarak erginleşme yüzdesi de hesaplandı. Erginleşen her bir birinci nesil bireyinin eşeyi belirlenerek dişi ve erkek oranı tespit edildi. Eşeyleri belirlenen ergin parazitoitler tek tek plastik petri kaplarına (60x15 mm) yerleştirilerek erginleştikleri gün ile öldükleri gün arasında geçen süre ise çiftleşmemiş ergin hayat uzunluğu olarak kaydedildi (Şekil 2.13). Konak-parazitoit ilişkisi ile ilgili bütün deneyler farklı zamanlarda ve farklı süksesif kültürlerden rastgele olarak seçilen son evre larvalar ile dört kez tekrar edildi (her uygulama için 16 larva).



(a)



(b)

Şekil 2.10: a) Dişi *B. hebetor*'un konağa bıraktığı yumurtalar, b) Birinci nesil bireylerin petri üzerinde numaralandırılması.

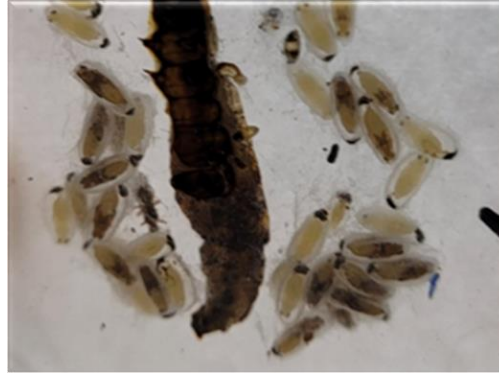


(a)



(b)

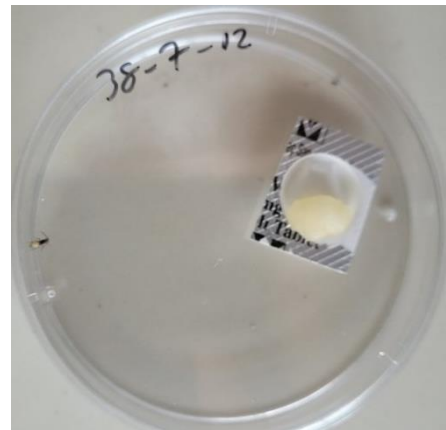
Şekil 2.11: a) Parazitlemiş konak, *B. hebetor* larvaları ve larvaların koza örme davranışı, b) *B. hebetor* kozaları ve puplaşma süreci.



Şekil 2.12: Parazitlemiş konak ve *B. hebetor*'un koza içindeki ergin öncesi gelişim evreleri.



(a)



(b)

Şekil 2.13: Birinci nesil *B. hebetor* bireylerinin hayat uzunluğu; a) Dişi birey, b) Erkek birey.

2.7 İstatistik

Sabit ve değişken ısı şokunun *G. mellonella* ve *A. grisella* ölüm verileri üzerindeki etkisi LTemp değerleri (LTemp_{50, 60, 70, 80, 90} ve 99) ile %95 güven seviyesinde probit analizi kullanılarak belirlendi. Güvelerin LTime değerleri (LTime₅₀ ve 99) ise Kaplan-Meier yöntemine göre hesaplandı. *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın kümülatif mortalite (%95 CI) değerleri ile konak canlıların (*G. mellonella* ve *A. grisella*) ve parazitoitin biyolojik parametreleri tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile test edildi. Varyansların homojenliğine göre ortalamaların karşılaştırılmasında Tukey post hoc (HSD) testi kullanıldı. Verilerin analizi SPSS paket programı (Windows için sürüm 18.0, SPSS Science, Chicago, IL) ile yapıldı. Sonuçlar $P < 0.05$ olduğunda istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

3. BULGULAR

3.1 Yüksek Sıcaklık ve Mortalite

Termal strese maruz kalan *G. mellonella* (Tablo 3.1) ve *A. grisella* (Tablo 3.2) son evre larvaları için öncelikle letal, suboptimum ve optimum sıcaklık değerleri belirlendi. Bunun için sabit ısı şoku altındayken bireyler her gün aynı saatte kontrol edildi ve her iki tür için de ayrı ayrı sıcaklıklara karşı verdikleri tepkiler kayıt altına alındı. Sonuçlar her iki böcek için letal bölgede benzerlik gösterse de suboptimum ve optimum sıcaklıklarda belirgin şekilde farklılıklar vardı. Sabit ısı şoku altında hem *G. mellonella* hem de *A. grisella* için 50 °C ve üstündeki sıcaklıklar letal sıcaklıklar olarak belirlendi. Ayrıca *G. mellonella* için 44-40 °C arası suboptimum ve 38-30 °C aralığı ise optimum sıcaklıklar olarak tespit edildi. Tablo 3.1'e göre letal sıcaklıklarda (50 °C \leq) larvaların 40-80 dk içinde; 44, 42 ve 40 °C'leri içeren suboptimum sıcaklıklarda ise sırasıyla 20-24 saat, 10-30 gün ve yaklaşık bir ay içinde öldükleri kaydedildi. *G. mellonella* için maksimum gelişme hızına sahip olduğu dereceler optimum sıcaklık değerleri (38-30 °C) olarak belirlendi. *A. grisella*'da ise 44-36 °C arası suboptimum ve 34-30 °C aralığı ise optimum sıcaklıklar olarak belirlendi. Tablo 3.2 incelendiğinde *A. grisella* son evre larvalarının letal sıcaklıklarda (50 °C \leq) 20-120 dk içinde; suboptimum sıcaklıklardan 44, 42, 40 ve 38 °C'lerde sırasıyla 1-2 saat, 8-10 saat, 9-10 saat ve 6-15 gün içinde öldükleri kaydedildi. Suboptimum sıcaklıklardan 36 °C'de ise larvaların günlerce (neredeyse 1 ay) larva halinde kaldığı ve nihayetinde bu evrede öldükleri gözlemlendi.

Tablo 3.1: *G. mellonella* son evre larvalarının termal strese verdiği tepkiler.

DOZ	SICAKLIK (°C)	ETKİSİ
LETAL	50 \leq	Dakikalar içinde öldürür (40-80 dakika).
SUBOPTIMUM	44	Gelişimi durdurur. Birey larva halinde en fazla 24 saat içinde ölür (20-24 saat).
SUBOPTIMUM	42	Gelişimi durdurur. Birey günlerce larva halinde yaşayabilir (10-30 gün).
SUBOPTIMUM	40	Gelişimi durdurur. Birey günlerce larva halinde yaşayabilir (bazen 1 ay larva halinde kalabilir).
OPTIMUM	38-30	Gelişim için uygun sıcaklık.

Tablo 3.2: *A. grisella* son evre larvalarının termal strese verdiği tepkiler.

DOZ	SICAKLIK (°C)	ETKİSİ
LETAL	50 ≤	Dakikalar içinde öldürür (20-120 dakika).
SUBOPTIMUM	44	1-2 saat içinde öldürür.
SUBOPTIMUM	42	Gelişimi durdurur. Saatler içinde öldürür (8-10 saat).
SUBOPTIMUM	40	Gelişimi durdurur. Saatler içinde öldürür (9-10 saat).
SUBOPTIMUM	38	Gelişimi durdurur. Günler içinde öldürür (6-15 gün).
SUBOPTIMUM	36	Gelişimi durdurur. Birey günlerce larva halinde yaşayabilir (bazen 1 ay larva halinde kalabilir).
OPTIMUM	34-30	Gelişim için uygun sıcaklıklar.

Tablo 3.3 ve 3.4'te her konak türün (*G. mellonella* ve *A. grisella*) letal, suboptimum ve optimum sıcaklıklarda sabit ısı şokuna maruz kalan tek bir son evre larvası için yaşam süresi değerleri (termal strese maruz kaldığı andan larva veya ergin olarak öldüğü ana kadar geçen süre) verilmektedir. Tablolar incelendiğinde sabit ısı şokuna 30-38 °C aralığında maruz kalan *G. mellonella* ve 30-32 °C'lerde maruz kalan *A. grisella* son evre larvalarının tamamının hayat döngülerini tamamladığı ve ergin safhaya ulaştıkları görülmektedir. Ayrıca 34 °C'de sabit ısı şokuna maruz kalan *A. grisella* son evre larvalarından %36.67'sinin erginleştiği, %63.33'nün ise ergin öncesi evrede (%33.33'ü larva evresinde, %30'u pup evresinde) öldüğü tespit edildi. Bu nedenle *A. grisella* için 30 ve 32 °C'lere ek olarak 34 °C'deki bireylerin %36.67'sinin yaşam süresi verileri son evre larvadan-ergin ölümüne kadar alınırken %63.33'ünün ise yaşam süresi larvaların ergin olmadan öldükleri güne kadar alınabildi. Ayrıca benzer şekilde 36, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C'lerdeki yaşam süresi verileri de larvaların öldükleri güne kadar alınabildi (Tablo 3.4). Ek olarak, Tablo 3.3 incelendiğinde *G. mellonella* için 30, 32, 34, 36 ve 38 °C'lerdeki yaşam süresi verilerinin son evre larvadan-ergin ölümüne kadar geçen süre olarak değerlendirildiği; 40, 42, 44 ve 50 °C'deki verilerin ise larvaların öldükleri güne kadar geçen süre olarak kaydedildiği görülmektedir.

Tablo 3.3: Termal stresin *G. mellonella* son evre larvalarının yaşam süresine etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Yaşam süresi (saat)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	0	504 - 1608	913.60±59.46a
32	30	0	504 - 1056	788.00±33.59b
34	30	0	408 - 792	615.20±18.36cd
36	30	0	480 - 1104	708.00±27.47bc
38	30	0	360 - 816	571.20±27.41de
40	30	30	336 - 720	492.00±20.25de
42	30	30	240 - 720	476.80±29.65e
44	30	30	20 - 24	20.90±0.19f
50	30	30	0.66 - 1.3	0.99±0.05f

*Aynı sütunda (a-f) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0.05$, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olmadan ölen birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.4: Termal stresin *A. grisella* son evre larvalarının yaşam süresine etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Yaşam süresi (saat)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	0	216 - 312	252.00±5.24a
32	30	0	240 - 312	272.80±3.35ab
34	30	19	144 - 408	288.00±12.86b
36	30	30	216 - 480	322.40±13.55c
38	30	30	144 - 360	245.60±11.77a
40	30	30	9 - 18	11.80±0.55d
42	30	30	8 - 12	10.20±0.20d
44	30	30	1 - 2	1.40±0.091d
50	30	30	0.3 - 2	0.74±0.11d

*Aynı sütunda (a-d) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0.05$, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olmadan ölen birey sayısı, SH; Standart hata.

G. mellonella son evre larvalarının termal strese bağlı yaşam süreleri (saat olarak) incelendiğinde 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda (32 °C hariç) önemli oranda kısalma olduğu Tablo 3.3'ten görülmektedir ($F= 114.576$; $sd= 8, 261$; $P=0.000$). Ayrıca ergin çıkışının olduğu termal stres grupları (30, 32, 34, 36 ve 38 °C) kendi içinde karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak 30 °C'ye göre 32 °C hariç 34, 36 ve 38 °C'lerdeki yaşam sürelerinin (larvadadan-ergin ölümüne) anlamlı derecede daha kısa olduğu da tespit edildi. Ek olarak, 32 °C'ye göre 34, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C'lerdeki ve 36 °C'ye göre 38, 40, 42, 44 ve 50 °C'lerdeki kısaltmalar da istatistiksel açıdan anlamlıydı. Ancak, 38 °C'de hayat döngüsünü tamamlayıp ergin olarak ölen bireylerin yaşam süreleri ile 40-42 °C'lerde larva halinde ölen bireylerin yaşam süreleri arasında anlamlı bir fark yoktu. Öte yandan, 44 ve 50 °C'ye göre diğer tüm sıcaklıklarda yaşam süreleri önemli oranda daha uzunken 44 °C'ye göre 50 °C'deki kısalma istatistiksel olarak anlamlı değildi (Tablo 3.3).

A. grisella'da ergin çıkışının olduğu termal stres grupları (30, 32 ve 34 °C) kendi arasında incelendiğinde, istatistiksel olarak 30 °C'ye göre sadece 34 °C'deki yaşam süresi anlamlı

derecede daha uzundu (Tablo 3.4). Bununla beraber, 30 °C’de %100 olan erginleşme oranı 34 °C’de %36.67’ye kadar düştü. Ayrıca 30 °C’ye göre 36 °C’deki yaşam süresinde önemli oranda bir artış olsa da 36 °C’deki hiçbir birey ergin evreye ulaşmadan öldü. Öte yandan, 30 °C’ye kıyasla 38 °C’de yaşam süresinde görülen kısalma istatistiksel olarak anlamlı değildi. Ancak, 30 °C’de bütün bireyler hayat döngülerini tamamlarken 38 °C’deki bireyler hayatlarının tamamını larva evresinde geçirerek öldüler. Ayrıca 34 ve 36 °C’ye göre 38 °C’de yaşam süresinde görülen kısalma istatistiksel açıdan da anlamlıydı. Ancak, 36 ve 38 °C’de bütün bireyler larva evresinde ölürken 34 °C’de bu oran %33.33 oldu. Son olarak 40, 42, 44 ve 50 °C’deki larvaların yaşam süreleri diğer tüm sıcaklıklara göre önemli oranda daha kısaydı (F= 354.590; sd= 8, 261; P=0.000).

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarının sabit ısı şokuna verdikleri tepkiler (letal, suboptimum ve optimum) belirlendikten sonra her iki böcek için de eşik süre olarak 30 °C’deki ergin öncesi gelişim süresi ortalamaları baz alınarak LTemp (Tablo 3.5 ve 3.7), LTime (Tablo 3.6 ve 3.8) ve kümülatif mortalite (CI) (Şekil 3.1 ve 3.2) değerleri belirlendi. *G. mellonella*’nın 30 °C’deki ergin öncesi gelişim süresi ortalaması 571.2 saat (23.8 gün) olarak tespit edildi ve LTemp_(50,60,70,80,90 ve 99) değerlerini belirleyebilmek için probit ölüm doğrularından yararlandı. Tablo 3.5 incelendiğinde LTemp₅₀ ve LTemp₉₉’un sırasıyla 42.645 °C (%95 güven limitleri, 40.874-44.853) ve 45.137 °C (%95 güven limitleri, 43.719-68.471) olduğu görülmektedir. LTime değerleri termal stres altında larval ölümün gözlemlendiği sıcaklıklar (40, 42, 44 ve 50 °C) için Kaplan Meier analizi ile hesaplandı (Tablo 3.6). Bu analiz yapılırken ergin öncesi gelişim süresi ortalaması eşik süre olarak kullanıldı ve *G. mellonella* larvalarının %50 ve %99’unu öldüren zaman değerleri tespit edildi. Tablo 3.6 incelendiğinde LTime₅₀ değerinin 40 °C’de 504 saat (21 gün), 42 °C’de 552 saat (23 gün), 44 °C’de 21 saat (0.875 gün) ve 50 °C’de ise 0.83 saat (0.03 gün) olduğu görüldü. Ayrıca LTime₉₉ değeri en düşük olan sıcaklık ise 0.99 saat (0.04 gün) ile 50 °C oldu.

Tablo 3.5: *G. mellonella*’da termal strese bağlı LTemp değerleri.

	N	X ² (sd)	Eğim ± SH	Öldürücü Sıcaklıklar (°C) (Min.-Mak.)
Sıcaklık uygulaması (°C)	240	6.181(3)	94.314±18.097	LTemp ₅₀ = 42.645 (40.874–44.853)
				LTemp ₆₀ = 42.909 (41.662–46.418)
				LTemp ₇₀ = 43.194 (42.176–48.549)
				LTemp ₈₀ = 43.530 (42.572–51.422)
				LTemp ₉₀ = 44.000 (42.974–55.890)
				LTemp ₉₉ = 45.137 (43.719–68.471)

(N: Toplam birey sayısı; sd: Serbestlik derecesi, Y(probit)=_{-71.961+44.783} (log doz).

Tablo 3.6: *G. mellonella*'da termal strese bağılı LTime değerleri.

Öldürücü zaman tahminleri (saat)						
Sıcaklık(°C)	N	n	LTime ₅₀ (%95 CI)		LTime ₉₉ (%95 CI)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
40	30	22	458.454-549.546	504.000±23.238	466.926-565.074	516.000±25.038
42	30	19	427.841-676.159	552.000±63.347	437.833-573.367	505.600±34.575
44	30	30	20.757-21.243	21.000±0.124	20.532-21.268	20.900±0.188
50	30	30	0.748-0.912	0.830±0.042	0.894-1.086	0.990±0.049

*Zaman değerleri saat cinsinden olup, deneklerin %50'sinin ölmesi için geçen süre (LTime₅₀) ile %99 (LTime₉₉)'unun ölmesi için geçen süre ve standart hata (SH) verileri Kaplan-Meier yöntemine göre hesaplandı. N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ölen birey sayısı, SH; Standart hata.

A. grisella'nın 30 °C'deki ergin öncesi gelişim süresi ortalaması 252 saat (10.5 gün) olarak tespit edildi ve LTemp_(50,60,70,80,90 ve 99) değerlerini belirleyebilmek için probit ölüm doğrularından yararlanıldı. Tablo 3.7 incelendiğinde 252 saatlik (10.5 gün) termal stres sonucunda LTemp₅₀ ve LTemp₉₉'un sırasıyla 36.615 °C (%95 güven limitleri, 34.292-38.453) ve 43.016 °C (%95 güven limitleri, 40.182-57.585) olduğu görülmektedir. LTime değerleri termal stres altında larval ölümün gözlemlendiği sıcaklıklar (34, 36, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C) için Kaplan Meier analizi ile hesaplandı (Tablo 3.8). Bu analiz yapılırken ergin öncesi gelişim süresi ortalaması eşik süre olarak kullanıldı ve *A. grisella* larvalarının %50 ve %99'unu öldüren zaman değerleri tespit edildi. Tablo 3.8 incelendiğinde LTime₅₀ değerinin 34 ve 38 °C'ler için 240 saat (10 gün) olduğu, LTime₉₉ değerinin ise sırasıyla 281 (11.71 gün) ve 274 saat (11.42 gün) olduğu görüldü. 36 °C için LTime₉₉ değeri 423 saat (17.63 gün) olarak belirlenirken LTime₅₀ değeri hesaplanamadı. Sıcaklıklar 40 °C'ye çıktığında LTime₅₀ 11 saat (0.46 gün) iken LTime₉₉ 11.8 saat (0.49 gün) oldu. Ayrıca 42 °C'de LTime₅₀ 10 saat (0.42 gün) iken LTime₉₉ 10.2 saat (0.425 gün), 44 °C'de LTime₅₀ 1 saat (0.04 gün) iken LTime₉₉ 1.4 saat (0.06 gün) ve son olarak 50 °C'de LTime₅₀ 0.5 saat (0.02 gün) iken LTime₉₉ 0.7 saat (0.03 gün) olarak belirlendi.

Tablo 3.7: *A. grisella*'da termal strese bağılı LTemp değerleri.

Sıcaklık Uygulaması (°C)	N	X ² (sd)	Eğim ± SH	Öldürücü Sıcaklıklar (°C) (Min.- Mak.)
				LTemp ₅₀ = 36.615 (34.292–38.453)
				LTemp ₆₀ = 37.263 (35.391–39.612)
				LTemp ₇₀ = 37.970 (36.334–41.197)
				LTemp ₈₀ = 38.813 (37.202–43.442)
				LTemp ₉₀ = 40.013 (38.183–47.075)
				LTemp ₉₉ = 43.016 (40.182–57.585)

(N: Toplam birey sayısı; sd: Serbestlik derecesi, Y(probit)= $_{-51.993+33.251}$ (log doz).

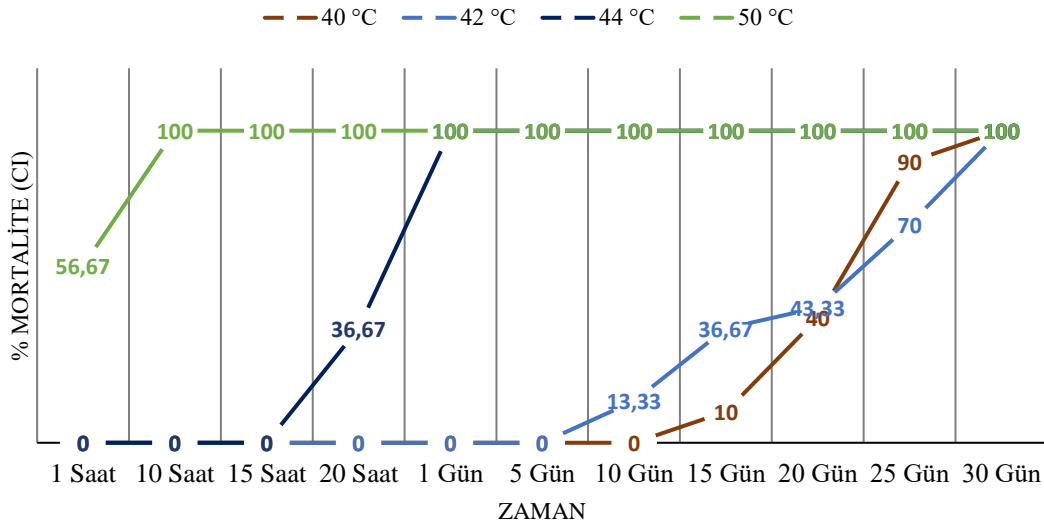
Tablo 3.8: *A. grisella*'da termal strese bağlı LTime değerleri.

Öldürücü zaman tahminleri (saat)						
Sıcaklık(°C)	N	n	LTime ₅₀ (% 95 CI)		LTime ₉₉ (% 95 CI)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
34	30	13	--	240.000--	239.554-321.676	280.615±20.95
36	30	7	--	--	386.328-460.072	423.200±18.81
38	30	16	--	240.000±	244.021-304.779	274.400±15.50
40	30	30	10.525-11.475	11.000±0.24	10.711-12.889	11.800±0.56
42	30	30	9.468-10.532	10.000±0.27	9.797-10.603	10.200±0.21
44	30	30	--	1.000±	1.222-1.578	1.400±0.09
50	30	30	0.430-0.570	0.500±0.036	0.527-0.951	0.739±0.11

*Zaman değerleri saat cinsinden olup, deneklerin %50'sinin ölmesi için geçen süre (LTime₅₀) ile %99 (LTime₉₉)'unun ölmesi için geçen süre ve standart hata (SH) verileri Kaplan-Meier yöntemine göre hesaplandı. N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ölen birey sayısı, SH; Standart hata, --; Tahmin edilemeyen CI.

Termal stres altındaki *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın kümülatif mortalite verileri sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmektedir. *G. mellonella*'nın deneyler sırasındaki ölüm verileri dikkate alındığında kümülatif ölüm hızının eşik sınır süreleri 1, 10, 15 ve 20 saat ile 1, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 gün olarak belirlendi. Termal strese bağlı kümülatif ölüm verileri istatistiksel açıdan incelendiğinde, larval ölümün olduğu bütün sıcaklıklarda anlamlı değişiklikler olduğu görüldü. 40 (F= 96.120; sd= 10, 22; P=0.000) ve 42 °C'lerde (F= 395.867; sd= 10, 22; P=0.000) ilk ölüm günler sonra meydana gelirken, 44 (F= 167.615; sd= 10, 22; P=0.000) ve 50 °C'lerde (F= 169.00; sd = 10, 22; P=0.000) ise saatler içinde larvaların öldüğü görüldü. Şekil 3.1 incelendiğinde 40 °C'de ilk ölümün 15. günde gerçekleştiği ve ölüm oranının ise %10 olduğu görülmektedir. Ancak, belirlenen artış 1 saat-10 gün arasındaki zamanlarda görülen oranlara göre istatistiksel olarak anlamlı değildi (P>0.05). Ayrıca kümülatif ölüm oranlarının 20. günde %40'a, 25. günde %90'a ve 30. günde %100'e ulaştığı da görüldü (Şekil 3.1). 40 °C'de zamana bağlı olarak ölüm oranlarında görülen artışlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, 1 saat-15 gün arasındaki zamanlarda görülen ölüm oranlarına göre 20, 25 ve 30. günlerdeki oranlar anlamlı derecede daha yüksekti (P<0.05). Ayrıca 20. güne göre 25 ve 30. günlerde gözlenen artış da anlamlıydı (P<0.05). 42 °C'deki kümülatif ölüm verileri incelendiğinde ilk ölümün 10. günde gerçekleştiği ve ölüm oranının ise %13.33 olduğu Şekil 3.1'den görülmektedir. Bu artış oranı 1 saat-5 gün arasındaki zamanlarda görülen oranlara göre istatistiksel olarak da anlamlıydı (P<0.05). Ayrıca kümülatif ölüm oranlarının 15. günde %36.67'ye, 20. günde %43.33'e, 25. günde %70'e ve 30. günde ise %100'e ulaştığı ve 1 saat-5 gün arasındaki zamanlarda görülen ölüm oranlarına göre söz konusu artışların önemli olduğu görüldü. Ek olarak, 42 °C'de 10. güne göre 15, 20, 25 ve 30. günlerde gözlenen artışlar, 15 ve 20. güne göre 25 ve 30. günlerdeki artışlar ile 25. güne göre 30.

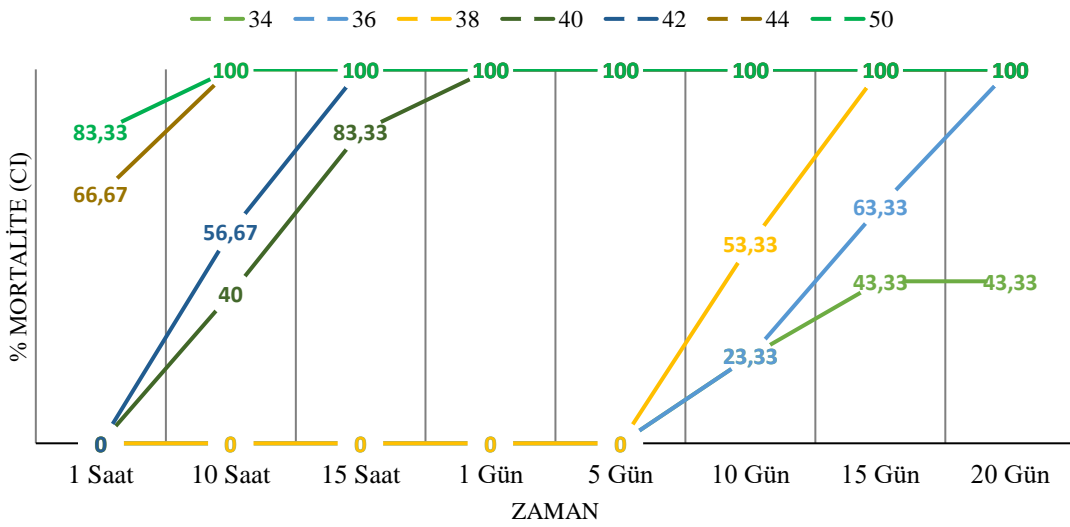
gündeki artış da anlamlıydı ($P<0.05$). Saatler içerisinde ölümün gözlemlendiği sıcaklıklardan biri olan 44 °C için ilk ölüm 20. saatte %36.67 oranında oldu (Şekil 3.1) ve bu oran hem hiç ölümün olmadığı 1, 10 ve 15. saatlerdeki değerlere göre hem de %100 ölümün olduğu 1-30. gün arasındaki zamanlarda görülen değerlere göre istatistiksel olarak da anlamlıydı ($P<0.05$). 1. saatte ilk ölümün gözlemlendiği 50 °C'deki kümülatif ölüm verileri incelendiğinde, ilk saatteki ölüm oranının %56.67 olduğu (Şekil 3.1) ve bu oranın %100 ölümün görüldüğü diğer bütün zamanlara göre önemli derecede daha düşük olduğu belirlendi.



Şekil 3.1: *G. mellonella*'da termal stresin ortalama kümülatif mortaliteye (% 95 CI) etkisi.

A. grisella'nın deneyler sırasındaki ölüm verileri dikkate alındığında kümülatif ölüm hızının eşik sınır süreleri 1, 10 ve 15 saat ile 1, 5, 10, 15 ve 20 gün olarak belirlendi. Termal strese bağlı kümülatif ölüm verileri istatistiksel açıdan incelendiğinde, 44 ve 50 °C hariç larval ölümün gerçekleştiği diğer bütün sıcaklıklarda anlamlı değişiklikler olduğu görüldü. 34 ($F= 95.571$; $sd= 7, 16$; $P=0.000$), 36 ($F= 36.177$; $sd= 7, 16$; $P=0.000$) ve 38 °C'lerde ($F= 217.796$; $sd= 7, 16$; $P=0.000$) ilk ölüm günler sonra meydana gelirken, 40 ($F= 22.307$; $sd= 7, 16$; $P=0.000$) ve 42 °C'lerde ($F= 239.393$; $sd= 7, 16$; $P=0.000$) saatler içinde ve 44 ($F= 1.000$; $sd= 7, 16$; $P=0.466$) ve 50 °C'lerde ise ($F= 1.000$; $sd= 7, 16$; $P=0.466$) larvaların 1 saat içinde öldüğü görüldü. Şekil 3.2 incelendiğinde 34, 36 ve 38 °C'lerde ilk ölümün 10. günde gerçekleştiği ve ölüm oranlarının ise sırasıyla %23.33, %23.33 ve %53.33 olduğu görülmektedir. 34 ve 38 °C'lerde 10. günde görülen artış oranları 1 saat-5 gün arasındaki zamanlarda görülen oranlara göre istatistiksel olarak anlamlıyken ($P<0.05$), 36 °C için söz konusu artışın (%23.33) anlamlı olmadığı belirlendi ($P>0.05$). Kümülatif

ölüm oranlarının 15. günde 34 °C'de %43.33'e ve 36 °C'de %63.33'e yükselirken 38 °C de ise %100'e ulaştığı görüldü. Ayrıca 20. günün sonunda ölüm oranları 34 °C'de %43.33'te sabit kalırken 36 °C'de ise %100'e ulaştı (Şekil 3.2). 34, 36 ve 38 °C'lerde zamana bağlı olarak ölüm oranlarında görülen artışlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, 1 saat-10 gün arasındaki zamanlarda görülen ölüm oranlarına göre 15 ve 20. günlerdeki oranlar anlamlı derecede daha yüksekti ($P<0.05$). Ayrıca 36 °C'de 15. güne göre 20. günde gözlenen artış da anlamlıydı ($P<0.05$). Saatler içerisinde ölümün gözlemlendiği sıcaklıklar olan 40 ve 42 °C'lerdeki kümülatif ölüm verileri incelendiğinde ilk ölümün 10. saatte gerçekleştiği ve ölüm oranlarının ise sırasıyla %40.00 ve %56.67 olduğu Şekil 3.2'den görülmektedir. Kümülatif ölüm oranları 15. saatte 40 °C'de %83.33'e yükselirken 42 °C'de ise %100'e ulaştı. Ayrıca 40 °C'deki ölüm oranının 1. günün sonunda %100'e ulaştığı da görüldü. 40 ve 42 °C'lerde zamana bağlı olarak ölüm oranlarında görülen artışlar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, hem hiç ölümün olmadığı 1. saate göre hem de ilk ölümün görüldüğü 10. saate göre diğer bütün zamanlardaki artışların anlamlı olduğu ($P<0.05$) tespit edildi. 34, 36, 38, 40 ve 42 °C'lerde ilk saatin sonunda hiçbir ölüm gözlenmezken 44 ve 50 °C'lerde ise ilk ölüm 1. saatte gerçekleşti ve ölüm oranlarının sırasıyla %66.67 ve %83.33 olduğu görüldü. Ayrıca 44 ve 50 °C'lerdeki ölüm oranlarının 10. saatin sonunda %100'e ulaştığı da tespit edildi (Şekil 3.2). Ancak, 44 ve 50 °C'lerde zamana bağlı olarak kümülatif ölüm oranlarında görülen değişimler istatistiksel olarak anlamlı değildi ($P>0.05$).



Şekil 3.2: *A. grisella*'da termal stresin ortalama kümülatif mortaliteye (%95 CI) etkisi.

3.2 Konak Biyolojik Özellikleri

Termal stresin konak türlerin (*G. mellonella* ve *A. grisella*) biyolojik özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmak için yüksek sıcaklık faktörü sabit ve değişken ısı şoku olmak üzere iki farklı şekilde uygulandı. Bunun için her iki konak böceğin hayat döngülerini tamamlayıp ergin safhaya ulaştıkları sıcaklık değerleri belirlendi. Bu değerler *G. mellonella* son evre larvaları için sabit ısı şoku deneylerinde 30, 32, 34, 36 ve 38 °C ve değişken ısı şoku deneylerinde 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C oldu. *A. grisella* son evre larvaları için ise sabit ısı şoku deneylerinde 30, 32 ve 34 °C ve değişken ısı şoku deneylerinde 30, 32, 34, 36, 38 ve 40 °C'ler ile çalışıldı (Tablo 3.9). Sabit ve değişken ısı şokuna maruz kalan son evre konak larvalarının erginleşebildikleri sıcaklıklar için termal stresin koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi, ergin ağırlığı, ergin hayat uzunluğu ve yumurta verimi gibi bazı biyolojik özellikleri nasıl etkilediği Tablo 3.10-21'de detaylı bir şekilde verilmektedir.

Tablo 3.9: Termal stres altında *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının erginleştikleri sıcaklıklar (°C).

Böceklerin ergin oldukları sıcaklıklar		
Termal ısı şoku	<i>G. mellonella</i>	<i>A. grisella</i>
Sabit ısı şoku	30, 32, 34, 36 ve 38 °C	30, 32 ve 34 °C
Değişken ısı şoku	30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C	30, 32, 34, 36, 38 ve 40 °C

3.2.1 Termal stresin *G. mellonella*'ya etkisi

3.2.1.1 Koza örme süresi

Sabit ısı şoku altındaki son evre larvaların koza örme süresi incelendiğinde, 30 °C'ye göre 32, 34 ve 36 °C'lerde koza örme süresinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde uzadığı görüldü. Ayrıca 32 ve 36 °C'lere göre 38 °C'de koza örme süresinde görülen kısalma da anlamlıydı (F= 9.158; sd= 4, 145; P=0.000) (Tablo 3.10). Bununla beraber, değişken ısı şoku uygulamasının larvaların koza örme süresini neredeyse hiç değiştirmedeği (F=1.295; sd= 7, 232; P=0.253) Tablo 3.11'den açıkça görülmektedir.

3.2.1.2 Puplaşma süresi

Sabit ısı şoku şeklinde termal strese maruz kalan son evre larvalarının puplaşma süresi, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı derecede kısaldı. Ayrıca 32 ve 36 °C'lere göre 38 °C'deki larvaların puplaşma süresindeki kısalma da önemliydi (F=

11.288; sd= 4, 145; P=0.000) (Tablo 3.10). Değişken ısı şoku altındaki larvaların puplaşma süresi incelendiğinde, 30 ve 32 °C'lere göre diğer bütün sıcaklıklarda puplaşma süresinin belirgin bir şekilde azaldığı ve farklılıkların istatistiksel açıdan da önemli olduğu görüldü. Ek olarak, 34 °C'ye göre 38, 40 ve 44 °C'lerde görülen azalmalar da anlamlıydı (F=33.245; sd= 7, 232; P=0.000) (Tablo 3.11).

3.2.1.3 Pupal periyot

Sabit ısı şoku uygulamasının *G. mellonella* son evre larvalarında pupal periyodu 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda önemli derecede kısalttığı Tablo 3.10'dan görülmektedir. Ayrıca 32 °C'ye göre 38 °C'de gözlenen kısalma da istatistiksel açıdan önemliydi (F= 15.207; sd= 4, 145; P=0.000) (Tablo 3.10). Bununla beraber, değişken ısı şoku uygulamasının larvaların pupal periyodunu neredeyse hiç değiştirmedığı (F=1.433; sd= 7, 232; P=0.193) Tablo 3.11'den açıkça görülmektedir.

Tablo 3.10: *G. mellonella*'da sabit ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.

Sıcaklık (°C)	N	n	Koza örme süresi (gün)		Puplaşma süresi (gün)		Pupal periyot (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	1-7	2.00±0.267a	2-35	14.50±1.721a	5-14	9.27±0.279a
32	30	30	1-10	4.47±0.462b	3-27	10.57±1.128b	5-13	7.90±0.268b
34	30	30	1-8	3.77±0.467bc	2-13	8.67±0.626bc	5-10	7.77±0.261bc
36	30	30	1-10	4.33±0.399b	6-19	10.30±0.568b	5-9	7.23±0.157bc
38	30	30	1-4	2.33±0.232ac	3-10	5.17±0.329c	5-8	6.93±0.151c

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.11: *G. mellonella*'da değişken ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.

Sıcaklık (°C)	N	n	Koza örme süresi (gün)		Puplaşma süresi (gün)		Pupal periyot (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	1-3	1.30±0.098a	6-59	37.27±3.365a	7-12	9.53±0.213a
32	30	30	1-7	1.63±0.212a	10-87	47.07±4.916a	7-15	10.03±0.282a
34	30	30	1-8	2.03±0.305a	6-68	21.37±2.504b	7-20	10.30±0.470a
36	30	30	1-4	1.40±0.156a	4-52	14.03±2.249bc	7-14	9.50±0.302a
38	30	30	1-5	1.77±0.207a	4-20	8.40±0.854c	1-13	9.27±0.450a
40	30	30	1-6	1.73±0.209a	3-19	8.53±0.893c	7-14	9.93±0.314a
42	30	30	1-4	1.63±0.189a	3-38	14.83±2.251bc	6-11	9.07±0.203a
44	30	30	1-3	1.60±0.113a	3-12	6.23±0.313c	6-13	9.77±0.335a

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.2.1.4 Ergin öncesi gelişim süresi

Sabit ısı şoku altındaki son evre larvaların ergin öncesi gelişim süresi incelendiğinde, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda istatistiksel açıdan önemli derecede kısalmalar olduğu görüldü. Ayrıca 32, 34 ve 36 °C'lere göre 38 °C'de ergin safhaya ulaşan larvaların ergin öncesi gelişim süresindeki kısalma da önemlidir (F= 17.214; sd= 4, 145; P=0.000) (Tablo 3.12). Değişken ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* son evre larvalarının ergin öncesi gelişim süresinin 30 ve 32 °C'lere göre diğer bütün sıcaklıklarda belirgin bir şekilde azaldığı ve farklılıkların istatistiksel açıdan da anlamlı olduğu görüldü. Ek olarak, 34 °C'ye göre 38, 40 ve 44 °C'lerde görülen azalmalar da anlamlıydı (F=32.221; sd= 7, 232; P=0.000) (Tablo 3.13).

3.2.1.5 Ergin hayat uzunluğu

Sabit ısı şoku altında erginleşen son evre larvaların ergin hayat uzunluğu ile ilgili Tablo 3.12 incelendiğinde sadece 30 ve 32 °C'lere göre 34 °C'deki kısalmanın anlamlı olduğu görüldü (F= 4.208; sd= 4, 145; P=0.003). Ayrıca değişken ısı şoku uygulamasının ergin hayat uzunluğunu sadece 30 °C'ye göre 40 ve 44 °C'lerde önemli seviyelerde kısalttığı da tespit edildi (F=2.846; sd= 7, 232; P=0.007) (Tablo 3.13).

Tablo 3.12: *G. mellonella*'da sabit ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.

Sıcaklık (°C)	N	n	Ergin öncesi gelişim süresi (gün)		Ergin hayat uzunluğu (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	11-44	23.80±1.753a	4-28	14.27±1.251a
32	30	30	10-33	18.53±1.108b	4-24	14.30±0.964a
34	30	30	8-22	16.17±0.713b	4-18	9.47±0.589b
36	30	30	14-27	17.53±0.579b	3-22	11.97±0.760ab
38	30	30	9-16	12.07±0.291c	1-24	11.73±1.195ab

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.13: *G. mellonella*'da değişken ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Ergin öncesi gelişim süresi (gün)		Ergin hayat uzunluğu (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	16-70	46.77±3.438a	10-29	18.43±0.795a
32	30	30	20-94	57.10±4.924a	6-24	14.70±0.987ab
34	30	30	15-79	31.67±2.645b	6-29	16.43±0.921ab
36	30	30	12-64	23.57±2.392bc	4-26	15.47±1.031ab
38	30	30	12-31	17.73±0.964c	6-53	17.27±1.496ab
40	30	30	11-32	18.47±1.057c	6-23	13.77±0.924b
42	30	30	13-47	23.90±2.184bc	7-25	16.43±0.848ab
44	30	30	9-21	15.97±0.488c	4-21	13.67±0.810b

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.2.1.6 Ergin ağırlığı

Sabit ısı şoku şeklinde termal stres altındayken gelişimini tamamlayarak erginleşebilen dişilerin ağırlıkları incelendiğinde, bütün sıcaklıklarda ergin ağırlığının neredeyse aynı seviyelerde olduğu (F=1.418; sd= 4, 145; P=0.231) Tablo 3.14'ten açıkça görülmektedir. Benzer şekilde, değişken ısı şoku altındayken erginleşebilen dişilerin ağırlıklarına bakıldığında, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda (38 °C hariç) neredeyse hiçbir değişiklik olmadığı görüldü. Bununla beraber, 32 °C'ye göre 30 °C hariç diğer bütün sıcaklıklarda ergin ağırlığının istatistiksel olarak anlamlı seviyelerde daha yüksek olduğu belirlendi (F=7.803; sd= 7, 232; P=0.000) (Tablo 3.15).

3.2.1.7 Yumurta verimi

Sabit ısı şoku stresine maruz kalan son evre larvalardan erginleşen dişilerin ölene kadar bıraktıkları yumurta sayıları incelendiğinde, 30 °C'de 166.57±21.04 olan fekunditenin diğer bütün sıcaklıklarda belirgin bir şekilde azaldığı ancak farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görüldü (F=0.815; sd= 4, 127; P=0.518) (Tablo 3.14). Ayrıca dişilerin yumurta sayıları değişken ısı şoku uygulanan termal stres grupları arasında dalgalanmalar gösterse de 30 °C'ye göre belirlenen farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildi. Bununla beraber, 34 °C'ye göre 44 °C'de fekunditede görülen azalma ile 36 ve 44 °C'lere göre 40 ve 42 °C'lerdeki artmaların anlamlı olduğu görüldü (F=5.435; sd= 7, 219; P=0.000) (Tablo 3.15).

Tablo 3.14: *G. mellonella*'da sabit ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Ergin ağırlığı (mg)		Yumurta verimi	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	5.19-13.33	9.72±0.348a	28-496	166.57±21.044a
32	30	30	5.83-12.71	8.97±0.325a	19-632	137.30±25.183a
34	30	30	5.83-14.80	9.32±0.341a	4-496	125.00±22.730a
36	30	30	6.25-11.22	8.84±0.208a	9-485	134.75±23.651a
38	30	30	6.05-12.01	8.98±0.247a	12-229	108.84±13.071a

* Aynı sütunda (a) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.15: *G. mellonella*'da değişken ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Ergin ağırlığı (mg)		Yumurta verimi	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	5.79-15.03	8.82±0.348ab	7-21	172.10±22.986abc
32	30	30	5.81-11.21	7.87±0.241a	2-25	137.85±20.198abc
34	30	30	5.97-12.19	9.62±0.259bc	5-20	186.78±39.377ab
36	30	30	6.78-12.84	9.96±0.312bc	5-23	105.17±22.584ac
38	30	30	6.74-16.44	10.49±0.415c	4-22	143.79±30.636abc
40	30	30	5.14-12.46	10.02±0.298bc	7-21	226.04±23.076b
42	30	30	6.76-12.18	9.65±0.246bc	7-21	240.57±30.816b
44	30	30	8.35-12.63	10.06±0.116bc	2-25	61.63±10.430c

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.2.2 Termal stresin *A. grisella*'ya etkisi

3.2.2.1 Koza örme süresi

Sabit ısı şoku altındaki son evre larvaların koza örme süresi incelendiğinde, 30 ve 32 °C'lere göre 34 °C'de koza örme süresinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde uzadığı görüldü (F=17.797; sd= 2, 74; P=0.000) (Tablo 3.16). Değişken ısı şokuna maruz kalan son evre larvaların koza örme süresi ise 30 ve 32 °C'lere göre 38 ve 40 °C'lerde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha uzundu. Ayrıca 32 °C'ye göre 34 °C'de görülen uzama da önemliydi (F=6.895; sd= 5, 174; P=0.000) (Tablo 3.17).

3.2.2.2 Puplaşma süresi

Sabit ısı şoku şeklinde termal strese maruz kalan son evre larvaların puplaşma süresinin 30 ve 32 °C'lere göre 34 °C'de anlamlı düzeyde uzadığı görüldü (F=23.466; sd= 2, 74; P=0.000) (Tablo 3.16). Ayrıca değişken ısı şoku uygulamasının larvaların puplaşma süresini diğer bütün sıcaklıklara göre sadece 40 °C'de önemli seviyede uzattığı da tespit edildi (F=9.458; sd= 5, 174; P=0.000) (Tablo 3.17).

3.2.2.3 Pupal periyot

Sabit ısı şoku uygulamasının *A. grisella* son evre larvalarında pupal periyodu neredeyse hiç değiştirmedığı Tablo 3.16'dan açıkça görülmektedir. Bununla beraber, 32 °C'ye göre 34 °C'de pupal periyodun istatistiksel olarak anlamlı seviyede daha kısa olduğu belirlendi (F=3.733; sd= 2, 74; P=0.029). Değişken ısı şokuna maruz kalan son evre larvalarının pupal periyot değerleri incelendiğinde, sadece 30 °C'ye göre 38 °C'de görülen uzamanın anlamlı olduğu görüldü (F=2.953; sd= 5, 174; P=0.014) (Tablo 3.17).

Tablo 3.16: *A. grisella*'da sabit ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Koza örme süresi (gün)		Puplaşma süresi (gün)		Pupal periyot (gün)	
			Min.- Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.- Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.- Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	1-4	2.07±0.159a	2-6	3.77±0.218a	4-8	6.67±0.168ab
32	30	30	1-3	1.57±0.149a	3-6	4.27±0.117a	6-8	7.07±0.126a
34	30	17	0-10	4.59±0.809b	3-14	7.24±0.788b	1-9	6.06±0.511b

* Aynı sütunda (a-d) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.17: *A. grisella*'da değişken ısı şokunun koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyoda etkisi.

Sıcaklık (°C)	N	n	Koza örme süresi (gün)		Puplaşma süresi (gün)		Pupal periyot (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	1-5	1.50±0.171ab	3-10	4.70±0.333a	5-9	6.70±0.193a
32	30	30	1-3	1.33±0.111a	2-14	3.93±0.407a	2-10	7.20±0.305ab
34	30	30	1-7	2.43±0.282bc	3-10	4.80±0.316a	5-11	7.17±0.254ab
36	30	30	1-4	2.23±0.202abc	2-7	4.53±0.238a	5-10	6.97±0.222ab
38	30	30	1-6	2.63±0.247c	2-9	5.00±0.346a	7-10	7.87±0.164b
40	30	30	1-12	2.93±0.359c	4-14	7.23±0.518b	5-10	7.37±0.212ab

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P \geq 0.05$, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.2.2.4 Ergin öncesi gelişim süresi

Sabit ısı şoku altındaki son evre larvaların ergin öncesi gelişim süresi incelendiğinde, 30 ve 32 °C'lerde ortalama 11 gün olan sürenin 34 °C'de 9 güne düştüğü ancak farklılıkların anlamlı olmadığı görüldü ($F=2.601$; $sd= 2, 74$; $P=0.081$) (Tablo 3.18). Bununla beraber, değişken ısı şokuna maruz kalan larvaların ergin öncesi gelişim süresinin 30 °C'ye göre sadece 40 °C'de anlamlı seviyede daha uzun olduğu belirlendi. Ayrıca 32 °C'ye göre 38 ve 40 °C'lerde görülen artmalar ile 38 °C'ye göre 40 °C'deki artma da anlamlıydı ($F=9.565$; $sd= 5, 174$; $P=0.000$) (Tablo 3.19).

3.2.2.5 Ergin hayat uzunluğu

Sabit ısı şoku altında erginleşen son evre larvaların ergin hayat uzunluğu ile ilgili Tablo 3.18 incelendiğinde, sadece 30 ve 32 °C'lere göre 34 °C'deki kısalmanın anlamlı olduğu görüldü ($F=10.613$; $sd= 2, 74$; $P=0.000$). Termal stres altındaki larvalardan erginleşebilenlerde hayat uzunluğunun değişken ısı şoku uygulamasından nasıl etkilendiğine bakıldığında, 30 °C'ye göre sadece 40 °C'de önemli seviyede kısalma olduğu tespit edildi ($F=3.288$; $sd= 5, 174$; $P=0.007$). Ayrıca 32 ve 36 °C'lere göre 40 °C'de hayat uzunlunda görülen kısalma da anlamlıydı (Tablo 3.19).

Tablo 3.18: *A. grisella*'da sabit ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Ergin öncesi gelişim süresi (gün)		Ergin hayat uzunluğu (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	9-13	10.50±0.218a	4-16	8.17±0.591a
32	30	30	10-13	11.37±0.140a	3-12	7.30±0.453a
34	30	17	0-17	9.00±1.721a	0-10	3.94±0.901b

* Aynı sütunda (a-d) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.19: *A. grisella*'da değişken ısı şokunun ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi.

Sıcaklık(°C)	N	n	Ergin öncesi gelişim süresi (gün)		Ergin hayat uzunluğu (gün)	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	30	30	8-19	11.70±0.448ab	7-21	13.33±0.824a
32	30	30	5-22	11.13±0.472a	2-25	13.30±1.027a
34	30	30	9-17	12.00±0.387ab	5-20	12.13±0.848ab
36	30	30	8-16	11.50±0.335ab	5-23	12.70±1.018a
38	30	30	10-17	12.87±0.345b	4-22	11.53±0.861ab
40	30	30	11-22	14.60±0.456c	4-25	8.97±0.810b

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.2.2.6 Ergin ağırlığı

Sabit ısı şoku şeklinde termal stres altındayken gelişimini tamamlayarak erginleşebilen dişilerin ağırlıkları incelendiğinde, bütün sıcaklıklarda ergin ağırlığının neredeyse aynı seviyelerde olduğu (F=1.060; sd= 2, 74; P=0.352) Tablo 3.20'den açıkça görülmektedir. Benzer şekilde, değişken ısı şoku altındayken erginleşebilen dişilerin ağırlıklarına bakıldığında, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda neredeyse hiçbir değişiklik olmadığı görüldü. Bununla beraber, 40 °C'ye göre 30 °C hariç diğer bütün sıcaklıklarda ergin ağırlığının istatistiksel olarak anlamlı seviyelerde daha yüksek olduğu belirlendi (F=4.722; sd= 5, 174; P=0.000) (Tablo 3.21).

3.2.2.7 Yumurta verimi

Sabit ısı şoku stresine maruz kalan son evre larvalardan erginleşen dişilerin ölene kadar bıraktıkları yumurta sayıları incelendiğinde, 30 ve 34 °C'lere göre 32 °C'de fekunditenin belirgin bir şekilde arttığı ancak farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görüldü (F=2.532; sd= 2, 74; P=0.086) (Tablo 3.20). Ayrıca dişilerin yumurta sayıları değişken ısı şoku uygulanan termal stres grupları arasında dalgalanmalar gösterse de 30 °C'ye göre belirlenen farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildi. Bununla beraber, en yüksek

veriminin 15.48 ± 2.72 olduğu $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye göre 32 , 38 ve $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lerdeki azalmaların anlamlı olduğu görüldü ($F=4.608$; $sd= 5, 121$; $P=0.001$) (Tablo 3.21).

Tablo 3.20: *A. grisella*'da sabit ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.

Sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)	N	n	Ergin ağırlığı (mg)		Yumurta verimi	
			Min.-Mak.	$\bar{x} \pm \text{SH}^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm \text{SH}^*$
30	30	30	9.5-14.10	$11.27 \pm 0.248a$	0-29	$1.80 \pm 0.965a$
32	30	30	9.5-15.10	$11.81 \pm 0.291a$	0-21	$4.93 \pm 1.322a$
34	30	17	9.7-14.5	$11.61 \pm 0.323a$	0-21	$1.59 \pm 1.263a$

* Aynı sütunda (a) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0.05$, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.21: *A. grisella*'da değişken ısı şokunun ergin ağırlığı ve yumurta verimine etkisi.

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	N	Ergin ağırlığı (mg)			Yumurta verimi		
		n	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm \text{SH}^*$	n	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm \text{SH}^*$
30	30	30	9.8-19.3	$13.97 \pm 0.395ab$	18	0-50	$7.72 \pm 2.844ab$
32	30	30	8.4-20.4	$15.59 \pm 0.515a$	22	0-30	$6.05 \pm 1.792a$
34	30	30	11.4-20.0	$15.45 \pm 0.454a$	21	0-37	$15.48 \pm 2.724b$
36	30	30	11.5-20.7	$14.97 \pm 0.418a$	19	0-43	$10.32 \pm 3.258ab$
38	30	30	10.5-18.7	$14.98 \pm 0.347a$	24	0-19	$5.67 \pm 1.068a$
40	30	30	8.2-19.3	$13.14 \pm 0.461b$	23	0-12	$2.30 \pm 0.854a$

* Aynı sütunda (a) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0.05$, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri 10 larvadan oluşan üç tekrara aittir (Toplam 30 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, n; Ergin olan birey sayısı, SH; Standart hata.

3.3 Termal Stresin Konak Bağışıklığına Etkisi

Termal stresin konak türleri, *G. mellonella* ve *A. grisella*'da bağışıklık sistemini nasıl etkilediğini araştırmak için sabit ve değişken ısı şoku uygulamalarından elde edilen veriler kullanılarak dört farklı sıcaklık değeri belirlendi. Bu değerler *G. mellonella* son evre larvaları için 30 , 38 , 40 ve $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve *A. grisella* son evre larvaları için ise 30 , 34 , 36 ve $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ oldu. Ayrıca her bir sıcaklık değerinin zamana bağlı olarak bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini görebilmek için üç farklı zaman dilimi (2, 24 ve 48 saat) ile çalışıldı. Termal stresin konak bağışıklık sistemi kapsamında THS, FHS, mitotik indeks ve enkapsülasyon tepkisini nasıl etkilediği Tablo 3.22-41'de verilmektedir.

3.3.1 Toplam hemosit sayısı

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak hem *G. mellonella* hem de *A. grisella* son evre larvalarının THS'da görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.22 ve 3.23'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. Her iki güvenin de THS hem sıcaklık ($P=0.000$) hem de zamana ($P=0.000$)

bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdi. Ayrıca larval hemosit sayılarında sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olarak da (P=0.000) değiştiği görüldü.

Tablo 3.22: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *G. mellonella* son evre larvalarının toplam hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.50$).

Kaynak	Sd	KO	F	P
Sıcaklık	3	670.602	13.320	0.000
Zaman	2	644.176	12.795	0.000
Sıcaklık x zaman	6	930.951	18.491	0.000
Hata	180	50.346		

Tablo 3.23: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *A. grisella* son evre larvalarının toplam hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.57$).

Kaynak	Sd	KO	F	P
Sıcaklık	3	299.786	17.592	0.000
Zaman	2	677.431	39.754	0.000
Sıcaklık x zaman	6	290.600	17.053	0.000
Hata	180	17.041		

G. mellonella son evre larvalarında THS'na farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.24'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için THS'daki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 30 °C'de en yüksek hemosit sayısının 2. saatin sonunda olduğu ve sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça THS'nın önemli oranda azaldığı görüldü. 38 ve 40 °C'lerde ise en yüksek hemosit sayısına 24. saatin sonunda ulaşıldığı ve bu sürenin altındaki ve üstündeki gözlem saatlerinde hücre sayılarının belirgin şekilde azaldığı tespit edildi. Ayrıca bu iki sıcaklık (38 ve 40 °C) için 24 saat sonra THS'da görülen artış 38 °C'de sadece 2. saate göre anlamlıyken 40 °C'de ise 2. ve 48. saatlere göre anlamlıydı. 42 °C'de THS'nın 48 saat sonra en yüksek değere ulaştığı ve 2 ile 24. saatlere göre bu artışın istatistiksel olarak da önemli olduğu görüldü (Tablo 3.24).

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için THS'da farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında, 2 saat (F=32.418; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=7.618; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=14.042; sd= 3, 60; P=0.000) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.24). 2. saatin sonunda 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklardaki larvaların hemosit sayıları önemli oranda azaldı. Ayrıca 38 ve 40 °C'ye göre 42 °C'de görülen artış da anlamlıydı. Güvenin son evre larvalarının

kanındaki hemosit sayıları 24 saat sonra sayıldığında sadece 38 ve 42 °C'ye göre 40 °C'de gözlenen artışın anlamlı olduğu görüldü. Son gözlem saati olan 48. saatin sonunda ise THS'nın 42 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda önemli oranda daha düşük olduğu bulundu (Tablo 3.24).

Tablo 3.24: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam hemosit sayıları ($\times 10^6$ hücre /mL).

Sıcaklık (°C)	Toplam hemosit sayısı ($\times 10^6$ hücre /mL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	30.91±1.59ax	25.60±1.48aby	17.04±1.12az	24.637	2, 45	0.000
38	13.20±1.69bx	20.64±2.24ay	16.84±1.37axy	4.255	2, 45	0.020
40	10.66±1.49bx	31.53±2.06by	15.96±2.25ax	30.539	2, 45	0.000
42	20.20±1.59cx	21.51±1.23ax	30.94±2.54by	9.828	2, 45	0.000

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($P > 0.05$; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında THS'na farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.25'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için THS'daki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 30 °C'de en yüksek hemosit sayısının 24. saatin sonunda olduğu ve bu sürenin altındaki ve üstündeki gözlem saatlerinde hücre sayılarının anlamlı şekilde azaldığı görüldü. 34, 36 ve 38 °C'lerde ise en yüksek hemosit sayısına 2. saatin sonunda ulaşıldığı ve bu sıcaklıklara maruz kalma süresi uzadıkça larvaların hemosit sayılarının azaldığı belirlendi. THS'daki bu azalmalar istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; 34 °C'de sadece 2. saate göre 24 saatteki, 36 °C'de 2. saate göre 24. ve 48. saatteki ve 38 °C'de ise 2. ve 24. saatlere göre 48. saatteki farklılıkların önemli olduğu görüldü (Tablo 3.25).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için THS'da farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında, 2 saat ($F=27.164$; $sd= 3, 60$; $P=0.000$), 24 saat ($F=5.224$; $sd= 3, 60$; $P=0.003$) ve 48 saat ($F=23.180$; $sd= 3, 60$; $P=0.000$) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.25). 2. saatin sonunda 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklardaki larvaların hemosit sayıları önemli oranda arttı. Ayrıca 36 °C'ye göre 38 °C'de görülen artış da anlamlıydı. Güvenin son evre larvalarının kanındaki hemosit sayıları 24 saat sonra sayıldığında sadece 36 °C'ye göre 38 °C'de gözlenen artışın anlamlı olduğu görüldü. Son gözlem saati olan 48. saatin sonunda ise THS'nın 34 ve 36 °C'ye göre 30 ve 38 °C'de önemli oranda daha düşük olduğu bulundu (Tablo 3.25).

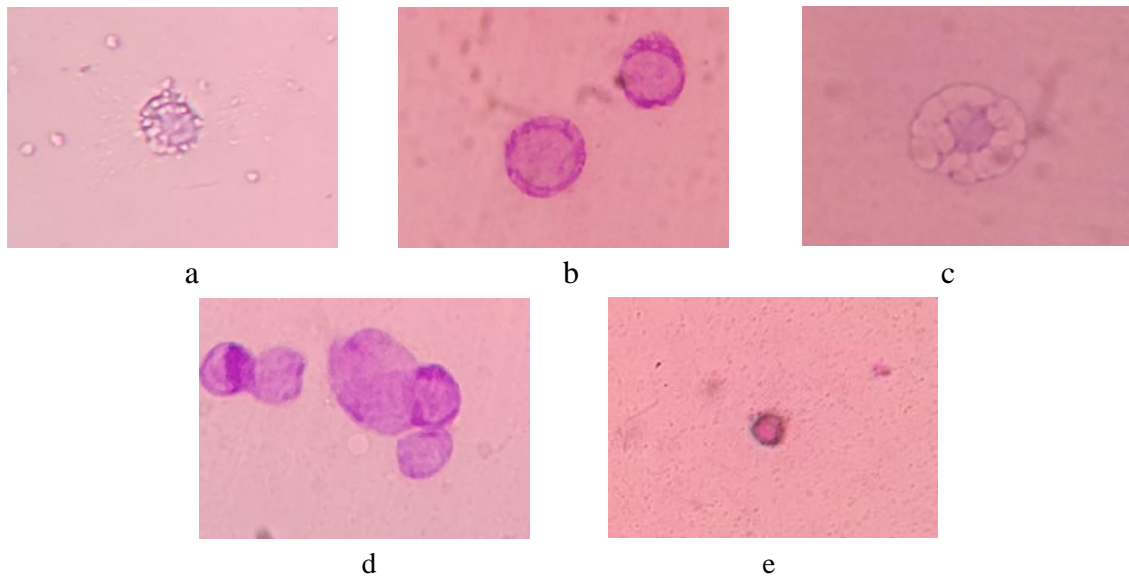
Tablo 3.25: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam hemosit sayıları ($\times 10^6$ hücre /mL).

Sıcaklık (°C)	Toplam hemosit sayısı ($\times 10^6$ hücre /mL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	18.38±0.63ax	22.30±1.07aby	12.76±0.79az	32.123	2, 45	0.000
34	25.38±0.75bcx	22.23±0.58aby	23.99±1.21bxy	3.173	2, 45	0.051
36	23.60±0.94bx	18.31±0.68ay	20.46±1.02by	8.958	2, 45	0.001
38	27.89±0.74cx	24.25±1.68bx	12.55±1.59ay	32.649	2, 45	0.000

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($P > 0.05$; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadından oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.3.2 Farklı hemosit sayısı

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarından alınan hemolenflerdeki hemosit tipleri mikroskopik inceleme sonucunda morfolojik olarak granülositler (Şekil 3.3a), plazmatositler (Şekil 3.3b), sferülositler (Şekil 3.3c), önositoitler (Şekil 3.3d) ve prohemositler (Şekil 3.3e) olarak sınıflandırıldı. Termal stresin zamana bağlı olarak konak türlerin hemosit tiplerine etkilerinin belirlendiği çalışmalarda bütün hemosit tipleri ayrı ayrı sayıldı ancak veriler değerlendirilirken granülositler, plazmatositler, sferülositler ve diğer hücre tipleri (önositoitler ve prohemositler) olarak isimlendirildi. Sıcaklık ve zamana bağlı olarak hem *G. mellonella* hem de *A. grisella* son evre larvalarının FHS'da görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.26 ve 3.27'deki ANOVA tablolarında verilmektedir.



Şekil 3.3: *G. mellonella* hemosit tipleri; a) Granülosit, b) Plazmatosit, c) Sferülosit, d) Önositoit, e) Prohemosit.

G. mellonella'da granülosit (P=0.021) ve plazmatosit (P=0.001) sayılarının sıcaklığa bağlı olarak anlamlı derecede farklılık gösterdiği Tablo 3.26'dan görülmektedir. Ancak, granülosit (P=0.118) ve plazmatosit (P=0.075) sayılarındaki farklılıklar zamana bağlı değildi. Ayrıca sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın, granülosit (P=0.055) sayılarında zamandan bağımsız olarak değiştiği, plazmatosit (P=0.044) sayılarında ise zamana bağlı olduğu belirlendi. Güvenin sferülosit (P=0.020) ve diğer hücre tipi (P=0.043) sayıları zamana bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdi. Ancak, sferülosit (P=0.559) ve diğer hücre tipi (P=0.214) sayılarındaki farklılıklar sıcaklığa bağlı değildi. Ayrıca sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın, sferülosit (P=0.002) sayılarında zamana bağlı olarak, diğer hücre tipi (P=0.096) sayılarında ise zamandan bağımsız olarak değiştiği belirlendi (Tablo 3.26).

Tablo 3.26: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *G. mellonella* son evre larvalarının farklı hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu.

Hemosit Tipi	Kaynak	Sd	KO	F	P	r ²
Granülosit	Sıcaklık	3	0.047	3.328	0.021	0.13
	Zaman	2	0.031	2.163	0.118	
	Sıcaklık x zaman	6	0.030	2.107	0.055	
	Hata	180	0.014			
Plazmatosit	Sıcaklık	3	0.078	5.600	0.001	0.16
	Zaman	2	0.037	2.628	0.075	
	Sıcaklık x zaman	6	0.031	2.207	0.044	
	Hata	180	0.014			
Sferülosit	Sıcaklık	3	0.016	0.690	0.559	0.15
	Zaman	2	0.093	4.019	0.020	
	Sıcaklık x zaman	6	0.083	3.596	0.002	
	Hata	180	0.023			
Diğer hücre tipleri	Sıcaklık	3	0.003	1.507	0.214	0.11
	Zaman	2	0.007	3.211	0.043	
	Sıcaklık x zaman	6	0.004	1.827	0.096	
	Hata	180	0.002			

A. grisella'da FHS için çift-yönlü ANOVA sonuçları incelendiğinde; granülosit, plazmatosit, sferülosit ve diğer hücre tipi sayılarında hem sıcaklık (P=0.000) hem de zamana (P=0.000) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar olduğu Tablo 3.27'den görülmektedir. Ayrıca güvenin larval hemosit sayılarında sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olarak da değiştiği belirlendi (granülosit-P=0.002, plazmatosit-P=0.000, sferülosit-P=0.000 ve diğer hücre tipi-P=0.003).

Tablo 3.27: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *A. grisella* son evre larvalarının farklı hemosit sayılarına etkilerini gösteren ANOVA tablosu.

Hemosit Tipi	Kaynak	Sd	KO	F	P	r ²
Granülosit	Sıcaklık	3	0.070	7.747	0.000	0.26
	Zaman	2	0.086	9.610	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	0.032	3.573	0.002	
	Hata	180	0.009			
Plazmatosit	Sıcaklık	3	0.270	25.473	0.000	0.53
	Zaman	2	0.400	37.797	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	0.084	7.948	0.000	
	Hata	180	0.011			
Sferülosit	Sıcaklık	3	0.463	27.713	0.000	0.53
	Zaman	2	0.784	46.890	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	0.078	4.686	0.000	
	Hata	180	0.017			
Diğer hücre tipleri	Sıcaklık	3	0.008	6.227	0.000	0.32
	Zaman	2	0.028	22.281	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	0.004	3.506	0.003	
	Hata	180	0.001			

G. mellonella son evre larvalarında granülosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.28’de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için granülositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30 °C’de en yüksek granülosit sayısının 2. saatin sonunda olduğu ve 30 ile 38 °C’lere maruz kalma süresi uzadıkça granülosit sayısının azaldığı görüldü. Ancak, bu iki sıcaklık değerinde zamana bağlı olarak granülosit oranlarında görülen azalma sadece 38 °C’de 2. saate göre 48. saat için anlamlıydı. Bununla beraber, 40 ve 42 °C’lerde zamana bağlı olarak granülosit oranlarında görülen değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı değildi (Tablo 3.28).

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için granülosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=2.840; sd= 3, 60; P=0.045), 24 saat (F=1.622; sd= 3, 60; P=0.194) ve 48 saat (F=3.187; sd= 3, 60; P=0.030) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü. 2. ve 24. saatlerde granülosit oranlarında sıcaklığa bağlı önemli bir değişiklik yokken 48. saatte en yüksek granülosit sayısına 40 °C’de ulaşıldı ve bu artış oranı sadece 42 °C’ye göre istatistiksel olarak da anlamlıydı (Tablo 3.28).

Tablo 3.28: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında granülosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Granülosit sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	25.07±2.30ax	20.73±2.27ax	20.30±2.20abx	1.288	2, 45	0.286
38	24.57±1.78ax	23.44±2.35axy	17.56±1.69aby	3.422	2, 45	0.041
40	17.37±2.80ax	16.39±2.27ax	21.68±2.53ax	1.210	2, 45	0.308
42	19.41±2.70ax	20.72±2.52ax	12.99±1.86bx	3.095	2, 45	0.055

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında granülosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.29'da verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için granülositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30 ve 34 °C'lerde 48. saatin sonunda 24. saate göre anlamlı bir artış olduğu görüldü. 36 °C'de ise granülosit sayısının 24. saate göre 2 ve 48. saatlerde önemli oranda arttığı tespit edildi. *A. grisella* için en yüksek sıcaklık olan 38 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça granülosit sayısının azaldığı görüldü. Ancak, 38 °C'de zamana bağlı olarak granülosit oranlarında görülen azalma sadece 2. saate göre 48. saat için anlamlıydı (Tablo 3.29).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için granülosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=2.758; sd= 3, 60; P=0.050) hariç 24 saat (F=3.335; sd= 3, 60; P=0.025) ve 48 saat (F=8.213; sd= 3, 60; P=0.000) sonra anlamlı değişiklikler olduğu görüldü (Tablo 3.29). Deney gözlem saatlerinin hepsinde en yüksek granülosit sayısı 34 °C'de olurken en düşük sayı 2 ve 24. saatler için 30 °C'de, 48. saat için ise 38 °C'de oldu. Ancak, 2. saatte granülosit oranlarında sıcaklığa bağlı ortaya çıkan değişiklikler anlamlı değilken, 24. saate sadece 30 °C'ye göre 34 °C'de görülen artma anlamlıydı. Ayrıca 48. saat için sadece 38 °C'ye göre 34 ve 36 °C'lerde görülen artışlar da anlamlı bulundu (Tablo 3.29).

Tablo 3.29: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında granülosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Granülosit sayıları (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	18.95±2.30axy	12.64±1.53ax	19.96±2.41aby	3.641	2, 45	0.034
34	24.65±1.39axy	20.08±1.56bx	26.65±1.72ay	4.682	2, 45	0.014
36	22.84±1.30ax	16.43±1.46aby	21.70±1.72ax	5.209	2, 45	0.009
38	24.11±1.65ax	19.01±2.94abxy	13.68±1.86by	6.617	2, 45	0.003

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

G. mellonella son evre larvalarında plazmatosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.30'da verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için plazmatositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30, 38 ve 40 °C'lere 2, 24 veya 48 saat maruz kalmanın plazmatosit sayısını önemli oranda etkilemediği görüldü. *G. mellonella* için en yüksek sıcaklık olan 42 °C'de ise en düşük plazmatosit sayısına 24. saatin sonunda ulaşıldı ve bu azalma oranı 2 ile 48. saatlere göre de anlamlıydı.

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için plazmatosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=3.406; sd= 3, 60; P=0.023), 24 saat (F=0.472; sd= 3, 60; P=0.703) ve 48 saat (F=6.037; sd= 3, 60; P=0.001) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.30). 2. saatin sonunda en yüksek plazmatosit oranı 42 °C'de oldu ve bu artış oranı sadece 40 °C'ye göre istatistiksel olarak da anlamlıydı. 24. saatte ise plazmatosit sayısında sıcaklığa bağlı önemsiz düzeyde değişiklikler olsa da 48. saatin sonunda 30 ve 38 °C'lere göre 42 °C'ye maruz kalan larvaların plazmatosit sayısındaki artış anlamlı bulundu (Tablo 3.30).

Tablo 3.30: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında plazmatosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Plazmatosit sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	58.26±2.11abx	51.94±1.64ax	52.26±2.54ax	2.814	2, 45	0.071
38	55.16±2.36abx	53.72±2.98ax	53.81±3.91ax	0.052	2, 45	0.949
40	52.98±3.52ax	57.00±3.78ax	59.65±2.98abx	0.846	2, 45	0.436
42	64.56±2.64bx	54.39±2.51ay	68.25±1.91bx	8.879	2, 45	0.001

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. *grisella* son evre larvalarında plazmatosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.31’de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için plazmatositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30 ve 36 °C’lerde 2 ile 24. saatlere göre 48. saatte plazmatosit sayısının önemli derecede azaldığı görüldü. 34 °C’de en yüksek plazmatosit sayısına 2. saatin sonunda ulaşıldı ve sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça plazmatosit sayısının azaldığı belirlendi. Ancak, 34 °C’de zamana bağlı olarak plazmatosit oranlarında görülen azalma sadece 2. saate göre 48. saat için anlamlıydı. Ayrıca 38 °C’de, 24. saate göre 2. ve 48. saatlerde plazmatosit sayılarında istatistiksel olarak anlamlı artışlar olduğu belirlendi (Tablo 3.31).

A. *grisella* son evre larvalarında her bir saat için plazmatosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=10.113; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=24.168; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=6.713; sd= 3, 60; P=0.001) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.31). Deney gözlem saatlerinin tamamında en yüksek plazmatosit sayısına 30 °C’de 24 saat sonra rastlandı. Bu artışlar 2. ve 24. saatler için incelendiğinde diğer bütün sıcaklıklara (34, 36 ve 38 °C) göre istatistiksel olarak anlamlıydı. Ayrıca 24. saatin sonunda 34 ve 36 °C’lere göre 38 °C’de gözlenen azalma da anlamlıydı. 48. saatin sonunda ise 30 ve 38 °C’lerde birbirine benzer değerler elde edildi ve bu iki sıcaklığa göre 36 °C’de plazmatosit sayısı önemli derecede daha düşük oldu (Tablo 3.31).

Tablo 3.31: A. *grisella*’da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında plazmatosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Plazmatosit sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	75.83±2.44ax	76.03±1.88ax	57.68±2.17ay	21.909	2, 45	0.000
34	62.90±1.88bx	58.01±1.75bxy	50.13±3.24aby	7.309	2, 45	0.002
36	65.53±1.83bx	63.08±2.28bx	42.60±2.95by	26.594	2, 45	0.000
38	61.43±2.17bx	46.41±3.65cy	56.13±2.01ax	7.544	2, 45	0.001

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

G. *mellonella* son evre larvalarında sferülosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.32’de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için

sferülositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre incelendiğinde; 30 ve 38 °C'lere maruz kalma süresi uzadıkça sferülosit sayısı artarken 40 °C'de ise süre uzadıkça sayının azaldığı belirlendi. 42 °C'de ise zamana bağlı olarak sferülosit sayısında hem artma hem de azalmalar olduğu görüldü. Deney gözlem saatlerinin tamamında en düşük sferülosit sayısına 11.59±2.01 ile 30 °C'de 2. saatin sonunda ulaşıldı. Ayrıca 30 °C'deki bu değer 24. ve 48. saatlere göre anlamlı şekilde daha düşüktü. 38 ve 40 °C'lere maruz kalan larvalarda ise sferülosit sayıları istatistiksel olarak benzer değerlerde oldu. 42 °C'de ise sadece 2. saate göre 24. saatte sferülosit sayısının anlamlı düzeyde arttığı görüldü (Tablo 3.32).

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için sferülosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=4.952; sd= 3, 60; P=0.004), 24 saat (F=1.048; sd= 3, 60; P=0.378) ve 48 saat (F=2.227; sd= 3, 60; P=0.094) sonra çeşitli dalgalanmalar olduğu görüldü (Tablo 3.32). 2. saatte 30 °C'den 40 °C'ye kadar sıcaklık arttıkça sferülosit sayısının da arttığı ve 40 °C'deki sayının bütün deney grupları arasında en yüksek seviyeye ulaştığı belirlendi. 2. saatte sıcaklık 42 °C'ye çıktığında ise sferülosit oranının belirgin şekilde azaldığı görüldü. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde 40 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklardaki azalmalar anlamlıydı. 24. ve 48. saatlerde sıcaklığa bağlı olarak sferülosit oranlarında meydana gelen değişiklikler ise anlamlı değildi (Tablo 3.32).

Tablo 3.32: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında sferülosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Sferülosit sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	11.59±2.01ax	22.79±2.59ay	23.97±2.94ay	7.579	2, 45	0.001
38	14.88±3.52ax	16.35±1.99ax	23.98±3.19ax	2.919	2, 45	0.064
40	25.08±3.39bx	22.79±4.87ax	16.24±3.73ax	1.600	2, 45	0.213
42	12.85±2.29ax	23.35±2.84ay	16.47±2.14axy	5.601	2, 45	0.007

* Aynı sütunda (a) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında sferülosit oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.33'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için sferülositlerdeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; bütün deney grupları arasında en düşük sferülosit sayısının 30 °C'de 2. saatin sonunda olduğu ve 30 ile

36 °C'lere maruz kalma süresi uzadıkça sferülosit sayısının arttığı görüldü. 30 ve 36 °C'lerde 2. saate göre 24. ve 48. saatte sferülosit sayısında görülen artış istatistiksel olarak da anlamlıydı. Ayrıca, 36 °C'de 24. saate göre 48. saatte gözlenen artış da anlamlıydı. 34 °C'ye maruz kalan larvalarda sferülosit oranlarının 2. saate göre 24. ve 48. saatlerde belirgin şekilde yükseldiği ancak farklılıkların önemli olmadığı belirlendi. *A. grisella* için en yüksek sıcaklık olan 38 °C'de ise sferülosit oranları sadece 2. saate göre 24. ve 48. saatlerde anlamlı derecede daha yüksek oldu (Tablo 3.33).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için sferülosit oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=10.311; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=14.384; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=11.262; sd= 3, 60; P=0.000) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.33). 2. ve 24. saatlerde sferülosit oranlarında 30 °C'ye göre diğer tüm sıcaklıklarda görülen artışlar anlamlıydı. Ayrıca 24. saatin sonunda 38 °C'ye göre 34 ve 36 °C'lerdeki azalmalar da önemliydi. 48. saatte ise sadece 30 ve 34 °C'lere göre 36 ve 38 °C'lerdeki artışlar anlamlı bulundu (Tablo 3.33).

Tablo 3.33: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında sferülosit oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Sferülosit sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	2.66±0.29ax	6.57±0.93ay	9.53±1.74ay	13.719	2, 45	0.000
34	7.79±1.00bx	17.11±2.96bx	16.38±4.22ax	3.147	2, 45	0.053
36	6.81±0.82bx	16.37±2.53by	31.42±4.10bz	23.436	2, 45	0.000
38	8.27±1.32bx	30.45±3.64cy	27.56±2.84by	24.090	2, 45	0.000

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-z) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

G. mellonella son evre larvalarında diğer hücre tipi oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.34'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için diğer hücre tiplerindeki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30, 40 ve 42 °C'lere maruz kalan larvalardaki hemosit sayılarının sıcaklığa maruz kalma süresinden önemli derecede etkilenmediği belirlendi. 38 °C'de ise diğer hemosit tipi sayılarının zamana bağlı olarak belirgin şekilde yükseldiği ancak farklılıkların sadece 2. saate göre 48 saat için anlamlı olduğu görüldü (Tablo 3.34). *G. mellonella* son evre larvalarında her bir saat için diğer hücre tipi oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=0.673; sd= 3,

60; P=0.572), 24 saat (F=2.014; sd= 3, 60; P=0.121) ve 48 saat (F=1.886; sd= 3, 60; P=0.142) sonra anlamlı olmayan dalgalanmalar olduğu görüldü (Tablo 3.34).

Tablo 3.34: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında diğer hücre tipi oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Diğer hemosit tipi sayıları (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.83±0.10ax	1.05±0.23ax	1.26±0.28ax	0.298	2, 45	0.743
38	0.78±0.16ax	1.32±0.35axy	2.53±0.48ay	4.195	2, 45	0.021
40	1.19±0.18ax	1.88±0.39ax	1.34±0.48ax	1.153	2, 45	0.325
42	0.88±0.16ax	0.83±0.11ax	1.13±0.12ax	1.798	2, 45	0.177

* Aynı sütunda (a) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında diğer hücre tipi oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.35'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için diğer hücre tiplerindeki değişiklikler deney gözlem saatine göre incelendiğinde; 30, 34 ve 36 °C'lere maruz kalan son evre larvalarda sıcaklıklara maruz kalma süreleri yükseldikçe hemosit sayılarının da arttığı görüldü. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde, 34 ve 36 °C'lerde sadece 2. saate göre 24. ve 48. saatlerdeki artışlar ile 30 °C'de sadece 2. ve 24. saatlere göre 48. saatteki artış anlamlı bulundu. *A. grisella* için en yüksek sıcaklık olan 38 °C'de ise diğer hücre tipi oranları zamana bağlı olarak anlamlı derecede farklılık göstermedi (Tablo 3.35).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için diğer hücre tipi oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=10.406; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=5.881; sd= 3, 60; P=0.001) ve 48 saat (F=1.530; sd= 3, 60; P=0.216) sonra çeşitli dalgalanmalar olduğu görüldü (Tablo 3.35). 2. ve 24. saatlerde 30 °C'ye göre sadece 34 ve 38 °C'lerdeki artışlar anlamlıydı. Ayrıca 2. saatte 38 °C'ye göre 36 °C'deki azalma da önemliydi. Son gözlem saati olan 48. saatte ise diğer hücre tipi oranları sıcaklığa bağlı olarak anlamlı bir değişiklik göstermedi (Tablo 3.35).

Tablo 3.35: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında diğer hücre tipi oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Diğer hemosit tipi sayıları (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$) [*]			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.42±0.08ax	0.55±0.04ax	1.84±0.38ay	16.659	2, 45	0.000
34	0.80±0.14bcx	1.47±0.18by	1.97±0.22ay	14.242	2, 45	0.000
36	0.52±0.05abx	1.15±0.20aby	1.60±0.29ay	7.153	2, 45	0.002
38	1.17±0.14cx	1.74±0.48bx	1.26±0.20ax	0.692	2, 45	0.506

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.3.3 Mitotik indeks

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak hem *G. mellonella* hem de *A. grisella* son evre larvalarının mitotik indeks oranlarında görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.36 ve 3.37'deki ANOVA tablolarında verilmektedir. Her iki güvenin de mitotik indeks oranları hem sıcaklık (P=0.000) hem de zamana (sırasıyla P=0.000, P=0.050) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdi. Ayrıca hem *G. mellonella* (P=0.001) hem de *A. grisella* (P=0.000) hemolenfindeki mitotik indeks oranlarında sıcaklığa bağlı oluşan farklılıkların zamana bağlı olarak da değiştiği belirlendi.

Tablo 3.36: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *G. mellonella* son evre larvalarının mitotik indekse etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.40$).

Kaynak	Sd	KO	F	P
Sıcaklık	3	0.056	15.355	0.000
Zaman	2	0.090	24.785	0.000
Sıcaklık x zaman	6	0.015	4.219	0.001
Hata	180	0.004		

Tablo 3.37: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *A. grisella* son evre larvalarının mitotik indekse etkilerini gösteren ANOVA tablosu ($r^2=0.48$).

Kaynak	Sd	KO	F	P
Sıcaklık	3	0.033	10.448	0.000
Zaman	2	0.009	3.047	0.050
Sıcaklık x zaman	6	0.065	20.882	0.000
Hata	180	0.003		

G. mellonella son evre larvalarında mitotik indeks oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.38'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için mitotik indeksteki değişiklikler deney gözlem saatine göre

değerlendirildiğinde; 30 ve 40 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça mitotik indekste azalmalar olduğu görüldü. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde, 30 °C'de sadece 2. saate göre 48. saatteki azalma ile 40 °C'de sadece 2. saate göre 24. ve 48. saatlerdeki azalmalar anlamlıydı. 38 °C'ye maruz kalan larvaların hemolenfinde ise 2. ve 24. saatlere göre 48. saatte mitotik indeks oranlarında anlamlı derecede azalma olduğu görüldü. Ayrıca, 42 °C'de larvaların mitotik indeks oranlarının sadece 2. saate göre 24. ve 48. saatlerde önemli derecede daha düşük olduğu belirlendi (Tablo 3.38).

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için mitotik indeks oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=4.479; sd= 3, 60; P=0.007), 24 saat (F=18.394; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=2.348; sd= 3, 60; P=0.082) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.38). 2. saatin sonunda 30 ve 38 °C'lere göre 42 °C'ye maruz kalan larvaların mitotik indeks değerlerinin anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlendi. 24. saatte 30 ve 38 °C'lere göre 40 ve 42 °C'lerde gözlenen azalmalar da anlamlıydı. 48. saatin sonunda ise mitotik indeks oranları sıcaklığa bağlı olarak anlamlı bir değişiklik göstermedi (Tablo 3.38).

Tablo 3.38: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında mitotik indeks oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Mitotik indeks sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	4.26±0.42ax	3.49±0.55axy	2.21±0.26ay	6.397	2, 45	0.004
38	4.61±0.89ax	5.17±0.72ax	2.11±0.70ay	9.738	2, 45	0.000
40	3.38±0.41abx	1.93±0.40by	1.08±0.26ay	9.247	2, 45	0.000
42	2.30±0.37bx	0.72±0.13by	1.15±0.13ay	12.643	2, 45	0.000

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında mitotik indeks oranlarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.39'da verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için mitotik indeksteki değişiklikler deney gözlem saatine göre değerlendirildiğinde; 30 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça mitotik indeksin de arttığı görüldü. Deney gözlem saatlerinin tamamında en yüksek mitotik indeks oranına 10.99±1.84 ile 30 °C'de 48. saatin sonunda ulaşıldı. Ayrıca, 30 °C'deki bu değer 2. ve 24. saatlere göre anlamlı düzeyde

daha fazla olduğu görüldü. Bununla beraber, 34 °C'ye maruz kalma süresinin mitotik indeks değerlerini etkilemediği belirlendi (Tablo 3.39). 36 ve 38 °C'lerde ise en yüksek mitoz değerine 2. saatin sonunda ulaşıldığı ve bu sıcaklıklara maruz kalma süresi uzadıkça mitotik indeksin de azaldığı tespit edildi. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde 36 °C'de sadece 2. saate göre 48. saatteki azalma ile 38 °C'de 2. saate göre 24. ve 48. saatlerdeki azalmaların anlamlı olduğu görüldü. Ayrıca 38 °C'de 24. saate göre 48. saatteki azalma da anlamlıydı (Tablo 3.39).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için mitotik indeks oranlarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=15.714; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=4.404; sd= 3, 60; P=0.007) ve 48 saat (F=21.390; sd= 3, 60; P=0.000) sonra anlamlı dalgalanmalar olduğu görüldü (Tablo 3.39). Mitotik indeks değerleri 2. saatte sıcaklık arttıkça artarken, 24. ve 48. saatlerde sıcaklık arttıkça azalma eğilimi gösterdi. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde, 2. saatin sonunda 30 °C'deki mitotik indeks değerinin diğer bütün sıcaklıklara göre anlamlı derecede daha düşük olduğu görüldü. 24. saatin sonunda ise 30 °C'deki artış sadece 38 °C'ye göre anlamlıydı. Son gözlem saati olan 48. saatte, 30 °C'deki mitotik indeks diğer bütün sıcaklıklara göre önemli düzeyde daha fazlaydı. Ayrıca 48. saatin sonunda 38 °C'ye göre 34 °C'de gözlenen artış da anlamlıydı (Tablo 3.39).

Tablo 3.39: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında mitotik indeks oranları (%).

Sıcaklık (°C)	Mitotik indeks sayısı (% hücre /5 µL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	2.14±0.35ax	4.21±0.38ax	10.99±1.84ay	21.270	2, 45	0.000
34	3.86±0.29bx	3.33±0.41abx	4.87±0.53bx	2.632	2, 45	0.083
36	4.30±0.19bx	2.98±0.31abxy	2.70±0.42bcy	6.080	2, 45	0.005
38	5.02±0.45bx	2.39±0.30by	1.37±0.30cz	29.672	2, 45	0.000

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-z) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.3.4 Enkapsülasyon durumu

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarına enjekte edilen Sephadex DEAE A-25 ve G-100 Superfine boncukları etkili bir enkapsülasyon tepkisi ortaya çıkardı. Enjeksiyonu takiben 2, 24 ve 48 saat boyunca sabit ve değişken ısı şoku deney verilerinden her iki

böcek için ayrı ayrı belirlenen farklı sıcaklıklara (*G. mellonella* için 30, 38, 40 ve 42 °C, *A. grisella* için 30, 34, 36 ve 38 °C) maruz kalan larvalardan geri alınan boncukların etrafında oluşan kapsüllerin kalınlıkları değişiklik gösterdi. *G. mellonella* (Şekil 3.4a) ve *A. grisella* (Şekil 3.4b) içerisinden çıkarılan boncukların etrafına toplanan hemositlerin oluşturduğu katmana bağlı olarak farklı enkapsülasyon seviyeleri belirlendi. Bu seviyeler enkapsüle olmamış, zayıf enkapsülasyon ve güçlü enkapsülasyon olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırıldı.

G. mellonella son evre larvalarında boncukların üç farklı enkapsülasyon seviyesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.40'ta verilmektedir. Boncuk enjeksiyonu yapıldıktan sonra farklı sıcaklıklara maruz kalan son evre *G. mellonella* larvalarında her bir saat için enkapsüle olmamış boncuk sayısında ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=4.505; sd= 3, 60; P=0.006) için anlamlı artışlar gözlenirken 24 saat (F=1.900; sd= 3, 60; P=0.139) ve 48 saat (F=0.455; sd= 3, 60; P=0.715) sonra görülen azalmalar ise istatistiksel açıdan anlamlı değildi (Tablo 3.40). 2. saatin sonunda 30 °C'ye göre diğer sıcaklıklarda görülen artışlar incelendiğinde sadece 40 °C'de enkapsüle olmamış boncuk sayılarının önemli oranda arttığı tespit edildi.

G. mellonella larvalarında enjeksiyondan sonra zayıf enkapsüle olmuş boncuk oranlarında farklı sıcaklıklara göre ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=4.742; sd= 3, 60; P=0.005), 24 saat (F=3.346; sd= 3, 60; P=0.025) ve 48 saat (F=6.511; sd= 3, 60; P=0.001) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.40). Güvenin zayıf enkapsüle olmuş boncuk sayılarına 2 saat sonra bakıldığında sadece 30 °C'ye göre 42 °C'deki azalma ile 24. saatin sonunda ise sadece 38 °C'ye göre 42 °C'deki azalmanın önemli olduğu görüldü. Zayıf enkapsüle olmuş boncuk oranlarına 48. saatin sonunda bakıldığında 30 ve 40 °C'lere göre 38 °C'de gözlenen artma da anlamlıydı (Tablo 3.40).

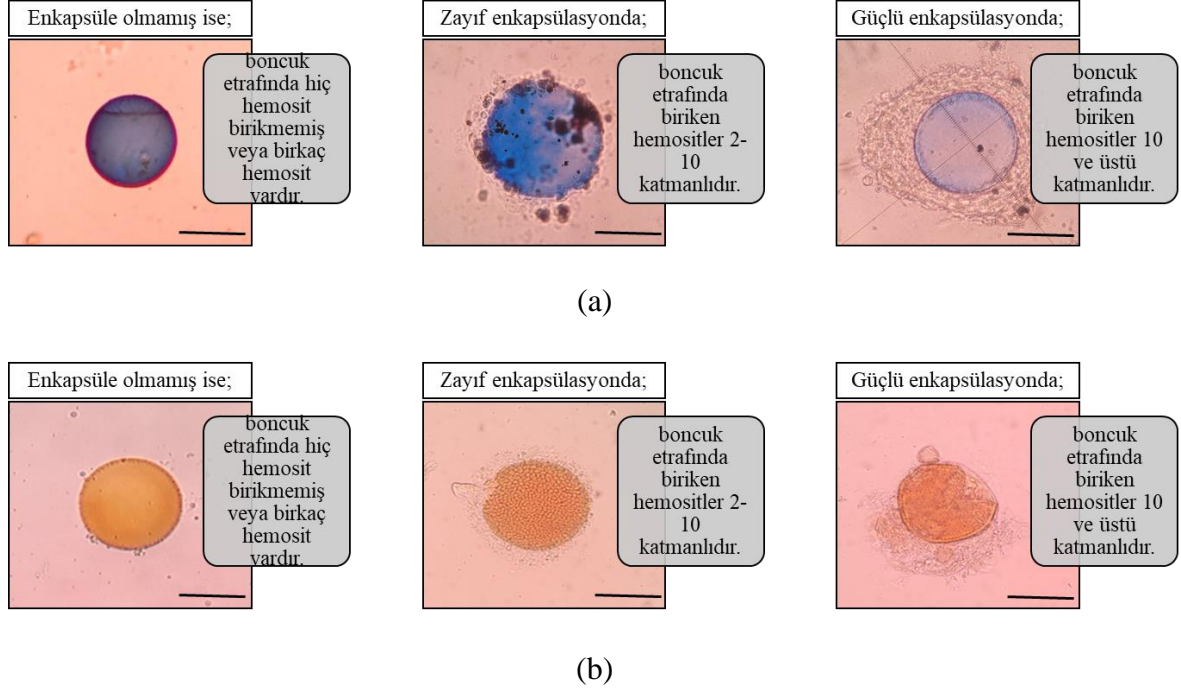
Boncuk enjeksiyonunu takiben farklı sıcaklıklara maruz kalan *G. mellonella* larvalarında her bir saat için güçlü enkapsüle olmuş boncuk oranlarında ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=5.237; sd= 3, 60; P=0.003), 24 saat (F=3.065; sd= 3, 60; P=0.035) ve 48 saat (F=4.530; sd= 3, 60; P=0.006) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.40). Güvenin güçlü enkapsüle olmuş boncuk oranlarına 2 ve 24 saat sonra bakıldığında 30 °C'ye göre belirlenen değişikliklerin istatistiksel açıdan önemli olmadığı görüldü. Ancak, 2. saatin sonunda 40 °C'ye göre 42 °C'de görülen artma ile 24. saatin sonunda 38 °C'ye göre 40 °C'de görülen artma anlamlıydı. Son gözlem saati olan 48.

saatin sonunda 30 °C'ye göre 38, 40 ve 42 °C'deki değişiklikler karşılaştırıldığında sadece 38 °C'de güçlü enkapsüle olmuş boncuk sayılarının önemli oranda azaldığı tespit edildi.

A. grisella son evre larvalarında boncukların üç farklı enkapsülasyon seviyesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.41'de verilmektedir. Boncuk enjeksiyonu yapılan son evre larvalar en yüksek sıcaklık olan 38 °C'de bir gün sonra öldükleri için bu sıcaklıkta sadece 2 saatlik gözlem sonundaki enkapsülasyon seviyeleri ölçülebildi. Boncuk enjeksiyonu yapıldıktan sonra farklı sıcaklıklara maruz kalan son evre *A. grisella* larvalarında her bir saat için enkapsüle olmamış boncuk sayısında ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=4.980; sd= 3, 60; P=0.004), 24 saat (F=11.971; sd= 2, 45; P=0.000) ve 48 saat (F=3.407; sd= 2, 45; P=0.042) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.41). 2. saatin sonunda 30 °C'ye göre diğer sıcaklıklarda görülen değişiklikler incelendiğinde sadece 34 °C'de enkapsüle olmamış boncuk sayılarının önemli oranda azaldığı tespit edildi. Ayrıca 34 °C'ye göre 38 °C'de görülen artış da anlamlıydı. Güvenin enkapsüle olmamış boncuk sayılarına 24 saat sonra bakıldığında ise sadece 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'de gözlenen artışın anlamlı olduğu görüldü. Son gözlem saati olan 48. saatin sonunda larvalardan geri alınan enkapsüle olmamış boncuk sayılarının 30 °C'ye göre sadece 36 °C'de önemli oranda arttığı tespit edildi.

A. grisella larvalarında enjeksiyondan sonra zayıf enkapsüle olmuş boncuk oranlarında farklı sıcaklıklara göre ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=1.844; sd= 3, 60; P=0.149) ve 24 saat (F=2.206; sd= 2, 45; P=0.122) için anlamlı olmayan dalgalanmalar görülürken 48 saat (F=12.063; sd= 2, 45; P=0.000) sonra sadece 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'deki azalmalar istatistiksel olarak da önemliydi (Tablo 3.41). Boncuk enjeksiyonunu takiben farklı sıcaklıklara maruz kalan *A. grisella* larvalarında her bir saat için güçlü enkapsüle olmuş boncuk oranlarında ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında; 2 saat (F=16.158; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=56.268; sd= 2, 45; P=0.000) ve 48 saat (F=4.024; sd= 2, 45; P=0.025) sonra anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.41). 2. saatin sonunda 30 °C'ye göre 34, 36 ve 38 °C'deki değişiklikler karşılaştırıldığında sadece 34 °C'de güçlü enkapsüle olmuş boncuk sayılarının önemli oranda arttığı tespit edildi. Ayrıca 38 °C'ye göre 34 ve 36 °C'de görülen artış da anlamlıydı. *A. grisella* larvalarının güçlü enkapsüle olmuş boncuk oranlarına 24 saat sonra bakıldığında ise sadece 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'de görülen azalmanın anlamlı olduğu

görüldü. Üçüncü gözlem saati olan 48. saatin sonunda larvalardan geri alınan ve güçlü enkapsüle olmuş boncukların oranı sıcaklıklar arasında karşılaştırıldığında sadece 34 °C'ye göre 36 °C'deki azalma istatistiksel açıdan önemliydi (Tablo 3.41).



Şekil 3.4: Enkapsülasyon durumları; a) *G. mellonella*, b) *A. grisella*. Ölçü çubuğu: 50 µm.

Tablo 3.40: *G. mellonella*'da sıcaklığa bağlı olarak enkapsülasyon (%) oranları ve zamana bağlı değişimleri.

Sıcaklık (°C)	Geri Alınan Boncuk Sayısı		Enkapsülasyon Derecesi (% ± SH)* (enkapsüle boncuk sayısı)**									
	Enkapsüle Olmamış		Zayıf Enkapsülasyon			Güçlü Enkapsülasyon						
	2s	48s	2s	24s	48s	2s	24s	48s				
30	105	108	122	26.30±5.10a (27)	31.96±7.89a (35)	10.29±3.95a (12)	67.60±4.56a (72)	39.17±4.95ab (42)	36.40±5.82a (45)	6.10±2.96ab (6)	28.87±5.53ab (31)	53.31±6.19a (65)
38	107	104	107	31.40±6.08ab (33)	18.22±5.24a (19)	5.38±2.64a (6)	57.29±4.59ab (62)	55.41±4.24a (57)	68.69±3.94b (73)	11.31±4.28ab (12)	26.36±5.27a (28)	25.93±4.10b (28)
40	112	107	116	49.48±4.37b (55)	14.17±4.02a (16)	10.90±3.68a (12)	50.52±4.37ab (57)	40.40±4.30ab (43)	43.64±4.71a (51)	0.00±0.00a (0)	45.42±5.47b (48)	45.46±4.95ab (53)
42	116	105	118	41.88±4.80ab (49)	27.29±4.35a (29)	9.72±4.85a (13)	42.72±5.49b (49)	34.73±4.79b (37)	46.17±6.28ab (53)	15.40±3.96b (18)	37.97±4.44ab (39)	44.11±6.27ab (52)

* Aynı sütunda (a-b) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0,05). Dene grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

** Enkapsülasyon derecesine göre boncuk sayısını göstermektedir.

Tablo 3.41: *A. griseella*'da sıcaklığa bağlı olarak enkapsülasyon (%) oranları ve zamana bağlı değişimleri.

Sıcaklık (°C)	Geri Alınan Boncuk Sayısı		Enkapsülasyon Derecesi (% ± SH)* (enkapsüle boncuk sayısı)**									
	Enkapsüle Olmamış		Zayıf Enkapsülasyon			Güçlü Enkapsülasyon						
	2s	48s	2s	24s	48s	2s	24s	48s				
30	396	409	485	45.38±4.93a (168)	11.93±1.30a (49)	16.84±1.17a (81)	45.62±4.28a (189)	25.57±1.37a (105)	49.78±1.61a (242)	8.99±1.28ab (39)	62.50±1.36a (255)	33.39±1.03ab (162)
34	272	256	303	24.13±4.61b (67)	40.22±6.99b (99)	26.26±3.93ab (82)	41.23±4.02a (118)	45.90±5.92a (122)	29.65±2.86b (94)	34.64±4.11c (87)	13.87±2.57b (35)	44.09±4.30a (127)
36	243	162	213	37.11±4.70ab (83)	54.97±6.02b (88)	31.16±4.10b (63)	36.56±3.62a (86)	32.76±6.28a (49)	38.70±3.79b (78)	26.32±5.38bc (74)	12.27±3.45b (25)	30.14±4.50b (72)
38	353	-	-	45.59±5.09a (154)	-	-	50.11±4.46a (182)	-	-	4.30±1.54a (17)	-	-

* Aynı sütunda (a-b) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0,05). Dene grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

** Enkapsülasyon derecesine göre boncuk sayısını göstermektedir.

3.4 Termal Stresin Konak Antioksidan Enzimlerine Etkisi

Termal stresin konak türler, *G. mellonella* ve *A. grisella*'da antioksidan enzim sistemlerini nasıl etkilediğini araştırmak için sabit ve değişken ısı şoku uygulamalarından elde edilen veriler kullanılarak dört farklı sıcaklık değeri belirlendi. Bu değerler *G. mellonella* son evre larvaları için 30, 38, 40 ve 42 °C ve *A. grisella* son evre larvaları için ise 30, 34, 36 ve 38 °C oldu. Ayrıca her bir sıcaklık değerinin zamana bağlı olarak antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkilerini görebilmek için üç farklı zaman dilimi (2, 24 ve 48 saat) ile çalışıldı. Termal stresin konak TP ile antioksidan enzim sistemleri kapsamında SOD, CAT, LPO ve PO enzim aktivitelerini nasıl etkilediği Tablo 3.42-53'te verilmektedir.

3.4.1 Toplam protein

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının TP miktarında görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.42 ve 43'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. Her iki böcek türünde de TP miktarı hem sıcaklık (sırasıyla P=0.000, P=0.002) hem de zamana (sırasıyla P=0.023, P=0.000) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdi. Ayrıca hem *G. mellonella* (P=0.031) hem de *A. grisella* (P=0.001) hemolenfindeki TP miktarlarında sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olarak da değiştiği görüldü.

Tablo 3.42: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *G. mellonella* son evre larvalarının toplam protein ve enzim aktivitelerine etkilerini gösteren ANOVA tablosu.

Enzim tipleri	Kaynak	Sd	KO	F	P	r ²
Toplam protein	Sıcaklık	3	0.051	10.823	0.000	0.23
	Zaman	2	0.018	3.869	0.023	
	Sıcaklık x zaman	6	0.011	2.373	0.031	
	Hata	180	0.005			
SOD	Sıcaklık	3	3.893	6.979	0.000	0.17
	Zaman	2	0.406	0.729	0.484	
	Sıcaklık x zaman	6	1.520	2.726	0.015	
	Hata	180	0.558			
CAT	Sıcaklık	3	0.000	2.312	0.078	0.10
	Zaman	2	0.000	2.042	0.133	
	Sıcaklık x zaman	6	0.000	1.306	0.257	
	Hata	180	0.000			
MDA (LPO)	Sıcaklık	3	3945.791	10.600	0.000	0.22
	Zaman	2	394.808	1.061	0.348	
	Sıcaklık x zaman	6	1045.682	2.809	0.012	
	Hata	180	372.250			
PO	Sıcaklık	3	79.201	1.546	0.204	0.08
	Zaman	2	57.006	1.113	0.331	
	Sıcaklık x zaman	6	77.351	1.510	0.177	
	Hata	180	51.222			

Tablo 3.43: Sıcaklık, zaman ve etkileşimlerinin *A. grisella* son evre larvalarının toplam protein ve enzim aktivitelerine etkilerini gösteren ANOVA tablosu.

Enzim tipleri	Kaynak	Sd	KO	F	P	r ²
Toplam protein	Sıcaklık	3	0.859	5.267	0.002	0.25
	Zaman	2	1.729	10.601	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	0.644	3.948	0.001	
	Hata	180	0.163			
SOD	Sıcaklık	3	0.060	0.676	0.568	0.05
	Zaman	2	0.076	0.859	0.425	
	Sıcaklık x zaman	6	0.083	0.931	0.474	
	Hata	180	0.089			
CAT	Sıcaklık	3	0.000	3.301	0.022	0.11
	Zaman	2	6.059	0.603	0.548	
	Sıcaklık x zaman	6	0.000	1.658	0.134	
	Hata	180	0.000			
MDA (LPO)	Sıcaklık	3	1344.27 9	21.401	0.000	0.43
	Zaman	2	613.237	9.763	0.000	
	Sıcaklık x zaman	6	519.399	8.269	0.000	
	Hata	180	62.814			
PO	Sıcaklık	3	0.514	1.934	0.126	0.11
	Zaman	2	0.583	2.194	0.114	
	Sıcaklık x zaman	6	0.510	1.922	0.080	
	Hata	180	0.266			

G. mellonella son evre larvalarında TP miktarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.44'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için TP'deki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 30, 38 ve 42 °C'lere 2, 24 veya 48 saat maruz kalmanın TP miktarını önemli oranda etkilemediği görüldü. 40 °C'de ise sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça protein miktarının azaldığı belirlendi. Ancak, 40 °C'de zamana bağlı olarak meydana gelen azalma sadece 2. saate göre 24. ve 48. saatler için anlamlıydı.

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için TP miktarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=1.175; sd= 3, 60; P=0.327), 24 saat (F=6.970; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=11.171; sd= 3, 60; P=0.000) sonra çeşitli dalgalanmalar olduğu görüldü (Tablo 3.44). Deney gözlem saatlerinin tamamında en yüksek TP miktarına 42 °C'de 24 saat sonra rastlanırken en düşük değer 48 saat sonra 40 °C'de oldu. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde sadece 24. ve 48. saatlerde 40 °C'deki azalma diğer bütün sıcaklıklara göre anlamlı bulundu.

Tablo 3.44: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam protein miktarı.

Sıcaklık (°C)	Toplam protein (mg protein/mL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.26±0.02ax	0.27±0.01ax	0.24±0.02ax	0.642	2, 45	0.531
38	0.22±0.02ax	0.25±0.02ax	0.23±0.01ax	1.063	2, 45	0.354
40	0.25±0.02ax	0.18±0.02by	0.15±0.01by	7.311	2, 45	0.002
42	0.26±0.02ax	0.29±0.02ax	0.25±0.01ax	1.407	2, 45	0.255

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($P>0.05$; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında TP miktarına farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.45'te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için TP'deki değişiklikler deney gözlem saatine göre incelendiğinde; 30 ve 38 °C'lerde en yüksek değere 24. saatin sonunda ulaşıldı ve bu sürenin altındaki ve üstündeki gözlem saatlerinde TP miktarının anlamlı şekilde azaldığı görüldü. Ayrıca 34 °C'de TP miktarının gözlem saati uzadıkça arttığı ve bu artışın sadece 2. ve 24. saatlere göre 48. saat için anlamlı olduğu belirlendi. 36 °C'deki TP miktarları ise deney gözlem saatine göre önemli oranda değişmedi.

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için TP miktarında farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat ($F=18.277$; $sd= 3, 60$; $P=0.000$), 24 saat ($F=4.300$; $sd= 3, 60$; $P=0.008$) ve 48 saat ($F=2.165$; $sd= 3, 60$; $P=0.101$) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.45). 2. saatin sonunda 34 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklardaki larvaların TP miktarı önemli oranda daha yüksekti. Ayrıca 24. saatin sonunda 34 °C'ye göre sadece 30 ve 38 °C'lerdeki artışların anlamlı olduğu görüldü. Son gözlem saati olan 48. saatin sonunda ise TP miktarının önemsiz düzeyde değiştiği belirlendi.

Tablo 3.45: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında toplam protein miktarı.

Sıcaklık (°C)	Toplam protein (mg/mL) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.35±0.02ax	0.95±0.23ay	0.39±0.02ax	6.533	2, 45	0.003
34	0.23±0.01bx	0.25±0.01bx	0.36±0.01ay	38.043	2, 45	0.000
36	0.37±0.01ax	0.38±0.02abx	0.35±0.02ax	1.019	2, 45	0.369
38	0.34±0.02ax	0.91±0.26ay	0.32±0.02ax	4.781	2, 45	0.013

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir ($P>0.05$; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.4.2 Süperoksit dismutaz aktivitesi

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının SOD aktivitesinde görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.42 ve 43'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. *G. mellonella*'da SOD aktivitesinin sıcaklığa ($P=0.000$) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdiği Tablo 3.42'den görülmektedir. Ancak, SOD aktivitesindeki bu farklılıklar zamana ($P=0.484$) bağlı değildir. Ayrıca sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olduğu da belirlendi ($P=0.015$). *A. grisella* için çift-yönlü ANOVA sonuçları incelendiğinde, SOD aktivitesinde görülen farklılıklar ne sıcaklık ($P=0.568$) ne de zamana ($P=0.425$) bağlı değildir. Ayrıca SOD aktivitesinde sıcaklığa bağlı oluşan değişikliklerin zamana bağlı olmadığı da görüldü ($P=0.474$).

G. mellonella son evre larvalarında SOD aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.46'da verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için SOD aktivitesindeki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 38, 40 ve 42 °C'lerde anlamlı değişiklikler gözlenmedi. 30 °C'de ise SOD aktivitesinin sadece 24. saate göre 48. saatin sonunda önemli seviyede yükseldiği belirlendi.

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için SOD aktivitesinde dört farklı sıcaklık uygulaması sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat ($F=3.741$; $sd= 3, 60$; $P=0.016$), 24 saat ($F=7.481$; $sd= 3, 60$; $P=0.000$) ve 48 saat ($F=0.058$; $sd= 3, 60$; $P=0.981$) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.46). 2. saatin sonunda en yüksek SOD aktivitesi 40 °C'de oldu ve bu artış oranı sadece 30 °C'ye göre istatistiksel olarak da anlamlıydı. 24. saatin sonunda ise 40 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda SOD aktivitesinin önemli oranda azaldığı görüldü. Öte yandan 48 saat sonra larvaların farklı sıcaklıklara maruz bırakılması SOD aktivitesini anlamlı düzeyde etkilemedi.

Tablo 3.46: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında SOD aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Süperoksit dismutaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	1.21±0.07axy	1.06±0.06ax	1.63±0.23ay	4.255	2, 45	0.020
38	1.90±0.23abx	1.35±0.11ax	1.56±0.21ax	2.039	2, 45	0.142
40	2.05±0.28bx	2.31±0.36bx	1.57±0.08ax	1.934	2, 45	0.156
42	1.58±0.11abx	1.40±0.09ax	1.53±0.09ax	0.913	2, 45	0.409

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında SOD aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.47'de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için SOD aktivitesindeki değişiklikler deney gözlem saatine göre incelendiğinde; bütün gözlem saatlerinin hepsinde en yüksek aktiviteye 34 °C'de 2. saatin sonunda ulaşıldı ve bu artış 24. ve 48. saatlere göre istatistiksel olarak da anlamlıydı. Öte yandan 30, 36 ve 38 °C'lerde SOD aktivitesinde zamana bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikler anlamlı bulunmadı. Ayrıca her bir saat için SOD aktivitesinde farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=1.004; sd= 3, 60; P=0.397), 24 saat (F=0.791; sd= 3, 60; P=0.503) ve 48 saat (F=0.753; sd= 3, 60; P=0.525) sonra belirlenen farklılıkların da anlamlı olmadığı görüldü.

Tablo 3.47: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında SOD aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Süperoksit dismutaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.43±0.09ax	0.27±0.06ax	0.42±0.07ax	1.569	2, 45	0.219
34	0.54±0.05ax	0.40±0.02ay	0.35±0.04ay	6.801	2, 45	0.003
36	0.37±0.07ax	0.41±0.11ax	0.36±0.05ax	0.117	2, 45	0.890
38	0.43±0.07ax	0.43±0.12ax	0.47±0.08ax	0.058	2, 45	0.944

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.4.3 Katalaz aktivitesi

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının CAT aktivitesinde görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.42 ve 43'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. *G. mellonella*'nın CAT aktivitesinde görülen farklılıklar ne sıcaklık

(P=0.078) ne de zamana (P=0.133) bağlı değildi. Ayrıca CAT aktivitesinde sıcaklığa bağlı oluşan farklılıkların zamana bağlı olmadığı da görüldü (P=0.257) (Tablo 3.42). *A. grisella* için çift-yönlü ANOVA sonuçları incelendiğinde, CAT aktivitesinin sıcaklığa (P=0.022) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar gösterdiği Tablo 3.43'ten görülmektedir. Ancak, enzim aktivitesindeki bu farklılıklar zamana (P=0.548) bağlı değildi. Ayrıca CAT aktivitesinde sıcaklığa bağlı oluşan değişikliklerin zamandan bağımsız olduğu da belirlendi (P=0.134).

G. mellonella son evre larvalarında CAT aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.48'de verilmektedir. Her bir sıcaklık değerine 2, 24 veya 48 saat maruz kalmanın CAT aktivitesini önemli düzeyde etkilemediği görüldü. Ayrıca her bir saat için CAT aktivitesinde farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=1.224; sd= 3, 60; P=0.309), 24 saat (F=0.420; sd= 3, 60; P=0.739) ve 48 saat (F=2.499; sd= 3, 60; P=0.068) sonra belirlenen farklılıkların da anlamlı olmadığı görüldü (Tablo 3.48).

Tablo 3.48: *G. mellonella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında CAT aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Katalaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein/min) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.02±0.005ax	0.01±0.002ax	0.01±0.003ax	0.613	2, 45	0.546
38	0.01±0.003ax	0.01±0.001ax	0.03±0.007ax	2.839	2, 45	0.069
40	0.01±0.002ax	0.01±0.005ax	0.01±0.002ax	0.045	2, 45	0.956
42	0.01±0.001ax	0.01±0.001ax	0.01±0.001ax	1.154	2, 45	0.325

* Aynı sütunda (a) ve aynı satırda (x) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında CAT aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.49'da verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için CAT aktivitesindeki değişiklikler deney gözlem saatine göre incelendiğinde; 30 °C hariç diğer üç sıcaklık değerinde zamana bağlı olarak anlamlı bir değişiklik olmadığı görüldü. 30 °C'de ise sadece 2. saate göre 48. saatte CAT aktivitesinin önemli düzeyde azaldığı belirlendi.

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için CAT aktivitesinde dört farklı sıcaklık uygulaması sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=2.319; sd= 3, 60; P=0.084), 24 saat (F=3.696; sd= 3, 60; P=0.017) ve 48 saat (F=1.822; sd= 3, 60;

P=0.153) sonra bazı değişiklikler olduğu görüldü. Ancak, sonuçlar istatistiksel açıdan incelendiğinde sadece 24. saatte 30 °C'ye göre 34 °C'de görülen artma anlamlı bulundu (Tablo 3.49).

Tablo 3.49: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında CAT aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Katalaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein/min) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.01±0.00ax	0.007±0.00axy	0.005±0.00ay	4.679	2, 45	0.014
34	0.02±0.00ax	0.01±0.00bx	0.01±0.00ax	0.810	2, 45	0.451
36	0.01±0.00ax	0.01±0.00abx	0.01±0.00ax	1.452	2, 45	0.245
38	0.01±0.00ax	0.01±0.00abx	0.01±0.00ax	0.642	2, 45	0.531

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.4.4 Lipit peroksidaz düzeyi

Termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarında LPO düzeylerini nasıl etkilediğini belirleyebilmek için lipit peroksidasyonunun son ürünü olan MDA seviyesi kullanıldı. Her iki güvenin hemolenfindeki MDA düzeylerinde sıcaklık ve zamana bağlı olarak meydana gelen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.42 ve 43'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. *G. mellonella*'nın MDA seviyesi sıcaklığa (P=0.000) bağlı olarak anlamlı derecede değişiklik gösterse de söz konusu farklılıkların zamandan (P=0.348) bağımsız olduğu görüldü. Ayrıca MDA seviyesinde sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olarak da değiştii belirlendi (P=0.012). *A. grisella*'da MDA seviyesi için çift-yönlü ANOVA sonuçları incelendiğinde, hem sıcaklık (P=0.000) hem de zamana (P=0.000) bağlı olarak anlamlı derecede farklılıklar olduğu görüldü. Ayrıca sıcaklığa bağlı oluşan farklılığın zamana bağlı olarak da (P=0.000) değiştii belirlendi (Tablo 3.43).

G. mellonella son evre larvalarında MDA seviyesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.50'de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için MDA seviyesindeki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 30 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça MDA seviyesinin de arttığı ve bu artışın sadece 2. saate göre 48. saat için anlamlı olduğu görüldü. Öte yandan 38, 40 ve 42 °C'lere 2, 24 veya 48 saat maruz kalmanın MDA seviyesini önemli düzeyde etkilemediği belirlendi.

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için MDA seviyesinde farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=2.656; sd= 3,

60; P=0.056), 24 saat (F=7.020; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=3.308; sd= 3, 60; P=0.026) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.50). Deney gözlem saatlerinin tamamında en yüksek MDA seviyesine 40 °C’de 24 saat sonra rastlanırken en düşük değer 2 saat sonra 30 °C’de oldu. Söz konusu değişiklikler istatistiksel açıdan incelendiğinde 24. saatte 40 °C’ye göre diğer bütün sıcaklıklardaki azalmalar ile 48. saatte sadece 40 °C’ye göre 42 °C’deki azalmanın anlamlı olduğu görüldü.

Tablo 3.50: *G. mellonella*’da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında MDA aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Malondialdehit (MDA) seviyesi (nmol/mg protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	30.97±2.05ax	33.10±2.44axy	41.10±3.76aby	3.522	2, 45	0.038
38	44.39±4.17ax	39.46±2.81ax	40.61±3.95abx	0.488	2, 45	0.617
40	41.09±4.80ax	67.46±12.22bx	51.46±5.04ax	2.677	2, 45	0.080
42	35.33±2.99ax	29.85±2.04ax	34.77±1.76bx	1.677	2, 45	0.198

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında MDA seviyesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.51’de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için MDA seviyesindeki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; 30 °C’ye 24 saat maruz kalan larvaların MDA seviyesi 2 ve 48 saat maruz kalanlara göre önemli seviyelerde daha düşük oldu. Ayrıca deney gözlem saatlerinin tamamında en yüksek MDA seviyesine 34 °C’de 2 saat sonra rastlandı ve 34 °C’ye maruz kalma süresi uzadıkça MDA seviyesinin de azaldığı görüldü. Söz konusu azalma istatistiksel açıdan incelendiğinde sadece 2. ve 24. saatlere göre 48. saatteki azalma anlamlıydı. Öte yandan 36 ve 38 °C’lere farklı zamanlarda maruz kalmanın MDA seviyesinde önemsiz dalgalanmalara neden olduğu görüldü (Tablo 3.51).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için MDA seviyesinde dört farklı sıcaklık uygulaması sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=19.165; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=18.899; sd= 3, 60; P=0.000) ve 48 saat (F=0.922; sd= 3, 60; P=0.436) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.51). 2 saat boyunca 34 °C’ye maruz kalan larvaların MDA seviyesinin diğer bütün sıcaklıklara göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlendi. Güvenin son evre larvalarında 24 saat sonra en yüksek MDA seviyesi 34 °C’de olurken en düşük değer 30 °C’de oldu. Sonuçlar

istatistiksel açıdan incelendiğinde 24. saat için 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'lerdeki artışlar ile 34 °C'ye göre 36 ve 38 °C'lerdeki düşüşler anlamlı bulundu. Son gözlem saati olan 48. saatin sonunda ise MDA seviyesinin önemsiz düzeyde değiştiği görüldü.

Tablo 3.51: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında MDA aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Malondialdehit (MDA) seviyesi (nmol/mg protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	27.10±1.52ax	15.09±2.19ay	23.31±1.53ax	11.962	2, 45	0.000
34	41.76±2.39bx	36.49±1.64bx	23.79±0.64ay	29.029	2, 45	0.000
36	23.75±1.26ax	23.37±1.00cx	25.90±1.75ax	0.988	2, 45	0.380
38	27.12±1.97ax	21.65±2.92acx	27.53±3.28ax	1.398	2, 45	0.258

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadana oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.4.5 Fenoloksidaz aktivitesi

Sıcaklık ve zamana bağlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarının PO aktivitesinde görülen değişiklikler sırasıyla Tablo 3.42 ve 43'teki ANOVA tablolarında verilmektedir. Hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'nın PO aktivitesinde görülen farklılıklar ne sıcaklık (sırasıyla P=0.204, P=0.126) ne de zamana (sırasıyla P=0.331, P=0.114) bağlı değildi. Ayrıca yine *G. mellonella* (P=0.177) ve *A. grisella*'nın (P=0.080) PO aktivitelerinde sıcaklığa bağlı oluşan farklılıkların zamana bağlı olmadığı da görüldü. *G. mellonella* son evre larvalarında PO aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.52'de verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için PO seviyesindeki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; sadece 38 °C'ye 2 saat maruz kalan larvaların PO aktivitesi 24 ve 48 saat maruz kalanlara göre önemli seviyelerde daha yüksek oldu. Öte yandan 30, 40 ve 42 °C'lere farklı zamanlarda maruz kalmanın PO aktivitesinde önemsiz dalgalanmalara neden olduğu görüldü (Tablo 3.52).

G. mellonella son evre larvalarında her bir saat için PO aktivitesinde farklı sıcaklık uygulamaları sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=35.185; sd= 3, 60; P=0.000), 24 saat (F=4.065; sd= 3, 60; P=0.011) ve 48 saat (F=1.354; sd= 3, 60; P=0.266) sonra belirgin artma ve azalmalar olduğu görüldü (Tablo 3.52). 2 saat boyunca 30 °C'ye maruz kalan larvaların PO aktivitesinin 40 ile 42 °C'ye göre ve 38 °C'ye maruz

kalan larvaların PO aktivitesinin diğer bütün sıcaklıklara göre (30, 40 ve 42 °C) anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlendi. Güvenin son evre larvalarında 24 ve 48 saat sonra en yüksek PO seviyesi 40 °C’de olurken en düşük değer 42 °C’de oldu. Sonuçlar istatistiksel açıdan incelendiğinde sadece 24. saat için 40 °C’ye göre 42 °C’deki düşüş anlamlı bulundu (Tablo 3.52).

Tablo 3.52: *G. mellonella*’da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında PO aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Fenoloksidaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	1.07±0.22ax	1.05±0.24abx	1.05±0.24ax	0.002	2, 45	0.998
38	2.56±0.33bx	1.02±0.30aby	1.19±0.38ay	6.205	2, 45	0.004
40	0.03±0.01cx	1.47±0.48ax	7.86±6.14ax	1.374	2, 45	0.264
42	0.05±0.02cx	0.01±0.01bx	0.06±0.03ax	1.215	2, 45	0.306

* Aynı sütunda (a-c) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

A. grisella son evre larvalarında PO aktivitesine farklı sıcaklık uygulamaları ile üç ayrı deney zamanının etkileri Tablo 3.53’te verilmektedir. Her bir sıcaklık uygulaması için PO aktivitesindeki değişiklikler deney gözlem süresine göre değerlendirildiğinde; sadece 36 °C’ye 48 saat maruz kalan larvaların PO aktivitesi 24 saat maruz kalanlara göre önemli seviyelerde daha yüksek oldu. Öte yandan 30, 34 ve 38 °C’lere farklı zamanlarda maruz kalmanın PO aktivitesinde önemsiz dalgalanmalara neden olduğu görüldü (Tablo 3.53).

A. grisella son evre larvalarında her bir saat için PO aktivitesinde dört farklı sıcaklık uygulaması sonucu ortaya çıkan değişiklikler karşılaştırıldığında 2 saat (F=2.867; sd= 3, 60; P=0.044), 24 saat (F=2.269; sd= 3, 60; P=0.090) ve 48 saat (F=0.992; sd= 3, 60; P=0.403) sonra bazı değişiklikler olduğu görüldü. Ancak sonuçlar istatistiksel açıdan incelendiğinde sadece 2. saatte 30 °C’ye göre 34 °C’de görülen azalma anlamlı bulundu (Tablo 3.53).

Tablo 3.53: *A. grisella*'da farklı sıcaklık ve saat uygulamalarında PO aktivitesi.

Sıcaklık (°C)	Fenoloksidaz enzim aktivitesi (unit/mg.protein) ($\bar{x} \pm SH$)*			İstatistik (ANOVA)		
	Deney gözlem saatleri			F	Sd	P
	2	24	48			
30	0.72±0.14ax	0.42±0.13ax	0.40±0.12ax	1.863	2, 45	0.167
34	0.22±0.09bx	0.38±0.15ax	0.41±0.15ax	0.614	2, 45	0.546
36	0.28±0.10abxy	0.16±0.08ax	0.65±0.17ay	4.390	2, 45	0.018
38	0.40±0.18abx	0.09±0.04ax	0.31±0.14ax	1.428	2, 45	0.250

* Aynı sütunda (a-b) ve aynı satırda (x-y) aynı harfi taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemsizdir (P>0.05; Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). SH; Standart hata.

3.5 Termal Stresin Konak-Parazitoit İlişkisine Etkisi

Termal stresin konak-parazitoit ilişkisi içerisinde *B. hebetor*'un biyolojik özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmak için konak olarak *G. mellonella* son evre larvaları kullanıldı ve dört farklı sıcaklık değeri ile çalışıldı. Bu değerler, son evre larvalarını sekiz farklı sıcaklık altında değişken ısı şokuna maruz bıraktığımız uygulama sıcaklıklarından *B. hebetor*'un hayatta kaldığı en yüksek üç sıcaklık (36, 38 ve 40 °C) ile kontrol sıcaklığı olan 30 °C oldu. Termal stresin konak-parazitoit ilişkisi içerisinde *B. hebetor*'un bazı biyolojik özelliklerini nasıl etkilediği (yumurta verimi, yumurta çatlama süresi, koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi, erginleşme yüzdesi, eşey oranı ve ergin hayat uzunluğu) Tablo 3.54-56'da detaylı bir şekilde verilmektedir.

3.5.1 Yumurta verimi

Konak-parazitoit ilişkisi içerisinde termal strese maruz kalan dişi *B. hebetor*'un ölene kadar bıraktığı yumurta sayıları incelendiğinde, 30 ve 36 °C'lere göre 38 ve 40 °C'lerde fekunditenin önemli seviyede azaldığı görüldü (F=8.414; sd= 3, 60; P=0.000) (Tablo 3.54).

3.5.2 Yumurta çatlama süresi

Termal strese maruz kalan dişi *B. hebetor*'un ölene kadar bıraktığı yumurtaların çatlama sürelerinin 30 ve 40 °C'lerde benzer olduğu ve bu iki sıcaklığa göre 36 ve 38 °C'lerdeki kısalmaların istatistiksel olarak da anlamlı olduğu görüldü (Tablo 3.55). Ayrıca 36 °C'ye göre 38 °C'deki uzama da anlamlıydı (F=207.054; sd= 3, 1096; P=0.000).

3.5.3 Koza örme süresi

Konak-parazitoit ilişkisi içerisinde termal stres uygulaması birinci nesil *B. hebetor* larvalarının koza örme süresinde dalgalanmalara neden oldu (Tablo 3.55). 30 ve 36 °C'lere göre 38 °C'de koza örme süresinin istatistiksel açıdan önemli düzeyde uzadığı görüldü.

Ayrıca 40 °C'deki kısalmanın da diğer tüm sıcaklıklara (30, 36 ve 38 °C) göre anlamlı olduğu belirlendi (F=30.637; sd= 3, 1096; P=0.000).

3.5.4 Puplaşma süresi

Termal strese maruz kalan *B. hebetor*'un birinci nesil larvalarında puplaşma süresi incelendiğinde, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda anlamlı düzeyde kısaltmalar olduğu görüldü (Tablo 3.55). Ayrıca 36 °C'ye göre 38 ve 40 °C'lerde gözlenen uzama da anlamlıydı (F=27.784; sd= 3, 1096; P=0.000).

3.5.5 Pupal periyot

Termal stres uygulamasının birinci nesil *B. hebetor* larvalarında pupal periyodu 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda önemli derecede uzattığı Tablo 3.55'ten görülmektedir. Ayrıca 36 °C'de 7.31±0.11 gün olan pupal periyotun 38 °C'de 6.45±0.16 güne düştüğü ve bu değişimin istatistiksel olarak da anlamlı olduğu belirlendi (F=67.969; sd= 3, 1096; P=0.000).

3.5.6 Ergin öncesi gelişim süresi

Termal strese maruz kalan *B. hebetor*'un birinci nesil larvalarının ergin öncesi gelişim süresi incelendiğinde, 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda istatistiksel açıdan anlamlı derecede uzamalar olduğu görüldü (Tablo 3.56). Ayrıca 36 ve 40 °C'lere göre 38 °C'de ergin safhaya ulaşan larvaların ergin öncesi gelişim süresindeki kısalma da anlamlıydı (F=23.419; sd= 3, 1096; P=0.000).

3.5.7 Erginleşme yüzdesi

Konak-parazitoit ilişkisi içerisinde termal strese maruz kalan *B. hebetor*'un birinci nesil bireylerinde en yüksek erginleşme yüzdesinin %95.10±1.46 ile 36 °C'de olduğu görüldü (Tablo 3.54). 36 °C'deki bu artış oranı diğer bütün sıcaklıklara göre istatistiksel olarak da anlamlıydı (F=6.689; sd= 3, 60; P=0.001).

3.5.8 Eşey oranı

Termal stres altında erginleşen birinci nesil bireylerin eşey oranları incelendiğinde ise en yüksek dişi oranı %80.80±4.26 ile 30 °C'de olurken, en yüksek erkek oranı %55.52±8.35 ile 36 °C'de oldu. Öte yandan en düşük dişi oranına %44.48±8.35 ile 36 °C'de rastlanırken en düşük erkek oranı 19.20±4.26 ile 30 °C'de oldu (Tablo 3.54). Sonuçlar istatistiksel açıdan ele alındığında dişi eşey oranının sadece 30 °C'ye göre 36 ve 38 °C'lerde önemli

düzeyde daha düşük olduğu ($F=4.409$; $sd= 3, 60$; $P=0.007$); erkek eşey oranının ise sadece 30 °C'ye göre 36 ve 38 °C'lerde anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlendi ($F=4.409$; $sd= 3, 60$; $P=0.007$).

3.5.9 Ergin hayat uzunluğu

Termal strese maruz kalan *B. hebetor*'un birinci nesil larvalarının ergin hayat uzunluğu ile ilgili Tablo 3.56 incelendiğinde 30, 38 ve 40 °C'lerde bireylerin benzer hayat uzunluklarına sahip olduğu görüldü. Ayrıca ergin hayat uzunluğu 36 °C'de 35.95 ± 1.41 gün ile en yüksek değerine ulaştı ve bu artış diğer tüm sıcaklıklara göre istatistiksel olarak da anlamlıydı ($F=30.910$; $sd= 3, 1096$; $P=0.000$).

Tablo 3.54: *B. hebetor*'da termal stresin yumurta verimi, erginleşme yüzdesi ve eşey oranına etkisi.

Sıcaklık (°C)	N	Yumurta verimi		Erginleşme yüzdesi (%)		Dişi eşey oranı (%)		Erkek eşey oranı (%)	
		Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	16	14-44	27.50±2.52a	28.57-94.74	76.38±3.87a	33.33-100.00	80.80±4.26a	00.00-66.67	19.20±4.26a
36	16	11-41	24.38±2.03a	80.00-100.00	95.10±1.46b	00.00-88.00	44.48±8.35b	12.00-100.00	55.52±8.35b
38	16	9-30	16.19±1.61b	40.00-100.00	77.30±4.50a	00.00-94.12	51.92±7.99b	5.88-100.00	48.08±7.99b
40	16	5-30	15.19±2.10b	20.00-100.00	65.32±7.37a	00.00-100.00	54.26±8.01ab	00.00-100.00	45.74±8.01ab

* Aynı sütunda (a-b) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.55: *B. hebetor*'da termal stresin yumurta çatılma süresi, koza örme süresi, puplaşma süresi ve pupal periyotuna etkisi (gün).

Sıcaklık (°C)	N	Yumurta çatılma süresi (gün)		Koza örme süresi (gün)		Puplaşma süresi (gün)		Pupal periyot (gün)	
		Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	350	1-5	3.18±0.05a	1-6	2.66±0.08a	1-7	3.08±0.08a	2-13	5.22±0.11a
36	373	1-3	1.83±0.04b	1-6	2.90±0.07a	1-6	2.16±0.06b	3-16	7.31±0.11b
38	201	1-4	2.13±0.06c	1-8	3.42±0.11b	1-11	2.51±0.11c	1-14	6.45±0.16c
40	176	1-5	3.16±0.06a	1-5	2.15±0.08c	1-8	2.60±0.11c	3-10	6.85±0.11bc

* Aynı sütunda (a-c) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, SH; Standart hata.

Tablo 3.56: *B. hebetor*'da termal stresin ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkisi (gün).

Sıcaklık (°C)	N	Ergin öncesi gelişim süresi (gün)		Ergin hayat uzunluğu (gün)	
		Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$	Min.-Mak.	$\bar{x} \pm SH^*$
30	350	5-20	8.30±0.11a	3-68	24.43±0.66a
36	373	5-18	9.47±0.11b	3-98	35.95±1.41b
38	201	2-19	8.96±0.15c	3-105	23.71±1.09a
40	176	6-16	9.49±0.13b	2-73	23.86±1.07a

* Aynı sütunda (a-b) aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05, Tukey HSD testi). Deney grubu sonuçları her biri dört larvadan oluşan dört tekrara aittir (Toplam 16 birey). N; Deneye giren böcek sayısı, SH; Standart hata.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

G. mellonella ve *A. grisella* son evre larvalarını sabit ve değişken olmak üzere iki farklı şekilde sıcaklığa maruz bırakarak uzun ve kısa süreli sıcaklıkların konağın fizyolojisini, bağışıklığını, antioksidan enzimlerini ve termal stresin konak-parazitoit ilişkisi kapsamında *B. hebetor*'un biyolojisini değiştirebileceği belirlendi. Sabit ısı şoku deneyleri ile bal peteği zararlısı güvelerinin sıcaklıklara karşı vereceği tepkilere geniş bir çerçeveden bakılarak *G. mellonella* ve *A. grisella* için letal, subotimum, optimum sıcaklık zonları oluşturuldu. Böylece literatürde bahsedilen her böcek türünün hayati faaliyetlerini gerçekleştirme için uygun olan sıcaklık aralığı (Kwadha ve ark., 2017) ile gelişimini aksatacak ve durduracak sıcaklık aralığı (Burggren, 2012) *G. mellonella* ve *A. grisella* için belirlenmiş oldu. Aynı zamanda besin zincirinde birbirine oldukça yakın olan iki türün iklim değişikliği sürecinde termal stresten etkilenme boyutları da karşılaştırmalı olarak incelenebildi. Sonuçta *G. mellonella*'nın 30-38 °C arasındaki sıcaklıklarda, *A. grisella*'nın ise 30-34 °C arasındaki sıcaklıklarda optimum gelişim hızına sahip olduğu görüldü. Letal, suboptimum ve optimum sıcaklıklarda sabit ısı şoku uygulanan tek bir *G. mellonella* son evre larvasının yaşam süresi verileri karşılaştırıldığında; sıcaklık arttıkça yaşam süresinin de belirgin bir şekilde kısaldığı görüldü. *A. grisella* son evre larvasının yaşam süresi verileri incelendiğinde ise sıcaklık artışına bağlı olarak yaşam süresinin sıcaklık arttıkça bir süre arttığı ardından aynı *G. mellonella* son evre larvalarında olduğu gibi belirgin şekilde azaldığı belirlendi. Ancak, bu keskin azalma *G. mellonella*'da 44 °C'den itibaren, *A. grisella*'da ise 40 °C'den itibaren gerçekleşti. Tezde kullanılan iki model organizma karşılaştırıldığında 30-38 °C aralığında her iki türde benzer etkiler görülse de sıcaklık 38 °C'nin üstüne çıktığında *G. mellonella*'nın *A. grisella*'ya kıyasla toleransının daha yüksek olduğu tespit edildi. Her iki tür için elde edilen veriler incelendiğinde kısa ve uzun vadeli etkiler değerlendirildi. Kısa vadede; iklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar zamanla böceğin popülasyonunu da azaltacak ve dolayısıyla arı ve arı ürünlerine vereceği zarar azalacaktır. Uzun vadede ise artan sıcaklıklar *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın gelişimini bozarak güvenin larva evresinde daha uzun kalmasına yol açarak arıcılıkta daha büyük kayıplara neden olacaktır (Ellis ve ark., 2013). Her iki durumda da hem bir istilacı tür hem de bir konak canlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın popülasyonunun etkilenmesi besin zinciri ve ekosistem işleyişinin değişmesi şeklinde kendini gösterecektir (Jeffs ve Lewis, 2013; Sangle ve ark., 2015).

Literatürde Diptera, Hemiptera ve Lepidoptera gibi böcek takımlarının termal strese maruz kaldığı durumlarda mortalite (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011), bazı biyolojik özellikler (Radmacher ve Strohm, 2011; Appiah ve ark., 2013; Ebrahimi ve ark., 2015; Qin ve ark., 2018; Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021) ile üremedeki değişikliklerinin araştırıldığı çalışmalara rastlanmıştır (Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021). Bu çalışmalar incelendiğinde söz konusu değişikliklerin sıcaklık değerleri, sıcaklığın uygulanma şekli, sıcaklığın uygulandığı böcek evresi ile ilişkili olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Yine de bu alandaki çalışmalar çoğunlukla termal stresin böcek mortalitesi ile hayatta kalma oranlarını nasıl etkilediği yönünde olmuştur (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011). Bunun nedenlerinden biri yüksek sıcaklık uygulamasının böceklerin fiziksel mücadelesinde kullanılan önemli bir yöntem olmasıdır (Fields, 1992). Zararlı böceklerden kurtulmak amacıyla akut öldürücü sıcaklık (LTemp) ile bu sıcaklıkların öldürmesi için gereken zamanı (LTime) araştırmak üzere yapılan çalışmaların çoğunda 50 °C ve üstü değerler letal sıcaklıklar olarak belirlenmiş ve bu sıcaklıkların öldürücülüğü (uyulandığı süreye bağlı olarak) birçok çalışmaya da konu olmuştur (Mellanby, 1935; Cui ve ark., 2008; Pereira ve ark., 2009; Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010; Kells ve Goblirsch, 2011; Qin ve ark., 2018; Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021). Özellikle tahta kurularından kurtulmak için yumurtadan ergine kadar yüksek sıcaklığın uygulandığı çok sayıda çalışmaya literatürde rastlanmaktadır (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011). Bu çalışmalardan birinde tahtakurularının (*Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae)) hem ergin hem de yumurtaları için 50 ve 55 °C’de %100 mortaliteye ulaşılmış ve 55 °C’de yumurtalardan hiçbirinde ergin çıkışı gözlenmemiştir (Kells ve Goblirsch, 2011). Ayrıca bu çalışma ile araştırmacılar *C. lectularius*’ı öldürmek için önceden kullanılan sıcaklık değerlerinden çok daha yüksek olan değerlerin gerekli olduğu sonucuna varmışlardır (Kells ve Goblirsch, 2011). *C. lectularius* için letal değerlerin belirlendiği bir başka çalışmada yumurtalar için 45 ve 41 °C’ye 1 saat maruz bırakılmanın ve erginler için 44 ve 40 °C’ye 24 saat maruz bırakılmanın %100 mortaliteye neden olduğu belirlenmiştir (Mellanby, 1935). Ergin *C. lectularius* ile yapılan başka bir çalışmada ise böceği öldürmek için gerekli olan sürenin 41 °C’de 100 dk, 45 °C’de 10 dk ve 49 °C’de 1 dk olduğu belirtilmiştir (Pereira ve ark., 2009). Benzer şekilde çalışmamızda 50 °C ve üstü her iki böcek için de letal değer olarak belirlendi ve bu sıcaklık için *G. mellonella* ve *A. grisella*’da ilk ölüm 1. saatin sonunda gerçekleşirken ölüm oranları sırasıyla %56.67 ve %66.67 olarak ölçüldü. 50 °C’de %100 ölüm oranına ise her iki böcekte de 10. saatin sonunda ulaşıldı. *G. mellonella* için 40, 42 ve

44 °C'ler suboptimum sıcaklıklar olarak belirlendi ve %100 ölüm oranına 40 ve 42 °C'lerde 30. günün, 44 °C'de 1. günün sonunda ulaşıldı. 40, 42 ve 44 °C'lere 2 saat maruz bıraktığımız değişken ısı şoku deneylerinde ise larvaların erginleşerek hayat döngülerini tamamladığı görüldü. *A. grisella* için 44, 42, 40, 38 ve 36 °C'ler suboptimum sıcaklıklar olarak belirlendi ve %100 ölüm oranına 44 °C'de 10. saatin, 42 °C'de 15. saatin, 40 °C'de 1. günün, 38 °C'de 15. günün ve 36 °C'de 20. günün sonunda ulaşıldı. 36, 38 ve 40 °C'lere 2 saat maruz bıraktığımız değişken ısı şoku deneylerinde ise larvaların erginleşerek hayat döngülerini tamamladığı görüldü. Böylece *C. lectularius*'un mortalitesi üzerine yapılan bütün bu çalışmalar (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011) araştırmamızdaki verilerle karşılaştırıldığında genel olarak *G. mellonella* ve *A. grisella*'yı öldürmek için *C. lectularius*'ya uygulanandan daha yüksek derecelere veya benzer sıcaklıklarda daha uzun süreye ihtiyaç olduğu açıkça görülmektedir.

Öldürücü sıcaklıkların araştırıldığı bir diğer çalışmada *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae)'ya uygulanan kısa süreli (12 saat) yüksek sıcaklıklara (34, 36, 38, 40 ve 42 °C) karşı en dayanıklı evrenin pupa evresi olduğu belirlenmiştir (LTemp₅₀= 42.060 °C). Bunu ergin dişiler (LTemp₅₀= 40.447 °C), ergin erkekler (LTemp₅₀=40.013 °C) ve larva evresi (LTemp₅₀= 36.740 °C) izlemiştir. Aynı çalışmada artan sıcaklıklardan en çok etkilenen evrenin ise 38.310 °C'lik LTemp₅₀ ile yumurta evresi olduğu belirlenmiştir (Huang ve ark., 2020). Başka bir çalışmada sıcaklık uygulaması sonucu *C. lectularius*'un hem ergin hem de yumurtaları için ilk mortalite 40 °C'de gözlenmiş ve erginler için LTemp_{50,99} değerleri sırasıyla 43.5 °C ve 48.3 °C olarak ölçülmüştür. Yumurtaların ise erginlere göre daha yüksek olan LTemp_{50,99} değerlerinin sırasıyla 47.5 °C ve 54.8 °C olduğu ifade edilmiştir (Kells ve Goblirsch, 2011). Çalışmamızda *G. mellonella* için ilk ölümün 40 °C'de olması tahta kuruları ile yapılan çalışmalarla (Mellanby, 1935; Kells ve Goblirsch, 2011) benzerlik gösterse de *G. mellonella*'da farklı olarak 40 °C'de ilk ölümün zamanı 15. gün ve LTemp_{50,99} değerleri ise sırasıyla 42.645 ve 45.137 °C olarak belirlendi. Ayrıca *B. tau*'nun larva evresinde 36.740 °C olan LTemp₅₀ değeri (Huang ve ark., 2020) de *G. mellonella* ile benzerlik göstermedi. Ancak, *A. grisella* için yaptığımız çalışmada son evre larvaların LTemp₅₀ değeri 36.615 °C iken LTemp₉₉ değeri 43.016 °C olarak bulundu. Huang ve ark.'larının 2020 yılında yaptığı çalışmada (Huang ve ark., 2020) *B. tau*'nun LTemp₅₀ değeri ile çalışmamızdaki *A. grisella* son evre larvalarının LTemp₅₀ değeri oldukça benzerdi. Ancak *A. grisella* ile ilgili sonuçlarımız Kells ve Goblirsch'in 2011 yılında yaptığı çalışmadaki *C. lectularius*'un LTemp₅₀ değerleri ile farklılık gösterdi.

Böylece *A. grisella* son evre larvalarının %50'sini öldürmek için *C. lectularius*'a uygulanana göre daha düşük sıcaklıkların (36.615 °C) yeterli olabileceği anlaşıldı. *G. mellonella* son evre larvalarının %50'sini öldürmek için ise *C. lectularius* (Kells ve Goblirsch, 2011) ve *B. tau* (Huang ve ark., 2020)'dan daha yüksek sıcaklıkların kullanılması gerektiği açıkça ortaya kondu. Model organizmalar birbiri ile karşılaştırıldığında ise *A. grisella* larvalarının (LTemp₉₉= 43.016 °C) %99'unun öldüğü sıcaklıkta *G. mellonella*'nın (LTemp₆₀= 42.909 °C; LTemp₇₀= 43.194 °C) %60-70 ölüm oranına sahip olduğu belirlendi. Verilerimiz arasındaki farklılık iki tür arasındaki boyut farkına bağlanabilir. Literatür ve tez verileri arasındaki farklılığın temel nedeni ise çalışılan böcek türlerinin ve böcek evrelerinin farklı olmasına bağlanabilir.

Sıcaklığın derecesi kadar o sıcaklığa maruz kalma süresinin de böcekleri ölümle yaşam arasındaki çizgide tutabildiği açıkça ortadadır. Literatürde *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) güvesine kısa süreli sıcaklık uygulaması sonucunda 30, 35 ve 40°C'lere 1, 2 ve 4 saat süreyle maruz kalan larvaların hayatta kalma oranlarının kontrole göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça hayatta kalan birey sayısında da azalma olduğu görülmüştür (Liu ve ark., 2021). Çalışmamızda da hem *G. mellonella*'nın (40, 42, 44 ve 50 °C'ler) hem de *A. grisella*'nın (36, 38, 40, 42, 44 ve 50 °C'ler) öldürücü etki gösteren sıcaklıklarda kalma süresi uzadıkça hayatta kalan bireylerin sayısında azalma olduğu kümülatif mortalite değerlerinden açıkça görülmektedir. Zararlı böcekleri yok etmek için gerekli olan LTime'in araştırıldığı bir çalışmada, *C. lectularius* erginleri 30, 35, 40, 43, 44, 45, 46, 48, 50 veya 55 °C'ye 2, 10, 20, 40, 60, 90 ve 120 dakikalık süreler ile; yumurtaları ise 44 ve 46 °C dışındaki benzer sıcaklıklara, 2–120 dakika aralığına ek olarak 4, 6, 8 ve 12 saatlik süreler ile maruz bırakılmıştır. Yumurtadan ilk ergin çıkışı 48 °C'de <%20 olarak bulunmuş ve LTime_{50,99} sırasıyla 4.2 ve 71.5 dk olarak belirlenmiştir. 45 °C'de erginler için LTime_{50,99} sırasıyla 58.0 dk ve 94.8 dk; yumurtalar için ise sırasıyla 194.1 ve 428.5 dk olarak bulunmuştur. Sonuçta araştırmacılar *C. lectularius*'ı öldürmek için tüm oda ısıl işlemlerinde genel olarak 48 °C (71.5 dk) veya >50 °C (0 dk) sıcaklıkların gerekli olduğunu ifade etmişlerdir (Kells ve Goblirsch, 2011). LTime'in araştırıldığı başka bir çalışmada ise *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)'nın erkek ve dişi bireyleri 1.5 ile 540 dk arasında değişen sürelerde 40, 42.5, 45 ve 46.5 °C'lere maruz bırakılmıştır. Böceğin LTime_{50,90} değerleri incelendiğinde dişi ve erkek arasında ciddi bir fark gözlenmemiştir. LTime₅₀ erkekler için 40 ve 46.5 °C'de sırasıyla 247.68 dk ve 7.29 dk ve dişiler için 257.45 ve 6.98 dk olurken

LTime₉₀ ise erkekler için 40 ve 46.5 °C’de sırasıyla 391.74 dk ve 12.40 dk ve dişiler için 375.09 dk ve 12.46 dk olarak belirlenmiştir (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010). Çalışmamızda *G. mellonella* larvaları için LTime_{50,99} değerleri sırasıyla 40 °C’de 504 ve 516 saat; 42 °C’de 552 ve 506 saat; 44°C’de 21 ve 20.9 saat ve 50°C’de 0.8 ve 1 saat olarak belirlendi. *A. grisella* larvaları için LTime₅₀ değeri 34 ve 38 °C’lerde 240 saat, LTime₉₉ değeri ise sırasıyla 281 ve 274 saat; 36 °C’de LTime₅₀ değeri hesaplanamadı, LTime₉₉ değeri ise 423 saat; 40 °C’de LTime₅₀ 11 saat, LTime₉₉ 11.8 saat; 42 °C’de LTime₅₀ 10 saat, LTime₉₉ 10.2 saat; 44 °C’de LTime₅₀ 1 saat, LTime₉₉ 1.4 saat ve son olarak 50 °C’de LTime₅₀ 0.5 saat, LTime₉₉ 0.7 saat olarak belirlendi. Sonuçlar değişen iklim şartlarıyla artan sıcaklıklara karşı *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarının, *H. armigera* (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010) ve *C. lectularius* (Kells ve Goblirsch, 2011)’a göre daha dirençli olacağını ve daha uzun süre hayatta kalabileceğini göstermiştir. Model organizmalar kendi arasında karşılaştırıldığında ise *A. grisella*’nın sıcaklığa dayanma süresinin *G. mellonella*’ya kıyasla daha az olduğu açıkça görüldü. Hem çalışmamızın sonuçları hem de diğer araştırmalar (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011) sıcaklık faktörünün böcekler için öldürücü boyutlara ulaşabileceğini açıkça orta koymaktadır. Ancak, öldürücü sıcaklığın etkisi zaman kavramı olmadan belirlenememektedir. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, böceğin ölmesi için geçen süre de o kadar kısalmaktadır (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010). Bunun yanı sıra araştırmalar sıcaklığın öldürücülük derecesinin böceğin türüne ve sıcaklığı uygulama şekline göre büyük oranda değiştiğini de göstermektedir (Mellanby, 1935; Pereira ve ark., 2009; Kells ve Goblirsch, 2011).

Tez çalışması kapsamında termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvaları üzerindeki öldürücü etkileriyle birlikte hayatta kalma oranları da belirlendi. Yüksek sıcaklık sabit ve değişken olmak üzere iki farklı şekilde *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarına uygulandı ve böceklerin hayatta kalma oranlarında farklı sonuçlar elde edildi. Sabit ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* son evre larvalarının 30, 32, 34, 36 ve 38 °C’de hayatta kalma oranı %100 iken; 40 °C ve üstündeki sıcaklıklarda hiçbir birey hayatta kalamadı. Değişken ısı şokuna maruz kalanların ise 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C’de hayatta kalma oranı %100 olarak belirlendi ancak sıcaklık 50 °C’ye çıkartıldığında bütün bireylerin öldüğü görüldü. Sabit ısı şokuna maruz kalan *A. grisella* son evre larvalarının 30 ve 32 °C’de hayatta kalma oranı %100 iken, bu oran 34 °C’de %36.67’ye düştü ve 36 °C ve üstündeki sıcaklıklarda hiçbir birey hayatta kalamadı. Değişken ısı

şokuna maruz kalanların ise 30, 32, 34, 36, 38 ve 40 °C'de hayatta kalma oranı %100 olarak belirlendi ancak sıcaklık 42, 44 ve 50 °C'ye çıkartıldığında bütün bireylerin öldüğü görüldü. *G. mellonella* ve *A. grisella* sonuçlarımız kendi arasında karşılaştırıldığında her iki böcek türünün de gelişimi için uygun olan ortak sıcaklık zonlarının sabit sıcaklıktayken 30, 32 ve 34 °C'ler iken değişken ısı şokunda ise 30, 32, 34, 36, 38 ve 40 °C'ler olduğu belirlendi. Bu sonuçlar *G. mellonella*'nın *A. grisella*'ya göre çok daha geniş bir sıcaklık aralığında hayatta kalabildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık sabit ısı şoku altındaki *A. grisella* son evre larvalarının 34 °C'ye maruz kaldığı durumda bütün bireylerin erginleşmediği ve bazılarının larva veya pup döneminde öldüğü görüldü. 34 °C'de *A. grisella*'nın erginleşme veya ölmesine neden olan etki, bağışıklık sistemi ve/veya enzim aktivitesinde birtakım fizyolojik etkileşimler sonucu gerçekleşmiş olabilir. Ayrıca *A. grisella*'da 34 °C'de yaşayan bireylerin gelişiminde, bağışıklığında ve antioksidan enzimlerinde anormalliklerin gözlenme ihtimalini de olası buluyoruz.

Her böcek türünün gelişimi için türe özgü optimum bir sıcaklık aralığı vardır (Mironidis ve Savopoulou-Soultani, 2010; Burggren, 2012). Çalışmalarımızda değişken ısı şokunda 2 saat sıcaklığa maruz kalan *G. mellonella* larvaları için 30-44 °C aralığı ile *A. grisella* larvaları için 30-40 °C aralığı böceklerin gelişimi için uygun sıcaklıklar olarak belirlendi. Sabit ısı şokunda ergin olana kadar sıcaklığa maruz kalan *G. mellonella* larvaları için 30-38 °C aralığı ile *A. grisella* larvaları için 30-34 °C aralığının böceklerin gelişimi için uygun sıcaklıklar olduğu tespit edildi. Sabit ve değişken ısı şoku deneylerinde *G. mellonella*'nın puplaşma süresi, ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğu gibi bazı biyolojik özelliklerinde değişiklikler gözlemlendi. *A. grisella*'nın ise bunlara ek olarak koza örme süresinin de değiştiği belirlendi. *G. mellonella* verilerindeki değişiklikler incelendiğinde hem sabit hem de değişken (32 °C hariç) ısı şokunda en uzun ergin öncesi gelişim süresinin ve ergin hayat uzunluğunun 30 °C'de gözlenmiş olması *G. mellonella*'nın gelişimi için en ideal sıcaklığın 30 °C olduğunu söyleyen çalışmayı (Hanumanthaswamy ve ark., 2013) destekler niteliktedir. Sabit ve değişken ısı şoku verileri kıyaslandığında değişken ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* larvalarının sabit ısı şokuna maruz kalanlara göre puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresinin uzadığı belirlendi. *A. grisella*'da ise değişken ısı şokuna maruz kalan larvalarda sabit ısı şokuna maruz kalanlara göre pupal periyot, ergin hayat uzunluğu, ergin ağırlığı ile yumurta veriminin arttığı belirlendi. Hem sabit hem de değişken ısı şokunda *G. mellonella*'dan farklı olarak *A. grisella* ergin öncesi gelişim süresi ile ergin hayat uzunluğu sürelerinin

toplamının en uzun olduğu sıcaklık 30 °C olarak belirlendi. Bu da *A. grisella* bireyelerinin 30 °C’de diğer sıcaklıklara kıyasla daha uzun süre yaşayabileceğini gösterdi. Dolayısıyla *A. grisella* gelişimi için en ideal sıcaklık olarak 29-30 °C aralığını veren çalışma ile elde edilen veriler birbiriyle benzerlik göstermektedir (Ellis ve ark., 2013). Ayrıca sabit ısı şokuna maruz kalan *A. grisella* larvalarının ergin birey gözlenen ideal sıcaklıkları arasından (30, 32 ve 34 °C) en yüksek sıcaklık olan 34 °C’de larva ve pupa döneminde görülen ölümler nedeniyle erginleşme oranı düştü. Bu sıcaklıkta erginleşmeyi başaran bireylerin ise yine daha düşük sıcaklıklara göre özellikle ergin hayat uzunluğunun kısaldığı belirlendi. Sonuçlarımız kendi arasında karşılaştırıldığında hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*’nın sıcaklıktan ve sıcaklığın uygulama biçiminden hem ergin öncesi dönemlerinde (koza örme ve puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresi) hem de erginleştikten sonraki dönemlerinde (ergin hayat uzunluğu, ergin ağırlığı ve yumurta verimi) etkilendiği belirlendi. Soliter bir arı olan *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae)’de sıcaklıklar soğuk, orta ve sıcak olmak üzere uygulandığında sabit ısı şoku deneylerine göre değişken ısı şoku deneylerinde böceğin gelişiminin hızlandığı görülmüştür. Ayrıca *O. bicornis*’nın ergin aşamasına gelene kadar ne sıcaklıktan ne de sıcaklığın uygulama biçiminden etkilenmediği de belirlenmiştir. Ergin *O. bicornis* mortalitesi ise sıcaklık arttıkça artmış ve erginler sabit ısı şokuna göre değişken ısı şokundan daha az etkilenmiştir (Radmacher ve Strohm, 2011). Sıcaklık artışına bağlı olarak *A. grisella* mortalitesinin artması literatürle benzerlik gösterse de mortalitenin artış gösterdiği böcek evresi farklıdır. Literatür ile sonuçlarımız arasındaki bu farklılıklar böcek türlerinin, sıcaklıkların, sıcaklığın uygulama şeklinin ve sıcaklığın uygulandığı böcek evresinin farklı olmasına bağlanabilir.

Lepidoptera türlerinin yaklaşık %98’i ürettiği protein yapılı ağlardan kendilerine koza oluşturmaktadır (Craig, 1997; Offord ve ark., 2016). İpek örüp koza oluşturan diğer bir böcek takımı da Hymenoptera türleridir (Stehr, 2009). Konak-parazitoit ilişkisi kapsamında iki böceğin hayatları birbirine çok bağlı olmasına rağmen koza yapılarının birbirinden oldukça farklı olduğunu gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur (Quicke ve Shaw, 2004; Stehr, 2009) ancak koza her iki böcek takımında da aynı göreve hizmet etmektedir (Goto ve ark., 1997; Danks, 2002; Danks, 2004). Kozanın genel görevi soğuk havalarda hareketsiz kalan ve diyapozaya giren böcekleri dış ortamdaki ve kötü hava şartlarından izole etmek olsa da koza içerisindeki pupayı doğal düşmanlardan ve çeşitli mekanik etkilerden de korumaktadır (Goto ve ark., 1997; Danks, 2002; Danks, 2004).

Ayrıca çevreden gelen fotoperiyodik işaretleri ve nem oranını kozanın içine ileterek koza içindeki larvanın diyapozu devam ettirmesine veya sonlandırmasına dair karar vermesinde de yardımcı olur (Danks, 2004). Bu kadar önemli görevleri olan kozaların sıcaklıktan nasıl etkilendiği konusunda yapılan çalışmalarda daha çok sıcaklık, nem ve ışık kullanarak *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) kozalarının özelliklerini iyileştirmek, üretilebilirliğini ve kalitesini artırmak gibi hedefler ortaya konulmuştur (Rarnachandra ve ark., 2001; Offord ve ark., 2016). Bu çalışmalarda özellikle sıcaklık ve neme bağlı değişiklikler dikkat çekmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak ipekböcekleri ısı dağılımını dengelemek için vücutlarını uzatmış ve bu da daha uzun ve daha ince kozaların oluşmasına yol açmıştır (Offord ve ark., 2016). Yüksek sıcaklıklar koza oluşma süresini kısaltmış ancak koza örme aşamasında kozayı oluşturan ipek filamentinin istenmeyen şekilde aniden inceliyor kalınlaşmalarına neden olmuştur. Bu araştırmalar sayesinde sıcaklığın ağ oluşumunu kontrol eden mekanizmayı etkileyebildiği sonucuna varılmıştır (Rarnachandra ve ark., 2001; Offord ve ark., 2016). *B. mori* kozasının kalitesinin sıcaklık ve neme bağlı olarak nasıl değiştiğini inceleyen çalışmalardan birinde genel olarak sıcaklığın kozanın genel şeklini, nemin ise kozanın rengini etkilediği belirlenmiştir (Rarnachandra ve ark., 2001). Bu çalışmaların dışında literatürde koza örme süresini araştıran oldukça az sayıda çalışma vardır. Rarnachandra ve ark.'ları *B. mori* larvalarının koza oluşturma süresinin sıcaklık arttıkça kısaldığını ancak ipeğin kalitesinin düştüğünü belirlemiştir (Rarnachandra ve ark., 2001). Hymenoptera takımından bir böcek türünün araştırıldığı başka bir çalışmada ise soliter arı *O. bicornis* soğuk, orta ve sıcak olmak üzere farklı sıcaklıklarda sabit ve değişken ısı şokuna maruz bırakılmış ve koza örme süresi ölçülmüştür. Araştırmacılar koza örmenin sabit sıcaklıklar altında sıcaklık arttıkça daha kısa sürede tamamlandığını ve değişken ısı şoku altında ise sürenin sabit sıcaklıklara göre daha kısa olduğunu bulmuşlardır (Radmacher ve Strohm, 2011). Tez çalışması kapsamında hem konak türler hem de parazitoit türün koza örme süresi araştırıldı. Konak türler *G. mellonella* ve *A. grisella*'da koza örme süreleri sıcaklığa ve sıcaklığın uygulanma biçimine göre değişiklik gösterdi. Hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'da bütün sıcaklıklarda koza örme süresi sabit ısı şokuna göre değişken ısı şokunda daha kısa oldu ve bu durum Radmacher ve Strohm'un 2011 yılında yaptığı çalışma ile benzerlik gösterdi (Radmacher ve Strohm, 2011). Ancak, araştırmamızda koza örme süresini araştıran nadir sayıdaki çalışmalardan (Rarnachandra ve ark., 2001; Radmacher ve Strohm, 2011) farklı olarak sıcaklıkla kısalan bir koza örme süresiyle karşılaşılmadı. *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın koza örme sürelerinde sıcaklık artışına bağlı kısaltmalar gözlemlense de bu kısaltmalardan çoğu

istatistiksel olarak anlamsızdı. Bunun dışında sabit ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* larvalarının koza örme süresi 30 °C'ye göre sıcaklık arttıkça belirgin bir şekilde uzadı ancak sıcaklık 38 °C'ye çıktığında tekrar anlamlı şekilde kısaldı. Değişken ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* larvalarının koza örme süresinin ise sıcaklık değişiminden neredeyse hiç etkilenmediği görüldü. *A. grisella*'nın koza örme süresi ise hem sabit hem de değişken ısı şokunda sıcaklık 30 °C'den 32 °C'ye çıktığında hafifçe kısaldı ancak 34 °C'den itibaren anlamlı şekilde uzama eğilimi gösterdi. Çalışmamızda parazitoit tür *B. hebetor*'un koza örme süresinin de termal stresten etkilendiği belirlendi. Bunun için konak türlerden farklı olarak önceden termal strese maruz kalmış konağıyla birlikte tekrar termal stres altında tutulan dişi parazitoitin bıraktığı yumurtalardan çıkan larvaların koza örme süresi verileri incelendi. *B. hebetor*'un koza örme süresinin sıcaklık arttıkça bir süre uzadığı ve en uzun koza örme süresinin ise 38 °C'de olduğu görüldü. Ardından sıcaklık 40 °C'ye çıktığında koza örme süresinin bütün sıcaklıklara göre belirgin şekilde azaldığı belirlendi. Çalışmalarımız literatürdeki biri Lepidoptera diğeri Hymenoptera türlerine ait iki farklı çalışmaya göre farklılık göstermektedir (Rarnachandra ve ark., 2001; Radmacher ve Strohm, 2011). Bu farklılıkların böcek türü, sıcaklık ve sıcaklığın uygulama biçiminden kaynaklandığını düşünmekteyiz. Ayrıca *G. mellonella*, *A. grisella* ve *B. hebetor*'da gözlenen bu değişiklikler sıcaklığın her üç böceğin de ağ oluşum mekanizmasını etkilediğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir (Rarnachandra ve ark., 2001; Offord ve ark., 2016). Bu değişiklikler incelendiğinde sabit ısı şokunun her iki konak türünü de etkilediği, değişken ısı şokunun ise sadece *A. grisella*'yı etkilediği tespit edildi. Bu durum, termal stres altında koza örme süresini kontrol eden mekanizmalar düşünüldüğünde, *G. mellonella*'nın hem *A. grisella*'ya hem de literatürdeki diğer böceklere göre daha dirençli olduğunu gösterebilir.

G. mellonella ve *A. grisella*'nın ergin öncesi dönemlerinin (puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresi) ve ergin olduktan sonraki dönemlerinin (ergin ağırlığı, ergin hayat uzunluğu ve yumurta verimi) termal stresten ve termal stresin uygulanma biçiminden etkilendiği belirlendi Sabit ve değişken ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* larvalarının 30 °C'ye göre sıcaklık arttıkça puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresinin çoğunlukla kısaldığı görüldü. *A. grisella* larvalarının ergin öncesi dönemlerinde ise farklı sonuçlara ulaşıldı ve özellikle 34 °C'de sabit ısı şoku uygulaması dikkat çekici etkilere neden oldu. *A. grisella*'nın puplaşma süresi 30 ve 32 °C'lere göre 34 °C'de belirgin şekilde uzarken pupal periyotun kısaldığı ancak ergin öncesi gelişim süresinin ise hiç

değişmediği görüldü. Değişken ısı şoku deneylerinde *A. grisella*'nın puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresi sıcaklık arttıkça çoğunlukla uzasa da bu uzamalardan sadece bazıları anlamlıydı. *A. grisella*'da en uzun puplaşma süresine 40 °C'de rastlandı ve bu artış diğer bütün sıcaklıklara göre anlamlıydı. En uzun pupal periyota 38 °C'de ve en uzun ergin öncesi gelişim süresine ise 40 °C'de ulaşıldı ve bu değerler kontrol sıcaklığına göre önemli düzeyde daha uzundu. Ergin hayat uzunluğu verileri incelendiğinde; sabit ısı şokuna maruz kalan larvalardan erginleşen *G. mellonella* ve *A. grisella* bireylerinin hayat uzunluğu 34 °C'de 30 ve 32 °C'lere göre anlamlı şekilde kısaldı ve her iki böcekte de en kısa hayat uzunluğu 34 °C'de oldu. Değişken ısı şokunda da yine her iki böcekte de sıcaklık arttıkça hayat uzunluğunun kısaldığı görüldü. Bu kısalmalardan *G. mellonella* için 30 °C'ye göre 40 ve 44 °C'dekiler; *A. grisella* için ise 30, 32 ve 36 °C'lere göre 40 °C' dekiler anlamlı bulundu.

Literatürde termal strese farklı sürelerde ve farklı şekillerde maruz kalan Lepidoptera (Ebrahimi ve ark., 2015; Laughton ve ark., 2017; Qin ve ark., 2018; Liu ve ark., 2021) ve Diptera (Huang ve ark., 2020) takımlarına ait böceklerin ergin öncesi dönemlerinin ve ergin hayat uzunluklarının çalışıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde *Mythimna (Leucania) roseilinea* (Lepidoptera: Noctuidae) yumurta evresinden itibaren 18, 21, 24, 27 ve 30 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve ergin öncesi gelişim evrelerindeki değişiklikler (puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi ve yumurtadan-ergine geçen süre) ile ergin hayat uzunluğu ve yumurta sayısı her gün takip edilmiştir. Çalışma sonucunda böceğin her bir gelişim evresinin ve ergin hayat uzunluğunun sıcaklıkla beraber belirgin şekilde kısaldığı görülmüştür. Uygulanan bütün sıcaklıklarda dişilerin erkeklerden daha uzun süre yaşadığı ve dişilerin hayatı boyunca bıraktığı yumurta sayılarının ise sıcaklıktan farklı şekillerde etkilendiği belirlenmiştir. Dişi fekunditesi incelendiğinde 18 °C'de 66 olan yumurta sayısının, 21 ve 24 °C'lerde sırasıyla 286 ve 298'e çıkarak belirgin şekilde yükseldiği, 27 °C'de 170'e ve 30 °C'de 151'e düşerek sıcaklık arttıkça yumurta veriminin azaldığı ve sonuçta böcek gelişimi için optimum sıcaklık aralığının 21-24 °C olduğu tespit edilmiştir (Qin ve ark., 2018).

Kısa süreli ısı şokunun çalışıldığı bir makalede 0-12 saatlik *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) yumurtaları 30, 35 ve 40 °C'lere 2, 4, 6 ve 8 saat boyunca maruz bırakılmış ve böceğin ergin öncesi gelişim parametreleri kapsamında puplaşma süresi ve pupal periyotundaki değişiklikler ile ergin hayat uzunluğu ve dişi fekunditesi araştırılmıştır.

Çalışmanın sonucunda puplaşma süresi ve pupal periyotun sıcaklıkla ve sıcaklığa maruz kalma süresiyle artma ve azalmalar gösterdiği belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 35 ve 40 °C'ye 2 saat maruz kalan bireylerin puplaşma süresi 30 °C'ye 2 saat maruz kalanlara göre belirgin şekilde uzamıştır. Pupal periyot verilerine bakıldığında 6.15 gün ile en uzun pupal periyot 30 °C'ye 2 saat maruz kalanlarda olmuş ve bu süre 35 °C'ye 2 saat maruz kalanlarda 5.41 güne ve 40 °C'ye 2 saat maruz kalanlarda ise 5.04 güne düşerek belirgin şekilde azalmıştır. Yumurta döneminden itibaren farklı süreler boyunca bu sıcaklıklara maruz kalıp erginleşen bireylerin hayat uzunluğu ile dişilerin bıraktığı yumurta sayısının da sıcaklıktan ve sıcaklığa maruz kalma süresinden etkilendiği görülmüştür. 30 °C'ye 8 saat maruz kalan dişi ve erkek bireylerin 2, 4 ve 6 saat maruz kalanlardan daha uzun yaşadığı belirlenmiştir. 35 ve 40 °C'lerde ise maruz kalma süresi arttıkça hayat uzunluğu kısalmıştır. Ayrıca 30, 35 ve 40 °C'lere 2 saat maruz kalan dişi ve erkeklerin en uzun hayat uzunluğunun 35 °C'de olduğu ve 35 °C'nin altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda ise hayat uzunluğunun belirgin şekilde kısaldığı görülmüştür. Dişi fekunditesinin en yüksek olduğu değerler, böcek 30 °C'ye 4 saat ve 35 ve 40 °C'lere 6 saat maruz bırakıldığında elde edilmiştir (Ebrahimi ve ark., 2015).

Bir diğer kısa süreli sıcaklık çalışmasında ise *B. tau*'nun yumurta evresine 12 saat süreyle uygulanan yüksek sıcaklıkların (34, 36, 38, 40 ve 42 °C) böceğin farklı evrelerinde (yumurta, larva, pup, ergin dişi ve erkek) büyüme, gelişme ve üremeyi nasıl etkilediği araştırılmıştır. Yumurta (2.830 gün), larva (7.330 gün) ve pupalarda (8.170 gün) gelişim süresinin 40 °C'de diğer sıcaklıklara göre önemli ölçüde uzadığı belirlenmiştir. 42 °C'de ise *B. tau*'nun gelişme süresindeki artış maksimum seviyeye ulaşmış ve böcekler 42 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşayamamışlardır. Çalışmada ergin hayat uzunluğunun 34 °C'de en yüksek seviyede olduğu ve ardından sıcaklıklar 36 °C'den 42 °C'ye yükseldikçe sürenin kısaldığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada sıcaklık arttıkça dişi başına düşen yumurta sayısının azaldığı ve sıcaklık 40 °C'ye ulaştığında ise yumurta sayısının en düşük değere ulaştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar sıcaklıklar 34 °C'den 40 °C'ye yükseldikçe genel olarak yumurta üretiminin de kademeli olarak azaldığını ifade etmişlerdir. Huang ve ark.'ları bu bulgular sonucunda *B. tau* popülasyonunu kontrol altına almak ve verdikleri zararı engellemek için 12 saat boyunca 48 °C'nin üzerinde bir sıcaklık uygulanması gerektiği kanısına varmışlardır (Huang ve ark., 2020).

Kısa süreli olarak (1, 2 ve 4 saat) uygulanan dört farklı yüksek sıcaklığın (25, 30, 35 ve 40 °C) *T. vishnou gigantina* güvesini nasıl etkilediğini araştıran bir başka çalışmada, ergin öncesi gelişim dönemleri ile ergin hayat uzunluğu ve fekunditenin sıcaklık ve sıcaklığın uygulandığı süreye göre farklı şekillerde etkilendiği belirlenmiştir. Buna göre en uzun puplaşma süresi ve pupal periyota 40 °C'ye 4 saat maruz kalan böceklerde rastlanmış ve maruz kalma süresi kısaldıkça hem puplaşma süresinin hem de pupal periyotun belirgin şekilde kısaldığı belirlenmiştir. En kısa puplaşma süresi ve pupal periyota ise 35 °C'de rastlanmış ve 35 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça puplaşma süresinin uzadığı ve pupal periyotun kısaldığı görülmüştür. 30 °C'de ise hem puplaşma süresi hem de pupal periyot maruz kalma süresi uzadıkça kısalmıştır. Ergin hayat uzunluğu verileri incelendiğinde, bütün deney gruplarında dişilerin erkeklerden daha uzun süre yaşadığı, sıcaklık artışı ve sıcaklığa maruz kalma süresinin uzamasıyla hem dişi ve erkek hayat uzunluğunun hem de dişi fekunditesinin önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2021).

Laughton ve ark.'nın 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) yumurtaları ergin olana kadar 20, 22, 24, 27 ve 30 °C'lere maruz bırakılmış ve yumurtadan-pupaya ve pupadan-ergine kadar geçen süre ile ergin hayat uzunluğunun artan sıcaklığa bağlı olarak önemli ölçüde kısaldığı belirlenmiştir. *P. interpunctella* dişilerinin yumurta sayılarının ise sıcaklıktan etkilenmediği bununla birlikte yumurta üretme stratejilerinin düşük ve yüksek sıcaklıklarda farklı olduğu görülmüştür. Düşük sıcaklıkta (20 ve 22 °C) yetiştirilen dişilerin yüksek sıcaklıklara göre daha uzun olan hayatlarının erken dönemlerinde az sayıda yumurta bırakıp yaşlandıkça yumurtlama oranını korumayı veya arttırmayı tercih ettikleri belirlenmiştir. Ancak, 24 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda yetiştirilen dişiler kısalan hayatlarında yumurtalarının çoğunu yetişkin olduktan sonraki ilk birkaç gün içinde üretmişlerdir. Araştırmacılar *P. interpunctella*'nın üreme stratejilerinde gördükleri bu değişimi düşük sıcaklıklar için 'tutarlı bir yumurtlama ve normal bir yaşam süresi' olarak değerlendirirken yüksek sıcaklıklar için 'hızlı yaşa ve genç öl' olarak değerlendirmişlerdir (Laughton ve ark., 2017).

Tez çalışmasında elde edilen veriler sonucunda birçok literatürden (Ebrahimi ve ark., 2015; Laughton ve ark., 2017; Qin ve ark., 2018; Huang ve ark., 2020) farklı olarak sabit ve değişken ısı şokunun ergin öncesi dönemleri ve ergin hayat uzunluğunu doğrusal olarak kısalttığını veya artırdığını söyleyemesek de *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın ergin öncesi dönemleri ile ergin olduktan sonraki dönemlerinin termal stresten ve termal strese maruz

kaldığı süreden etkilendiği açıkça ortadadır. Liu ve ark.'larının 2021 yılında yaptığı çalışmayla benzer olarak termal stresin uzun veya kısa süreli olarak uygulanması *G. mellonella* ve *A. grisella*'da da farklı tepkilere neden olmuştur. Sabit ısı şokunda 34 °C'ye maruz kalan *A. grisella*'nın puplaşma süresi hariç, hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'nın 30 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça puplaşma süresi ve pupal periyotun kısaldığı görülmüş ve bu durum *T. vishnou gigantina*'nın model organizma olarak kullanıldığı Liu ve ark.'larının çalışmasıyla benzerlik göstermiştir (Liu ve ark., 2021). Bunun nedenini *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvaları için 30 °C'nin optimum sıcaklık olmasına bağlayabiliriz. *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın ergin hayat uzunluğu verileri incelendiğinde ise ergin öncesi dönemlere ait verilerimizin aksine literatür çalışmalarıyla oldukça uyumlu sonuçlara ulaşıldı ve hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'nın hayat uzunluğunun sıcaklık artıkça azalma eğilimi gösterdiği belirlendi.

Termal strese maruz kalan son evre *G. mellonella* ve *A. grisella* bireylerinden erginleşen dişilerin yumurta verimleri incelendiğinde ise literatürle uyumlu artma (Ebrahimi ve ark., 2015; Qin ve ark., 2018) ve azalmalara (Ebrahimi ve ark., 2015; Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021) rastlandı. Sabit ve değişken ısı şokunun *G. mellonella* fekunditesi üzerindeki etkileri farklı şekillerde oldu. Sabit ısı şoku altında erginleşen dişilerde fekundite 30 °C'ye göre diğer bütün sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamsız şekilde azaldı ve en düşük değerine en yüksek sıcaklık olan 38 °C'de ulaştı. Değişken ısı şoku altında erginleşen dişilerin yumurta sayılarında ise sıcaklıklara göre anlamlı artma ve azalmalar görüldü ve en düşük yumurta sayısına yine en yüksek sıcaklık olan 44 °C'de rastlandı. Sonuçta çalışmamızda *G. mellonella* larvalarının erginleşebildikleri en yüksek sıcaklıkların verim açısından genel olarak en düşük sıcaklıklar olduğu belirlendi. Bu durum yapılan diğer çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021). *A. grisella*'nın fekundite verileri incelendiğinde sabit ısı şokunun verimi etkilemediği görüldü. Değişken ısı şokunda kısa süreli sıcaklığa maruz kalan *A. grisella*'dan erginleşen bireylerde ise en yüksek fekunditeye 34 °C'de ulaşıldı. 34 °C'nin altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda fekunditenin azaldığı ve en düşük fekunditenin ise 40 °C'de olduğu görüldü. Literatürde kısa süreli ısı şokunun etkilerini inceleyen çalışmalar (Ebrahimi ve ark., 2015; Huang ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021) ile değişken ısı şokunun *A. grisella*'ya etkilerini incelediğimiz çalışmalar uyumludur. Literatür ve çalışmalarımız arasında böceklerin ergin öncesi dönemlerinde termal strese karşı verdikleri tepkilerin farklı olması ancak erginleştikten sonra ergin hayat uzunluğu ve yumurta verimi ile ilgili bulguların benzerliği

dikkat çekmektedir. Bu farklılıkların nedenini böcek türlerinin farklılığına bağlayabiliriz. Nitekim çalışmamızda kullandığımız iki model organizma *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın bile tür bazında birbirine oldukça yakın özellikte olmalarına rağmen aralarında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Öyle ki sıcaklık artıkça *G. mellonella*'nın ergin öncesi gelişim süresini daha hızlı ve *A. grisella*'nın ise daha geç tamamlayacağı açıkça ortadadır. Bu durumun ısınan iklim koşullarında iki böceğin de popülasyonunda iki farklı sonuca neden olacağını düşünmekteyiz. Birincisi *G. mellonella*'nın hayat döngüsü hızlanacağı için daha kısa sürede daha çok döl verebilecek ve ikincisi *A. grisella* zararlı olduğu larva evresinde daha uzun süre kaldığı için daha çok zararlı olabilecektir. Sonuç olarak, her iki durumda da söz konusu bal peteği zararlısı türlerinin aktif olarak beslendikleri larva dönemlerinin süresi artacak ve dolayısıyla bu durum verdikleri zararın artmasına yol açacaktır.

Tez çalışması kapsamında ergin olduktan sonra belirlenen diğer bir biyolojik faktör ergin ağırlığıdır. Böceğin ergin ağırlığını veya vücut büyüklüğünü genetik faktörler kadar beslenme, popülasyon yoğunluğu ve sıcaklık gibi faktörler de etkilemektedir (Mirth ve Riddiford, 2007). Böceğin vücut büyüklüğü onun için hayati bir öneme sahiptir. Böceğin sağlıklı bir şekilde gelişimini tamamlaması ve daha fazla büyümesinin gerekli olmadığı belli bir minimum ağırlıkta olması gerekmektedir, buna 'kritik ağırlık' denir (Davidowitz ve ark., 2003). Genellikle çalışmalar sıcak bölgelerde yetişen böceklerin soğuk bölgelerde yetişenlere göre daha büyük olduğunu söylese de (Atkinson, 1994; Chown ve Gaston, 2010), literatürde kritik ağırlığın sıcaklığa karşı duyarsız olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Davidowitz ve Nijhout, 2004; Chown ve Gaston, 2010). Kritik ağırlığın, ergin ağırlığını belirlemede önemli bir faktör olduğu bilinmektedir (Davidowitz ve ark., 2003). Literatür taramalarında termal stresin doğrudan ergin ağırlığına etkisini inceleyen çalışmalara rastlamadık ancak vücut büyüklüğünün sıcaklıkla ilişkisini araştıran az sayıda da olsa çalışmalar mevcuttu (Davidowitz ve Nijhout, 2004; Laughton ve ark., 2017). Bunlardan birinde *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae)'nın büyüme hızı ve vücut büyüklüğünün beslenme ve sıcaklık değişiminden etkilenme mekanizmaları araştırılmıştır. Çalışmada vücut büyüklüğü ve gelişme süresinin üç faktör tarafından kontrol edildiği bulunmuştur. Bunlar büyüme hızı, juvenil hormon salgısının durma zamanlaması (kritik ağırlıkla ölçülür) ve pupa dönemine geçmeyi sağlayan ecdisteroid salgısının zamanlamasıdır (kritik ağırlığa ulaştıktan sonra büyümenin durmasına kadar geçen süre). Araştırmacılara göre vücut büyüklüğü ve gelişim süresinin termal reaksiyon normları, bu

üç faktörün sıcaklıkla nasıl etkileşime girdiğinin bir fonksiyonudur. Sonuç olarak yüksek sıcaklıklarda *M. sexta*'nın büyüme hızı arttığı için ekdisteroid daha hızlı salgılanır ve dolaylı olarak vücutta birikecek kütle miktarı azalır, bu ise vücut boyutunu küçültür (Davidowitz ve Nijhout, 2004). Ayrıca başka bir çalışmada yumurta evresinden ergin birey çıkışına kadar 20, 22, 24, 27 ve 30 °C'lere maruz bırakılmış *P. interpunctella* bireylerinin yüksek sıcaklıklarda yetiştirilenlerinin düşük sıcaklıklara göre daha hafif oldukları belirlenmiştir (Laughton ve ark., 2017). Çalışmamızda termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarından kritik ağırlığı yakalayıp erginleşen bireylerin ergin ağırlığı sabit ısı şokundan neredeyse hiç etkilenmezken, değişken ısı şokundan etkilendikleri ve sıcaklık arttıkça ağırlıklarının da arttığı belirlendi. Davidowitz ve Nijhout'nin 2004 yılında *M. sexta* ile yaptığı çalışmanın aksine *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın termal strese bağlı olarak değişen ergin öncesi gelişim süresi ve ergin ağırlığının birbirine paralel hareket ettiği görüldü. Literatürle bulgularımız arasındaki bu farklılığın nedenini çalışmamızda kullandığımız larvaların neredeyse beslenme evresini tamamlamış son evre larvalar olmasına bağlamaktayız. Çok büyük ihtimalle seçtiğimiz bu son evre larvalarda kritik ağırlığı belirlemede etkili olan hormonal sinyaller çoktan böceğin nihai ağırlığına karar vermiş olabilir.

Böcek hemogramı böceğin içinde bulunduğu evreye göre kendine özgü bir hemosit kombinasyonuna sahiptir (Sharma ve ark., 2008). Böcek hemogramının ve hemosit popülasyon dinamiklerinin gelişim aşamaları boyunca tam bir analizi, toplam hemosit sayısı (THS), farklı hemosit sayısı (FHS), mitotik indeks (MI), hemolenf hacmi, dolaşımdaki mutlak hemosit sayısı, dolaşımda mitoz yoluyla hemositlerin maksimum günlük üretimi vb. gibi bir dizi parametreye eş zamanlı yaklaşımı içermelidir (Salt, 1968; Arnold ve Hinks, 1976; Shapiro, 1979). Hemosit hücrelerinin sayısı ve çeşidi aynı tür böceklerde dahi gelişimsel aşamalara ve farklı fizyolojik durumlara göre değişebilmektedir (Wigglesworth, 1973; Siddiqui ve Al-Khalifa, 2014). Genel olarak holometabol böceklerin larvalarının büyümesi sırasında hemosit sayısı nispeten sabit bir oranda artar ve pre-pupada maksimumuna ulaşır. Pupa evresine geçiş yapan böceklerde ise hemosit sayısı çok hızlı bir şekilde azalır ve sonunda pupa evresinde minimum seviyeye düşer (Siddiqui ve Al-Khalifa, 2014). Hemosit sayısındaki bu değişimler sırasında farklı hemosit hücrelerinin sayılarında da değişimler görülmektedir (Christensen ve ark., 1989; Siddiqui ve Al-Khalifa, 2014). Hemositlerdeki hücre kombinasyonları böceğin bazı hayati fonksiyonlarını gerçekleştirmesi ve böceğin sıcaklık değişiklikleri gibi çevresel uyumunun sağlanması

açısından önemlidir (Sharma ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013). Literatür taramaları böceklerdeki hemosit sayısının son larva döneminin başlangıcında en fazla olduğunu ve zaman ilerledikçe azaldığını göstermiştir (Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Literatürle benzer olarak *G. mellonella*'nın son evre larvasında THS'nin optimum sıcaklığa (30 °C) maruz kalma süresi uzadıkça belirgin şekilde azaldığı tespit edildi. Hemositlerin hücre tipine bakıldığında ise en fazla plazmatositler ve prohemositlerin olduğu görüldü. Sıcaklığın böcek hemosit sayısına etkilerini inceleyen çalışmaların çok az bir kısmında FHS'lerinin de araştırıldığı görüldü (Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Bu makalelerden bazıları böceklerin bağışıklık fonksiyonlarının hem şimdiki sıcaklıktan hem de yetiştirildikleri sıcaklıktan (termal uyum) etkilenebildiğini göstermiştir. Buna göre embriyonik ve post-embriyonik gelişim sırasında sürekli veya kısa süreli ısı uygulamaları hemosit sayısını azaltmaktadır (Karl ve ark., 2011; Bauerfeind ve Fischer, 2014; Takano ve ark., 2021). *Chrysodeixis eriosoma* (Lepidoptera, Noctuidae)'da toplam ve farklı hemosit sayısının beş farklı sıcaklıktan (18, 20, 25, 30 ve 32 °C) nasıl etkilendiğinin araştırıldığı bir çalışmada, en yüksek THS'na en düşük sıcaklık olan 18 °C'de rastlanmış ve böcekleri yetiştirme sıcaklığı arttıkça THS'nin da azaldığı görülmüştür (Takano ve ark., 2021). Çalışmamızda da benzer şekilde *G. mellonella*'da 2 saatin sonunda en yüksek THS'na optimum sıcaklık olan 30 °C'de ulaşıldı ve sıcaklık arttıkça 30 °C'ye göre anlamlı bir azalma olduğu görüldü. Bunun nedeni olarak böcekler için en etkili hücresel bağışıklık tepkilerinin optimum sıcaklıkta meydana gelmesi gösterilebilir (Mondal ve Rai, 2001). Literatürde Lepidopteran böceklerin düşük sıcaklıklarda artan hemosit sayısının yaygın olarak bulunabileceğini savunan çalışmalara rastlanmaktadır (Karl ve ark., 2011; Bauerfeind ve Fischer, 2014; Takano ve ark., 2021). Hem literatürde (Karl ve ark., 2011; Bauerfeind ve Fischer, 2014; Takano ve ark., 2021) hem de bulgularımızda görüldüğü üzere sıcaklık böcek için optimum seviyenin üstüne çıktığında böcek gelişmekte zorluklar yaşar ve bu da hemosit yoğunluğunun azalmasına neden olur. Takano ve ark.'ları termal strese maruz kalan *C. eriosoma*'nın prohemosit, granülosit, plazmatosit ve sferülosit sayılarının etkilenmediğini görmüş ve bunu embriyonik ve postembriyonik gelişim sırasında uzun süreli termal strese maruz kalan böceklerde gelişebilecek termal uyuma bağlamıştır. Araştırmacılar bu termal uyum sayesinde *C. eriosoma*'nın hematopoez aktivitesinin hemosit tiplerinin oranında değişiklik olmaksızın düzenlenmiş olabileceği sonucuna varmışlardır (Takano ve ark., 2021). Ancak, çalışmamızda 2 saatlik deney gözlem saatinde optimum sıcaklık olan 30 °C'ye göre sıcaklık arttıkça FHS'nin da

etkilendiği belirlendi. Literatürden farklı olarak *G. mellonella*'nın hücresele bağışıklığında termal uyumun sağlanması için 2 saatlik sürenin yeterli olmadığı görülmektedir.

Literatürdeki makalelerin çoğunluğu ise ısı şokunun bağışıklığı güçlendirmek adına THS'ni arttırabileceği yönündedir (Nakahara ve ark., 2003; Siddiqui ve Al-Khalifa, 2014; Laughton ve ark., 2017). Sıcaklığın *Aspergillus fumigatus* konidia enfeksiyonuna karşı *G. mellonella* larvalarını korumak için hemosit yoğunluğunu arttırabildiği ve bu artışın enfeksiyon olayının başlamasından 24 saat sonra zirveye ulaştığı ancak 48 ve 72 saatte azaldığı belirlenmiştir (Browne ve ark., 2014). Çalışmamızda da *G. mellonella* için 38 ve 40 °C'lerde ve *A. grisella* için 30 °C'de termal strese maruz kalan son evre larvalarda 2. ve 48. saatlere göre 24. saatte THS'lerinin zirve yaptığı görüldü. THS'lerindeki artışı bu sıcaklıklarla karşılaşan *G. mellonella* ve *A. grisella*'nin termal strese karşı kendilerini korumak için yaptıklarını düşünmekteyiz. Literatürde soğuk ve sıcak stresinin karşılaştırmalı etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda da THS'nin sıcak ısı stresi altında artma eğilimi gösterdiği (Nittono, 1960; Kiuchi ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013; Laughton ve ark., 2017; Pourali ve Hassani, 2018), soğuk ısı stresi altında ise azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir (Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Pourali ve Hassani'nin 2018'de yapmış olduğu çalışmada *E. kuehniella* larvaları 4, 27 (kontrol sıcaklığı) ve 40 °C'lerde termal strese maruz bırakılarak ısıtma ve soğutma işlemlerinin hemosit sayısına etkisi incelenmiştir. Isıtma uygulaması için *E. kuehniella* larvaları öncelikle kontrol sıcaklığı olan 27 °C'den başlayarak 40 °C'ye kadar 0.05 °C/dakika sabit bir hızda kademeli olarak ısıtılmış ve 40 °C'de 12 saat bekletildikten sonra tekrar aynı hızla 27 °C'ye soğutulmuştur. Soğutma uygulaması için ise kontrol sıcaklığından 4 °C'ye kadar aynı hızda kademeli olarak soğutulmuş ve bu sefer 4 °C'de 12 saat bekletildikten sonra tekrar aynı hızla 27 °C'ye ısıtılmıştır. Deneylerin sonucu kontrol sıcaklığına göre değerlendirildiğinde soğutma uygulamasında sıcaklık azaldıkça THS'nin azaldığı, ısıtma uygulamasında ise sıcaklık yükseldikçe THS'nin arttığı belirlenmiştir. Isıtma uygulaması sonucunda artan hemositlerin tiplerine bakıldığında ise özellikle plazmatosit ve önositoitlerde artış, granülosit sayılarında ise azalma gözlenmiştir. Sferülosit ve prohemosit hücre sayılarının ise değişmediği belirlenmiştir. Araştırmacılar böceğin özellikle plazmatosit sayısını artırarak termoregülasyon benzeri bir mekanizma yoluyla larvaların çevresel uyumunu arttırabileceği yorumunu yapmışlardır (Pourali ve Hassani, 2018). Başka bir çalışmada ise *Phthorimaea operculella*'nin (Lepidoptera: Gelechiidae) dördüncü dönem larvaları kontrol sıcaklığının (25 °C) dışında 4 ve 35 °C olmak üzere üç

farklı sıcaklığa 24 saat boyunca maruz bırakılmış ve hemosit sayılarındaki değişiklikler incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda kontrole göre 35 °C’de, larvaların THS, granülosit, plazmatosit ve önositoit sayılarının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir (Pourali ve Hassani, 2018). Nakahara ve ark.’larının 2003 yılında yaptıkları bir çalışmada, *B. mori* larvalarında son larval safha olan beşinci evreye ulaştıkları gün ve sonrasındaki beş gün boyunca larval hematopoezis araştırılmış ve bütün deney gruplarında sıcaklık arttıkça THS’sının da arttığı görülmüştür. Araştırmacılar söz konusu artışa plazmatositler ve prohemositlerin sebep olduğunu ifade etmişlerdir (Nakahara ve ark., 2003). Laughton ve ark.’nın 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada ise yumurtadan ergine kadar 20, 22, 24, 27 ve 30 °C’lere maruz kalan *P. interpunctella* bireylerinin THS artan sıcaklıkla beraber önemli ölçüde ve doğrusal olarak yükseldiği görülmüştür (Laughton ve ark., 2017).

Tez çalışması kapsamında her iki model organizmanın THS ile ilgili olarak termal strese bağlı farklı sonuçlara ulaşıldı. Deneylerimizin *G. mellonella* ayağında sıcaklık artışına bağlı olarak anlamlı ve anlamsız değişiklikler belirlendi. Sonuçlar incelendiğinde 2. saatin sonunda 30 °C’ye göre sıcaklık arttıkça belirgin şekilde azalan THS, sıcaklık 42 °C’ye çıktığında 38 ve 40 °C’ye göre belirgin şekilde arttı. 24. saatin sonunda en yüksek THS’na 40 °C’de ulaşıldı ve bu veri sadece 38 ve 40 °C’lere göre anlamlı bulundu. 48. saatin sonunda ise 30, 38 ve 40 °C’lerde belli belirsiz azalan THS sıcaklık 42 °C’ye çıktığında anlamlı şekilde arttı. Bu deney gruplarındaki farklı hemosit tipleri incelendiğinde de *G. mellonella*’da termal strese tepki olarak plazmatosit ile sferülosit sayılarının granülosit ile diğer hemosit (önositoit ve prohemosit) sayılarına göre daha belirgin şekilde etkilendiği görüldü. Ayrıca *G. mellonella* THS’na paralel olarak plazmatosit sayılarının arttığı, ancak granülosit, sferülosit ve diğer hemosit (önositoit ve prohemosit) sayılarının sıcaklık artışından çoğunlukla etkilenmediği belirlendi. Çalışmamızın *A. grisella* ayağında ise *G. mellonella*’ya kıyasla çok farklı sonuçlar elde edildi. 30 °C’ye 2 saat maruz kalan *A. grisella* larvalarında THS’nın sıcaklık arttıkça yükseldiği görüldü. Ancak bu durum 24. ve 48. saatlerde değişiklik gösterdi. 30, 34 ve 38 °C’ler için 24. saatte neredeyse sabit kalan THS’sı 36 °C’de belirgin şekilde azaldı. 48. saatte 30 °C’ye göre 34 ve 36 °C’lerde artan THS’sı 38 °C’de tekrar azalarak 30 °C’deki seviyesine düştü. *A. grisella*’nın THS verileri literatürdeki çoğu çalışmanın aksine sıcaklığa karşı dalgalanmalar göstermektedir (Nittono, 1960; Kiuchi ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018). Bu deney gruplarının farklı hemosit tipleri incelendiğinde ise *A. grisella*’da termal strese tepki olarak sferülosit ile diğer hemosit (önositoit ve prohemosit) sayılarının granülosit ile plazmatosit

sayılarına göre daha belirgin şekilde etkilendiği görüldü. Literatürdeki çalışmalarda da böceklerde termal strese tepki olarak THS'nin arttığı görülmektedir. Bu noktada *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın THS'lerinde görülen artışların yüksek sıcaklıklara tepki olarak böceklerin hücresel bağışıklıklarını arttırmak için gerçekleştirdiklerini düşünmekteyiz. Ayrıca literatür çalışmalarında THS'nda artışa neden olan hemosit hücreleri farklı kombinasyonlar gösterse de hepsinde ortak olarak plazmatositlerin artmasıydı (Nakahara ve ark., 2003; Laughton ve ark., 2017; Pourali ve Hassani, 2018). Ghasemi ve ark.'ları böceklerde termal strese karşı plazmatosit sayısındaki artışı larvaların çevresel uyumu sağlamak için yaptıklarını ileri sürmüştür (Ghasemi ve ark., 2013). Ek olarak *G. mellonella*'da FHS ile ilgili bulgularımız literatürdeki diğer çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. *A. grisella*'da ise plazmatositler bütün deney gözlem saatleri boyunca 30 °C'de en yüksek seviyede olurken sıcaklık artıkça azalma eğilimi gösterdi. Ancak, 48. saatin sonunda 34 ve 36 °C'lere göre 38 °C'de artış olduğu belirlendi. Aynı sıcaklıklarda THS'nin azalmasına rağmen plazmatositlerin artması *A. grisella*'nın sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça plazmatositlerin devreye girdiğini gösterebilir. Literatür ile *A. grisella* THS ve FHS verileri arasındaki farklılığı ise deney yöntemlerinin farklı olmasına bağlamaktayız. Nitekim hemosit sayılarının araştırıldığı çalışmalardan birinde *in vitro* ortamda hematopoietik organdan elde edilen hemositler incelenmiş (Nakahara ve ark., 2003), diğerlerinde ise sıcaklığa maruz kalmadan önce böceklerin bağışıklığı bir patojen ile önceden uyarılmıştır (Laughton ve ark., 2017; Pourali ve Hassani, 2018).

Çalışmamızda *G. mellonella* ve *A. grisella*'da THS'nin sıcaklığa maruz kalma süresine göre de değiştiği tespit edildi. *G. mellonella* ile ilgili verilerimiz incelendiğinde, 30 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça THS'nin azaldığı ve optimum sıcaklıklardaki azalmanın literatürdeki birçok çalışma ile benzerlik gösterdiği belirlendi (Nakahara ve ark., 2003; Kiuchi ve ark., 2008). Bu durum araştırmacılar (Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018) tarafından optimum sıcaklıklar altında zamanla larvanın yaşlandığı ve böceğin pup olmaya hazırlandığı için THS'sını düşürdüğü yönünde yorumlanmıştır. Bunun aksine *G. mellonella* larvalarının 42 °C'ye maruz kalma süresi uzadığında ise THS'nin arttığı görüldü. Benzer sonuçlara *E. kuehniella* ve *P. operculella* larvalarında da rastlanmış ve araştırmacılar (Ghasemi ve ark., 2013; Pourali ve Hassani, 2018) yüksek sıcaklıklarda artan THS'sını zamanla böceğin hemolenfinin kuruması nedeniyle hemosit sayısındaki artışa bağlamışlardır. Buna ek olarak, *G. mellonella*'da THS'ları 38 ve 40 °C'lerde 2. saate göre 24. saatte artsa da 48. saatte tekrar azalma eğilimi gösterdi. *G. mellonella*'da farklı

hemosit tiplerinin zamanla değişimi incelendiğinde, bütün hemosit hücreleri arasında sadece granülosit ve sferülosit sayılarının THS'daki artma ve azalmalara paralellik gösterdiği ve bütün sıcaklıklarda en sık karşılaşılan hemosit hücresinin plazmatositler olduğu belirlendi. *A. grisella* larvalarının THS verilerinin zamana bağlı nasıl değiştiği incelendiğinde ise sıcaklıklara maruz kalma sürelerinin hemosit sayılarında artma ve azalmalara neden olduğu görüldü. Bu sonuçlar arasından sadece 30 ve 38 °C'lerde 48. saatin sonundaki azalmaların literatür ile benzerlik gösterdiği tespit edildi (Nakahara ve ark., 2003; Kiuchi ve ark., 2008). Literatürdeki yorumlara bakıldığında 30 °C'deki azalmayı böceğin pupa dönemine hazırlanmasına (Nakahara ve ark., 2003; Kiuchi ve ark., 2008), 38 °C'deki azalmayı ise ısı stresinin etkisiyle böcekteki vücut sıvısının dehidrasyon sonucunda kaybolmasına bağlayabiliriz (Ghasemi ve ark., 2013). Buna ek olarak, *A. grisella* hemosit tipleri incelendiğinde THS'daki artma ve azalmalar literatürdeki gibi paralellik göstermese de bütün sıcaklıklarda en sık karşılaşılan hemosit hücresi tipinin *G. mellonella*'da olduğu gibi *A. grisella*'da da plazmatositler olduğu görüldü. *G. mellonella* ve *A. grisella* sonuçlarımız kendi arasında karşılaştırıldığında, her iki böcekte de sıcaklık artışı ve sıcaklığa maruz kalma süresine bağlı olarak THS (Nakahara ve ark., 2003; Kiuchi ve ark., 2008) ile FHS'larında görülen değişiklikler (Shamakhi ve ark., 2019) ve termal stres sonucu tepki veren hemosit tiplerinin farklılık gösterdiği belirlendi (Nakahara ve ark., 2003; Kiuchi ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013; Browne ve ark., 2014; Laughton ve ark., 2017; Pourali ve Hassani, 2018). Ayrıca bu faktörlerin diğer literatür çalışmalarına göre de farklı olan yanları vardı ve bu durumu böcek türleri, uygulanan sıcaklık değerleri ve sıcaklığın uygulandığı sürenin farklı olmasına bağlamaktayız.

Lepidoptera ordosunda larval hemositlerin kontrolü böcek dolaşımında bulunan mitotik hücreler ile yakından ilişkilidir (Gardiner ve Strand, 1999). Literatürde dolaşımdaki mitotik hücrelerin sayısının normalde %1 civarında olduğunu gösteren çalışmalar rastlanmaktadır (Jones, 1967a; Jones, 1967b; Jones ve Lin 1968). Ayrıca larvanın kaçıncı evrede olduğuna (Ghasemi ve ark., 2013) ve ilgili evrenin kaçıncı gününde olduğuna (Kiuchi ve ark., 2008) göre mitotik hücre sayısının değiştiğini gösteren çalışmalar da vardır. Öte yandan literatür taramalarında sıcaklığın Lepidoptera hemolenfindeki hücrelerin mitotik indeksine etkisini inceleyen oldukça az sayıda çalışmaya rastlandı (Kiuchi ve ark., 2008; Ghasemi ve ark., 2013). Sıcaklığın *B. mori* larvalarının büyümesi üzerindeki etkisini hücresel düzeyde araştıran bir çalışmada, 26 °C'ye maruz kalma süresi artıkça larvaların hemolenfindeki THS'nın yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca 38 °C'ye 2 saat maruz kalan larvalarda hemosit

yoğunluğu sabit kalırken, aynı sıcaklığa 24 saat maruz kaldıklarında ise hemosit yoğunluğunda azalma olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada mitotik evredeki hücre sayısının larvanın kaçınıcı evrede olduğuna ve bu evrenin kaçınıcı gününde olduğuna göre de değıştiği ifade edilmiştir. İncelemeler sonucunda 26 °C’de bütün larva evrelerinin birinci ve ikinci gününde diğer günlere göre daha çok sayıda mitotik hemosit gözlenmiştir. 26 °C’ye maruz kalma süresi arttıkça *B. mori* larvaları deri değıştirme aşamasına yaklaşmış ve mitotik hücre sayısı da azalmıştır. 38 °C’de ise dördüncü larvanın gününe bakılmaksızın neredeyse hiç mitotik hemosite rastlanmamıştır (Kiuchi ve ark., 2008).

Tez çalışması kapsamında mitotik indeks verileri incelendiğinde, *G. mellonella* ve *A. grisella*’da sıcaklığın derecesine ve sıcaklığa maruz kalma süresine göre farklı sonuçlar elde edildi. Kiuchi ve ark.’larının 2008 yılında yaptığı çalışma ile *G. mellonella* mitotik indeks verilerimiz karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle oldukça benzer olduğu görülmektedir. *G. mellonella*’nın optimum sıcaklığı olan 30 °C’ye maruz kalma süresi uzadıkça mitotik hücre sayısının azaldığı belirlendi. Kiuchi ve ark.’ları optimum sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça azalan mitotik indeks sayısını larvaların deri değıştirme dönemine yaklaşmasına bağlamıştır. Ayrıca çalışmamızda *G. mellonella*’da bütün deney gözlem saatlerinde 30 ve 38 °C’lere göre sıcaklık 40 ve 42 °C’ye çıktığında mitotik indeksin azaldığı belirlendi. Literatürde (Kiuchi ve ark., 2008) olduğu gibi mitotik hücrelerdeki bu azalmaların sonucunda *G. mellonella*’ya ait deney gruplarının çoğunda hemosit yoğunluğunun da azaldığı görüldü. Öte yandan 38 °C’ye 24 saat maruz kalan *G. mellonella* larvalarındaki mitotik indeks sayısının 2 saat 30 °C’de tutulmaya göre azalmamış olmasını bu deney grubundaki böceklerin bağışıklık sisteminin sıcaklığa karşı bir tepkisi olarak düşünebiliriz. *A. grisella*’da ise 2. saatteki mitotik hücre sayısının sıcaklık arttıkça yükseldiği ve buna paralel olarak hemosit yoğunluğunun da arttığı görüldü. Bununla beraber, 24. ve 48. saatlerde ise mitotik hücre sayısının sıcaklık artışıyla beraber belirgin şekilde azaldığı tespit edildi. Ghasemi ve ark.’larının 2013 yılında yaptığı bir çalışmada *E. kuehniella* hemolenfindeki THS ve mitotik hücre sayısının sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı ve soğutmaya kıyasla ısıtmanın mitotik indeks oranında 2.2 kat artışa neden olduğu bildirilmiştir (Ghasemi ve ark., 2013). Bütün bu bulgular sonucunda Ghasemi ve ark.’ları *E. kuehniella*’nın THS’deki artışı hemositlerin mitotik hızının artmasına ve ısı stresinin etkisiyle böcekteki vücut sıvısının dehidrasyon sonucunda kaybolmasına bağlamışlardır (Ghasemi ve ark., 2013). Bu noktada *A. grisella*’nın 30 ve 34 °C’lerde termal strese tepki olarak mitotik indeks sayısını arttırdığını düşünmekteyiz. Ek

olarak, *A. grisella*'da 36 ve 38 °C'lere maruz kalma süresi uzadıkça mitotik hücre sayısının da literatürdekine (Kiuchi ve ark., 2008) benzer şekilde azaldığı görüldü. *G. mellonella* ve *A. grisella*'da mitotik indeks verileri kendi arasında karşılaştırıldığında, özellikle düşük sıcaklıklarda ve sıcaklıklara kısa süreli maruz kalınması durumunda (2 saat) birbirlerinden oldukça farklı tepkiler verdikleri görüldü. Örneğin *G. mellonella*'da 2. saatin sonunda sıcaklık artıkça mitotik hücre sayısı azalırken *A. grisella*'da ise arttı. Benzer şekilde *G. mellonella*'da 30 °C'ye maruz kalma süresi arttıkça mitotik indeks azalırken, *A. grisella*'da arttı. Bu noktada mitotik indeks oranları açısından *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın çoğu zaman birbirinin tam zıttı tepkiler verdikleri belirlendi. Ayrıca literatüre göre normal şartlarda hemolenfde mitotik indeks oranı %1 iken (Jones, 1967a; Jones, 1967b; Jones ve Lin 1968), 38 °C'ye 24 saat maruz kalan *G. mellonella*'da %5.17'ye ve 38 °C'ye 2 saat maruz kalan *A. grisella*'da ise %5.02'ye ulaştığı görüldü. Bu bulguların ışığı altında *G. mellonella*'nın sıcaklığa tepki verme noktasına *A. grisella*'ya göre daha geç ulaştığını düşünmekteyiz. Buna ek olarak, *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın mitotik indeks oranlarındaki farklılığın nedenini böcek türlerinin farklı olmasına bağlamaktayız.

Hücrel bir savunma mekanizması olan enkapsülasyon, böceğin vücudunu giren yabancı bir organizmaya karşı (örneğin parazitoit yumurtası) böceğin hemositleri aracılığıyla oluşturduğu fiziksel bir bariyerdir (Seehausen ve ark., 2018). Sıcaklığın toplam ve farklı hemosit sayılarını etkilediği düşünüldüğünde enkapsülasyon oluşumunu etkilemesi de olasıdır. Literatür taramalarında sıcaklığın enkapsülasyona etkisinin incelendiği çalışmaların tamamı enkapsüle olmuş veya olmamış şeklinde değerlendirilmiş ve enkapsülasyonun derecesine bakılmamıştır (Lynn ve Vinson, 1977; Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018). 2017 yılında yapılan bir çalışmada parazitoit arı *Tranosema rostrale* (Hymenoptera: Ichneumonidae) farklı sıcaklıklar (10, 20 ve 30 °C) altında konağı olan *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae)'da yetiştirilmeye çalışılmış ve konağın parazitoit yumurtasına karşı enkapsülasyon durumu araştırılmıştır. Normalde polidnavirüsleri sayesinde konak bağışıklığından kaçınan *T. rostrale*'nin sıcaklık artıkça ölüm oranlarının da arttığı bilinmektedir. Ölüm nedenlerini araştırmak için yüksek sıcaklıkta yetiştirilen parazitlenmiş larvaların diseksiyonu yapıldığında parazitoit yumurta ve larvalarının neredeyse %90'ında enkapsülasyon ve melanizasyon olduğu görülmüştür. Araştırmacılar bu deneyleri ile yüksek sıcaklığın, parazitoit polidnavirüslerinin gen ifadesini engelleyip engellemeyeceğini ve konak bağışıklığını güçlendirip güçlendirmeyeceğini araştırmaya çalışmış olsalar da polydnavirus genlerinde

yabancı nesnelere sıcaklığa bağlı enkapsülasyonu ve melanizasyonuna ilişkin değerlendirmeyi sadece kısmen yapabilmişlerdir (Seehausen ve ark., 2017). Bunun üzerine aynı araştırmacılar 2018 yılında *C. fumiferana*'ya Sephadex G25 boncukları enjekte ederek aynı sıcaklıklar (10, 20 ve 30 °C) altında tekrar enkapsülasyon ve melanizasyon oranı ile bu bağışıklık parametrelerine neden olan genleri belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak Sephadex boncuklarının hem enkapsülasyon hem de melanizasyon durumunun sıcaklık arttıkça arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışma sayesinde enkapsülasyon tepkisindeki sıcaklığa bağlı artışın nedenini parazitoit polidnavirüs genlerinin azaltılmış ekspresyonunun ve konak immün genlerinin artan ekspresyonunun birleşik etkilerinden kaynaklandığı hipotezini desteklemişlerdir. Ek olarak, konak böceğin direncini sıcaklığa bağlı arttıran genler (Integrin β 1, Hopscotch, Stat92E) açıkça belirlenebilmiştir (Seehausen ve ark., 2018). Sıcaklığın enkapsülasyon süreci üzerindeki etkisini belirleyebilmek için yapılan başka bir çalışmada üçüncü ve dördüncü evre *Heliothis zea* ve *H. virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) konak larvaları, *Cardiochiles nigriceps* (Hymenoptera: Braconidae) ile parazitlendikten sonra farklı sıcaklıklarda (13, 18, 24, 27, 32, 35, 38 ve 41 °C) 24 saat bekletilmiş ve 24. saatin sonunda yumurtalar disekte edilerek enkapsülasyon durumları incelenmiştir. Ayrıca aynı çalışmada her yabancı maddeye aynı enkapsülasyon süreçlerinin işleyip işlemediğini anlayabilmek için *H. zea* ve *H. virescens* larvalarına 2-2.2 mm'lik kaktüs dikenleri altıncı karın segmentinin üzerindeki bacadan zorla sokulmuş ve böcekler aynı sıcaklıklarda muhafaza edildikten 24 saat sonra dikenlerdeki enkapsülasyon durumu incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sıcaklığın parazitoit yumurtalarının enkapsülasyonunu etkilediği ancak dikenlerin enkapsülasyonunu etkilemediği belirlenmiştir. Ayrıca parazitoit yumurtalarının dikenlere oranla çok daha geç enkapsüle olmaya başladığı da gözlenmiştir. Ek olarak 35 °C'ye kadar sıcaklık arttıkça *H. zea* tarafından yumurta enkapsülasyonunda artış gözlenmiş ancak 35 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda larvalar sağlıklı hale geldiği için enkapsülasyon oranının belirgin oranda azaldığı tespit edilmiştir. 41 °C'de parazitlenmeden 24 saat sonra konaklardan bazılarının öldüğü görülmüş ve bu durum parazitlenme sırasında parazitoit tarafından enjekte edilen bileşiklerin ek stresine bağlanmıştır. 41 °C'de tutulan ve diken enjekte edilen her iki konak türün larvaları 24 saat sonra hala sağlıklı bulunmuş ve dikenlerde enkapsülasyon oluşumu gözlenebilmiştir. Bunlara ek olarak, konak larvalarının yabancı maddeleri (parazitoit yumurtası ve diken) enkapsüle edip etmemesinin larva evresine göre de değişebildiği belirlenmiştir (Lynn ve Vinson, 1977).

Tez çalışması kapsamında *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarına boncuk enjeksiyonundan sonra 2, 24 ve 48 saat boyunca farklı sıcaklıklara maruz bırakılan ve bu sürelerin sonunda larvalardan disekte edilen boncukların enkapsülasyon durumlarında farklı sonuçlar elde edildi. Her iki böcek için de bulgularımız incelendiğinde, literatürden farklı olarak (Lynn ve Vinson, 1977; Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018) sıcaklık artıkça artan enkapsülasyon durumundan ziyade dalgalı bir enkapsülasyon değişimi ile sonuçlandığı görüldü. *G. mellonella*'da zayıf enkapsülasyon 48. saatte 30 °C'ye göre 38 °C'de artarken; güçlü enkapsülasyon 2. saatte 40 °C'ye göre 42 °C'de ve 24. saatte 38 °C'ye göre 40 °C'de belirgin şekilde arttı. Bu noktada bulgularımız diğer çalışmalar ile benzerlik gösterdi (Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018). *A. grisella*'da ise sadece güçlü enkapsülasyonun 2. saatte 30 °C'ye göre 34 °C'de arttığı belirlendi. Literatürde (Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018) enkapsülasyonu artıran asıl etkenin sıcaklık artışının plazmatosit hücrelerinde enkapsülasyonu destekleyen peptit yapısının yayılma yeteneğini artırması olduğu belirlenmiştir. Enkapsülasyondan sorumlu olan granülosit ve/veya plazmatosit hücrelerinin *G. mellonella* ve *A. grisella*'da istatistiksel olarak anlamlı düzeyde değişirse de granülosit ve/veya plazmatosit hücrelerinden en az birinin enkapsülasyon artışlarına paralel olarak arttığı görüldü. Enkapsülasyon oranlarında ve granülosit/plazmatosit hücrelerinde görülen bu değişikliklerin (Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018) bahsi geçen sıcaklık derecelerinde ve maruz kalma sürelerinde böcek bağışıklığını arttırmış olabileceğini düşünmekteyiz.

Çalışmamızda literatür çalışmalarının (Lynn ve Vinson, 1977; Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018) aksine çoğunlukla sıcaklık artıkça enkapsülasyon oranlarının baskılandığına dair veriler elde ettik. Örneğin *G. mellonella*'da zayıf enkapsülasyonun baskılanması 2. saatte 30 °C'ye göre 42 °C'de, 24. saatte 38 °C'ye göre 42 °C'de ve 48. saatte 38 °C'ye göre 40°C'de olurken güçlü enkapsülasyonun ise sadece 48. saatte 30 °C'ye göre 38 °C'de baskılandığı görüldü. *A. grisella*'da zayıf enkapsülasyon sadece 48. saatte 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'lerde baskılanırken; güçlü enkapsülasyon 2. saatte 34 ve 36 °C'ye göre 38 °C'de, 24. saatte 30 °C'ye göre 34 ve 36 °C'lerde ve 48. saatte 34 °C'ye göre 36 °C'de belirgin şekilde baskılandı. Bu deney grupları için granülosit ve plazmatosit hücrelerindeki değişiklikler incelendiğinde, her iki böcek için enkapsülasyon tepkisindeki değişiklikler farklı nedenlere bağlanabilir. *G. mellonella*'da granülosit sayıları sadece 48. saatte 40 °C'ye göre 42 °C'de belirgin şekilde azaldı ve bunun dışında neredeyse hiç değişmedi. Plazmatosit sayıları ise istatistiksel olarak anlamsız olsa da enkapsülasyon

baskılanmasına rağmen arttı. Bu noktada sıcaklık değişikliklerinin *G. mellonella* hemositlerinde enkapsülasyon baskılanmasına yol açma nedenini; hücresel düzeyde granülosit ve plazmatosit sayılarını etkilemeden bu hücrelerin yapısını ve/veya yayılma kabiliyetini bozarak hücrelerin görevlerini yapamayacak bir noktaya getirmesine bağlamaktayız. *A. grisella*'da ise enkapsülasyon baskılanmasının olduğu deney gruplarının çoğunda granülosit ve plazmatosit sayılarının da istatistiksel olarak değiştiği belirlendi. Ancak, sıcaklığın *A. grisella* enkapsülasyon baskılanmasını plazmatosit hücrelerini baskılayarak yaptığını düşünmekteyiz. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde (Lynn ve Vinson, 1977; Seehausen ve ark., 2017; Seehausen ve ark., 2018) böcek türlerinde ve enkapsülasyonu tetiklemek için böceğe verilen hedeflerde de farklılıklar olduğu görüldü. Ayrıca enkapsülasyonun böceklere verilen yabancı maddelere göre değişebileceğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur (Rizki ve Rizki, 1980; Rizki ve Rizki 1983; Carton ve ark., 2008; Dubovskiy ve ark., 2016). Bu noktada çalışmamızda boncuk enjeksiyonu yapılan son evre *A. grisella* larvalarında en yüksek sıcaklık olan 38 °C'de 24 saat sonra böcekler öldüğü için bu sıcaklıkta sadece 2 saatlik gözlem sonundaki enkapsülasyon seviyeleri ölçülebildi. Benzer şekilde *H. zea* ve *H. virescens* konaklarından bazıları da en yüksek deney sıcaklığı olan 41 °C'de parazitlemeden 24 saat sonra öldükleri için bu sıcaklıklarda enkapsülasyon değerlendirilmeleri yapılamamıştır. Araştırmacılar bu durumu parazitoit arı tarafından enjekte edilen bileşiklerin ek stresine bağlamıştır (Lynn ve Vinson, 1977). Çalışmamızda ise enkapsülasyondan 24 saat sonra 38 °C'de böceğin ölmesine neden olan ek stresin şırınganın böcekte açtığı yara sonucu oluşabileceği ve sonuçta böceğin birden fazla strese dayanamadığı için bu sıcaklıkta ölmüş olabileceği düşünüldü.

Böceklerde immün yanıtın oluşumu sırasında hücresel ve humoral savunma sistemi birlikte çalışmaktadır. Fenoloksidaz (PO), fenollerin kinonlara dönüşümünde rol oynayan böcek bağışıklığındaki önemli bir moleküldür. Fenolik bileşikler kinonlara dönüştükten sonra üretilen melanin yara iyileşmesine katkıda bulunur, hemolenf pıhtılaşmasına eşlik eder ve böylece humoral ve hücresel yanıt uyarılmış olur (Gorman ve ark., 2007; Shamakhi ve ark., 2019). Literatürde az sayıda da olsa sıcaklığın böceklerde fenoloksidaz enzim aktivitesini etkilediğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Catalán ve ark., 2012; Browne ve ark., 2014; Laughton ve ark., 2017; Shamakhi ve ark., 2019; Alshabka ve ark., 2020). Bu çalışmaların bir kısmında protein miktarının, içeriğinin ve sentezinin sıcaklıkla değişebileceği de gösterilmiştir (Catalán ve ark., 2012; Browne ve ark., 2014; Alshabka ve

ark., 2020; Kumari ve ark., 2020). Genler tarafından yönetilen ve böceğin larva evresine yansıyan biyokimyasal değişikliklerden anlaşıldığı üzere proteinler (Irvine, 1969), koza oluşumu sırasında böceğin kullandığı ipek liflerinin sentezlemesinde oldukça önemli moleküllerdir (Kumari ve ark., 2020). Koza örmenin önemi konusunda ilk akla gelen böceklerden olan *B. mori* ile yapılan bir çalışmada, beşinci larva evresinin hemolenf, yağ doku ve kütikula yapısındaki toplam protein miktarının sıcaklık değişikliklerinden etkilendiği belirlenmiştir. Üç farklı sıcaklığa (29, 40 ve 45 °C) maruz kalan larvalardan alınan hemolenf örneklerindeki toplam protein miktarının 40 ve 45 °C’lerde kontrol sıcaklığı olan 29 °C’ye göre belirgin şekilde yükseldiği; yağ doku ve kütikula yapısında ise protein miktarının belirgin şekilde düşük olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar protein miktarındaki artışı, ısı şokunun olumsuz etkisine karşı koruma sağladığı düşünülen ısı şoku proteinlerinin (Hsp) varlığına bağlamışlardır (Kumari ve ark., 2020). Protein miktarının araştırıldığı başka bir çalışmada, *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae)’in üçüncü evre larvaları kontrol (25 °C), düşük (15 °C) ve yüksek sıcaklıklar (35 °C) arasında beş gün süren sıcaklık dalgalanmalarına maruz bırakılmış ve sonucunda protein miktarı ile fenoloksidaz enzim aktivitesindeki değişikliklere belirlenmiştir. Araştırmalar termal stresin fenoloksidaz aktivitesini daha çok indüklediğini ve hemolenfin protein içeriğini arttırdığını göstermiştir. Soğuk ve sıcak streslerinin birlikte kullanılması durumunda ise fenoloksidaz aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir (Alshabka ve ark., 2020). *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)’un model organizma olarak kullanıldığı başka bir çalışmada, yüksek sıcaklıklarda protein sentezi ve fenoloksidaz aktivitesi gibi çeşitli biyokimyasal süreçlerin hızlandığını ve yükselen sıcaklıkların bağışıklık tepkisi üzerinde olumlu bir etki yarattığı belirlenmiştir. Ayrıca fenoloksidaz aktivitesinin zamana bağlı olarak değiştiği de görülmüştür. Bu değişiklikler ilk 24 saatte artma yönünde olsa da bu etki devam etmemiş ve 72. saatte azalmıştır (Catalán ve ark., 2012). Fenoloksidaz aktivitesinin incelendiği çalışmalardan bir diğerinde model organizma olarak fungusla bağışıklığı tetiklenmiş *C. suppressalis* larvaları kullanılmış ve bağışıklığı tetiklenen larvalar kısa (24 saat) ve uzun süreli (72 saat) olmak üzere iki zaman diliminde 24 ve 34 °C’lere maruz bırakılmıştır. Çalışmanın sonucunda 34 °C’ye maruz kalan enfekte larvaların zamandan bağımsız olarak 24 °C’ye göre fenoloksidaz aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar fenoloksidaz aktivitesindeki artışın nedenini daha önceden bağışıklığın tetiklenmesine bağlamışlar ve sadece sıcaklığın veya fungusun bağışıklığı hareketlendirmede yeterli olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca daha kısa süreli veya ani sıcaklık değişikliklerinde *C. suppressalis* larvalarının bağışıklık tepkilerinin daha da güçlenebileceğini öngörmüşlerdir

(Shamakhi ve ark., 2019). Başka bir çalışmada sıcaklığın, *Aspergillus fumigatus* konidia enfeksiyonuna karşı *G. mellonella* larvalarını korumak için hemosit yoğunluğunu arttırabildiği ve 37 °C'nin 24. saatte larvaların bağışıklıkla ilgili protein ekspresyonunda (apolipoprotein, arylophorin ve profenoloksidaz) geçici bir artışa yol açtığı görülmüştür. Araştırmacılar enfekte olmuş larvaların fenoloksidaz enzim aktivitesindeki artışı hem daha önceden bağışıklığın tetiklenmiş olmasına hem de sıcaklığın biyokimyasal süreçleri hızlandırmasına bağlamışlardır (Browne ve ark., 2014). Yapılan bir diğer çalışmada, yumurta evresinden itibaren 20, 22, 24, 27 ve 30 °C'lerde yetiştirilen ve beşinci evreye gelen *P. interpunctella* larvalarından alınan hemolenflerde fenoloksidaz aktivitesinin 24 °C'ye kadar sıcaklık arttıkça doğrusal olarak arttığı, ancak sıcaklık yükselmeye devam ettiğinde sabitlendiği belirlenmiştir (Laughton ve ark., 2017).

Çalışmamızda *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın toplam protein miktarı literatürden farklı olarak sıcaklık artışına bağlı kesin bir artış göstermese de *G. mellonella*'da sadece 24. ve 48. saatlerde 40 °C'ye göre 42 °C'deki artış anlamlı bulundu. *A. grisella*'da ise 2. saatte 34 °C'ye göre 36 ve 38 °C'lerdeki artış ile 24. saatte 34 °C'ye göre sadece 38 °C'deki artış anlamlıydı. Bu sıcaklıkların dışında ise hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'daki toplam protein miktarları neredeyse sabit kaldı. Çalışmamızda her iki model organizma için de söz konusu sıcaklıklardaki protein artışını literatür çalışmalarında olduğu gibi (Catalán ve ark., 2012; Browne ve ark., 2014; Shamakhi ve ark., 2019; Alshabka ve ark., 2020; Kumari ve ark., 2020) ısı şokunun olumsuz etkisine karşı artan Hsp'lere bağlayabiliriz. Bunlara ek olarak bulgularımız hem *G. mellonella* hem de *A. grisella*'da fenoloksidaz aktivitesinin sıcaklık artışından etkilendiğini gösterdi. Literatürle benzer olarak *G. mellonella*'da fenoloksidaz enzim aktivitesi çoğunlukla belli bir noktaya kadar sıcaklık arttıkça yükseldi (Catalán ve ark., 2012; Browne ve ark., 2014; Shamakhi ve ark., 2019; Alshabka ve ark., 2020) veya enzim aktivitesi bazı durumlarda mevcut seviyesini korudu. Ancak, sıcaklık yükselmeye devam edip 42 °C'ye geldiğinde aktivitenin belirgin şekilde azaldığı görüldü. Özellikle 2. ve 24. saatlerde istatistiksel olarak anlamlı artma ve azalmalar olduğu görüldü. Fenoloksidaz aktivitesi literatürle benzer olarak (Laughton ve ark., 2017; Shamakhi ve ark., 2019) 2. saatte 30 °C'ye göre sadece 38 °C'de yükseldi ve 40 °C'den itibaren hem 30 hem de 38 °C'ye göre anlamlı şekilde azaldı. 40 ve 42 °C'lerde ise neredeyse hiç değişmedi. *A. grisella*'daki verilerimiz incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da 48. saate 30 °C'den 38 °C'ye kadar sıcaklık arttıkça fenoloksidaz aktivitesinin artma eğiliminde olduğu ve sıcaklık 42 °C'ye çıktığında *G. mellonella*'da olduğu gibi aktivitenin

azaldığını görüldü (Laughton ve ark., 2017; Shamakhi ve ark., 2019). Ayrıca istatistiksel olarak anlamlı azalma sadece 2. saatte 30 °C'ye göre 34 °C'de kendini gösterdi ve bu durum literatüre göre oldukça farklı bir sonuçtu. Araştırmalarda genel olarak (Moret ve SchmidHempel, 2000; Catalán ve ark., 2012; Alshabka ve ark., 2020) stres altındaki böceklerde bağışıklığın sürekli tetikte olmasının enerji açısından çok maliyetli olduğu ifade edilmektedir. Bu yüzden literatürde de daha önce çalışılan böcekler için ifade edildiği gibi (Laughton ve ark., 2017; Shamakhi ve ark., 2019) stres altındayken humoral aktivitenin düşük olması oldukça olası bir durum olarak kabul edilmektedir.

P. interpunctella larvaları ile yapılan bir çalışmada fenoloksidaz aktivitesinin larva ağırlığıyla da bağlantılı olduğu ve ağır larvalardaki fenoloksidaz seviyesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Laughton ve ark., 2017). Ancak, çalışmamızda kullanılan larvalar tür bazında eşit ağırlıklarda seçildiği için (*G. mellonella* için 260±25 mg ve *A. grisella* için 35.7±2.2 mg) fenoloksidaz aktivitesinin larva boyutundan etkilenmesi mümkün görünmemektedir. Bununla beraber, literatürün aksine (Laughton ve ark., 2017) *G. mellonella* ve *A. grisella* birbirleri ile karşılaştırıldığında larva ağırlığı yüksek olan *G. mellonella*'nın çoğunlukla bütün sıcaklıklarda *A. grisella*'dan daha yüksek fenoloksidaz aktivitesi gösterdiği belirlendi. Ayrıca yine *P. interpunctella* larvaları ile yapılan çalışmada, THS'sı ile fenoloksidaz aktivitesi arasında pozitif korelasyon olduğu ve daha fazla hemosite sahip larvaların daha yüksek fenoloksidaz aktivitesi gösterme eğiliminde olduğu ifade edilmiştir (Laughton ve ark., 2017). Çalışmamızda, *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın THS verileri ile fenoloksidaz aktivitesi arasında literatürdeki gibi bir korelasyon olup olmadığına baktığımızda *G. mellonella*'da 24. saatte 40 °C'ye göre 42 °C'de ve *A. grisella*'da 2. saatte 30 °C'ye göre 34 °C'de hem THS hem de fenoloksidaz aktivitesinin istatistiksel olarak azaldığı tespit edildi. Termal stres altında fenoloksidaz aktivitesindeki değişimi zamana bağlı olarak inceleyen literatürdeki nadir çalışmalardan birinde *T. molitor*'un fenoloksidaz aktivitesinin 24. saate göre 72. saatte anlamlı şekilde azaldığı görülmüştür (Catalán ve ark., 2012). Çalışmamızdaki zamana bağlı farklılıklar incelendiğinde literatürdeki çalışmaya benzer olarak (Catalán ve ark., 2012), *G. mellonella*'da 38 °C'de 2. saate göre 24 ve 48. saatlerde fenoloksidaz aktivitesinin istatistiksel olarak azaldığı belirlendi. Catalán ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada zamana bağlı olarak azalan fenoloksidaz aktivitesini bağışıklığın böcek için maaliyetinin yüksek olmasına bağlamışlardır. Diğer bir ifadeyle, sürekli stres altında kalan böceğin zaman içerisinde bağışıklığını korumak için hayati faaliyetlerinin yeterli olmayacağı

öngörülmektedir. Bu noktada *G. mellonella*'da bağışıklığın tetiklenmesi için 38 °C'ye 2 saat maruz kalmanın yeterli olacağını, *A. grisella*'nın ise 36 °C'ye en az 48 saat maruz kalması gerektiğini düşünmekteyiz. Nitekim bahsi geçen sıcaklıklarda ve deney gözlem saatlerinde PO aktivitesi ile birlikte enkapsülasyon sonuçlarının da belirgin şekilde değişmesi bu öngörümüzü desteklemektedir. Ayrıca, 36 °C'ye 48 saat maruz kalan *A. grisella* son evre larvalarında, PO aktivitesi ve enkapsülasyon parametreleri ile bu parametrelerde rol oynayan önositoit hücrelerinin sayısında (diğer hemosit tiplerinin (prohemosit ve önositoit) sayısındaki değişikliklere bağlı olarak) önemli farklılıklar tespit edilmesi bağışıklığın tetiklendiğini açıkça gösterdi.

Böceklerdeki antioksidan enzimler normal şartlar altında reaktif oksijen türlerinin (ROS) düzeylerini kontrol altında tutabilmektedir. Öte yandan böcekler sıcaklık gibi çeşitli streslerle karşılaştığında enzim aktivitelerini ve antioksidan enzimlerini artırma yeteneğine de sahiptir (Farahani ve ark., 2020). Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve glutatyon S-transferazlar (GST) hücrelerdeki yüksek ROS konsantrasyonlarının neden olduğu oksidatif stresi engellemek için senkronize bir şekilde çalışan temel antioksidan savunma enzimleridir (Ali ve ark., 2017). Bu enzimler arasından SOD, düşük ve yüksek sıcaklıklara maruz kalmanın neden olduğu yüksek süperoksit radikal seviyelerini azaltmada kritik bir rol oynar (Celino ve ark., 2011). CAT ise böceklerde yalnızca H₂O₂'yi temizleyen bir enzim olarak kabul edilir, çünkü böceklerde selenyum bağımlı glutatyon peroksidaz (diğer organizmalardaki ana katalizör) enzimi bulunmaz (Sohal ve ark., 1990; Jena ve ark., 2013). Ancak CAT, H₂O₂'nin sadece yüksek hücrel konsantrasyonlarında işlev görebildiği için H₂O₂ düşük düzeyde olduğunda etkisizdir (Ahmad ve ark., 1991). SOD, süperoksit radikallerini (O₂⁻) dismutasyon süreciyle oksijen ve H₂O₂'ye dönüştürür ve daha sonra CAT ile POD, H₂O₂'yi su ve oksijene indirger (Kashiwagi ve ark., 1997). Bu şekilde SOD ve CAT, koordineli bir şekilde çalışarak aşırı ROS'u ortadan kaldıracaktır (Ali ve ark., 2017). Çalışmamızda termal stresin zamana bağlı olarak *G. mellonella* ve *A. grisella* son evre larvalarındaki bazı antioksidan enzimleri (SOD, CAT ve LPO) etkilediği belirlendi. SOD enzim aktivitesi *G. mellonella*'da 2. ve 24. saatler için 38 °C'de kontrole göre anlamlı şekilde arttı ancak en yüksek sıcaklık olan 42 °C'de azaldı. 48. saatlerde ise bütün sıcaklıklarda SOD aktivitesinin sabit olduğu görüldü. Ayrıca zamana bağlı değişimler incelendiğinde, sadece 30 °C'de 24. saate göre 48. saatteki artış anlamlı bulundu. *A. grisella*'daki SOD aktiviteleri istatistiksel olarak anlamlı seviyelerde değişmese de özellikle 2. saatte 30 °C'ye göre 34

°C'deki artış ile 24. saatte sıcaklık arttıkça aktivitenin de artması dikkat çekiciydi. Ayrıca 34 °C'de 24. saate göre 48. saatte SOD aktivitesinin azaldığı da belirlendi. *G. mellonella* ve *A. grisella* CAT enzim aktivitelerinin ise sıcaklıktan ve sıcaklığa maruz kalma süresinden çoğunlukla etkilenmediği görüldü. Literatürde Coleoptera, Diptera, Lepidoptera ve Psocoptera gibi böcek takımlarının termal strese maruz kaldığı durumlarda antioksidan enzimlerinde meydana gelen değişiklikleri inceleyen çalışmalara rastlanmış ve sıcaklığa maruz kalan birçok böcekte antioksidan sistemin uyarıldığı gözlenmiştir (Jena ve ark., 2013; Ali ve ark., 2017; Farahani ve ark., 2020).

Lepidoptera türleri üzerinde yapılan araştırmalar incelendiğinde *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera, Pyralidae) (Farahani ve ark., 2020) ile *C. suppressalis* larvalarında (Cui ve ark., 2011), *Antheraea mylitta* (Lepidoptera: Saturniidae) erkek pup testislerinde (Jena ve ark., 2013) ve *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) erginlerinde (Ali ve ark., 2017) sıcaklık arttıkça SOD ve CAT enzim aktivitelerinin yükseldiği belirlenmiştir. Ali ve ark. 2017 yılında yaptıkları çalışmada, *M. separata* erginlerini kontrol sıcaklığı olan 25 °C'nin altındaki hem düşük sıcaklıklarda (5, 10, 15 ve 20 °C) hem de üstündeki yüksek sıcaklıklarda (30, 35, 40 ve 45 °C) termal strese maruz bırakarak böceğin zamana (1, 4 ve 7 saat) bağlı fizyolojik oksidatif stres tepkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda SOD ve CAT aktivitesinin kontrole göre bütün sıcaklıklarda attığını görmüşlerdir. Ayrıca en yüksek SOD ve CAT aktivitelerine soğuk stresi olarak uygulanan 5 °C'ye sırasıyla 1, 4 ve 7 saat boyunca maruz kalan erginlerde rastlanmıştır. Sonuçta, SOD üretiminin *M. separata* erginlerini termal stresten korumak için sıcaklık dalgalanmalarının bir sonucu olarak indüklendiği belirlenmiştir. CAT üretiminin aşırı ekspresyonu sonucunda ise hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda H₂O₂'nin uzaklaştırılması artmış ve böylece oksidatif stres hasarının önleniği görülmüştür. Ayrıca bu çalışma ile araştırmacılar, *M. separata* erginlerinde SOD'a kıyasla CAT seviyelerinin daha yüksek olması nedeniyle termal stres altında H₂O₂'in SOD aktivitesi dışındaki süreçlerle de sentezlendiğini belirlemişlerdir (Ali ve ark., 2017). Isıya, soğuğa, açlığa ve parazitlenmeye maruz kalan *E. ceratoniae* larvalarında da benzer bir sonuç elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan larvalardaki ROS bileşiklerinin seviyelerini yönetmek için SOD ve CAT enzim aktivitelerinde artış olduğu belirlenmiştir (Farahani ve ark., 2020). Benzer sonuçlar alınan başka bir çalışmada, tropik ipek böceği türü *A. mylitta*'nın erkek pupaları farklı termal streslere (28, 35, 40 ve °C) maruz bırakılmış ve testislerindeki antioksidan enzimler araştırılmıştır. Sonuçta, SOD ve CAT aktivitelerinde artışlar olduğu

belirlenmiştir. Bu artışlar incelendiğinde, SOD aktivitesinin ikinci günde 28 °C'ye göre 35 ve 40 °C'lerde belirgin şekilde arttığı ancak dördüncü ve altıncı günlerde sabit kaldığı görülmüştür. Çalışmada, kararsız O₂⁻lerin birincil temizleyicisi olan SOD'un böcek için aşırı tehlikeli stres durumlarında artıp, stresin azaldığı daha az tehlikeli durumlarda düştüğü veya sabit kaldığı ve tehlike geçtikten sonraki durumlar için diğer O₂⁻ temizleme yollarının kullanıldığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar SOD aktivitesindeki bu değişikliği, sıcaklık kaynaklı ROS toksisitesinin üstesinden gelmek için böceğin adaptif bir bağışıklık tepkisi olabileceği yönünde savunmuşlardır. Çalışmada, CAT aktivitesinin de yine ikinci ve altıncı günlerde 28 °C'ye göre 35 °C'de belirgin şekilde arttığı belirlenmiştir. CAT aktivitesindeki bu değişikliğin ise termal stres sonucu böcekte yükselmiş olan H₂O₂ seviyesini gidermek için olduğu ifade edilmiştir (Jena ve ark., 2013). *C. suppressalis* larvaları ile yapılan başka bir çalışmada, larvalar 2 saat boyunca üç farklı yüksek sıcaklığa (33, 36 ve 39 °C) ve kontrol sıcaklığına (28 °C) maruz bırakılarak hemolenfdeki SOD ve CAT enzim aktiviteleri araştırılmıştır. Kontrol sıcaklığı ile karşılaştırıldığında SOD aktivitesinin 33 °C'de önemli oranda değişmediği ancak 36 ve 39 °C'lerde anlamlı bir artış olduğu belirlenmiştir. CAT enzim aktivitesinde ise 28 °C'ye göre bütün sıcaklıklarda artış görülmüş ve kontrole kıyasla en yüksek CAT aktivitesinin en yüksek sıcaklık olan 39 °C'de olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, termal stresin oksidatif strese yol açtığı ve antioksidan enzimlerin oksidatif stresin vereceği hasarı kontrol altına almak için artış gösterdiği belirlenmiştir (Cui ve ark., 2011).

Lepidoptera türleri ile yapılan çalışmalara benzer şekilde, Diptera (Zhu ve ark., 2017), Coleoptera (Das ve ark., 2018) ve Psocoptera (Miao ve ark., 2020) türlerinde de SOD ve CAT enzim aktivitelerinin sıcaklık yükseldikçe arttığı belirlenmiştir. *Bradysia odoriphaga* ve *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae) dişi ve erkekleri, 36 ve 38 °C'lerdeki su banyosunda bir saat süreyle tutularak böceklerin antioksidan tepkileri incelenmiştir. Bir saatin sonunda bireyler bu kez 25 °C'de bir saat bekletilmiş ve daha sonra enzim aktivitelerine bakılmak üzere dondurulmuştur. Aynı zamanda sadece 25 °C'de tutulan ayrı bir grup dişi ve erkek birey kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonucunda dişi ve erkeklerde SOD ve CAT aktiviteleri ile MDA düzeylerinin sıcaklıktan önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir. SOD aktivitesi her iki türde de kontrole göre 36 °C'de artış gösterse de 38 °C'de artışın engellendiği görülmüştür. İki böcek kendi arasında karşılaştırıldığında ise *B. odoriphaga*'nın aktiviteleri *B. difformis*'in aktivitelerinden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca CAT aktivitesinin her iki böcekte de 25 °C'ye göre 36 °C'de

arttığı görülmüştür. En yüksek sıcaklık değeri olan 38 °C’de ise CAT aktivitesinin, *B. difformis*’de 25 °C’ye göre ve *B. odoriphaga*’da 36 °C’ye göre azaldığı belirlenmiştir (Zhu ve ark., 2017). Yapılan başka bir çalışmada, *Galerucella placida* (Coleoptera: Chrysomelidae) erginlerinin sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan stresle nasıl başa çıkabileceklerini belirlemek için böcekler bir saat boyunca 9, 12, 15, 18, 21 ve 24 °C’ye maruz bırakılmıştır. Daha sonra erginler kontrol sıcaklığı olan 21 °C’de iki saat boyunca tutulmuş ve sonrasında dişilerin bütün vücudundaki antioksidan enzimler araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, SOD ve CAT enzim aktivitelerinin en yüksek olduğu değer en düşük sıcaklık olan 9 °C’de ölçülmüş ve sıcaklık arttıkça iki enzim aktivitesinin de azaldığı görülmüştür. En düşük aktiviteler ise SOD için 21 °C’de olurken CAT için 18 ve 21 °C’de ölçülmüştür. Sıcaklık 24 °C’ye yükseldiğinde ise enzim aktiviteleri tekrar artarak en düşük sıcaklıktakine yakın bir değer elde edilmiştir (Das ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae)’nin farklı gelişim evreleri 2, 4 ve 8 saat boyunca kontrol sıcaklığı (27.5 °C), 37.5, 40, 42.5 ve 45 °C’lere maruz bırakılmış ve erginleşen bireylerde antioksidan enzimlerindeki değişiklikler incelenmiştir. 45 °C’de 8 saatlik uygulamaya maruz kalan bütün böcekler öldüğü için hiçbir enzim aktivitesi ölçülemedi. Öte yandan, SOD ve CAT enzim aktivitelerinin kontrole göre sıcaklık arttıkça yükseldiği ancak bu artışların iki enzim için farklı sıcaklıklar ve gözlem saatlerinde olduğu belirlenmiştir. Uygulama sürelerinin hepsinde SOD en yüksek aktiviteyi 42.5 °C’de gösterirken CAT aktivitesinin en yüksek değere 40 °C’de 8 saatlik uygulama sonucunda ulaştığı görülmüştür. Kontrole (27.5 °C) göre karşılaştırıldığında, SOD aktivitelerinin 4 ve 8 saatlik süreler boyunca sıcaklık arttıkça kademeli olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca SOD aktivitesinin bütün uygulama saatlerinde 37.5 °C’de azaldığı görülmüştür. Çalışmada CAT aktivitesinin kontrol sıcaklığına göre ısı şoku uygulamalarının tamamında 2, 4 ve 8 saat boyunca arttığı da belirlenmiştir. Ek olarak, 2 ve 4 saat boyunca sıcaklığa maruz kalan bireylerde CAT aktiviteleri 42.5 °C’de maksimuma ulaşmış, 8. saatte ise hafifçe azalmıştır (Miao ve ark., 2020).

Tez çalışması kapsamında, termal stres sonucunda *G. mellonella* ve *A. grisella*’da enzim aktivitelerinin değiştiği tespit edildi. Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde termal stresin *G. mellonella* ve *A. grisella*’da da oksidatif hasara yol açabileceği görüldü. SOD aktivitesinin sıcaklık değişikliklerinden etkilenmesi, bu enzimin böcekleri termal stresten korumaya yardımcı olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Ali ve ark., 2017; Das ve ark., 2018; Farahani ve ark., 2020). Ayrıca SOD aktivitesindeki artış böceğin ciddi

bir stresle baş ettiğinin de bir işareti olabilmektedir. Literatürde (Cui ve ark., 2011; Zhu ve ark., 2017; Miao ve ark., 2020), termal stres sonucu SOD aktivitesinin artıktan sonra sıcaklık yükselmesine rağmen düşmesi (özellikle *G. mellonella*'da 2. ve 24. saatlerde) SOD enzim aktivitesinin böceği termal strese karşı korumada başarılı olmasına bağlanmıştır. Öte yandan, *G. mellonella* ve *A. grisella*'da CAT enzim aktivitelerinin neredeyse hiç etkilenmemiş olması ise SOD aktivitesinin termal stres ile oluşan hasarı engellemede tek başına yeterli olduğunun bir göstergesi olabilir (Celino ve ark., 2011; Ali ve ark., 2017; Das ve ark., 2018). Ayrıca belli bir sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça *G. mellonella*'da SOD enzim aktivesi artarken *A. grisella*'da SOD ve CAT aktiviteleri azaldı. Literatürde ise sıcaklığa maruz kalma süresinin araştırıldığı çalışmalarda çoğunlukla sıcaklık artıkça SOD ve CAT aktivitesinin bir süre arttığı ve sonra sabit kaldığı belirlenmiştir (Jena ve ark., 2013; Ali ve ark., 2017). Sadece *L. bostrychophila*'da CAT aktivitesinin 42.5 °C'de 8. saatte hafifçe azaldığı belirlenmiş ancak bu durumun nedeni araştırmacılar tarafından açıklanamamıştır (Miao ve ark., 2020). Benzer şekilde, çalışmamızda da *A. grisella*'nın 30 °C'deki sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça CAT aktivitesinin azaldığı belirlendi.

Çalışmamızda incelediğimiz diğer bir enzim aktivitesi ise lipid peroksidaz (LPO) düzeyidir. LPO hem omurgalılarda hem de omurgasızlarda hücrel hasarın iyi bilinen bir mekanizmasıdır (Pampanin ve ark., 2005). Çoklu doymamış yağ asitlerinin en önemli oksidasyon ürünlerinden biri olan malondialdehit (MDA), oksidatif stresin bir biyo-belirteci olarak hizmet eden LPO derecesini belirlemek için ölçülür (Del Rio ve ark., 2005). LPO ürünleri (MDA gibi) yalnızca lipidlere oksidatif hasarın bir biyo-belirteci olmakla kalmaz, aynı zamanda antioksidan savunma mekanizmalarının düzenlenmesini de tetikler (Lushchak ve Bagnyukova, 2006). Çalışmamızda *G. mellonella* ve *A. grisella*'da MDA seviyelerinin termal strese ve maruz kalma süresine göre artma ve azalmalar gösterdiği belirlendi. *G. mellonella*'da MDA seviyesi 2. saatte değişmeye de 24. saatte 30 °C'den 38 °C'ye kadar sıcaklık artıkça yükseldi ve en yüksek değerine 38 °C'de ulaştı. Ardından sıcaklık 42 °C'ye çıktığında ise istatistiksel olarak anlamlı seviyelerde azaldı ve neredeyse 30 °C ile aynı seviyeye kadar düştü. 48. saatte ise 30 ve 38 °C'lerde sabit kalan MDA seviyesi 40 °C'de artsa da bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Ancak, sıcaklık 42 °C'ye çıktığında MDA düzeyi 40 °C'ye göre anlamlı seviyelerde azaldı ve en düşük seviyesine ulaştı. Böceklerde MDA seviyesinin artması araştırmacılar tarafından oksidatif stresin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Farahani ve ark., 2020).

Çalışmamıza benzer şekilde, literatürde de sıcaklık artıka azalan veya artan MDA aktivitesine sahip az sayıda da olsa örneklere rastladık (Jena ve ark., 2013; Zhu ve ark., 2017; Das ve ark., 2018). MDA seviyelerinin belirlendiği bir çalışmada, kontrol sıcaklığı olan 26 °C'ye göre artan ve azalan sıcaklıklarda *E. ceratoniae*'nin MDA aktivitesinde artışlar olduğu görölmüştür (Farahani ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada, *G. placida* erginlerinde sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan stres sonucunda MDA aktivitesi en yüksek değerine en düşük sıcaklık olan 9 °C'de ulaşmış ve sıcaklık yükseldikçe aktivitenin belirgin şekilde azaldığı görölmüştür. Sıcaklık 24 °C'ye çıktığında ise çok az da olsa aktivitede bir artış belirlenmiştir. Araştırmacılar, *G. placida*'daki azalan MDA'nın yüksek sıcaklıklara göre düşük sıcaklıklarda daha etkili bir stres göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca MDA seviyesindeki yükselmeyi de elverişsiz çevre koşullarına bağlamışlardır (Das ve ark., 2018). *A. mylitta* puplarının testislerindeki MDA'nın ölçüldüğü başka bir çalışmada ise dördüncü ve altıncı günde düşük termal strese (28 °C) maruz kalan pupalara göre orta seviyedeki sıcaklığa (35 °C) maruz kalanlarda MDA seviyesi önemli ölçüde yükselmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklık (40 °C) stresine maruz kalan pupalardaki MDA seviyesi maruz kalma süresi uzadıkça artış göstermiştir (Jena ve ark., 2013). Sıcak su banyosunda tutulan *B. odoriphaga* ve *B. difformis*'teki MDA konsantrasyonlarının ısı stresinden sonra önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada her iki böcek için termal stresin antioksidan enzimlerine etkisi karşılaştırılmalı olarak da incelenmiştir (Zhu ve ark., 2017). Sonuçta, *B. difformis*'teki MDA seviyesi 36 °C'de önemli düzeyde artarken *B. odoriphaga*'da 38 °C'deki artış anlamlı bulunmuştur. 36 ve 38 °C'lik ısı şoku uygulamalarından sonra, *B. difformis*'in MDA düzeyi *B. odoriphaga*'nın MDA düzeyinden daha yüksek olmuş ve bu durum *B. difformis*'in daha fazla oksidatif strese maruz kalmasının bir göstergesi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca 36 °C'de, *B. difformis*'in SOD, CAT ve GST aktiviteleri *B. odoriphaga*'nın aktivitelerinden daha fazla iken, test edilen tüm antioksidan enzim aktivitelerinin 38 °C'de *B. difformis*'e göre *B. odoriphaga*'da daha fazla olduğu görölmüştür. Bu olgu, *B. odoriphaga*'nın *B. difformis*'e göre daha güçlü bir ısı toleransına sahip olduğu gerçeği ile tutarlı bulunmuştur (Zhu ve ark., 2017). Çalışmamızda ise *G. mellonella* ve *A. grisella*'daki enzim aktiviteleri (SOD, CAT ve LPO) karşılaştırıldığında, her iki böcek için ortak sıcaklıklar olan 30 ve 38 °C'lerde *G. mellonella*'nın enzim düzeylerinin *A. grisella* larvalarından daha yüksek olduğu belirlendi. Ayrıca termal strese maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella* larvalarının enzim aktiviteleri (SOD, CAT ve

LPO) literatürdeki çoğu çalışma ile paralellik göstermektedir (Cui ve ark., 2011; Jena ve ark., 2013; Ali ve ark., 2017; Zhu ve ark., 2017; Das ve ark., 2018; Farahani ve ark., 2020; Miao ve ark., 2020). Ek olarak sıcaklığın zamana bağlı etkilerini incelediğimiz bağışıklık ve enzim aktivitesi deneylerinde özellikle 34 ve 40 °C’lerde toplam hemosit sayısı, mitotik indeks, güçlü enkapsülasyon, SOD, CAT, LPO ve fenoloksidaz düzeylerinin belirgin şekilde yükselmesi, böceğin ısı stresine karşı hem bağışıklık hem de antioksidan enzim sistemleri ile bütüncül bir savunma ortaya koyduğunu işaret etmektedir.

Lepidoptera türü böceklerin bağışıklık sistemleri onları konak olarak kullanan Hymenoptera türü parazitoit arılara karşı da korumaktadır. Parazitoit arılar konaklarının bağışıklığını baskılamada başarılı olurlarsa gelişip hayatlarına devam edebilirler (Gupta ve Ferkovich, 1998). Parazitoitlerin konak bağışıklığından korunmak için farklı stratejiler geliştirdikleri bilinmektedir (Gupta ve Ferkovich, 1998; Pennacchio ve ark., 2003; Prévost ve ark., 2009). Bu stratejiler sayesinde enkapsülasyondan pasif veya aktif olarak kaçınılması sağlanır. Parazitoitler, enkapsülasyondan pasif olarak kaçınmak için konağın bağışıklığının zayıf olduğu dönemleri tercih etme, konağın bağışıklık hücrelerinin ulaşamayacağı yere yumurta bırakma ve konağın yüzey faktörlerine sahip olma gibi yöntemleri kullanmaktadırlar. Aktif olarak enkapsülasyondan kaçınmak için ise parazitoitler, konak hemositlerinde apoptozisi tetiklemekte veya konak hemosit fonksiyonlarının bozulmasını sağlamaktadırlar (Gupta ve Ferkovich, 1998; Pennacchio ve ark., 2003; Prévost ve ark., 2009). Tez çalışması kapsamında, termal stresin konak olarak kullanılan *G. mellonella*’nın bağışıklığını etkilediği tespit edildi. Ayrıca, iklim değişikliği kapsamında parazitoit arı, *B. hebetor*’un sıcaklıkla bağışıklığı değişmiş olan konağına karşı vereceği tepkiler ile kısa süreli ısı şokuna maruz kalan bir *B. hebetor* dışısının bir sonraki nesildeki etkileri de belirlendi. Literatürde farklı konaklarda yetiştirilen Hymenoptera türlerinin termal strese maruz kaldığı durumlarda yumurta sayısı (Milonas ve Savopoulou-Soultani, 2000; Moore ve ark., 2020; Moore ve ark., 2022), yumurta çatlama süresi (Hailemichael ve Smith, 1994; Milonas ve Savopoulou-Soultani, 2000; Forouzan ve ark., 2008; Qiu ve ark., 2012; Golizadeh ve ark., 2017; Wu ve ark., 2022), koza örme süresi (Rarnachandra ve ark., 2001; Radmacher ve Strohm, 2011), puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi (Hailemichael ve Smith, 1994; Milonas ve Savopoulou-Soultani, 2000; Mohammed ve ark., 2006; Zamani ve ark., 2007; Forouzan ve ark., 2008; Qiu ve ark., 2012; Wang ve ark., 2014; Golizadeh ve ark., 2017; Noor-ul-Ane ve ark., 2018; Wu ve ark., 2022), erginleşme yüzdesi (Milonas ve Savopoulou-Soultani, 2000;

Wang ve ark., 2014; Moore ve ark., 2020; Moore ve ark., 2022), eşey oranı (Zamani ve ark., 2007; Qiu ve ark., 2012; Nguyen ve ark., 2013; Moiroux ve ark., 2014; Golizadeh ve ark., 2017; Wu ve ark., 2022) ve ergin hayat uzunluğundaki (Hailemichael ve Smith, 1994; Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000; Mohammed ve ark., 2006; Qiu ve ark., 2012; Wang ve ark., 2014; Golizadeh ve ark., 2017; Wu ve ark., 2022) değişikliklerin araştırıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde söz konusu değişikliklerin sıcaklık derecesi, sıcaklığın uygulanma şekli, sıcaklığın uygulandığı parazitoit evresi ve konak tür ile ilişkili olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Yine de bu alandaki çalışmalar çoğunlukla uygun sıcaklıkların bulunarak parazitoitleri konak üzerinde kitle halinde yetiştirmek yönünde olmuştur. Bunun nedeni parazitoitlerin doğal birer biyolojik mücadele ajanı olmalarıdır. Bu yüzden, parazitoitler ile yapılan çalışmalarda amaç yüksek sıcaklıkların etkilerini belirlemek değil çoğunlukla sayıca fazla ve sağlıklı parazitoitler yetiştirmek olmuştur. Sayıca fazla parazitoit yetiştirmenin yolu da yumurta sayısını ve erginleşen sağlıklı parazitoit sayısını arttırmaktan geçmektedir.

Literatürde konak *Corcyra cephalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) üzerinde yetiştirilen parazitoit *Trichogrammatoidea bactrae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae)'nın erginleşme yüzdesi ve yumurta sayısının termal strese (33, 36 ve 39 °C), termal strese maruz kalma süresine (2, 4, 6 ve 8 saat) ve maruz kalma sırasındaki gelişim evresine (birinci ve ikinci evre larva, prepup ve pup) göre nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yumurta sayısı sıcaklık ve sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça azalmıştır. Benzer şekilde erginleşme yüzdesi de sıcaklık stresine maruz kalma süresinin artmasıyla azalmıştır. Bütün deney gruplarına göre sıcaklığa en duyarlı olan evrenin pupa evresi olduğu ve pupa evresinde sekiz saat boyunca 39 °C'ye maruz bırakılan bireylerin yumurtalarından sadece %19.90'nın erginleştiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre araştırmacılar, *T. bactrae*'nin düşük sıcaklıklarda daha etkili bir biyolojik kontrol ajanı olduğunu ve sıcaklıklardaki küçük artışların bile bu parazitoitin etkinliğini azaltabileceğini göstermiştir. Bu sebeple iklim değişikliği sürecinde bu parazitoitlerin kullanılacağı alanlarda kısa süreli aralıklarla daha çok sayıda salım yapılması gerektiği açıkça ortaya konmuştur (Wang ve ark., 2014). Başka bir çalışmada, larva endoparaziti *Cotesia congregata* (Hymenoptera: Braconidae) 20, 25 ve 30 °C'lerde konağı *Manduca sexta* (Lepidoptera: Sphingidae) üzerinde yetiştirilmiş ve parazitoitin sağlıklı şekilde erginleşmesinde sıcaklığın etkili olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın sonucunda en fazla yumurta sayısı en yüksek sıcaklıkta görülse de bu sıcaklıkta erginleşme oranı %52.4 olarak

belirlenmiştir. 20 ve 25 °C’lerde ise yumurta sayısı azalmış ancak hayatta kalan parazitoit sayısı artmıştır ve hayatta kalma oranları sırasıyla %90.8 ve %90.5 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, *C. congregata*’nın konak tür *M. sexta*’nin biyolojik mücadelesinde kullanılması durumunda sıcaklık faktörüne dikkat edilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Moore ve ark., 2020). Aynı araştırmacıların aynı böcekler üzerine yaptığı başka bir çalışmada ise parazitoitin farklı gelişim evrelerine (yumurta, birinci, ikinci ve üçüncü evre larvalar) uygulanan kısa süreli (1, 2, 3 ve 4 gün) yüksek sıcaklıkların (35, 40 ve 42 °C) etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda sıcaklıkların yükselmesi, sıcaklığa maruz kalma süresinin artması ve sıcaklığa erken evrelerde maruz kalınması parazitoitlerin erginleşme oranını düşürmüştür. Gelişimin erken evrelerinde (yumurta evresi ve birinci evre larva) 2 saat 40 °C’ye ve 1 saat 42 °C’ye maruz kalan parazitoitlerin %25-30’nun erginleşemediği görülmüştür. 42 °C’ye üç veya dört gün maruz kalan larvaların ise %86-100’ünde ergin parazitoit çıkışı olmamıştır. Bu çalışma ile araştırmacılar, aşırı sıcaklık olaylarının konak ve parazitoit türler ile birlikte endosimbiont türlerin de ölümüne yol açabileceğini öngörmüşlerdir. Ayrıca araştırmacılar bu tür etkileşimli ekolojik sistemlerde, çoğunlukla sadece parazitoitin yaşam döngüsünün düzene sokulmasının bile bozulan sistemi düzeltebileceğini ifade etmişlerdir (Moore ve ark., 2022). Sadece yumurta sayısının araştırıldığı çalışmalardan birinde *Colpoclypeus florus* (Hymenoptera: Eulophidae), konağı *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae)’da yumurta evresinden ergin olana kadar 15, 17, 20, 25 ve 30 °C’lere maruz bırakılmıştır. Çalışmanın sonucunda dişi başına düşen en çok yumurta sayısı 57.4 olarak hesaplanmış ve bu sayıya 17 °C’de ulaşılmıştır. Ayrıca sıcaklık arttıkça yumurta sayısının azaldığı da görülmüştür. Araştırmacılar bu parazitoitin iklim değişikliği sürecinde ısınan hava karşısında biyolojik kontrol ajanı olarak etkinliğinin azalacağını belirlemişlerdir (Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000). Çalışmamızda 2 saat termal strese maruz kalan konağı ile birlikte tekrar aynı streste tutulan *B. hebetor* dişilerinin bıraktığı yumurta sayıları ve bu yumurtalardan erginleşen bireylerin yüzdesi belirlendi. Maruz kalınan sıcaklığın derecesi arttıkça yumurta sayısının da azaldığı açıkça görüldü. En yüksek yumurta sayısına en düşük sıcaklıklar olan 30 ve 36 °C’lerde ulaşıldı ve yumurta sayıları sırasıyla 27.5 ve 24.38 olarak belirlendi. En düşük yumurta sayısına ise 38 ve 40 °C’lerde ulaşıldı ve bu değerlerin 30 ve 36 °C’lere göre belirgin şekilde daha az olduğu görüldü. Yumurtalardan erginleşen bireylerin yüzdesine bakıldığında, en yüksek değer %95.10 ile 36 °C’de olduğu ve bu oranın 30, 38 ve 40 °C’lere göre istatistiksel olarak da anlamlı olduğu belirlendi. Ayrıca en düşük erginleşme oranı ise en yüksek sıcaklık olan 40 °C’de %65.32 olarak belirlendi. Böcek türlerindeki farklılığa rağmen

sıcaklık artışıyla azalan yumurta sayısı ve erginleşen birey sayısı literatürle benzerlik göstermektedir (Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000; Moore ve ark., 2020; Moore ve ark., 2022). Ek olarak, literatürdeki sıcaklık değerleri (Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000; Moore ve ark., 2020) ve elde edilen sonuçlar (Moore ve ark., 2022) incelendiğinde *C. florus* ve *C. congregata*'ya göre *B. hebetor*'un sıcaklığa karşı daha dayanıklı olduğunu düşünmekteyiz.

Parazitoitlerde kitlesel üretime katkı sağlayacak yumurta sayısı dışındaki bir diğer etken ise cinsiyet dağılımıdır (Jeffs ve Lewis, 2013). Parazitlenme işini yapanların dişi parazitoitler olmasının yanında erkek bireylerin de önemi büyüktür çünkü neslini devam ettiren dişi bireylerin oluşması için yumurtanın sağlıklı bir sperm ile döllenmesi gerekmektedir (Nguyen ve ark., 2013). Araştırmalar parazitoitlerde eşey dağılımının sıcaklıkla değiştiğini göstermiştir (Colinet ve Boivin, 2011; Moiroux ve ark., 2014). Bazı çalışmalarda bu değişikliklerin temel nedeni dişilerden çok erkeklerden gelen sperm kalitesinin ve erkek çiftleşme davranışının sıcaklıktan etkilenmesine bağlanmıştır (Nguyen ve ark., 2013; Moiroux ve ark., 2014). Yumurta evresinden itibaren farklı sıcaklıklara maruz bırakılan çalışmalar incelendiğinde ise farklı parazitoitlerin benzer sıcaklıklar karşısında farklı eşey oranlarına sahip olabildiği gösterilmiştir. Konak türler, *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) ve *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)'de yetiştirilen iki farklı parazitoit tür, *Aphidius colemani* ve *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 °C'lerde termal strese maruz bırakılmıştır. Çalışmanın sonucunda eşey oranları her iki parazitoit türünde de 15, 20 ve 25 °C'lerde dişi ağırlıklı, 10 ve 30°C'lerde ise erkek ağırlıklı olmuştur (Zamani ve ark., 2007). *Anagasta (=Ephestia) kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae)'nın konak olarak kullanıldığı başka bir çalışmada, *B. hebetor* yumurta evresinden ergin olana kadar 15, 20, 25, 30 ve 35 °C'lere maruz bırakılmış ve yavrulardaki eşey oranlarının sıcaklığa göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmada en düşük (15 °C) ve en yüksek (35 °C) sıcaklıklarda eşey oranı erkek ağırlıklıyken, arada kalan sıcaklıklarda eşeyler arasındaki oran yaklaşık 1:1 olarak belirlenmiştir (Golizadeh ve ark., 2017). Başka bir konakta benzer sıcaklıklarda (16, 20, 24, 28 ve 32 °C) yetiştirilen *B. hebetor*'un eşey oranının ise sıcaklığa bağlı olarak anlamlı şekilde değişmediği ve bütün sıcaklıklarda erkek ağırlıklı olduğu belirlenmiştir (Wu ve ark., 2022). *Spodoptera exigua* ve *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae)'nın konak olarak kullanıldığı başka bir çalışmada da larva parazitoidi *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) 17, 20, 23, 26, 29 ve 32 °C'lere maruz bırakılmıştır.

Çalışmanın sonucunda eşey oranının sıcaklığa bağlı olarak değişmediği ve bütün sıcaklıklarda dişi ağırlıklı olduğu görülmüştür (Qiu ve ark., 2012). Tez çalışması kapsamında, sıcaklığın *B. hebetor*'un eşey oranını değiştirdiği belirlendi. 30 °C'ye maruz kalanların %80.80 oranında dişi ağırlıklı olduğu, 36 °C'ye maruz kalanların ise %55.52 oranında erkek ağırlıklı olduğu bulundu. Buna ek olarak, 38 ve 40 °C'lerde eşey oranının sırasıyla %51.92 ve %54.26 olmak üzere çok azda olsa dişi ağırlıklı olduğu belirlendi. Sonuçlarımızın literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermemesini üç temel nedene bağlamaktayız. Birincisi literatürlerde uygulanan sıcaklıklar çalışmamızdakilere oranla çok daha düşüktür (Zamani ve ark., 2007; Qiu ve ark., 2012; Golizadeh ve ark., 2017; Wu ve ark., 2022). İkincisi çalışmamızda termal strese kısa süreli maruz kalan dişi *B. hebetor*'un bıraktığı yumurtaların etkilene boyutları incelendi ve bu bağlamda sıcaklığı uygulama biçimimiz de literatürden oldukça farklı oldu (Zamani ve ark., 2007; Qiu ve ark., 2012; Golizadeh ve ark., 2017; Wu ve ark., 2022). Son olarak, çalışmamızda termal stresin etkisi konak ve dişi parazitoit üzerinden incelenirken literatürde erkek parazitoitler üzerinden meydana gelebilecek değişiklikler ele alınmıştır (Nguyen ve ark., 2013; Moiroux ve ark., 2014).

Termal stres altında gelişimlerini tamamlamış birçok parazitoit türün ergin öncesi gelişim dönemlerinin ve ergin hayat uzunluklarının sıcaklıktan etkilendiğini gösteren çok sayıda çalışmaya rastlandı. Bu çalışmalardan birinde *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) konak olarak kullanılmış ve *Xanthopimpla stemmator* (Hymenoptera: Ichneumonidae) yumurtaları ergin çıkışına kadar 20, 24 ve 28 °C'lere maruz bırakılmıştır. Çalışmanın sonucunda yumurtaların çatlama süresi, puplaşma süreleri, pupal periyotları ve ergin öncesi gelişim sürelerinin sıcaklık artışıyla beraber kısaldığı belirlenmiştir. Çalışmada cinsiyetten bağımsız olarak en uzun süre yaşayan parazitoitlerin 20 °C'ye maruz kalanlar olduğu görülmüştür. Sıcaklık 24 ve 28 °C'lere çıktığında ise ergin hayat uzunluğu 20 °C'ye göre belirgin şekilde kısalsa da 24 ve 28 °C'ler arasındaki değişikliklerin anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Hailemichael ve Smith'in 1994 yılında yaptıkları bu çalışmada *X. stemmator*'un tüm yaşam evreleri için en elverişli iklimlerin tropikal ve subtropikal bölgeler olduğu bildirilmiştir. Ek olarak araştırmacılar, bu tip bölgelerde *D. saccharalis*'in biyolojik mücadelesi yapılırken *X. stemmator*'un kullanılması durumunda başarının artacağını da ifade etmişlerdir (Hailemichael ve Smith, 1994). Başka bir çalışmada, parazitoit *C. florus* konağı *A. orana* üzerinde 15, 17, 20, 25 ve 30 °C'lere maruz bırakılmış ve sıcaklık arttıkça parazitoitin yumurta çatlama süresi, puplaşma süresi,

pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Ayrıca 30 °C’de hiçbir bireyin erginleşemediği de görülmüştür. Ergin çıkışının olduğu sıcaklıklarda (15, 17, 20 ve 25 °C) ise en kısa ergin hayat uzunluğuna 25 °C’de rastlanmış ve bu kısalmanın diğer sıcaklıklara göre anlamlı olduğu görülmüştür. Ek olarak, 17 °C’ye kadar sıcaklık arttıkça hayat uzunluğu artsa da 15 °C’de tekrar azalmış ancak 15, 17 ve 20 °C’ler arasında gözlenen bu değişiklikler istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur (Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000). Ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğunun çalışıldığı başka bir çalışmada ise *Ceratitis cosyra* (Diptera: Tephritidae) konak olarak kullanılmış, parazitoit *Psytalia cosyrae* (Hymenoptera: Braconidae) 15, 20, 25, 27, 30 ve 33 °C’lere maruz bırakılmış ve sıcaklık arttıkça ergin öncesi gelişim süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Ergin hayat uzunluğunda bu sıcaklıklardan üç tanesinin (25, 27 ve 30 °C) etkileri araştırılmış ve sonuçta hem dişi hem de erkeklerde en uzun hayat uzunluğuna en düşük sıcaklıkta rastlanmıştır. Çalışmada sıcaklık arttıkça ergin hayat uzunluğunun kısaldığı ancak 27 ve 30 °C’lerdeki değişikliklerin önemsiz olduğu bulunmuştur. Araştırmacılar bu çalışma sayesinde *P. cosyrae*’nin nispeten geniş bir termal toleransa sahip olduğunu ve bu nedenle Amerika ve Avrupa’nın daha sıcak bölgelerindeki zararlılar için ideal bir biyolojik kontrol ajanı adayı olabileceğini bildirmişlerdir (Mohammed ve ark., 2006). İki farklı konak (*S. exigua* ve *S. litura*) üzerinde 17, 20, 23, 26, 29 ve 32 °C’lerde yetiştirilen *M. manilae*’nin yumurta çatlama süresi, puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresinde sıcaklık 17 °C’den 32 °C’ye çıktığında kısaltmalar olduğu görülmüştür. Dişi ve erkek hayat uzunluğu da sıcaklıkla beraber kısalma eğilimi göstermiş ve bütün sıcaklıklarda dişiler erkeklerden daha uzun yaşamıştır. Ayrıca her iki eşeyde de en uzun hayat uzunluğunun 17 °C’de, en kısa hayat uzunluğunun ise 32 °C’de olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar bu çalışma sonucunda *M. manilae*’nin gelişimi için en avantajlı sıcaklığın 26 °C olduğunu ifade etmişlerdir (Qiu ve ark., 2012). Konak tür, *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae)’de beş farklı sıcaklığa (15, 20, 25, 30 ve 35 °C) maruz bırakılan iki farklı parazitoitin (*Fopius arisanus* ve *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae)) ergin öncesi gelişim süreleri ve ergin hayat uzunluğunun araştırıldığı bir makalede ise parazitoit gelişimlerinin artan sıcaklıkla doğrusal olarak kısaldığı belirlenmiştir. Her iki parazitoit türünde de sıcaklık arttıkça ergin hayat uzunluğunun kısaldığı ve dişilerin erkeklerden daha uzun yaşadığı belirlenmiştir. Appiah ve ark.’ları bu çalışmada *F. arisanus* ve *D. longicaudata* için gelecekteki kitlesel yetiştirme, saha salımları ve her iki parazitoitin *B. invadens* üzerindeki etkisinin modellenmesini sunmuşlardır (Appiah ve ark., 2013). Başka bir çalışmada, *T. bactrae*

parazitoitinin farklı gelişim evrelerinde 33, 36 ve 39 °C'lere farklı sürelerde (2, 4, 6 ve 8 saat) maruz kalmasının ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğunu etkilediği görülmüştür. Sıcaklığa maruz kalan *T. bactrae*'nin yumurtadan ergine kadar olan yaşam süresinin ve ergin hayat uzunluğunun özellikle 39 °C'de diğer iki sıcaklığa göre belirgin şekilde kısaldığı belirlenmiştir. Ayrıca 39 °C'ye maruz kalma süresi uzadıkça ergin öncesi gelişim süresinin kısaldığı ve erginlerin daha kısa süre yaşadığı görülmüştür. Sonuç olarak, *T. bactrae*'nin kitle halinde üretilebilmesi için düşük sıcaklıkların tercih edilmesi gerektiği ve sahada biyolojik kontrol ajanı olarak kullanıldığında soğuk hava koşullarının beklenmesi durumunda biyolojik mücadeledeki başarının artacağı ifade edilmiştir (Wang ve ark., 2014).

Literatür taramalarında termal stresin farklı konaklarda yetiştirilen *B. hebetor*'un ergin öncesi gelişim süresi ve ergin hayat uzunluğuna etkilerini araştıran çalışmalara da rastlandı (Forouzan ve ark., 2008; Golizadeh ve ark., 2017; Noor-ul-Ane ve ark., 2018; Wu ve ark., 2022). Konak olarak *E. kuehniella*'nın kullandığı bir çalışmada 15, 20, 25, 30 ve 35 °C'lere maruz kalan *B. hebetor*'un ergin öncesi gelişim süresi kapsamında yumurta çatlama süresi, puplaşma süresi, pupal periyot ve yumurtadan ergine gelişim süresinin etkilendiği belirlenmiştir. Söz konusu etkiler istatistiksel açıdan incelendiğinde, genel olarak bütün gelişim evrelerinde sıcaklık arttıkça gelişim sürelerinin anlamlı şekilde kısaldığı görülmüştür. Yumurta çatlama süresi en düşük sıcaklık olan 15 °C'de 4.9 gün iken, 20 °C'de 2.7'ye, 25 °C'de 1.4'e ve 30 ile 35 °C'de 1.0 güne inmiştir. Puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresi ise 15 °C'de sırasıyla 9.5, 31.3 ve 45.7 gün iken sıcaklık 30 °C'ye çıktığında sırasıyla 1.3, 5.8 ve 8.1 güne düşmüştür. Ergin hayat uzunluğu verilerine bakıldığında, bütün sıcaklıklarda dişilerin erkeklerden daha uzun süre yaşadığı belirlenmiştir. Ayrıca ergin öncesi gelişim sürelerinde olduğu gibi sıcaklık artıkça her iki eşeyde de hayat uzunluğu belirgin şekilde kısalmıştır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, yumurtadan ergin olana kadar yetiştirdikleri *B. hebetor* için en uygun sıcaklığın 25-30 °C olduğunu ileri sürmüşlerdir (Golizadeh ve ark., 2017). *Opisina arenosella* (Lepidoptera: Xyloryctidae)'nın konak olarak kullanıldığı bir çalışmada *B. hebetor* 16, 20, 24, 28 ve 32 °C'lere maruz bırakılmış ve yumurta çatlama süresi, puplaşma süresi ve pupal periyotun en düşük sıcaklık olan 16 °C'de en uzun olduğu ve 32 °C'de ise en kısa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ergin öncesi gelişim sürelerinin en yüksek ve en düşük sıcaklıklar arasındaki sıcaklıklarda sıcaklık yükseldikçe belirgin şekilde kısaldığı da belirlenmiştir. Yumurta çatlama süresinin ise sıcaklık artıkça kısaldığı kaydedilmiştir. Dişi ve erkek hayat

uzunluğu sıcaklık artıkça her iki eşeyde de istatistiksel olarak anlamlı şekilde kısalmış ve 16 °C’de dişilerde 52 ve erkeklerde 46 gün olan hayat uzunluğu 32 °C’de sırasıyla 17 ve 15 güne kadar düşmüştür. Ayrıca bütün sıcaklıklarda diğer çalışmalara benzer şekilde dişilerin erkeklerden daha uzun yaşadıkları görülmüştür. Wu ve ark.’ları yaptıkları bu çalışmada *B. hebetor*’un yaşam döngüsünü tamamlayabilmesi için 16–32 °C aralığını önermişler ve konağı *O. arenosella* için bu sıcaklık aralığında umut vadeden bir biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir (Wu ve ark., 2022). *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)’nın konak olarak kullanıldığı başka bir çalışmada hem konağın hem de parazitoitin 10, 15, 17.5, 20, 25, 27.5, 30, 35, 37.5 ve 40 °C’lerdeki gelişimi araştırılmıştır. Konak *H. armigera*’nın yumurtadan ergine kadar yaşam döngüsünü 17.5-37.5 sıcaklık aralığında, *B. hebetor*’un ise 15-40 °C aralığında tamamladığı belirlenmiştir. *B. hebetor*’un puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim evresinin ise 37.5 ve 40 °C dışında sıcaklık artışıyla kısaldığı belirlenmiştir. Hatta 40 °C’de erginleşebilen konak canlı yokken bile *B. hebetor*’un erginleşebildiği görülmüştür. Bu çalışma ile araştırmacılar *B. hebetor*’un sıcaklığa karşı toleransının ne kadar yüksek olduğunu ve bu parazitoitin hem daha soğuk bölgelerde hem de daha sıcak bölgelerde etkili bir biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir (Noor-ul-Ane ve ark., 2018). *G. mellonella*’nın konak olarak kullanıldığı tez çalışması kapsamında, *B. hebetor* bireyleri yumurtadan ergin ölümüne kadar 16, 18, 20, 23, 25, 28, 30, 32, 35 ve 38 °C’lere maruz bırakıldı ve parazitoitin 16 °C dışındaki tüm sıcaklık değerlerinde yaşam döngüsünü tamamlayabildiği görüldü. Sonuçta yaşam döngüsünün tamamlanmadığı 16 °C için sadece yumurta çatlama süresi hesaplanabildi ve 6.27 gün olarak belirlenen bu süre sıcaklık artıkça kısalma eğilimi gösterdi. Benzer şekilde puplaşma süresi, pupal periyot ve yumurtadan ergine (dişi ve erkek) kadar olan yaşam süresi sıcaklık artıkça belirgin şekilde kısaldı. Diğer çalışmalardan farklı olarak yumurtadan ergine kadar geçen toplam sürenin hesaplandığı bu çalışmada dişi ve erkekler için ergin öncesi gelişim süresinin çok benzer olduğu görüldü. *B. hebetor* ile yapılan bir çalışmada araştırmamıza benzer şekilde 30 ve 38 °C’ler kullanılmış ve böceğin ergin öncesi gelişim süreleri incelenmiştir. Çalışmada yumurta çatlama süresi, puplaşma süresi, pupal periyot ve yumurtadan ergine dişi ve erkek gelişim süresinin 30 °C’de sırasıyla 1.47, 2.08, 6.80, 11 ve 11.1 gün; 38 °C’de ise sırasıyla 0.81, 2.81, 5.16, 8.49 ve 8.45 gün olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın sonucunda, 28-38 °C arasındaki sıcaklıkların *B. hebetor*’un gelişimi için uygun sıcaklıklar olduğu belirlenmiştir. Ancak, *B. hebetor*’u kitle halinde üretirken larva ve pupaların hayatta kalma oranlarının

kullanılması gerektiği ve bu nedenle 25-32 °C arasındaki sıcaklıkların daha uygun olduğu ifade edilmiştir (Forouzan ve ark., 2008).

Parazitoit türler *C. congregata* (Moore ve ark., 2020), *A. colemani* ve *A. matricariae* (Zamani ve ark., 2007)'da ergin öncesi gelişim evrelerinin araştırıldığı iki farklı çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. *C. congregata*'nın 20, 25 ve 30 °C'lere maruz kaldığında artan sıcaklıkla beraber gelişme süresinin önemli ölçüde kısaldığı belirlenmiştir (Moore ve ark., 2020). Yaprak bitlerinin (*A. gossypii* ve *M. persicae*) konak olarak kullanıldığı bir başka çalışmada ise 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 °C'lere maruz kalan parazitoit türler *A. colemani* ve *A. matricariae*'nin sadece 10-30 °C aralığında erginleştiği görülmüştür. Erginleşen bireyler incelendiğinde ise ergin öncesi gelişim süresinin sıcaklık arttıkça kısaldığı belirlenmiştir. Böylece her iki çalışmada kullanılan parazitoit türlerin gelişimi için en uygun sıcaklık aralığı belirlenmiş ve parazitoitlerin zararlı böceklerin biyolojik kontrolü için aktif olabilecekleri termal toleransları belirlenebilmiştir (Zamani ve ark., 2007; Moore ve ark., 2020). Literatürde parazitoitlerin ergin öncesi gelişim dönemlerinin araştırıldığı çalışmaların neredeyse tamamında sıcaklık artışına bağlı olarak yumurta çatlama süresinin ve ergin öncesi gelişim dönemlerinin (puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süresi) kısaldığı gözlenmiştir. Ancak, bizim çalışmamızda *B. hebetor*'un sıcaklık artışına bağlı olarak yumurta çatlama süresi ve ergin öncesi dönemlerinde uzamalar olduğu da görüldü. Sonuçlarımız incelendiğinde, en uzun yumurta çatlama süresinin en düşük ve en yüksek sıcaklıklar olan 30 ve 40 °C'lerde olduğu belirlendi. Bu iki sıcaklığın arasındaki sıcaklıklarda ise yumurta çatlama süresinin 30 ve 40 °C'lere göre belirgin şekilde kısaldığı görüldü. Literatürle bulgularımız arasındaki farkları değerlendirecek olursak, *X. stemmator* (Hailemichael ve Smith, 1994), *M. manilae* (Qiu ve ark., 2012) ve *C. florus* (Milonas ve Savopoulou- Soutani, 2000)'un çalışıldığı araştırmalarda uygulanan sıcaklıklar çalışmamıza göre oldukça düşüktü. Ayrıca sıcaklık uygulama şeklimizde de farklılık vardı. Çalışmamızda termal strese maruz kalan konak üzerinden tekrar termal strese maruz bırakılan dişi parazitoitin bıraktığı yumurtalardan çıkan bireylerin puplaşma süresi 30 °C'de 3.08 gün olarak ölçüldü. Ancak, sıcaklık arttıkça puplaşma süresinin 30 °C'ye göre anlamlı seviyelerde kısaldığı ve en düşük değer 36 °C'de 2.16 gün olduğu belirlendi. Pupal periyot ve ergin öncesi gelişim süreleri ise sıcaklık arttıkça anlamlı şekilde uzadı. Buna ek olarak, ergin *B. hebetor*'un hayat uzunluğu 30, 38 ve 40 °C'lerde yaklaşık 24 gün iken; 36 °C'de 36 güne uzadı ve bu uzama diğer sıcaklıklara göre anlamlı bulundu. Termal stresin *B. hebetor*'a etkilerini inceleyen diğer

çalışmalarda (Forouzan ve ark., 2008; Golizadeh ve ark., 2017; Noor-ul-Ane ve ark., 2018; Wu ve ark., 2022) böceğin gelişebildiği ve yaşayabildiği geniş bir termal aralık 16-40 °C olarak verilmiştir. Bu çalışmalarda uygulanan sıcaklık dereceleri ve sıcaklığın uygulanma şekilleri bizim çalışmamızdan farklı olsa da literatüre benzer olarak *B. hebetor*'un termal toleransının yüksek olduğu bulgularımızdan da açıkça gözükmektedir.

Tez çalışması kapsamında, konak tür *G. mellonella* son evre larvalarına termal stres uygulanan deneylerde böceğin sabit ısı şoku altında 30, 32, 34, 36 ve 38 °C'lerde; değişken ısı şoku altında ise 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 °C'lerde aktif olarak hayatını devam ettirebildiği görüldü. Ayrıca değişken ısı şokunda 30, 36, 38 ve 40 °C'lerde termal strese 2 saat maruz kalan *G. mellonella* ile birlikte tekrar aynı streste 2 saat daha tutulan dişi *B. hebetor*'un, bu sıcaklıkların tamamında *G. mellonella* için aktif bir biyolojik kontrol ajanı olabileceğini belirlemiş olduk. Ek olarak, *B. hebetor*'un 36 °C'ye 2 saat maruz bırakılmış konak *G. mellonella*'da yetiştirilmesi durumunda, dişi başına düşen 24.38 yumurtadan %95.10'nun erginleşebileceği ve bu erginlerin de %44.48'inin dişi olacağı bir senaryoda *B. hebetor*'un literatürdeki bir çok parazitoite göre daha başarılı olacağı da ortadadır. Ayrıca, *G. mellonella*'nın 36 °C'de değişken ısı şokuna maruz kaldığı durumlarda larva evresindeki koza örme ve puplaşma süresinin diğer sıcaklıklara göre daha uzun olması konağın larval evrede geçireceği süreyi uzatacağı için bir larva parazitoiti olan *B. hebetor*'un parazitlenme şansını da artıracaktır. *B. hebetor*'un parazitlenme şansını artıran diğer bir faktör ise böceğin ektoparazitoit olması nedeniyle hali hazırda konak enkapsülasyonundan pasif olarak kaçabiliyor olmasıdır.

G. mellonella ve *A. grisella*'da termal stresin etkilerini belirleyebilmek için her iki türün biyolojik özellikleri, bağışıklık sistemi ve antioksidan enzimlerini ayrıntılı olarak inceledik ve belirgin değişiklikler olduğunu tespit ettik. Bu değişiklikler her iki böceğin sistematik yakınlığına, ekosistemde buldukları yere ve ekolojik nişteki benzerliklerine rağmen birbirinden oldukça farklıydı. Sabit ısı şokuna maruz kalan *G. mellonella* ve *A. grisella*'da koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot ve ergin hayat uzunluğunun sıcaklık uygulamasından etkilendiği görüldü. Ancak, ergin öncesi gelişim süresi *G. mellonella*'da sabit sıcaklıklardan etkilenirken *A. grisella*'da belirgin bir etki görülmedi. Değişken ısı şokunda ise *A. grisella*'da koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi gelişim süresi, ergin hayat uzunluğu, ergin ağırlığı ve yumurta verimi olmak üzere incelenen bütün biyolojik faktörlerin değiştiği belirlendi. Öte yandan, *G. mellonella*'da

sadece puplaşma süresi, ergin öncesi gelişim süresi, ergin hayat uzunluğu, ergin ağırlığı ve yumurta veriminin değişken ısı şokundan etkilendiği görüldü. Bağışıklık sistemi kapsamında konak türlerin THS, FHS, mitotik indeks ve enkapsülasyon durumlarının ve ayrıca antioksidan enzimlerinin termal stresin derecesi ve uygulandığı süreye bağlı olarak değiştiği ve çoğunlukla bu değişikliklerin birbirini tamamlar nitelikte olduğu görüldü. Genel olarak her iki böcekteki sabit ısı şoku deneylerindeki yumurtadan ergine yaşam süresi, sabit ve değişken ısı şokundaki biyolojik özellikler, bağışıklık sistemi ve antioksidan enzim verileri incelendiğinde böceklerin bazı sıcaklıklarda hayati faaliyetlerinin daha belirgin şekilde değiştiği tespit edildi. Bu sıcaklıkların böcekler için kritik sıcaklıklar olup hayatlarındaki kırılma noktalarının yaşandığı sıcaklıklar olduğunu düşünmekteyiz. Termal strese bağlı olarak *G. mellonella*'da iki ve *A. grisella*'da ise üç farklı kritik sıcaklık dönümü belirledik. Bu sıcaklıklar *G. mellonella* için birincisi 38-40 °C aralığında, ikincisi ise 44 °C ve üstü değerlerde oldu. *A. grisella* için ise birincisi 34 °C, ikincisi 38 °C ve son olarak üçüncüsü 40 °C ve üstü değerlerdeydi. Kritik sıcaklıklar incelendiğinde, *G. mellonella* son evre larvalarında sıcaklık 38 °C'den 40 °C'ye çıktığında yumurtadan ergine hayat uzunluğu verileri her iki sıcaklıkta da birbirine benzer değerlerde oldu. Ancak, 38 °C'de bütün bireyler hayat döngülerini tamamlayıp ergin safhaya ulaşırken 40 °C'de larva halinde yaşayıp bu evrede öldüler. Bu iki sıcaklıktaki THS verileri incelendiğinde, 24. saatte 38 °C'ye maruz kalan larvalara göre 40 °C'de THS'nın belirgin şekilde arttığı ve bütün deney grupları arasındaki en yüksek değerin 40 °C'de olduğu görüldü. FHS verileri incelendiğinde THS'daki bu artışın granülosit, plazmatosit, sferülosit ve diğer hemosit tiplerinin artışından kaynaklanabileceği görülse de söz konusu artışlar istatistiksel olarak anlamsız bulundu. Mitotik indeksin ise 38 °C'ye maruz kalan larvalarda bütün deney gözlem saatlerinin arasında en yüksek seviyeye 24. saatte ulaştığı ve bu değerin sıcaklık 40 °C'ye çıktığında belirgin şekilde azaldığı görüldü. Bunlara ek olarak, güçlü enkapsülasyonun da 24. saatin sonunda sıcaklık 38 °C'den 40 °C'ye çıktığında belirgin şekilde arttığı belirlendi. Antioksidan enzimler incelendiğinde de bahsi geçen sıcaklıklarda SOD, LPO ve PO aktivitelerinin belirgin şekilde yükseldiği kaydedildi. Sonuç olarak, *G. mellonella* son evre larvaları için özellikle 38-40 °C aralığının ilk kritik sıcaklık aralığı olduğunu söyleyebiliriz. İkinci kritik sıcaklıklar ise böceğin termal stres sonucu geri dönüşü olmayan hasarlar aldığı ve sonuçta larvaları kısa sürede ölüme götüren 44 °C ve üstü sıcaklıklar oldu.

A. grisella için ilk kritik sıcaklık olan 34 °C’de ilk kez ergin olmadan ölen bireylere (larva veya pup halinde) rastlandı. Ayrıca sabit ve değişken ısı şoku deneylerindeki biyolojik özellikler incelendiğinde, 34 °C’ye maruz kalan *A. grisella* bireylerinde bu sonucu destekleyen değişiklikler olduğu tespit edildi. THS’larının da hem 2. saatte hem de 48. saatte 30 °C’ye göre 34 °C’de belirgin şekilde arttığı görüldü. THS’daki söz konusu artışların FHS kapsamında incelenen granülosit, sferülosit ve diğer hemosit tiplerindeki artışlardan kaynaklanabileceği belirlendi. Mitotik indeksin ise 2. saatte 30 °C’ye göre 34 °C’de artarken; 48. saatte azaldığı görüldü. Bunlara ek olarak, zayıf enkapsülasyonun bu sıcaklıklarda 48. saatte baskılandığı; güçlü enkapsülasyonun ise bütün deney gözlem saatlerinde belirgin şekilde arttığı tespit edildi. Sonuç olarak, *A. grisella* son evre larvaları için sıcaklığın 34 °C ve üstüne çıktığı durumlarda hayati faaliyetler için kritik noktaya girildiğini söyleyebiliriz. *A. grisella*’da ikinci bir kritik noktanın ise 38 °C olduğunu düşünmekteyiz; bu sıcaklığa maruz kalan larvaların hepsi larva halinde yaşayıp ölse de yumurtadan ergine yaşam süreleri istatistiksel olarak 30 ve 32 °C ile benzerdi. Ayrıca değişken ısı şoku deneylerindeki biyolojik özelliklerde 38 °C’de koza örme süresinin ve pupal periyotun 30 ve 32 °C’ye göre belirgin şekilde uzadığı da görüldü. THS’nın da 2. saatte 30 °C’ye göre 38 °C’de arttığı tespit edildi. FHS’ları incelendiğinde bu artışların nedeni olarak sferülositler ve diğer hemosit tipleri gösterilebilir. Mitotik indeks verileri de 30 °C’ye göre 38 °C’de belirgin şekilde değişti ve iki sıcaklık arasında negatif korelasyon olduğu belirlendi. Ek olarak, 38 °C’de enkapsülasyon durumu böceğin birden fazla strese dayanamaması (sıcaklık ve enjeksiyon) nedeniyle ölçülemedi. *A. grisella* son evre larvaları için üçüncü kritik noktanın başlangıcı ise böceği kısa sürede ölüme götüren 40 °C oldu. Antioksidan enzimler incelendiğinde de bahsi geçen kritik sıcaklık değerlerinin çoğunda CAT, LPO ve PO aktivitelerinin belirgin şekilde arttığı kaydedildi.

Ektotermik canlılar olan böceklerin biyolojileri ve çevre sıcaklıkları yakından ilişkili olduğu için iklim değişikliğinden özellikle de yükselen sıcaklıklardan etkilenmeleri oldukça muhtemeldir. Tez çalışması kapsamında termal stresin böcekler üzerinde ölümcül ve ölümcül olmayan etkilere neden olduğu açıkça gösterildi. Ölümcül etkilerin gözlemlendiği sabit ısı şoku uygulaması sonucunda zararlı türler, *G. mellonella* ve *A. grisella*’nın LTemp, LTime ve kümülatif mortalite değerleri belirlendi. Çalışmamızda uygulanan sıcaklıklar artıkça ve sıcaklığa maruz kalma süresi uzadıkça belirgin bir şekilde sıcaklığın öldürücülüğünün de arttığı görüldü. Ölümcül olmayan etkilerde ise uygulanan sıcaklıkların hem sabit hem de değişken ısı şokuna maruz kalan larvalardan gelişen bireylerin

fizyolojisini, farklı zaman dilimlerinde sıcaklığa maruz kalan konaklarda bağışıklık ile antioksidan enzimleri ve konak-parazitoit ilişkisini etkileyebildiği açıkça görüldü. Ayrıca uzun ve kısa süreli olmak üzere iki farklı sıcaklık uygulamasının da böcekler üzerinde farklı etkilere yol açabileceği ortaya kondu. Bu çalışmanın amacı, iklim değişikliğine bağlı yükselen sıcaklıkların zararlı türler, *G. mellonella* ve *A. grisella*'nın ölüm yüzdesi, biyolojik özellikleri, bağışıklık sistemi, antioksidan ve fenoloksidaz enzimleri ile konak-parazitoit ilişkisini nasıl etkileyeceğini belirlemektir. Doğada hem konak türlerin hem de parazitoit türlerin sıcaklık stresine karşı verdiği tepkiler çerçevesinde bir termal uyum gösterdikleri düşüncesindeyiz. Bu termal uyum, iklim değişikliği sürecinde artan sıcaklıklarla birlikte böcek fizyolojisinin izin verdiği sürece değişebilmektedir. Bu süreçte etkileşimde bulunan türler arasındaki ilişki aksadığında (örneğin konakların parazitoitlerden düşük sıcaklıklarda ölmesi gibi) ekolojik sistemler bozulma riskine maruz kalmaktadır. Çalışmamızda genel olarak *A. grisella*'nın termal toleransının *B. hebetor*'dan daha kısıtlı olduğu görüldü. Bu nedenle konak-parazitoit ilişkisini araştırdığımız deneylerde konak tür olarak *G. mellonella* kullanıldı ve *B. hebetor*'un geniş bir sıcaklık aralığında termal toleransa sahip olduğu belirlendi. Çalışmalarımız *B. hebetor*'un iklim değişikliği sürecinde kullanılabilir gözde biyolojik kontrol ajanı olma adaylarından olduğunu kanıtlayan birçok çalışma ile benzer sonuçlar içermektedir. Aynı zamanda konak seçimi konusunda spesifik olmaması ve ektoparazitoit olması da iklim değişikliği sürecinde *B. hebetor*'un neslini devam ettirme açısından şanslı olduğunu gösteren diğer özellikleridir. Konak-parazitoit etkileşimlerinin belirlenmesi; her iki türün sıcaklık toleransını, fizyolojik kapasitesini ve ne kadar esnek olabileceklerini anlamamızı sağlayacak ve böylece böceklerin iklim değişikliği sürecinde Dünyadaki coğrafik dağılımlarını yorumlamamıza katkıda bulunacaktır. Ayrıca, termal stresin böcekler üzerindeki etkilerinin oldukça karmaşık ve beklenmedik olabileceğini gösteren bulgularımız, artan sıcaklıkların zararlı ve yararlı türlerin tritrofik besin zincirinde nasıl etkileneceğini önceden anlamamıza da katkı sağlayacaktır. Hızla artan küresel sıcaklıklar karşısında, böceklerin gelişim biyolojisi, bağışıklık tepkileri ve enzim aktivitelerindeki değişimlerin belirlenmesi, doğada benzer türlerin iklim değişikliği sürecindeki adaptasyonlarının öngörülmesine olanak tanıyacak ve gelecekteki biyolojik kontrol uygulamaları ile saha çalışmalarına yeni perspektifler kazandıracaktır.

5. KAYNAKLAR (APA)

- Abbes, K., Biondi, A., Kurtulus, A., Ricupero, M., Russo, A., Siscaro, G. et al. (2015). Combined non-target effects of insecticide and high temperature on the parasitoid *Bracon nigricans*. *PloS one*, *10* (9), e0138411, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138411>.
- Abreu-Blanco, M. T., Verboon, J. M. and Parkhurst, S. M. (2011). Cell wound repair in *Drosophila* occurs through three distinct phases of membrane and cytoskeletal remodeling. *Journal of Cell Biology*, *193* (3), 455-464. <https://doi.org/10.1083/jcb.201011018>.
- Adhikari, U. (2022). Insect pest management: mechanical and physical techniques. *Reviews in Food and Agriculture (RFNA)*, *3* (1), 48-53, DOI: <http://doi.org/10.26480/rfna.01.2022.48.53>.
- Adamo, S. A. (2010). Why should an immune response activate the stress response? Insights from the insects (the cricket *Gryllus texensis*). *Brain, behavior, and immunity*, *24* (2), 194-200, <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2009.08.003>.
- Aebi H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- Ahmad, S., Duval, D. L., Weinhold, L. C. and Pardini, R. S. (1991). Cabbage looper antioxidant enzymes: tissue specificity. *Insect Biochemistry*, *21* (5), 563-572, [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(91\)90111-Q](https://doi.org/10.1016/0020-1790(91)90111-Q).
- Ahmed, M. S. H., Al-Maliky, S. K., Al-Taweel, A. A., Jabo, N. F. and Al-Hakkak, Z. S. (1985). Effects of three temperature regimes on rearing and biological activities of *Bracon hebetor* (Say)(Hymenoptera: Braconidae). *Journal of stored products research*, *21* (2), 65-68, [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(85\)90022-0](https://doi.org/10.1016/0022-474X(85)90022-0).
- Alam, M. S., Alam, M. Z., Alam, S. N., Miah, R. U., Mian, M. I. H. and Hossain, M. M. (2014). Biology of *Bracon hebetor* reared on wax moth (*Galleria mellonella*) larvae. *Persian Gulf Crop Protection*, *3* (4), 54-62. Erişim adresi: <https://research.ebsco.com/c/zrhf4i/search/details/uc3dkqsi7v?db=obo#Au>
- Ali, A., Rashid, M. A., Huang, Q. Y., Wong, C. and Lei, C. L. (2017). Response of antioxidant enzymes in *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) exposed to

- thermal stress. *Bulletin of Entomological Research*, 107 (3), 382-390, doi:10.1017/S0007485316001000.
- Alshabka, Z. E., Naiem, E. A., Dabour, N. A., Seif, A. I. and Meshrif, W. S. (2020) The effects of thermal waves on the biology and immune function of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Egypt. J. Exp. Biol. (Zool.)*, 16 (1): 85 – 92, DOI:10.5455/egysebz.20200519092423.
- Altincicek, B., Knorr, E. and Vilcinskas, A. (2008). Beetle immunity: Identification of immune-inducible genes from the model insect *Tribolium castaneum*. *Developmental & Comparative Immunology*, 32 (5), 585-595, <https://doi.org/10.1016/j.dci.2007.09.005>.
- Altincicek, B. and Vilcinskas, A. (2006). Metamorphosis and collagen-IV-fragments stimulate innate immune response in the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Developmental & Comparative Immunology*, 30 (12), 1108-1118, <https://doi.org/10.1016/j.dci.2006.03.002>.
- Angilletta, M. J., (2009). *Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis*. New York: Oxford University Press.
- Appiah, E. F., Ekesi, S., Salifu, D., Afreh-Nuamah, K., Obeng-Ofori, D., Khamis, F., et al. (2013). Effect of temperature on immature development and longevity of two introduced opiine parasitoids on *Bactrocera invadens*. *Journal of Applied Entomology*, 137 (8), 571-579, <https://doi.org/10.1111/jen.12036>.
- Arbogast, R. T. (1981). Mortality and reproduction of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* exposed as pupae to high temperatures. *Environmental Entomology*, 10 (5), 708-711, <https://doi.org/10.1093/ee/10.5.708>.
- Arnold, J. W. and Hinks, C. F. (1976). Haemopoiesis in Lepidoptera. I. The multiplication of circulating haemocytes. *Canadian Journal of Zoology*, 54 (6), 1003-1012, <https://doi.org/10.1139/z76-112>.
- Atkinson, D. (1994). Temperature and organism size-a biological law for ectotherms?. *Adv. Ecol. Res.*, 25, 1-58. Erişim adresi: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570291225611713536>.

- Bauerfeind, S. S. and Fischer, K. (2014). Integrating temperature and nutrition–environmental impacts on an insect immune system. *Journal of Insect Physiology*, 64, 14-20, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.03.003>.
- Bloemkolk, J. W., Gray, M. R., Merchant, F. and Mosmann, T. R. (1992). Effect of temperature on hybridoma cell cycle and MAb production. *Biotechnology and bioengineering*, 40 (3), 427-431, <https://doi.org/10.1002/bit.260400312>.
- Brookman, J. L., Ratcliffe, N. A. and Rowley, A. F. (1989). Studies on the activation of the prophenoloxidase system of insects by bacterial cell wall components. *Insect Biochemistry*, 19 (1), 47-57, [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(89\)90008-5](https://doi.org/10.1016/0020-1790(89)90008-5).
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP). “The Heat is On: Taking Stock of Global Climate Ambition“, <https://www.undp.org> > undp > climate-change > NDC_Outlook_Report_2019, Son erişim tarihi:30.05.2021
- Browne, N., Surlis, C. and Kavanagh, K. (2014). Thermal and physical stresses induce a short-term immune priming effect in *Galleria mellonella* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 63, 21-26, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.02.006>.
- Buege, J. A. and Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 52, 302-310, [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(78\)52032-6](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(78)52032-6).
- Burggren W. (2012) Temperature. In: J. F. Harrison, H. A. Woods and S. P Roberts (Eds.), *Ecological and environmental physiology of insects* (pp. 64-97), New York: Oxford University Press, DOI: 10.1086/669295.
- Carton, Y., Poirié, M. and Nappi, A. J. (2008). Insect immune resistance to parasitoids. *Insect Science*, 15 (1), 67-87. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2008.00188.x>
- Catalán, T. P., Wozniak, A., Niemeyer, H. M., Kalergis, A. M. and Bozinovic, F. (2012). Interplay between thermal and immune ecology: effect of environmental temperature on insect immune response and energetic costs after an immune challenge. *Journal of Insect Physiology*, 58 (3), 310-317, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2011.10.001>.
- Chau, N. N. B. and Quoc, N. B. (2015). The family Braconidae (Hymenoptera) parasitoids: taxonomy and behavior. *Ho Chi Minh City Open University Journal of*

- Science-Engineering and Technology*, 5 (1), 60-65. Erişim adresi: <https://journalofscience.ou.edu.vn/index.php/tech-en/article/view/420/0>
- Celino, F. T., Yamaguchi, S., Miura, C., Ohta, T., Tozawa, Y., Iwai, T., et al. (2011). Tolerance of spermatogonia to oxidative stress is due to high levels of Zn and Cu/Zn superoxide dismutase. *Plos one*, 6 (2), e16938, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016938>.
- Chapman, R.F. 1998. Sayfa 509-516. *The Insects Structure and Function 4*. Editör: Chapman, R.F. New York: University Press.
- Chen, H., Solangi, G. S., Guo, J., Wan, F. and Zhou, Z. (2018). Antioxidant responses of ragweed leaf beetle *Ophraella communa* (Coleoptera: Chrysomelidae) exposed to thermal stress. *Frontiers in Physiology*, 9, 362979, <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00808>.
- Chown, S. L. and Gaston, K. J. (2010). Body size variation in insects: a macroecological perspective. *Biological Reviews*, 85 (1), 139-169, <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00097.x>.
- Chown, S. L., Addo-Bediako, A. and Gaston, K. J. (2002). Physiological variation in insects: large-scale patterns and their implications. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 131 (4), 587-602, [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00017-9).
- Christensen, B. M., Huff, B. M., Miranpuri, G. S., Harris, K. L. and Christensen, L. A. (1989). Hemocyte population changes during the immune response of *Aedes aegypti* to inoculated microfilariae of *Dirofilaria immitis*. *The Journal of parasitology*, 75 (1), 119-123, <https://doi.org/10.2307/3282948>.
- Christians, E. S., Yan, L. J. and Benjamin, I. J. (2002). Heat shock factor 1 and heat shock proteins: critical partners in protection against acute cell injury. *Critical care medicine*, 30(1), S43-S50. Erişim adresi: https://journals.lww.com/ccmjournal/abstract/2002/01001/heat_shock_factor_1_and_heat_shock_proteins_.6.aspx.
- Colinet, H. and Boivin, G. (2011). Insect parasitoids cold storage: a comprehensive review of factors of variability and consequences. *Biological Control*, 58 (2), 83-95, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.04.014>.

- Colinet, H. and Hance, T. (2009). Male reproductive potential of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae) exposed to constant or fluctuating thermal regimens. *Environmental Entomology*, 38 (1), 242-249, <https://doi.org/10.1603/022.038.0130>.
- Colinet, H., Sinclair, B. J., Vernon, P., and Renault, D. (2015). Insects in fluctuating thermal environments. *Annual review of entomology*, 60 (1), 123-140, <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021017>.
- Collier, T. R. (1995). Host feeding, egg maturation, resorption, and longevity in the parasitoid *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 88 (2), 206-214, <https://doi.org/10.1093/aesa/88.2.206>.
- Cook, S. M. and McArthur, J. D. (2013). Developing *Galleria mellonella* as a model host for human pathogens. *Virulence*, 4 (5), 350-353, <https://doi.org/10.4161/viru.25240>.
- Costa, S. C., Ribeiro, C., Girard, P. A., Zumbihl, R. and Brehélin, M. (2005). Modes of phagocytosis of Gram-positive and Gram-negative bacteria by *Spodoptera littoralis* granular haemocytes. *Journal of Insect Physiology*, 51 (1), 39-46, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2004.10.014>.
- Covarrubias, L., Hernández-García, D., Schnabel, D., Salas-Vidal, E. and Castro-Obregón, S. (2008). Function of reactive oxygen species during animal development: passive or active?. *Developmental biology*, 320 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2008.04.041>
- Cracknell, A. P. and Varotsos, C. A. (Eds.). (2021). *Understanding global climate change: modelling the climatic system and human impacts*. İngiltere: CRC Press. Erişim adresi: https://www.google.com.tr/books/edition/Understanding_Global_Climate_Change/1DkyEAAAQBAJ?hl=tr&gbpv=1.
- Craig, C. L. (1997). Evolution of arthropod silks. *Annual review of entomology*, 42 (1), 231-267. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Catherine-Craig-4/publication/8665927_Evolution_of_Arthropod_silks/links/56253eeb08ae4d9e5c4bb0b7/Evolution-of-Arthropod-silks.pdf

- Cui X., Wan F., Xie M. and Liu T. (2008). Effects of heat shock on survival and reproduction of two whitefly species, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* biotype B. *Journal of Insect Science*, 8 (1), 10-24, <https://doi.org/10.1673/031.008.2401>.
- Cui, Y., Du, Y., Lu, M. and Qiang, C. (2011). Antioxidant responses of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae exposed to thermal stress. *Journal of Thermal Biology*, 36 (5), 292-297, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.04.003>.
- Danks, H. V. (1987). Insect dormancy: an ecological perspective. In: H.V. Danks. *Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods)* (pp. 439), England: National government publication.
- Danks, H. V. (2002). Modification of adverse conditions by insects. *Oikos*, 99 (1), 10-24, <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.990102.x>.
- Danks, H. V. (2004). The roles of insect cocoons in cold conditions. *European Journal of Entomology*, 101 (3), 433-438. Erişim adresi: <https://www.eje.cz/pdfs/eje/2004/03/14.pdf>.
- Das, S., Malik, U. and Barik, A. (2018). Effect of thermal stress on antioxidant responses of the biocontrol agent *Galerucella placida* (Coleoptera: Chrysomelidae). *International journal of tropical insect science*, 38 (4), 400-409, doi:10.1017/S1742758418000218.
- Davidowitz, G. and Nijhout, H. F. (2004). The physiological basis of reaction norms: the interaction among growth rate, the duration of growth and body size. *Integrative and Comparative Biology*, 44 (6), 443-449, <https://doi.org/10.1093/icb/44.6.443>.
- Davidowitz, G., D'Amico, L. J. and Nijhout, H. F. (2003). Critical weight in the development of insect body size. *Evolution and development*, 5 (2), 188-197, <https://doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03026.x>.
- Del Rio, D., Stewart, A. J. and Pellegrini, N. (2005). A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 15 (4), 316-328, <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2005.05.003>.

- Denlinger D.L., Yocum G.D. 2019. Sayfa 1-7. Temperature sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management. Editörler: Hallman G.J. ve Denlinger D.L. New York: CRC Press.
- Denlinger, D.L., Joplin, K.H., Chen, C.P., Lee, R.E. 1991. Sayfa 131–148. Insects at low temperature. Editörler: Lee R.E. ve Denlinger D.L. New York: Chapman and Hall.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C. et al. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (18), 6668-6672, <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>.
- Digby, P. S. (1955). Factors affecting the temperature excess of insects in sunshine. *Journal of Experimental Biology*, 32 (2), 279-298, <https://doi.org/10.1242/jeb.32.2.279>.
- Dubovskii, I. M., Grizanova, E. V., Chertkova, E. A., Slepneva, I. A., Komarov, D. A., Vorontsova, Y. L. and Glupov, V. V. (2010). Generation of reactive oxygen species and activity of antioxidants in hemolymph of the moth larvae *Galleria mellonella* (L.)(Lepidoptera: Piralidae) at development of the process of encapsulation. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 46, 35-43, <https://doi.org/10.1134/S0022093010010044>.
- Dubovskiy, I. M., Kryukova, N. A., Glupov, V. V. and Ratcliffe, N. A. (2016). Encapsulation and nodulation in insects. *Invertebrate Survival Journal*, 13 (1), 229-246, <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.229-246>.
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R. and Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *science*, 289 (5487), 2068-2074, [DOI: 10.1126/science.289.5487.2068](https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068).
- Ebrahimi, N., Talebi, A. A. and Fathipour, Y. (2015). Effects of short-term heat shock of eggs on the development and fecundity of *Plutella xylostella* (L.)(Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Crop Protection*, 4 (1), 73-83. Erişim adresi: <http://jcp.modares.ac.ir/article-3-2233-en.html>.
- Eggert, H., Diddens-de Buhr, M. F. and Kurtz, J. (2015). A temperature shock can lead to trans-generational immune priming in the Red Flour Beetle, *Tribolium*

- castaneum*. *Ecology and Evolution*, 5 (6), 1318-1326, <https://doi.org/10.1002/ece3.1443>.
- Ellis, J., Graham, J. R. and Mortensen, A. N. (2013). Standard methods for wax moth research. *Journal of Apicultural Research*, 52 (1), 1–17, <https://doi.org/10.3896/ibra.1.52.1.10>.
- Er, A. (2011). Endoparazitoit *Pimpla turionellae* (L.) (Hymenoptera; Ichneumonidae) zehiri ve parazitlemesinin konak hemositlerine etkileri. Yayınlanmış doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Farahani, S., Bandani, A. R., Alizadeh, H., Goldansaz, S. H. and Whyard, S. (2020). Differential expression of heat shock proteins and antioxidant enzymes in response to temperature, starvation, and parasitism in the Carob moth larvae, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae). *PloS one*, 15 (1), e0228104, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228104>.
- Felton, G. W. and Summers, C. B. (1995). Antioxidant systems in insects. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 29 (2), 187-197, <https://doi.org/10.1002/arch.940290208>.
- Fields, P. G. (1992). The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 28 (2), 89-118, [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(92\)90018-L](https://doi.org/10.1016/0022-474X(92)90018-L).
- Fields, P. G. and White, N. D. (2002). Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual review of entomology*, 47 (1), 331-359. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/alternatives-methyl-bromide-treatments-stored/docview/222332539/se-2>.
- Flanders, S. E. (1956). The mechanisms of sex-ratio regulation in the (parasitic) Hymenoptera. *Insectes sociaux*, 3 (2), 325-334, <https://doi.org/10.1007/BF02224314>.
- Flohe, L. and Ötting, F. (1984). Superoxide dismutase assays. *Methods in Enzymology*, 105, 93-104, [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05013-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05013-8).

- Forouzan, M., Amir, M. M. and Sahragard, A. (2008). Temperature-dependent development of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) reared on larvae of *Galleria mellonella* (Lep.: Pyralidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 28 (1), 67-78. Erişim adresi: https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=Temperature-dependent+development+of+Habrobracon+hebetor+%28Hym.%3A+Braconidae%29+reared+on+larvae+of+Galleria+mellonella+%28Lep.%3A+Pyralidae%29.&btnG=.
- Freoa, L., Chevin, L. M., Christol, P., Méléard, S., Rera, M., Véber, A. et al. (2023). Drosophilids with darker cuticle have higher body temperature under light. *Scientific Reports*, 13 (1), 3513. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30652-6>.
- Gardiner, E. M. and Strand, M. R. (1999). Monoclonal antibodies bind distinct classes of hemocytes in the moth *Pseudoplusia includens*. *Journal of Insect Physiology*, 45 (2), 113-126, [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(98\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(98)00092-4).
- Gherlenda, A. N., Haigh, A. M., Moore, B. D., Johnson, S. N. and Riegler, M. (2016). Climate change, nutrition and immunity: effects of elevated CO₂ and temperature on the immune function of an insect herbivore. *Journal of insect physiology*, 85, 57-64, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2015.12.002>.
- Ghasemi, V., Moharramipour, S. and Sendi, J. J. (2013). Circulating hemocytes of Mediterranean flour moth, *Ephesia kuehniella* Zell.(Lep: Pyralidae) and their response to thermal stress. *Invertebrate Survival Journal*, 10 (1), 128-140. Erişim adresi: <https://www.isj.unimore.it/index.php/ISJ/article/view/295/209>.
- Gillespie and, J. P., Kanost, M. R. and Trenczek, T. (1997). Biological mediators of insect immunity. *Annual review of entomology*, 42 (1), 611-643, <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.611>.
- Glass, J. R., Burnett, N. P., Combes, S. A., Weisman, E., Helbling, A. and Harrison, J. F. (2024). Flying, nectar-loaded honey bees conserve water and improve heat tolerance by reducing wingbeat frequency and metabolic heat production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121 (4), e2311025121. <https://doi.org/10.1073/pnas.231102512>

- Godfray H. C. J. (Ed). (1994). *Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology*. New Jersey: Princeton University Press.
- Golizadeh, A., Alikhani, M., Hassanpour, M., Enkegaard, A., Rafiee-Dastjerdi, H. and Razmjou, J. (2017). Comparative biology and life table of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) at five constant temperatures. *International Journal of Pest Management*, 63 (4), 364-370, <https://doi.org/10.1080/09670874.2016.1277801>.
- González-Santoyo, I. and Córdoba-Aguilar, A. (2012). Phenoloxidase: a key component of the insect immune system. *Entomologia experimentalis et applicata*, 142 (1), 1-16, <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01187.x>.
- Gomes, G., Köberle, R., Von Zuben, C. J. and Andrade, D. V. (2018). Droplet bubbling evaporatively cools a blowfly. *Scientific reports*, 8 (1), 5464, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23670-2>.
- Gorman, M. J., An, C. and Kanost, M. R. (2007). Characterization of tyrosine hydroxylase from *Manduca sexta*. *Insect biochemistry and molecular biology*, 37 (12), 1327-1337, <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2007.08.006>.
- Gornard, S., Mougel, F., Germon, I., Borday-Birraux, V., Venon, P., Drabo, S. et al. (2024). Cellular dynamics of host– parasitoid interactions: Insights from the encapsulation process in a partially resistant host. *Journal of Insect Physiology*, 155, 104646, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2024.104646>.
- Goto, S. G., Tagawa, M. and Kimura Masahito, T. (1997). The effect of age, sex and diapause on desiccation tolerance in *Drosophila triauraria*. *Japanese Journal of Entomology*, 65 (2), 362-368. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/ShinGoto/publication/276207447_The_effect_of_age_sex_and_diapause_on_desiccation_tolerance_in_Drosophila_triauraria/links/5552a9fc08ae6fd2d81d5b74/The-effect-of-age-sex-and-diapause-on-desiccation-tolerance-in-Drosophila-triauraria.pdf.
- Grigorian, M. and Hartenstein, V. (2013). Hematopoiesis and hematopoietic organs in arthropods. *Development genes and evolution*, 223, 103-115, <https://doi.org/10.1007/s00427-012-0428-2>.

- Gruntenko, N. E., Bownes, M., Terashima, J., Sukhanova, M. Z. and Raushenbach, I. Y. (2003). Heat stress affects oogenesis differently in wild-type *Drosophila virilis* and a mutant with altered juvenile hormone and 20-hydroxyecdysone levels. *Insect Molecular Biology*, 12 (4), 393-404, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2583.2003.00424.x>.
- Gupta, A. P. (1991). Insect immunocytes and other hemocytes: roles in cellular and humoral immunity. In: A. P. Gupta (Ed.), *Immunology of Insects and Other Arthropods* (pp 19-118), İngiltere: CRC Press.
- Gupta, P. and Ferkovich, S. M. (1998). Interaction of calyx fluid and venom from *Microplitis croceipes* (Braconidae) on developmental disruption of the natural host, *Heliocoverpa zea*, and two atypical hosts, *Galleria mellonella* and *Spodoptera exigua*. *Journal of insect physiology*, 44 (9), 713-719, [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(98\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(98)00004-3).
- Hailemichael, Y. and Smith Jr, J. W. (1994). Development and longevity of *Xanthopimpla stemmator* (Hymenoptera: Ichneumonidae) at constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*, 87 (6), 874-878, <https://doi.org/10.1093/aesa/87.6.874>.
- Hajek, A. E. and Eilenberg, J. (Eds.). (2018). Natural enemies: an introduction to biological control (pp. 161-188). United Kingdom: Cambridge University Press.
- Hamel, D., Rozman, V. and Liška, A. (2020). Storage of cereals in warehouses with or without pesticides. *Insects*, 11 (12), 846, <https://doi.org/10.3390/insects11120846>.
- Hance, T., van Baaren, J., Vernon, P. and Boivin, G. (2007). Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annu. Rev. Entomol.*, 52 (1), 107-126, <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091333>.
- Hansen, J. D., Johnson, J. A. and Winter, D. A. (2011). History and use of heat in pest control: a review. *International journal of pest management*, 57 (4), 267-289, <https://doi.org/10.1080/09670874.2011.590241>.

- Hanumanthaswamy, B. C., Rajagopal, D., Basavaraju, B. S., Chakravarthy, A. K. and Verghese, A. (2013). Influence of temperature and relative humidity on development of greater wax moth *Galleria mellonella* L. (Pyralidae: Lepidoptera). *Current Biotica*, 7 (3), 202–208. Erişim adresi: <http://www.currentbiotica.com/CB/Journals7-Issue-III/CB-7-3-Full-length-10.pdf>.
- Harley, C. D. (2011). Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. *Science*, 334 (6059), 1124-1127, [DOI: 10.1126/science.1210199](https://doi.org/10.1126/science.1210199).
- Heinrich, B. (1971). Temperature regulation of the sphinx moth, *Manduca sexta*: II. Regulation of heat loss by control of blood circulation. *Journal of Experimental Biology*, 54 (1), 153-166, <https://doi.org/10.1242/jeb.54.1.153>.
- Hercus, M. J., Loeschke, V. and Rattan, S. I. (2003). Lifespan extension of *Drosophila melanogaster* through hormesis by repeated mild heat stress. *Biogerontology*, 4, 149-156, <https://doi.org/10.1023/A:1024197806855>.
- Horsfall, W. R. and Anderson, J. F. (1963). Thermally induced genital appendages on mosquitoes. *Science*, 141 (3586), 1183-1184, DOI: 10.1126/science.141.3586.1183.
- Horsfall, W. R., Anderson, J. F. and Brust, R. A. (1964). Thermal Stress and Anomalous Development of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) III. *Aedes sierrensis*1, 2. *The Canadian Entomologist*, 96 (10), 1369-1372, <https://doi.org/10.4039/Ent961369-10>.
- Huang, Y., Gu, X., Peng, X., Mei, T., Chen, G. and Zhang, X. (2020). Effect of short-term high-temperatures on the growth, development and reproduction in the fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae). *Scientific Reports*, 10 (1), 6418, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63502-w>.
- Hung, S. Y. and Boucias, D. G. (1996). Phenoloxidase Activity in Hemolymph of Naive and *Beauveria bassiana*-Infected *Spodoptera exigua* Larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 67 (1), 35-40, <https://doi.org/10.1006/jipa.1996.0006>.
- Huston, M. A. and McBride, A. C. (2002). Evaluating the relative strengths of biotic versus abiotic controls on ecosystem processes. In: M. Loreau, S. Naeem and P. Inchausti (Eds.). *Biodiversity and Ecosystem Functioning Synthesis and Perspectives* (pp. 47-60), New York: Oxford University Press.

- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC). (2018). “Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers” https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. Son erişim tarihi:30.05.2021
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC). (2022). “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” <https://www.researchgate.net/publication/362431678>. Son erişim tarihi:30.05.2021
- Ichiki, R., Takasu, K. and Shima, H. (2003). Effects of temperature on immature development of the parasitic fly *Bessa parallela* (Meigen)(Diptera: Tachinidae). *Applied entomology and zoology*, 38 (4), 435-439, <https://doi.org/10.1303/aez.2003.435>.
- Irvine, H. B. (1969). Sodium and potassium secretion by isolated insect *Malpighian tubules*. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 217 (5), 1520-1527, <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1969.217.5.1520>.
- Jacas, J. A., Pena, J. E., Duncan, R. E. and Ulmer, B. J. (2008). Thermal requirements of *Fidiobia dominica* (Hymenoptera: Platygasteridae) and *Haeckeliana sperata* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), two exotic egg parasitoids of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). *BioControl*, 53, 451-460, <https://doi.org/10.1007/s10526-007-9082-4>.
- Jeffs, C. T. and Lewis, O. T. (2013). Effects of climate warming on host–parasitoid interactions. *Ecological Entomology*, 38 (3), 209-218, <https://doi.org/10.1111/een.12026>.
- Jena, K., Kar, P. K., Kausar, Z. and Babu, C. S. (2013). Effects of temperature on modulation of oxidative stress and antioxidant defenses in testes of tropical tasar silkworm *Antheraea mylitta*. *Journal of Thermal Biology*, 38 (4), 199-204, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.02.008>.
- Jia, F. X., Dou, W., Hu, F. and Wang, J. J. (2011). Effects of thermal stress on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 94 (4), 956-963. <https://doi.org/10.1653/024.094.0432>.

- Joanisse, D. R. and Storey, K. B. (1998). Oxidative stress and antioxidants in stress and recovery of cold-hardy insects. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 28 (1), 23-30, [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(97\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(97)00070-2).
- Jones, J. C. (1967a). Changes in the hemocyte picture of *Galleria mellonella* (Linnaeus). *The Biological Bulletin*, 132 (2), 211-221, <https://doi.org/10.2307/1539889>.
- Jones, J. C. (1967b). Normal differential counts of haemocytes in relation to ecdysis and feeding in *Rhodnius*. *Journal of Insect Physiology*, 13 (8), 1133-1141, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(67\)90087-X](https://doi.org/10.1016/0022-1910(67)90087-X).
- Jones, J. C. and Liu, D. P. (1968). A quantitative study of mitotic divisions of haemocytes of *Galleria mellonella* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 14 (8), 1055-1061, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(68\)90043-7](https://doi.org/10.1016/0022-1910(68)90043-7).
- Joodaki, R., Zandi-Sohani, N., Zarghami, S. and Yarahmadi, F. (2018). Temperature-dependent functional response of *Aenasius bambawalei* (Hymenoptera: Encyrtidae) to different population densities of the cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *European journal of entomology*, 115, 326-331. doi: 10.14411/eje.2018.032
- Jørgensen, K. T., Sørensen, J. G. and Bundgaard, J. (2006). Heat tolerance and the effect of mild heat stress on reproductive characters in *Drosophila buzzatii* males. *Journal of Thermal Biology*, 31 (3), 280-286. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.11.026>
- Kanost, M.R. and Gorman, M.J. (2008). *Insect immunology*. Oxford: Academic Press.
- Karl, I., Stoks, R., De Block, M., Janowitz, S. A. and Fischer, K. (2011). Temperature extremes and butterfly fitness: conflicting evidence from life history and immune function. *Global Change Biology*, 17 (2), 676-687, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02277.x>.
- Kashiwagi, A., Kashiwagi, K., Takase, M., Hanada, H. and Nakamura, M. (1997). Comparison of catalase in diploid and haploid *Rana rugosa* using heat and chemical inactivation techniques. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 118 (3), 499-503, [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(97\)00216-2](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(97)00216-2).

- Kearney, M. and Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology letters*, 12 (4), 334-350, <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>.
- Keever, D. W., Arbogast, R. T. and Mullen, M. A. (1985). Population trends and distributions of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and lepidopterous pests in commercially stored peanuts. *Environmental entomology*, 14 (6), 722-725, <https://doi.org/10.1093/ee/14.6.722>.
- Kells, S. A. and Goblirsch, M. J. (2011). Temperature and time requirements for controlling bed bugs (*Cimex lectularius*) under commercial heat treatment conditions. *Insects*, 2 (3), 412-422, <https://doi.org/10.3390/insects2030412>.
- King, A. M. and MacRae, T. H. (2015). Insect heat shock proteins during stress and diapause. *Annual review of entomology*, 60 (1), 59-75, <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162107>.
- King, B. H. (1987). Offspring sex ratios in parasitoid wasps. *The quarterly review of biology*, 62 (4), 367-396. Erişim adresi: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/415618>
- Kiuchi, T., Aoki, F. and Nagata, M. (2008). Effects of high temperature on the hemocyte cell cycle in silkworm larvae. *Journal of insect physiology*, 54 (2), 454-461, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.11.004>.
- Klok, C. J., Chown, S. L. and Gaston, K. J. (2003). The geographical range structure of the Holly Leaf-miner. III. Cold hardiness physiology. *Functional Ecology*, 17 (6), 858-868, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2003.00794.x>.
- Krautz, R., Arefin, B. and Theopold, U. (2014). Damage signals in the insect immune response. *Frontiers in plant science*, 5, 103421, <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00342>.
- Kryukov, V. Y., Kosman, E., Tomilova, O., Polenogova, O., Rotskaya, U., Tyurin, M. et al. (2020). Interplay between fungal infection and bacterial associates in the wax moth *Galleria mellonella* under different temperature conditions. *Journal of Fungi*, 6 (3), 170, <https://doi.org/10.3390/jof6030170>.

- Kryukov, V. Y., Yaroslavtseva, O. N., Whitten, M. M., Tyurin, M. V., Ficken, K. J., Greig, C. et al. (2018). Fungal infection dynamics in response to temperature in the lepidopteran insect *Galleria mellonella*. *Insect science*, 25 (3), 454-466. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12426>
- Kumari, S., Misra, S. and Dileepkumar, V. (2020). Analysis of total protein to identify thermo tolerant strains-as a biochemical tool under heat stress condition in silkworm, *Bombyx mori* L. *International Journal of Entomology Research*, 5 (1), 57-61. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/VeeragoniDileepkumar/publication/339146425_Analysis_of_total_protein_to_identify_thermo_tolerant_strainsas_a_biochemical_tool_under_heat_stress_condition_in_silkworm_Bombyx_mori_L/links/60471b4f92851c077f27e167/Analysis-of-total-protein-to-identify-thermo-tolerant-strains-as-a-biochemical-tool-under-heat-stress-condition-in-silkworm-Bombyx-mori-L.pdf.
- Kwadha, C. A., Ong'amo, G. O., Ndegwa, P. N., Raina, S. K. and Fombong, A. T. (2017). The biology and control of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Insects*, 8 (2), 61, <https://doi.org/10.3390/insects8020061>.
- Lahondere, C. (2023). Recent advances in insect thermoregulation. *Journal of Experimental Biology*, 226 (18), jeb245751, <https://doi.org/10.1242/jeb.245751>.
- Lalouette, L., Williams, C. M., Hervant, F., Sinclair, B. J. and Renault, D. (2011). Metabolic rate and oxidative stress in insects exposed to low temperature thermal fluctuations. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 158 (2), 229-234, <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.11.007>.
- Laughton, A. M., O'Connor, C. O. and Knell, R. J. (2017). Responses to a warming world: Integrating life history, immune investment, and pathogen resistance in a model insect species. *Ecology and Evolution*, 7 (22), 9699-9710, <https://doi.org/10.1002/ece3.3506>.
- Lavine, M. D. and Strand, M. R. (2002). Insect hemocytes and their role in immunity. *Insect biochemistry and molecular biology*, 32 (10), 1295-1309. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(02\)00092-9](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(02)00092-9)

- Lei, G. and Hanski, I. (1998). Spatial dynamics of two competing specialist parasitoids in a host metapopulation. *Journal of Animal Ecology*, 67 (3), 422-433, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1998.00204.x>.
- Levin, D. M. (2007). *An integrin required for the encapsulation immune response in the tobacco hornworm Manduca sexta L. (Lepidoptera: Sphingidae)* (PhD Thesis). Yayınlanmış doktora tezi, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Erişim adresi: <https://www.proquest.com/docview/304842910/abstract?sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Liu, Y., Li, X., Yan, X., Li, G., Luo, C. and He, Y. (2021). Effects of short-term high temperatures on survival and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* Yang (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Pakistan Journal of Zoology*, 54 (1), 145-151, <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20201105081124>.
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology*, 42 (6), 1187-1192, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>.
- Lushchak, V. I. and Bagnyukova, T. V. (2006). Effects of different environmental oxygen levels on free radical processes in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 144 (3), 283-289, <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.02.014>.
- Lynn, D. C. and Vinson, S. B. (1977). Effects of temperature, host age, and hormones upon the encapsulation of *Cardiochiles nigriceps* eggs by *Heliothis* spp. *Journal of Invertebrate Pathology*, 29 (1), 50-55, [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(77\)90171-9](https://doi.org/10.1016/0022-2011(77)90171-9).
- Ma, C. S., Ma, G. and Pincebourde, S. (2021). Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures. *Annual Review of Entomology*, 66 (1), 163-184, <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-%20074454>.
- Mahgoub, M. O., Lau WeiHong, L. W. and Omar, D. (2015). Observations on the biology and larval instars discrimination of wax moth *Achroia grisella* F. (Pyralidae: Lepidoptera). *Academic Journals Inc*, 12 (1), 1-11, [10.3923/je.2015.1.11](https://doi.org/10.3923/je.2015.1.11).

- Mandrioli, M. (2012). Someone like it hot? Effects of global warming on insect immunity and microbiota. *Invertebrate Survival Journal*, 9 (1), 58-63, <https://www.isj.unimore.it/index.php/ISJ/article/view/259>.
- May, R. M. (1988). How many species are there on earth?. *Science*, 241 (4872), 1441-1449, [DOI: 10.1126/science.241.4872.1441](https://doi.org/10.1126/science.241.4872.1441).
- Mellanby, K. (1935). A comparison of the physiology of the two species of bed-bug which attack man. *Parasitology*, 27 (1), 111-122. doi:10.1017/S0031182000014992
- Meng, J. Y., Zhang, C. Y., Zhu, F., Wang, X. P. and Lei, C. L. (2009). Ultraviolet light-induced oxidative stress: effects on antioxidant response of *Helicoverpa armigera* adults. *Journal of Insect Physiology*, 55 (6), 588-592. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.03.003>
- Miao, Z. Q., Tu, Y. Q., Guo, P. Y., He, W., Jing, T. X., Wang, J. J. et al. (2020). Antioxidant enzymes and heat shock protein genes from *Liposcelis bostrychophila* are involved in stress defense upon heat shock. *Insects*, 11 (12), 839, <https://doi.org/10.3390/insects11120839>.
- Milkman, R. (1962). Temperature effects on day old *Drosophila* pupae. *The Journal of general physiology*, 45 (4), 777-799. <https://doi.org/10.1085/jgp.45.4.777>
- Milonas, P. G. and Savopoulou-Soultani, M. (2000). Temperature dependent development of the parasitoid *Colpoclypeus florus* (Hymenoptera: Eulophidae) in the laboratory. *Journal of economic entomology*, 93 (6), 1627-1632, <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.6.1627>.
- Mironidis, G. K. and Savopoulou-Soultani, M. (2010). Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *Journal of Thermal Biology*, 35 (2), 59-69, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.11.001>.
- Mirth, C. K. and Riddiford, L. M. (2007). Size assessment and growth control: how adult size is determined in insects. *Bioessays*, 29 (4), 344-355, <https://doi.org/10.1002/bies.20552>.
- Mitchell, H. K. and Lipps, L. S. (1978). Heat shock and phenocopy induction in *Drosophila*. *Cell*, 15 (3), 907-918, DOI: 10.1016/0092-8674(78)90275-1.

- Mitchell, H. K. and Petersen, N. S. (1982). Developmental abnormalities in *Drosophila* induced by heat shock. *Developmental genetics*, 3 (2), 91-102, <https://doi.org/10.1002/dvg.1020030202>.
- Mohammed, S. A., Overholt, W. A., Wharton, R. A. and Lux, S. A. (2006). Effect of temperature on developmental time and longevity of *Psytalia cosyrae* (Hymenoptera: Braconidae). *Biocontrol Science and Technology*, 16 (7), 717-726, <https://doi.org/10.1080/09583150600700016>.
- Moiroux, J., Brodeur, J. and Boivin, G. (2014). Sex ratio variations with temperature in an egg parasitoid: behavioural adjustment and physiological constraint. *Animal Behaviour*, 91, 61-66, <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.02.021>
- Mondal, S. and Rai, U. (2001) In vitro effect of temperature on phagocytic and cytotoxic activities of splenic phagocytes of the wall lizard, *Hemidactylus flaviviridis*. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 129, 391–398, [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(00\)00356-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(00)00356-1).
- Montazeri, M. M., Goldasteh, S., Shirazi, J., Sanatgar, E. and Vafaeeshushtari, R. (2019). Impact of temperature on some biological traits of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 39 (3), 271-294, [10.22117/jesi.2019.125695.1302](https://doi.org/10.22117/jesi.2019.125695.1302).
- Moore, A., Mercer, J., Dutina, G., Donahue, C. J., Bauer, K. D., Mather, J. P. et al. (1997). Effects of temperature shift on cell cycle, apoptosis and nucleotide pools in CHO cell batch cultures. *Cytotechnology*, 23, 47-54, <https://doi.org/10.1023/A:1007919921991>.
- Moore, M. E., Hill, C. A. and Kingsolver, J. G. (2022). Developmental timing of extreme temperature events (heat waves) disrupts host–parasitoid interactions. *Ecology and Evolution*, 12 (3), e8618.
- Moore, M. E., Kester, K. M. and Kingsolver, J. G. (2020). Rearing temperature and parasitoid load determine host and parasitoid performance in *Manduca sexta* and *Cotesia congregata*. *Ecological Entomology*, 45 (1), 79-89.
- Moret, Y. and Schmid-Hempel, P. (2000). Survival for immunity: the price of immune system activation for bumblebee workers. *Science*, 290 (5494), 1166-1168.

- Mowlds, P. and Kavanagh, K. (2008). Effect of pre-incubation temperature on susceptibility of *Galleria mellonella* larvae to infection by *Candida albicans*. *Mycopathologia*, 165, 5-12. <https://doi.org/10.1007/s11046-007-9069-9>
- Murdock, C. C., Paaijmans, K. P., Bell, A. S., King, J. G., Hillyer, J. F., Read, A. F. Et al. (2012a). Complex effects of temperature on mosquito immune function. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279 (1741), 3357-3366, <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0638>.
- Murdock, C. C., Paaijmans, K. P., Cox-Foster, D., Read, A. F. and Thomas, M. B. (2012b). Rethinking vector immunology: the role of environmental temperature in shaping resistance. *Nature Reviews Microbiology*, 10 (12), 869-876, <https://doi.org/10.1038/nrmicro2900>.
- Nakahara, Y., Kanamori, Y., Kiuchi, M. and Kamimura, M. (2003). In vitro studies of hematopoiesis in the silkworm: cell proliferation in and hemocyte discharge from the hematopoietic organ. *Journal of Insect Physiology*, 49 (10), 907-916.
- Nguyen, T. M., Bressac, C. and Chevrier, C. (2013). Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp. *Journal of insect Physiology*, 59 (3), 248-254.
- Nittono, Y. (1960). Studies on the blood cells in the silkworm, *Bombyx mori* L. *Bull. Seric. Exp. Sta.*, 16, 171-266.
- NOAA National Centers for Environmental Information (2024). Monthly Global Climate Report for January 2024, published online February 2024, retrieved on March 29, 2024 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202401>.
- NOAA National Centers for Environmental Information (2020). Global Temperatures Report for January 2020, published online February 2020, retrieved on March 29, 2020 <https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00672>.
- Noor-ul-Ane, M., Mirhosseini, M. A., Crickmore, N., Saeed, S., Noor, I. and Zalucki, M. P. (2018). Temperature-dependent development of *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) and its larval parasitoid, *Habrobracon hebetor* (Say)(Hymenoptera: Braconidae): implications for species interactions. *Bulletin of entomological research*, 108 (3), 295-304.

- Ode, P. J. and Hardy, I. C. (2008). Parasitoid sex ratios and biological control. In É. Wajnberg, C. Bernstein, J. Alphen (Eds.), *Behavioral ecology of insect parasitoids: from theoretical approaches to field applications* (pp. 253-291), <https://doi.org/10.1002/9780470696200.ch12>.
- Offord, C., Vollrath, F. and Holland, C. (2016). Environmental effects on the construction and physical properties of *Bombyx mori* cocoons. *Journal of Materials Science*, 51, 10863-10872, doi:10.1007/s10853-016-0298- 5.
- Ono, M., Arimatsu, C., Kakinoki, A., Matsunaga, K., and Yoshiga, T. (2020). Comparison of cellular encapsulation with nematodes in two lepidopteran insects. *Applied entomology and zoology*, 55, 337-344. <https://doi.org/10.1007/s13355-020-00687-6>
- Ørskov, C. K., Tregenza, T. and Overgaard, J. (2019). Using radiotelemetry to study behavioural thermoregulation in insects under field conditions. *Methods in Ecology and Evolution*, 10 (10), 1773-1782, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13251>.
- Pampanin, D. M., Camus, L., Gomiero, A., Marangon, I., Volpato, E. and Nasci, C. (2005). Susceptibility to oxidative stress of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the Venice Lagoon (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 50 (12), 1548-1557.
- Pandey, J. P., Mishra, P. K., Kumar, D., Singh, B. M. K. and Prasad, B. C. (2010). Effect of temperature on hemocytic immune response of tropical tasar silkworm, *Antheraea mylitta* D. *Research Journal of Immunology*, 3 (2), 169-177. 10.3923/rji.2010.169.177
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37 (1), 637-669, 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
- Payne, N. M. (1934). The differential effect of environmental factors upon *Microbracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and its host, *Ephestia kuhniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). II. *Ecological monographs*, 4 (1), 4-46, <https://doi.org/10.2307/1943209>.
- Pennacchio, F., Tranfaglia, A. and Malva, C. (2003). Host-parasitoid antagonism in insects: new opportunities for pest control?. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 14 (4), 53-56.

- Pereira, R. M., Koehler, P. G., Pfiester, M. and Walker, W. (2009). Lethal effects of heat and use of localized heat treatment for control of bed bug infestations. *Journal of Economic Entomology*, 102 (3), 1182-1188. <https://doi.org/10.1603/029.102.0342>
- Perez, R. and Aron, S. (2020). Adaptations to thermal stress in social insects: recent advances and future directions. *Biological Reviews*, 95 (6), 1535-1553, <https://doi.org/10.1111/brv.12628>.
- Poitou, L., Robinet, C., Suppo, C., Rousselet, J., Laparie, M., and Pincebourde, S. (2021). When insect pests build their own thermal niche: The hot nest of the pine processionary moth. *Journal of Thermal Biology*, 98, 102947. doi:10.1016/j.jtherbio.2021. 102947
- Potter, K. A., Arthur Woods, H. and Pincebourde, S. (2013). Microclimatic challenges in global change biology. *Global change biology*, 19 (10), 2932-2939, <https://doi.org/10.1111/gcb.12257>.
- Pourali, Z. and Ajam Hassani, M. (2018). The effect of thermal stresses on the immune system of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 37 (4), 515-525, [10.22117/jesi.2018.116103](https://doi.org/10.22117/jesi.2018.116103).
- Prange, H. D. (1996). Evaporative cooling in insects. *Journal of Insect Physiology*, 42 (5), 493-499, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(95\)00126-3](https://doi.org/10.1016/0022-1910(95)00126-3).
- Prévost, G., Doury, G., Mabiála-Moundoungou, A. D., Cherqui, A. and Eslin, P. (2009). Strategies of avoidance of host immune defenses in *Asobara* species. *Advances in parasitology*, 70, 235-255, [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(09\)70009-0](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(09)70009-0).
- Prozell, S. and Schöller, M. (1998). Insect fauna of a bakery, processing organic grain and applying *Trichogramma evanescens* Westwood. Bulletin OILB/SROP 21 (3), 39-44.
- Qin, J. Y., Liu, Y. Q., Zhang, L., Cheng, Y. X., Luo, L. Z. and Jiang, X. F. (2018). Effects of temperatures on the development and reproduction of the armyworm, *Mythimna roseilinea*: Analysis using an age-stage, two-sex life table. *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (7), 1506-1515, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61856-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61856-2).

- Qiu, B. O., Zhou, Z. S., Luo, S. P. and Xu, Z. F. (2012). Effect of temperature on development, survival, and fecundity of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 41 (3), 657-664, <https://doi.org/10.1603/EN11101>.
- Quicke, D. L. and Shaw, M. R. (2004). Cocoon silk chemistry in parasitic wasps (Hymenoptera, Ichneumonoidea) and their hosts. *Biological Journal of the Linnean Society*, 81 (2), 161-170, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2003.00290.x>.
- Radka, M., Christensen, J. M., Puig, D. 2010. “UNEP Climate Change Strategy“, 978-92-807-2985-3: United Nations Environment Programme 5-12. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/81682187/UNEP_CC_STRATEGY_web.pdf
- Radmacher, S. and Strohm, E. (2011). Effects of constant and fluctuating temperatures on the development of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). *Apidologie*, 42, 711-720, <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0078-9>.
- Ramachandra, Y. L., Bali, G., and Rai, S. P. (2001). Effect of temperature and relative humidity on spinning behaviour of silkworm (*Bombyx mori* L.). *Indian Journal of Experimental Biology*, 39(1), 87-89. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/YLRamachandra/publication/11987162_Effect_of_temperature_and_relative_humidity_on_spinning_behaviour_of_silkworm_Bombyx_moriL/links/581b0e4d08aed2439387e4de/Effect-of-temperature-and-relativ-humidity-on-spinning-behaviour-of-silkworm-Bombyx-moriL.pdf
- Ratcliffe, N. A. and Gagen, S. J. (1977). Studies on the in vivo cellular reactions of insects: an ultrastructural analysis of nodule formation in *Galleria mellonella*. *Tissue and Cell*, 9 (1), 73-85, [https://doi.org/10.1016/0040-8166\(77\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0040-8166(77)90050-7).
- Reddy, G. V. P., Holopainen, J. K. and Guerrero, A. (2002). Olfactory responses of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 131-143, <https://doi.org/10.1023/A:1013519003944>.

- Régnière, J., Powell, J., Bentz, B. and Nealis, V. (2012). Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: experimental design, data analysis and modeling. *Journal of insect physiology*, 58 (5), 634-647, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.010>.
- Richards, E. H. and Edwards, J. P. (2002). Parasitism of *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera) by the ectoparasitic wasp, *Eulophus pennicornis*, disrupts the cytoskeleton of host haemocytes and suppresses encapsulation in vivo. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America*, 49 (2), 108-124, <https://doi.org/10.1002/arch.10013>.
- Richter, K., Haslbeck, M. and Buchner, J. (2010). The heat shock response: life on the verge of death. *Molecular cell*, 40 (2), 253-266, DOI 10.1016/j.molcel.2010.10.006.
- Rinehart, J. P., Yocum, G. D. and Denlinger, D. L. (2000). Thermotolerance and rapid cold hardening ameliorate the negative effects of brief exposures to high or low temperatures on fecundity in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*. *Physiological Entomology*, 25 (4), 330-336, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2000.00201.x>.
- Ritossa, F. (1962). A new puffing pattern induced by temperature shock and DNP in *Drosophila*. *Experientia*, 18 (12), 571-573, <https://doi.org/10.1007/BF02172188>.
- Rizki, R. M. and Rizki, T. M. (1980). Hemocyte responses to implanted tissues in *Drosophila melanogaster* larvae. *Wilhelm Roux's archives of developmental biology*, 189, 207-213. <https://doi.org/10.1007/BF00868679>
- Rizki, T. M. and Rizki, R. M. (1983). Blood cell surface changes in *Drosophila* mutants with melanotic tumors. *Science*, 220 (4592), 73-75, DOI: 10.1126/science.6402819.
- Roberts, S. P. and Feder, M. E. (1999). Natural hyperthermia and expression of the heat shock protein Hsp70 affect developmental abnormalities in *Drosophila melanogaster*. *Oecologia*, 121, 323-329, <https://doi.org/10.1007/s004420050935>.
- Rosen, D. (1985). *Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology*. New York: Pergamon Press.

- Rosenberger, C. R. and Jones, J. C. (1960). Studies on total blood cell counts of the southern armyworm larva, *Prodenia eridania* (Lepidoptera). *Annals of the Entomological Society of America*, 53 (3), 351-355. <https://doi.org/10.1093/aesa/53.3.351>.
- Rowley, A. F. and Ratcliffe, N. A. (Eds.). (1981). *Insects: Invertebrate Blood Cells Vol 2* (pp. 421-488), London: Academic Press.
- Rummukainen, M. (2012). Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3 (2), 115-129, <https://doi.org/10.1002/wcc.160>.
- Salt, G. (1968). The resistance of insect parasitoids to the defence reactions of their hosts. *Biological Reviews*, 43 (2), 200-232, <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1968.tb00959.x>.
- Sangle, P.M., Satpute, S.B., Khan, F.S. and Rode, N.S. (2015). Impact of climate change on insects. *Trends in Biosciences*, 8 (14), 3579–3582. Erişim adresi: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:tbsandvolume=8andissue=14andarticle=014andtype=pdf>.
- Schieber, M. and Chandel, N. S. (2014). ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current biology*, 24 (10), R453-R462. [10.1016/j.cub.2014.03.034](https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.034)
- Schlemmer M. (2018). *Effect of temperature on development and reproduction of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)* (Ph. D. thesis). North-West University, Potchefstroom. Erişim adresi: <http://hdl.handle.net/10394/31294>
- Schlottke, E. (1926). Über die Variabilität der schwarzen Pigmentierung und ihre Beeinflußbarkeit durch Temperaturen bei *Habrobracon juglandis* Ashmead. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 3 (6), 692-736.
- Schmidt, O., Theopold, U. and Strand, M. (2001). Innate immunity and its evasion and suppression by hymenopteran endoparasitoids. *BioEssays*, 23 (4), 344-351, <https://doi.org/10.1002/bies.1049>.
- Seehausen, M. L., Naumann, P. H., Béliveau, C., Martel, V. and Cusson, M. (2018). Impact of rearing temperature on encapsulation and the accumulation of transcripts

- putatively involved in capsule formation in a parasitized lepidopteran host. *Journal of insect physiology*, 107, 244-249, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.04.013>.
- Seehausen, M.L., Cusson, M., Régnière, J., Bory, M., Stewart, D., Djoumad, A., et al. (2017). High temperature induces downregulation of polydnavirus gene transcription in lepidopteran host and enhances accumulation of host immunity gene transcripts. *J. Insect Physiol*, 98, 126–133, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.12.008>.
- Seneviratne, S. I., Zhang X., Adnan M., Badi W., Dereczynski C., Di Luca A. et al. (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In V. Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger et al. (pp. 1513–1766), Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.013.
- Shamakhi, L., Zibae, A., Karimi-Malati, A. and Hoda, H. (2019). Effect of thermal stress on the immune responses of *Chilo suppressalis* walker (Lepidoptera: Crambidae) to *Beauveria bassiana*. *Journal of thermal biology*, 84, 136-145, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.006>.
- Shapiro M. (1979). Changes in hemocyte populations. In AP Gupta (ed.), *Insect hemocytes* (pp. 475-524), Cambridge: Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511759987.017>.
- Sharma, P. R., Sharma, O. P. and Saxena, B. P. (2008). Effect of sweet flag rhizome oil (*Acorus calamus*) on hemogram and ultrastructure of hemocytes of the tobacco armyworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Micron*, 39 (5), 544-551, <https://doi.org/10.1016/j.micron.2007.07.005>.
- Shi, N. N., Tsai, C. C., Camino, F., Bernard, G. D., Yu, N. and Wehner, R. (2015). Keeping cool: Enhanced optical reflection and radiative heat dissipation in Saharan silver ants. *Science*, 349 (6245), 298-301. DOI: 10.1126/science.aab3564
- Siddiqui, M. I. and Al-Khalifa, M. S. (2014). Review of haemocyte count, response to chemicals, phagocytosis, encapsulation and metamorphosis in insects. *Italian Journal of Zoology*, 81 (1), 2-15, <https://doi.org/10.1080/11250003.2013.858780>.

- Sinclair, B. J., Gibbs, A. G. and Roberts, S. P. (2007). Gene transcription during exposure to, and recovery from, cold and desiccation stress in *Drosophila melanogaster*. *Insect molecular biology*, 16 (4), 435-443. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2007.00739.x>
- Singh, D., Singh, R. P. and Tripathi, C. P. M. (2014). Effect of temperature on life table statistics of *Bracon hebetor* Say.(Hymenoptera: Braconidae). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7 (2), 497. Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3ebb91f627b15d25a40500a9ddc1530b982c956d>.
- Siva-Jothy, M. T., Moret, Y. and Rolff, J. (2005). Insect immunity: an evolutionary ecology perspective. *Advances in insect physiology*, 32, 1-48. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(05\)32001-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(05)32001-7)
- Smilanich, A. M., Dyer, L. A. and Gentry, G. L. (2009). The insect immune response and other putative defenses as effective predictors of parasitism. *Ecology*, 90 (6), 1434-1440, <https://doi.org/10.1890/08-1906.1>.
- Sohal, R. S., Arnold, L. and Orr, W. C. (1990). Effect of age on superoxide dismutase, catalase, glutathione reductase, inorganic peroxides, TBA-reactive material, GSH/GSSG, NADPH/NADP⁺ and NADH/NAD⁺ in *Drosophila melanogaster*. *Mechanisms of ageing and development*, 56 (3), 223-235, [https://doi.org/10.1016/0047-6374\(90\)90084-S](https://doi.org/10.1016/0047-6374(90)90084-S).
- Sondergard, S. E. (Ed.). (2009). Climate balance: A balanced and realistic view of climate change. USA: Tale Pub & Enterprises Llc.
- Southwick, E. E. and Heldmaier, G. (1987). Temperature control in honey bee colonies. *Bioscience*, 37 (6), 395-399, <https://doi.org/10.2307/1310562>.
- Stange, E. E. and Ayres, M. P. (2010). Climate change impacts: Insects. *Encyclopedia of life sciences*, 1. DOI: 10.1002/9780470015902.a0022555
- Stehr, F. W. (2009). Cocoon. In R. T. Carde and V. H. Resh (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (p. 173), Hollanda: Elsevier Science, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00058-8>.

- Stoltz, D. B. and Guzo, D. (1986). Apparent haemocytic transformations associated with parasitoid-induced inhibition of immunity in *Malacosoma disstria* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 32 (4), 377-388, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(86\)90051-X](https://doi.org/10.1016/0022-1910(86)90051-X).
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth?. *Annual review of entomology*, 63 (1), 31-45, <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-%20043348>.
- Tang, T., Wu, C., Li, J., Ren, G., Huang, D. and Liu, F. (2012). Stress-induced HSP70 from *Musca domestica* plays a functionally significant role in the immune system. *Journal of insect physiology*, 58 (9), 1226-1234, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.06.007>.
- Takano, Y., Sakamoto, T., Tabunoki, H., Yoshimura, J. and Iwabuchi, K. (2021). Integrated effects of thermal acclimation and challenge temperature on cellular immunity in the plusiine moth larvae *Chrysodeixis eriosoma* (Lepidoptera: Noctuidae). *Physiological Entomology*, 46 (1), 52-59, <https://doi.org/10.1080/11250003.2013.858780>.
- Taszłow, P. and Wojda, I. (2015). Changes in the hemolymph protein profiles in *Galleria mellonella* infected with *Bacillus thuringiensis* involve apolipoprotein III. The effect of heat shock. *Archives of insect biochemistry and physiology*, 88 (2), 123-143, <https://doi.org/10.1002/arch.21208>.
- Tauber, O. E. and Yeager, J. F. (1935). On total hemolymph (blood) cell counts of insects I. Orthoptera, Odonata, Hemiptera, and Homoptera. *Annals of the Entomological Society of America*, 28 (2), 229-240. <https://doi.org/10.1093/aesa/28.2.229>
- Uçkan, F. and Gülel, A. (2002). Age-related fecundity and sex ratio variation in *Apanteles galleriae* (Hym., Braconidae) and host effect on fecundity and sex ratio of its hyperparasitoid *Dibrachys boarmiae* (Hym., Pteromalidae). *Journal of Applied Entomology*, 126 (10), 534-537, <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00706.x>.
- Uçkan, F. and Ergin, E. (2003). Temperature and food source effects on adult longevity of *Apanteles galleriae* Wilkinson (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 32 (3), 441-446. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.3.441>

- Vilmos, P. and Kurucz, E. (1998). Insect immunity: evolutionary roots of the mammalian innate immune system. *Immunology letters*, 62 (2), 59-66, [https://doi.org/10.1016/S0165-2478\(98\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2478(98)00023-6).
- Wang, D. S., He, Y. R., Zhang, W., Nian, X. G., Lin, T. and Zhao, R. (2014). Effects of heat stress on the quality of *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Bulletin of entomological research*, 104 (5), 543-551, doi:10.1017/S0007485314000303.
- Wang, W., Li, M., Wang, L., Chen, H., Liu, Z., Jia, Z. et al. (2017). The granulocytes are the main immunocompetent hemocytes in *Crassostrea gigas*. *Developmental & Comparative Immunology*, 67, 221-228, <https://doi.org/10.1016/j.dci.2016.09.017>.
- Wang, X. G., Johnson, M. W., Daane, K. M. and Opp, S. (2009). Combined effects of heat stress and food supply on flight performance of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102 (4), 727-734. <https://doi.org/10.1603/008.102.0418>
- Wang, Y., Oberley, L. W. and Murhammer, D. W. (2001). Antioxidant defense systems of two lepidopteran insect cell lines. *Free Radical Biology and Medicine*, 30 (11), 1254-1262. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00520-2](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00520-2).
- Wasserthal L. T. (2012). Circulation and thermoregulation. In N. Kristensen (Ed.), *Lepidoptera, Moths and Butterflies, Handbuch der Zoologie Vol 2* (pp. 205-228), Alanya: Walter de Gruyter. https://www.google.com.tr/books/edition/Vol_2_Morphology_Physiology_and_Developm/8fMgAAAAQBAJ?hl=tr&gbpv=0
- Welte, M. A., Duncan, I. and Lindquist, S. (1995). The basis for a heat-induced developmental defect: defining crucial lesions. *Genes & development*, 9 (18), 2240-2250. doi:10.1101/gad.9.18.2240
- Wernegreen, J. J. (2012). Mutualism meltdown in insects: bacteria constrain thermal adaptation. *Current opinion in microbiology*, 15 (3), 255-262, <https://doi.org/10.1016/j.mib.2012.02.001>.
- Werren, J. H. and Charnov, E. L. (1978). Facultative sex ratios and population dynamics. *Nature*, 272 (5651), 349-350, <https://doi.org/10.1038/272349a0>.

- Wigglesworth, V. B. (1973). Haemocytes and basement membrane formation in *Rhodnius*. *Journal of Insect Physiology*, 19 (4), 831-844, [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(73\)90155-8](https://doi.org/10.1016/0022-1910(73)90155-8).
- Wilkes, A. (1959). Effects of high temperatures during postembryonic development on the sex ratio of an arrhenotokous insect, *Dahlbominus fuliginosus* (Nees)(Hymenoptera: Eulophidae). *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 1 (2), 102-109, <https://doi.org/10.1139/g59-015>.
- Wilkes, A. (1963). Environmental causes of variation in the sex ratio of an arrhenotokous insect, *Dahlbominus fuliginosus* (Nees)(Hymenoptera: Eulophidae). *The Canadian Entomologist*, 95 (2), 183-202, doi:10.4039/Ent95183-2
- Wojda, I. (2017). Temperature stress and insect immunity. *Journal of Thermal Biology*, 68, 96-103, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.12.002>.
- Wojda, I. and Taszłow, P. (2013). Heat shock affects host–pathogen interaction in *Galleria mellonella* infected with *Bacillus thuringiensis*. *Journal of insect physiology*, 59 (9), 894-905, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.06.011>.
- Wojda, I. and Jakubowicz, T. (2007). Humoral immune response upon mild heat-shock conditions in *Galleria mellonella* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 53 (11), 1134-1144. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.06.003>
- Wojda, I., Kowalski, P. and Jakubowicz, T. (2009). Humoral immune response of *Galleria mellonella* larvae after infection by *Beauveria bassiana* under optimal and heat-shock conditions. *Journal of insect physiology*, 55 (6), 525-531. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.01.014>
- Wu, G., Zhao, Z., Liu, C. and Qiu, L. (2014). Priming *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae with heat-killed bacterial cells induced an enhanced immune protection against *Photorhabdus luminescens* TT01 and the role of innate immunity in the process. *Journal of Economic entomology*, 107 (2), 559-569, <https://doi.org/10.1603/EC13455>.
- Wu, Q., Yan, S., Lyu, B., Wu, X., Lu, H., Tang, J., et al. (2022). Influence of temperature on the development and reproduction of *Habrobracon hebetor* (Say), as parasitoid

- of *Opisina arenosella* Walker. *International Journal of Pest Management*, 1-8, <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2141910>.
- Yamashita, M. and Iwabuchi, K. (2001). *Bombyx mori* prohemocyte division and differentiation in individual microcultures. *Journal of insect physiology*, 47 (4-5), 325-331. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(00\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(00)00144-X)
- Yocum, G. D. and Denlinger, D. L. (1992). Prolonged thermotolerance in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*, does not require continuous expression or persistence of the 72 kDa heat-shock protein. *Journal of Insect Physiology*, 38 (8), 603-609. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(92\)90112-Q](https://doi.org/10.1016/0022-1910(92)90112-Q)
- Zamani, A. A., Talebi, A., Fathipour, Y. and Baniamერი, V. (2007). Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental entomology*, 36 (2), 263-271, <https://doi.org/10.1603/0046-225X-36.2.263>.
- Zhang, J., Huang, J., Lu, Y. and Xia, T. (2016). Effects of temperature and host stage on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei* Hayat in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *PeerJ*, 4, e1586, [10.7717/peerj.1586](https://doi.org/10.7717/peerj.1586).
- Zhang, S., Fu, W., Li, N., Zhang, F. and Liu, T. X. (2015). Antioxidant responses of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) exposed to high temperature stress. *Journal of Insect Physiology*, 73, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2015.01.004>
- Zhang, Y. B., Zhang, G. F., Liu, W. X. and Wan, F. H. (2019). Continuous heat waves change the life history of a host-feeding parasitoid. *Biological Control*, 135, 57-65, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.013>
- Zhu, G., Xue, M., Luo, Y., Ji, G., Liu, F., Zhao, H., et al. (2017). Effects of short-term heat shock and physiological responses to heat stress in two *Bradysia* adults, *Bradysia odoriphaga* and *Bradysia difformis*. *Scientific Reports*, 7 (1), 13381, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13560-4>.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Erinç ÇELİK BİÇER
Doğum tarihi ve yeri : 27.11.1991 ve Sinop/Ayancık
e-posta : erinc.celik@baun.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Doktora	Balıkesir Üniversitesi/Biyoloji Bölümü	2019-2024
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Biyoloji Bölümü	2014-2017
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ Biyoloji Bölümü	2010-2014
Lise	15 Temmuz Şehitler Anadolu Lisesi	2006-2010

Yayın Listesi

A- MAKALELER

1. SCI (Science Citation Index), SCI-Expanded, SSCI (Social Science Citation Index) AHCI (Arts and Humanities Citation Index) ve Üniversitelerarası Kurulca benimsenen diğer alan indeksleri tarafından taranan dergilerde yayımlanan; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makaleler.

A1. Çelik, E. and Sak, O. (2020). Effects of kinetin on biological parameters and hemocytes of *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Archives of Biological Sciences*, 72 (2), 181-192, <https://doi.org/10.2298/ABS200107012C>. (SCI-Expanded).

A2. Çelik Biçer, E., Sak, O., and Er A. (2023). Constant and variable heat shock effects on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) mortality and biological traits in the context of climate change. *International Journal of Tropical Insect Science*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3370517/v1>. (SCI-Expanded). (Yayın aşamasında). [Doktora tezi kapsamında].

2. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makaleler.

A2. Çelik Biçer, E., Güner, P., and Er, A. Nane (*Mentha spicata* L.) uçucu yağının depo zararlısı *Ephesia kuehniella* Z.(Lepidoptera: Pyralidae)'nın iki farklı gelişim evresine

etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 661-674, <https://doi.org/10.25092/baunfbed.1255362>. (TR-Dizin).

A3. Çelik Biçer, E., Er, A. and Sak, O. Böceklerde sıcaklık değişimlerinin davranışsal ve fizyolojik etkileri: Lepidoptera takımı üzerine bir inceleme. *Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4 (2), 102-115, 10.5281/zenodo.10117551. (Hakemli dergi). [Doktora tezi kapsamında].

B- BİLDİRİLER

B1. Sak, O., Taşkiran D., Çelik E. ve Er A., “Effects of kinetin on *Melanogryllus desertus* (Pallas, 1771) (Orthoptera: Gryllidae) Hemocytes”, *International Conference on Biological Sciences*, Konya, 159, 2016.

B2. Sak, O. ve Çelik, E., “Effects of kinetin on hemocytes of the model insect *Achroia grisella* F. (Lepidoptera: Pyralidae)”, *XI. European Congress of Entomology*, Napoli / Italy, 230-231, 2018.

B3. Güner P. ve Çelik E., “Potential of use of essential oils in biological control”, *Second International Congress On Biological and Health Sciences*, Afyonkocatepe (online), 24-25-26-27 Şubat 2022.

C- DİĞER BİLİMSEL ETKİNLİKLER

a) Aldığı Sertifikalar ve Katıldığı Kongreler

C1. Pedagojik formasyon.

C2. Ulusal Biyoloji Kongresi Katılım Belgesi (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi).

D- Burslar, Projeler ve Ödüller

a) Aldığı Burslar

D1. YÖK 100/2000 DOKTORA PROGRAMI- İklim değişikliği (2019-2023).

D2. TÜBİTAK 2211-A Yurtiçi Doktora Burs Programı (2020- 2024).

D3. TÜBİTAK 2250-Lisansüstü Bursları Performans Programı (2023- devam ediyor)

D4. TÜBİTAK- ARDEB 1001 (2023-devam ediyor)

b) Projeler

D1. İklim Değişikliği Sürecinde Sıcaklık Parametresinin Kovan Zararlısı *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae)’ya Etkileri, Balıkesir Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Proje No: 2019-054, **Araştırmacı** (Tamamlandı).

D2. Yüksek Sıcaklık Uygulamasının Konak-parazitoit Etkileşimi İçerisinde *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)'un Gelişim Biyolojisine Etkileri, Balıkesir Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Proje No: 2022-116, **Araştırmacı** (2022-devam ediyor).

D3. Termal Stresin *Achroia grisella* (Lepidoptera: Pyralidae)'nın Biyolojisi ve Bağışıklık Sistemine Etkileri, Balıkesir Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Proje No: 2022-117, **Araştırmacı** (2022-devam ediyor).

D4. Fungal Metabolitlerin, Depo Zararlısı *Ephestia kuehniella* Zell. ve Onun Doğal Parazitoiti *Venturia canescens* Grav. (Hymenoptera: Ichneumonidae) Üzerinde Biyolojik Kontrol Ajanı Olarak Kullanım Potansiyellerinin Araştırılması, TÜBİTAK- ARDEB 1001, Proje No: 122O398, **Bursiyer** (2023/1).

c) Ödüller

C1. Hayal Edin Gerçekleştirilim Sosyal İnovasyon Proje Fikirleri Yarışması 9. Dönemi 2022 **BİRİNCİLİK ÖDÜLÜ**. Pınar Güner- **Erinç Çelik** (BİYOLOG ETKİSİ) Proje Adı: Doğal Döngü Drone'u.