

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANADOLU (*Apis mellifera anatoliaca*) ve KAFKAS (*Apis mellifera caucasica*)
BAL ARILARINDA DALGALANAN ASİMETRİ

Derya KOÇ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANADOLU (*Apis mellifera anatoliaca*) ve KAFKAS (*Apis mellifera caucasica*) BAL ARILARINDA DALGALANAN ASİMETRİ

Derya KOÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İrfan KANDEMİR

Bu tez çalışmasında, bal arısı alttürleri olan Anadolu arısı (*Apis mellifera anatoliaca*) ve Kafkas arısı (*Apis mellifera caucasica*) arasında dalgalanan asimetrisinin varlığı çalışılmıştır. Söz konusu alttürlerin simetriye bağlı eşleşen morfolojik özelliklerinin belirli kriterlere göre ideal şekilden uzak olup olmadığının saptanması amaçlanmıştır. Ankara/Kazan bölgesindeki arılıklardan Anadolu arısı (*A.m. anatoliaca*) ve Ardahan/Posoftaki bir arılık ile Artvin'in Hatila ve Camili bölgelerindeki 4 farklı arılıktan da Kafkas arısı (*A.m. caucasica*) temin edilmiştir.

Her bireyin iki yönlü (sağ ve sol) ön kanatlarıyla arka toplayıcı bacakların karakterleri tpsDig ve Bee2 programları kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Dalgalanan asimetrisinin varlığını kanıtlamak için tüm sayısal veriler, iki yönlü varyans analizi (two-way ANOVA) ve Procrustes varyans analizi (Procrustes ANOVA) gibi bir dizi istatistiksel testten geçirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm Anadolu ve Kafkas bal arısı popülasyonları arasında anlamlılığı yüksek bir istatistiksel fark çıkmıştır ($P<0.001$). Alttürlerin birbirleri arasındaki bu farklılık hem genetik kaynaklı hem de coğrafik izolasyondan dolayı olasıdır.

Artvin ve Posoftaki Kafkas bal arıları arasında bir anlamlı bir istatistiksel değer bulunamamıştır ($P>0.05$) fakat Artvin'deki Kafkas bal arılarının kendi arasında yapılan ANOVA testlerinde ise anlamlılıkların mevcut olduğu görülmüştür ($P<0.05$). Okul önündeki popülasyonun dalgalanan asimetrisini gösteren vektörel dağılımdaki çok fazla sapmalar görülmüştür. Bu duruma neden olan birçok stres faktörü bulunabilir. Stres faktörleri arasında bu lokasyonun ana arı üretim merkezi olması ve popülasyon üzerindeki antropojenik etkinin fazla olması bulunmaktadır. Bu lokasyonda ana arı üretiminin olması nedeniyle en çok varyasyona sahip olan popülasyonun bu popülasyon olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca İremet ve Tevriyet lokasyonundaki popülasyonlara ait vektörel dağılımın düzenliliği de seçim kaynaklı olabilir. Bu da düşük varyasyona sahip olan bir koloniden geldiklerini göstermektedir.

Ocak 2023, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bal arısı, Dalgalanan Asimetri, Geometrik Morfometri, Procrustes Yöntemi, *Apis mellifera anatoliaca*, *Apis mellifera caucasica*.

ABSTRACT

Master Thesis

FLUCTUATING ASYMMETRY IN ANATOLIAN (*Apis mellifera anatoliaca*) AND CAUCASIAN (*Apis mellifera caucasica*) HONEY BEES

Derya KOÇ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Advisor: Prof.Dr.İrfan KANDEMİR

In this thesis study, the existence of fluctuating asymmetry between the subspecies Anatolian bee (*Apis mellifera anatoliaca*) and Caucasian bee (*Apis mellifera caucasica*) was studied. It is aimed to determine whether the symmetrically matched morphological features of the mentioned subspecies are far from the ideal shape according to certain criteria. Anatolian bee (*A.m. anatoliaca*) was obtained from apiaries in Ankara/Kazan region and Caucasian bee (*A.m. caucasica*) was obtained from one apiary in Ardahan/Posof and 4 different apiaries in Hatila and Camili regions of Artvin.

The characters of each individual's bilateral (right and left) front wings and hind legs were digitized using tpsDig and Bee2 programs. To prove the existence of fluctuating asymmetry, all numerical data were subjected to a series of statistical tests such as two-way analysis of variance (two-way ANOVA) and Procrustes analysis of variance (Procrustes ANOVA).

According to the results obtained, there was a statistically significant difference between all Anatolian and Caucasian honey bee populations ($P<0.001$). This difference between subspecies is possible due to both genetic origin and geographic isolation.

A statistically significant difference was not found between Caucasian honey bees in Artvin and Posof ($P>0.05$), but there were significant differences in the ANOVA tests performed between Caucasian honey bees in Artvin ($P<0.05$). There were too many deviations in the vectorial distribution, showing the fluctuating asymmetry of the population in Okul özü. There can be many stress factors that cause this situation. It can be stated that the population with the most variation is this population, since there is queen bee production in this location. In addition, the regularity of the vector distribution of the populations in the İremi and Tevriyet locations may be due to selection. This indicates that they came from a colony with low variation.

January 2023, 67 pages

Key Words: Honeybee, Fluctuating Asymmetry, Geometric Morphometric, Procrustes Superimposition, *Apis mellifera anatoliaca*, *Apis mellifera caucasica*.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında, desteğini hiçbir zaman esirgemeyip bilgi birikimi ve tecrübeleriyle tezime yön veren saygıdeğer tez danışman hocam Prof. Dr. İrfan KANDEMİR'e (Ankara Üniversitesi, Biyoloji Bölümü) teşekkür ederim.

Hiçbir şekilde yardımlarını esirgemeyip manevi destekleriyle hep yanımda olan değerli arkadaşlarım Selin ÇORBA UYURCA ve Fatma Ecem ARSLAN'a teşekkür ederim.

Tanıştığım günden beri her durumda yanımda olan, beni cesaretlendirip destekleyen, bana olan inancını ve sevgisini kalbimin en derinlerinde hissettiğim hayat arkadaşım, yoldaşım, sevgili eşim Mehmet KOÇ'a teşekkür ederim.

Doğumumdan bu yana hem anne hem baba olup maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek beni bugünlere getiren, çocuğu olmaktan onur duyduğum biricik annem Kadriye ÖĞÜLENER'e ve her durumda yanımda olan canım ablam Ebru ÖĞÜLENER'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamı destekleyen ANG Vakfı'na ve Sayın Ali Nihat GÖKYİĞİT'e, çalışmada kullanılmak üzere arı örneklerini edinmemi sağlayan Macahel Arıcılık A.Ş. ve arıların toplanmasında emeği geçen tüm arıcılara teşekkür ederim.

Derya KOÇ
Ankara, Ocak 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Bal Arısı (<i>Apis mellifera</i> L.).....	3
2.1.1 Bal arısının morfolojik özellikleri.....	4
2.1.2 Bal arısı kolonilerinde hiyerarşi	7
2.1.3 Türkiye’deki bal arısı alttürlerinin coğrafik yayılımı	8
2.2 Simetri.....	9
2.2.1 Simetri oluşumu ve türleri.....	10
2.2.2 Bilateral simetri.....	12
2.2.3 Eksenine göre simetri şekilleri	13
2.3 Dalgalanan Asimetri (DA).....	14
2.4 Geometrik Morfometri (GM).....	20
2.4.1 Geometrik morfometriyi kullanarak dalgalanan asimetrinin tespiti.....	21
2.5 Landmark (Yer İşareti) Metodu.....	23
2.6 Procrustes Yöntemi.....	24
2.6.1 Asimetri çalışmalarında procrustes yönteminin aşamaları	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Örneklerin Toplanması ve Preparasyonu.....	27
3.2 Preparatların Dijital Ortama Aktarılması	31
3.3 Landmarkların Yerleştirilmesi	32
3.4 Arka Toplayıcı Bacak Karakterlerinde Uzunluk ve Genişliğin Sayısallaştırılması	35
3.5 PAST Programının Kullanımı	36

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
4.1 Tergit renklenmeleri, Kanat Kübital İndeks, Uzunluk ve Genişlik Ortalamaları.....	41
4.2 Toplayıcı Bacaktaki Karakterlerin Uzunluk ve Genişlik ve Hamuli Sayısı Ortalamaları.....	41
4.3 Ön Kanattaki Damarlanmaların Yaptığı Açıların Ortalama Değerleri.....	42
4.4 Ön Kanat ve Toplayıcı Bacağa Ait Sağ ve Sol Tarafların Ölçüm Değerlerinden Dalgalanan Asimetrisinin Hesaplanması.....	43
4.5 Ön Kanat ve Toplayıcı Bacağa Ait Sağ ve Sol Tarafların Ölçüm Değerlerinde Yönlü Simetrisinin Durumu.....	44
4.6 PC1 ve PC2 ile Dalgalanan Asimetrisinin Gösterilmesi.....	45
4.7 Morpho J Programında Procrustes ANOVA.....	48
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	50
5.1 <i>A. m. anatoliaca</i> ve <i>A. m. caucasica</i> Arasında Dalgalanan Asimetri.....	56
5.2 Farklı coğrafyalarda (Posof-Camili-Hatila) Bulunan <i>A. m. caucasica</i> Populasyonlarında Dalgalanan Asimetri.....	58
5.3 Artvin-Camili'deki Farklı Lokasyonlardaki <i>A. m. caucasica</i> 'da Dalgalanan Asimetri.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR DİZİNİ

2D	İki Boyut
3D	Üç Boyut
<i>A.m.</i>	<i>Apis mellifera</i>
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
CI	Cubital Index (Kübital İndeks)
DA	Dalgalanan Asimetri
GM	Geometrik Morfometri
mm	Milimetre
PCA	Principle Component Analysis (Temel Öğeler Analizi)
R-L	Right-Left (Sağ-Sol)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Bal arısının morfolojisi	4
Şekil 2.2 Hamulinin ışık mikroskobu altındaki görüntüsü	5
Şekil 2.3 Hamuli yardımıyla iki kanadı birbirine kenetlenmesi	5
Şekil 2.4 2., 3. ve 4. tergumlardaki desen eşitsizliği ve pigmentasyon yoğunluğu.....	6
Şekil 2.5 2., 3. ve 4. tergumlardaki pigmentasyonunun sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.6 İşçi, erkek ve kraliçe arının kafa yapılarındaki farklılık	7
Şekil 2.7 Kraliçe bal arısının petek hücrelerine yumurta bırakması ve işçi bal arılarında larva bakımı.....	8
Şekil 2.8 Türkiye’deki bal arısı alttürlerinin yayılış haritası.....	9
Şekil 2.9 Üçgenin 360°, 240° ve 120°’lik dönüşlerle ve yansımalarla oluşan simetri grupları	10
Şekil 2.10 Bazı simetri türleri	11
Şekil 2.11 Bilateral simetriye sahip karabit böceğinin (<i>Ceroglossus chilensis</i>) farklı düzlemlerle temsili gösterimi	12
Şekil 2.12 Eşleşen simetri ve nesne simetrisi.....	13
Şekil 2.13 Bazı organizmalardaki simetri tutarlılık düzeyleri	14
Şekil 2.14 <i>Drosophila</i> kanadında pozitif ve negatif asimetrisinin gösterimi ve simetrik bir bireyin temsili	17
Şekil 2.15 Dalgalanan asimetrisinin büyüklüğü, iki karşıt süreç olan gelişimsel stabilite ve gelişimsel istikrarsızlık arasındaki bir uzlaşmayı yansıtır	18
Şekil 2.16 Dalgalanan asimetrisinin MorphoJ ile geometrik morfometri kullanılarak analizi	22
Şekil 2.17 Bal arılarında ön kanadın 2D koordinatlarının eldesi için kullanılan landmark lokasyonları	24
Şekil 2.18 Procrustes yönteminin aşamaları	25
Şekil 3.1 Ankara-Kazan arılıklarının görseli	27
Şekil 3.2 Artvin, Camili/İremi arılıklarının görseli	28
Şekil 3.3 Artvin, Camili/Okul önu arılıklarının görseli	28
Şekil 3.4 Artvin, Camili/Tevtiyet arılıklarının görseli	29
Şekil 3.5 Bireylerin kovanlardan alınıp %70’lik etil alkol bulunduran tüp içerisinde muhafaza edilmesi	30
Şekil 3.6 Balarısına ait kanatların ve toplayıcı bacakların preparat örnekleri	31
Şekil 3.7 Görüntünün dijital ortama aktarılması	31

Şekil 3.8 Çalışmadaki bir bireyin kanadında landmarklar	32
Şekil 3.9 Bee2 programında kanat kesişimlerindeki ve uzunluk-genişlik tespitinde kullanılan landmarkların yeri.....	34
Şekil 3.10 Ön kanattaki Bee2 yardımıyla elde edilen 11 tane açının yerleri	34
Şekil 3.11 Kübital indeksin ölçümü	35
Şekil 3.12 Metatarsus genişliği (MT) ve femur (Fe), tibia (Ti) ve metatarsus (ML) uzunlukları	35
Şekil 3.13 PAST programında Procrustes uyumu aşamaları	37
Şekil 3.14 Procrustes uyumu aşaması	38
Şekil 3.15 PC1 ve PC2'nin elde edilmesi aşamaları	39
Şekil 4.1 Posof lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	45
Şekil 4.2 Kazan lokasyonuna ait Anadolu bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	46
Şekil 4.3 Hatila lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	46
Şekil 4.4 İremi lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	47
Şekil 4.5 Okul önü lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	47
Şekil 4.6 Tevriyet lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Apis mellifera'nın takson basamakları ve bazı alttürleri	3
Çizelge 3.1 Bu çalışmada kullanılan örneklerin ait olduğu bölge, şehir, lokasyon, alttür ve kovan bilgileri	29
Çizelge 4.1 Tergit renklenme ortalamaları, kanat kübital indeksler ortalaması, kanat uzunluk ve genişlik ortalamaları	41
Çizelge 4.2 Ortalama femur, tibia ve tarsus uzunluğu ve ortalama tarsus genişliği ve hamuli değerleri.....	42
Çizelge 4.3 Ön kanattaki damarlanma açılarının ortalama değerleri	42
Çizelge 4.4 Ön kanat ve toplayıcı bacak ölçüm değerlerinde sağ ve solun mutlak değer farkları	43
Çizelge 4.5 Ön kanatta ölçülen açıların ortalamasındaki sağ ve solun mutlak değer farkları	43
Çizelge 4.6 Kanat ve bacağın uzunluk-genişlik ortalama değerlerinde ve hamuli sayısında mutlak olmayan (R-L) sonuçları	44
Çizelge 4.7 Kanattaki açıların ortalama değerlerinde mutlak olmayan (R-L) sonuçları	45
Çizelge 4.8 Şekle ait Procrustes ANOVA sonuçları	48
Çizelge 4.9 Ağırlık merkezi boyutu (Centroid size) sonuçları	49
Çizelge 4.10 Ortalama şeklin x ve y eksenindeki landmark koordinatları	49

1. GİRİŞ

Günümüzde kutuplar dışında yeryüzünün neredeyse her noktasında varlığını gösteren bal arıları, bulundukları koşullara uygun fizyolojik, morfolojik ve etolojik özellikler sergilerler.

Doğadaki tarihi insandan daha öncesine dayanan bal arısı (*Apis mellifera*), Anadolu'nun coğrafi konumu ve biyoçeşitliliği sebebiyle, burada çeşitli alt türleri ve ekotipleriyle önemli bir gen merkezini oluşturmaktadır. Ayrıca arkeolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre arının ve arıcılığın en eski tarihine sahip yerdir (Karacaoğlu ve Fıratlı 1994, Güler 2010).

Türkiye'deki arıcılık faaliyetlerinde en çok karşılaşılan alttürler Anadolu (*Apis mellifera anatoliaca*) ve Kafkas bal arısıdır (*Apis mellifera caucasica*). Anadolu bal arısı - Kafkas'a kıyasla- tergiti daha sarı ve vücut boyutları daha küçük olan bir alttürdür (Karacaoğlu ve Fıratlı 1994). Arıcılığa uygunlukları, ekonomik değerlerini de ortaya koyar. Anadolu bal arısının tercih edilmesinin en önemli sebepleri az bal tüketmesi, yağmacılık eğiliminin düşük olması, nektar toplama kabiliyetleri, uygunsuz koşullara dayanıklılığı ve diğer ırklarla hibridizasyonu sonucu verimlilik gösterebilmesidir (Sıralı vd. 2017). Bunun yanı sıra oğul vermeye de çok eğilimli bir ırk olması verimliliğine negatif yönde etki eder.

Kafkas arısının ise Anadolu bal arısının aksine oğul verme eğilimi düşüktür. En uzun dile sahip olan Kafkas arısının bu özelliği bal veriminin yüksek olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kışlama yeteneğinin az olması da bal tüketme miktarlarının düşük olmasına bağlıdır. Yağmacı olan bu ırk, *Nosema apis*'e karşı ise yüksek duyarlılığa sahiptir (Akyol vd. 2006).

Türkiye'deki arı popülasyonları hem çevresindeki hem de bölgelerarası arı dolaşımı sonucu birbirine karışabilmektedir (Karacaoğlu ve Fıratlı 1994). Bu hibridizasyonla ve büyüme esnasındaki çevre şartlarıyla beraber popülasyonlarda bazı varyasyonlar

görülmektedir. Yapılan çalışmalarda bal arısının tanımlanmasında ve bilinmeyen varyasyon durumlarında kanat damarları, kıllanma, tergit renklenmesine bakılması önerilmektedir (Meixner vd. 2013).

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, hedef alttürler olan *A.m. anatoliaca* ve *A.m. caucasica* arasındaki ve bulundukları lokasyonlar ve ekotipler arasındaki dalgalanan asimetrinin düzeyi incelenecektir.

Tez çalışması boyunca,

- a) İki alttür arasındaki (Anadolu ve Kafkas bal arıları arasında),
- b) Farklı lokasyonlarda bulunan aynı alttürlerin arasındaki ve
- c) Aynı lokasyon içindeki arılarda dalgalanan asimetrinin varlığı ve anlamlılık düzeyi araştırılacaktır.

Bu tez çalışmasının analizleri Procrustes tekniğine dayandırılarak yapılmıştır. Bu yöntem geleneksel çok değişkenli istatistikler ve geometrik yöntemlerin arasındaki bağlantının merkezini temsil etmektedir (Klingenberg ve McIntyre 1998).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Bal Arısı (*Apis mellifera* L.)

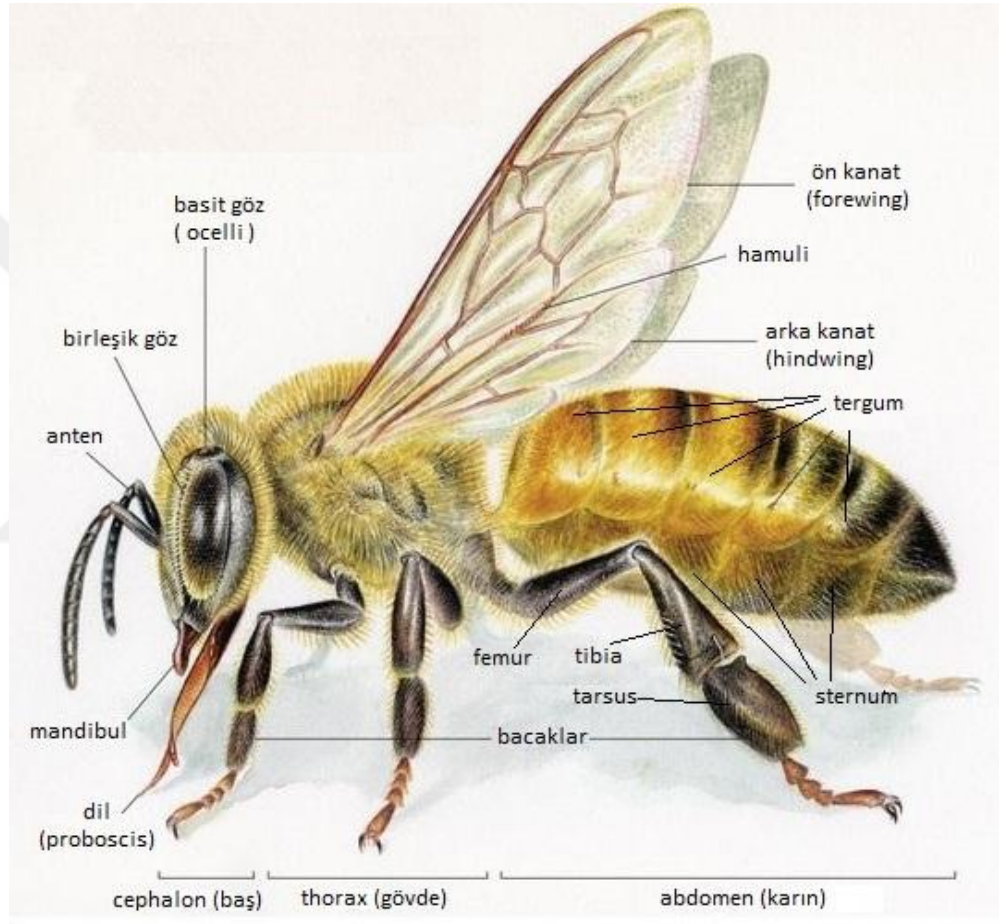
İlk kez tür düzeyinde Linnaeus tarafından isimlendirilen ve Apidae ailesinin bir türü olan bal arısının (*Apis mellifera*) taksonomik basamakları ve bazı alttür örnekleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Dukku vd. 2019, Ruttner 1988):

Çizelge 2.1 *Apis mellifera*’nın takson basamakları ve bazı alttürleri

Alem (Kingdom):	Animalia
Şube (Phylum):	Arthropoda
Sınıf (Classis):	Insecta
Takım (Ordo):	Hymenoptera
Aile (Familia):	Apidae
Cins (Genus):	<i>Apis</i>
Tür (Species):	<i>Apis mellifera</i>
Alttür (Subspecies):	<i>Apis mellifera anatoliaca</i> <i>Apis mellifera caucasica</i> <i>Apis mellifera carnica</i> <i>Apis mellifera cypria</i> <i>Apis mellifera lamarckii</i> <i>Apis mellifera ligustica</i> <i>Apis mellifera meda</i> <i>Apis mellifera mellifera</i> <i>Apis mellifera syriaca</i>

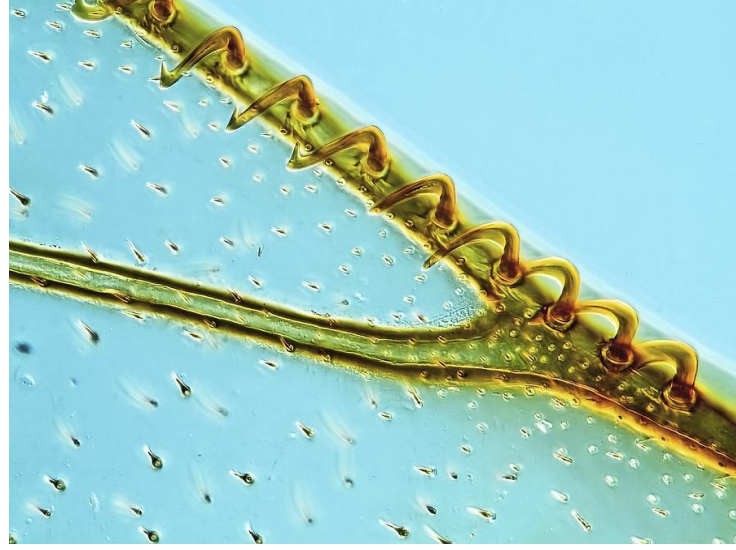
2.1.1 Bal arısının morfolojik özellikleri

Bilateral simetri özelliği gösteren bal arısının tüm böceklerde olduğu gibi üç çift bacağın yanı sıra, bileşik ve basit gözleri, iki anteni, ön ve arka olmak üzere 2 çift kanadı bulunmaktadır. Kanatlar ön ve arka kanatlar olmak üzere iki gruptur. Ön kanatlar arka kanatlara kıyasla daha büyüktür (Şekil 2.1).

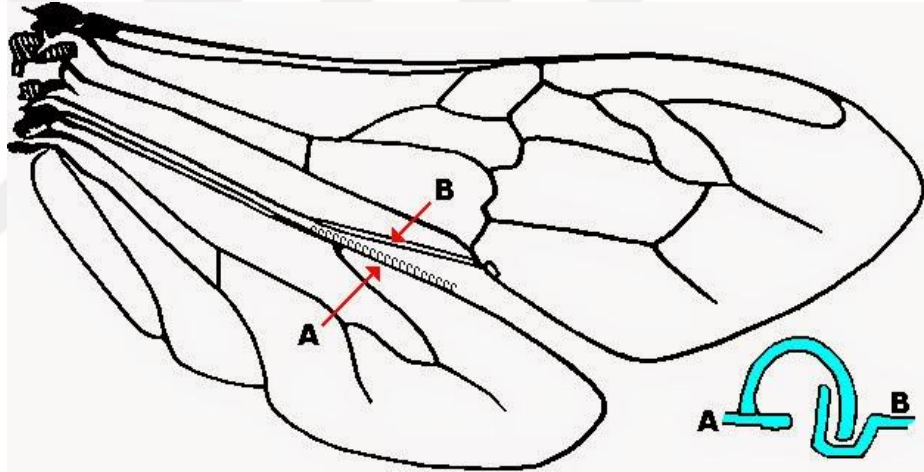


Şekil 2.1 Bal arısının morfolojisi (Anonymous 2015'den değiştirilerek alıntılanmıştır)

Küçük yapılı arka kanadın ön kanatla bitiştiği kısımda hamuli adı verilen kanca benzeri kıllar yer almaktadır (Şekil 2.2). Hamulinin görevi uçuş esnasında ön kanadın arkasındaki kıvrık bölgeye kenetlenip arının daha kolay bir şekilde uzak mesafelere gidebilmesini sağlamaktır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 Hamulinin ışık mikroskobu altındaki görüntüsü (Anonymous 2013)



Şekil 2.3 Hamuli yardımıyla iki kanadı birbirine kenetlenmesi

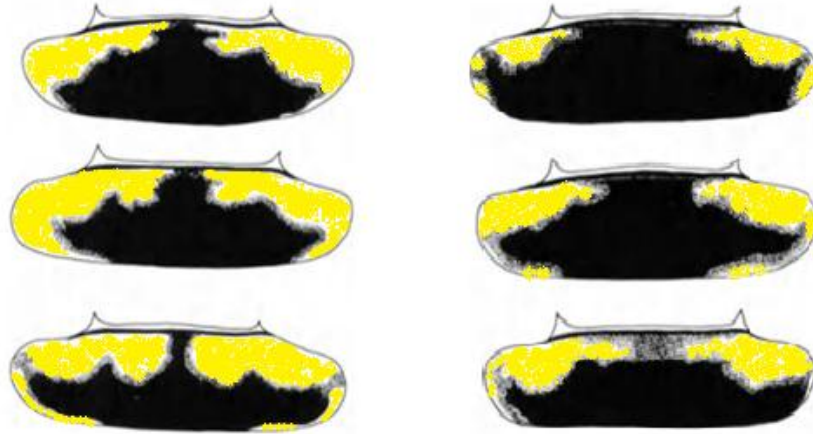
(A-Arka kanatta bulunan kanca şekilli hamuli, B-Hamulinin ön kanatta tutunduğu yer) (Anonymous 2022a)

Bal arılarının vücut renkleri alttürlerde ve kolonideki görevine göre daima farklılık gösterirler (Şekil 2.4). Bal arısının sistematığı ile ilgili yapılan çalışmalarda renklenme ilk kullanılan karakterlerden biriyken son dönem çalışmaları gösteriyor ki bu karakter sınıflandırma için önemli bir unsur olmadığı belirtilmiştir.

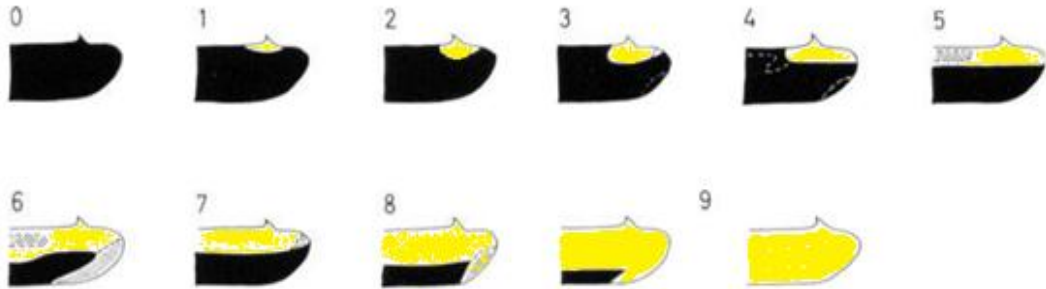
Kalıtımın yanı sıra çevre etkisiyle de rengin fenotipik ifade edilmesi olasıdır. Örneğin bal arısının işçi ve kraliçelerinin pupa gelişiminde koyu rengin sarı renge oranla daha

düşük sıcaklıklarda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Henriques vd. 2020). Öte yandan abdomenin dorsalinde bulunan tergitin renklenmesine göre alttürler arası varyasyonlar tespit edilebilmektedir (Meixner vd. 2013).

Tergitteki renklenmelerde sadece ikinci, üçüncü ve dördüncü terguma bakılmaktadır. Pigmentasyonun değerlendirilmesi için 2 farklı önerme bulunmaktadır. Bunlardan biri açık renkli şeritlerin tespiti ile diğeri ise gölgeli olan siyah kısımların tespiti ile olmaktadır. Fakat ilk önermedeki durum sadece belirli İtalyan arı türleri dışında kullanılamayacağından ikinci önermek ışık pigmentasyon miktarına göre tergitin renk skalasının numaralandırılması uygulamalara daha doğru yakınlıklar gösterir (Şekil 2.5) (Ruttner 1988). Bu tez çalışmasında da ikinci önerme olan ışık pigmentasyonu skalasına göre tergit numaralandırılmıştır.



Şekil 2.4 2., 3. ve 4. tergumlardaki desen eşitsizliği ve pigmentasyon yoğunluğu (Ruttner (1988)'dan değiştirilerek alıntılanmıştır)



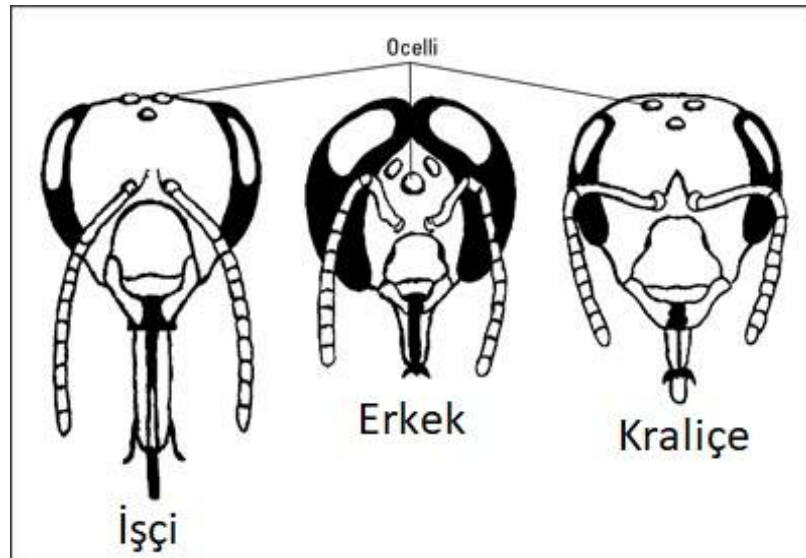
Şekil 2.5 2., 3. ve 4. tergumlardaki pigmentasyonunun sınıflandırılması (Ruttner 1988)

2.1.2 Bal arısı kolonilerinde hiyerarşi

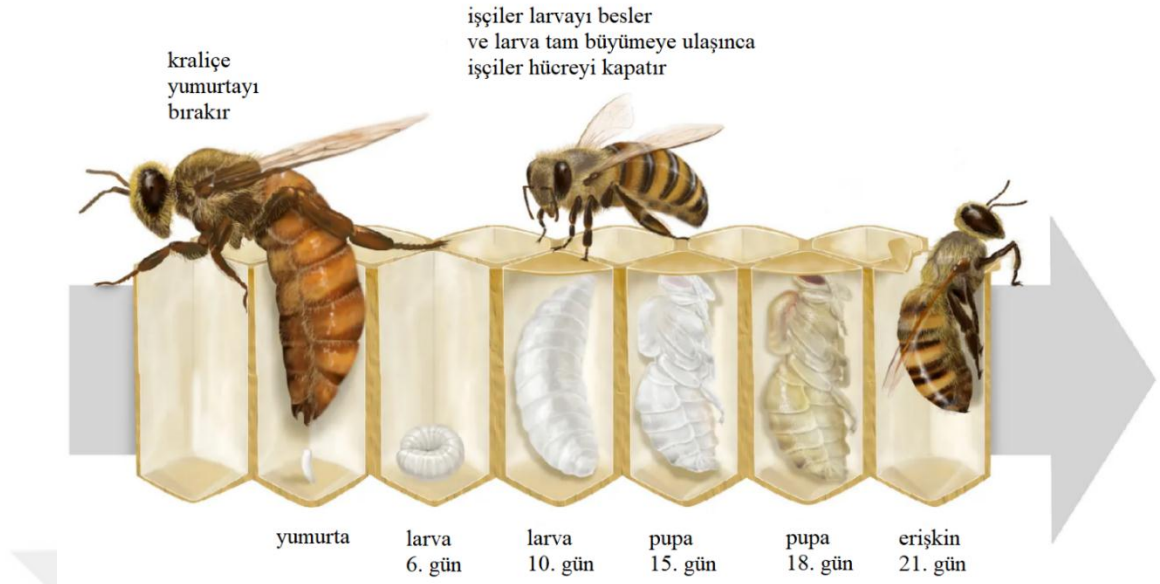
Bal arısı sosyal yaşamlarıyla ön plana çıkmaktadır ve popülasyondaki bireyler kast sistemine uygun şekilde yaşar. Bu kast sistemi içinde kraliçe arı (dişi), işçi arılar (dişi) ve erkek arılar olmak üzere 3 hiyerarşik konum vardır (Toth ve Robinson 2009).

Morfolojik olarak birbirlerinden farklılık gösterirler (Şekil 2.6) ve koloni içindeki en büyük arı olan kraliçe arı metamorfozunun larva evresindeyken işçi arılar tarafından seçilir. Aynı zamanda işçi arılar polenle beslenirken (Muturi vd. 2022), kraliçe arıyı cinsel erginliğe gelene kadar arı sütüyle beslerler. İşçi arıların diğer görevleri arasında nektar ve polen toplama, inşa, kovan temizliği, larva bakımı (Şekil 2.7) ve kovan savunması yer alır (Mao vd. 2015, Toth ve Robinson 2009).

Kraliçe arının kolonideki asıl görevi neslinin devamı için erkek arılarla çiftleşip yeni bireyler oluşturmaktır. İşçi arılar çiftleşemez fakat erkek arılar döllenmemiş haploid yumurtalardan ortaya çıktığı için işçi arılar tarafından üretilebilirler. Erkek arılar ise sadece kraliçe arıyla çiftleşmekten sorumludur ve çiftleşme sonrası ölürlür (Mao vd. 2015, Ratnieks ve Visscher 1989).



Şekil 2.6 İşçi, erkek ve kraliçe arının kafa yapılarındaki farklılık (Anonymous 2021)



Şekil 2.7 Kraliçe bal arısının petek hücrelerine yumurta bırakması ve işçi bal arılarında larva bakımı (Anonymous 2022b’den değiştirilerek alıntılanmıştır)

2.1.3 Türkiye’deki bal arısı alttürlerinin coğrafik yayılımı

Takson bakımından çeşitlilik barındıran *Apis mellifera*, tüm dünyada toplam 28 alttür içerdiği bilinse de (Engel 1999) daha sonraki çalışmalarda 31 adet alttürü olduğu belirtilmiştir (Henriques vd. 2020) ve bu alttürlerden beş tanesi Türkiye’nin çeşitli coğrafyalarında görülmektedir (Şekil 2.8).

Bu alttürler;

- İç Anadolu’da *A.m. anatoliaca* (Anadolu balarısı),
- Trakya’da *A.m. carnica* (Trakya arısı),
- Kuzey Doğu Anadolu’da *A.m. caucasica* (Kafkas arısı),
- Irak ve İran sınırında *A.m. meda* (İran arısı) ve
- Güneyde Suriye sınırında ise *A.m. syriaca* (Suriye arısı) dır (Ruttner 1988, Kandemir vd. 2005, Güler 2010, Kandemir 2010).



Şekil 2.8 Türkiye'deki bal arısı alttürlerinin yayılış haritası (Ruttner 1992)

Anadolu arılarının taksonomik sınıflandırmasını ilk deneyen kişinin Bodenheimer olduğunu söyleyen Ruttner (1988), Anadolu arılarını boyut ve renk bakımından İtalyan arısını benzetmektedir fakat küçük farklılıklarda boyutlarının daha büyük olduğunu belirtmiştir. *A.m. anatoliaca*'nın genel olarak sarı bir arı olduğunu, karın üzerindeki halkaların lekeli turuncuyken arka segmente doğru kahverengiye döndüğünü belirtmiştir. Kanat damarlanmalarında ise birçok açıda ve düşük kübital indekslerin karakteristik olarak farklılıkları olduğunu vurgulamıştır. *A.m. caucasica*'da ise *A.m. mellifera*'ya kıyasla daha koyu pigmentasyona sahiptir fakat abdominal terga üzerinde dar ve belirsiz sarı bantları bulunur.

2.2 Simetri

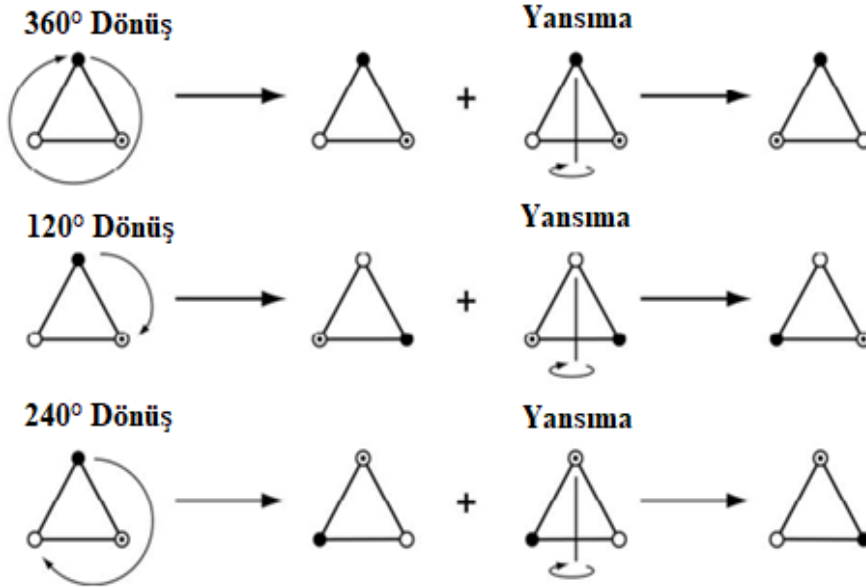
Yaşamın her anında karşımıza çıkan gerek canlı gerekse cansız yapılar ya şekil itibariyle benzer ve kendini tekrar eden parçalardan oluşmuş olabilirler ya da kendi içinde herhangi bir benzerlik içermezler. Simetri olarak adlandırılan bu düzenlilik durumu, şekillerin belirli bir eksen etrafında kendini tekrarlamasıdır ve simetrisinin olmadığı durumlar ise asimetri olarak bilinir. Simetrik yapılar daima göze daha çekici, düzenli ve tercih edilesi görünür. Biyolojik yapılarda simetri, organizmayı oluşturan

yapılarının birbirine göre farklı konum ve yönlerde tekrarlanması olarak tanımlanır (Klingenberg 2015).

2.2.1 Simetri oluşumu ve türleri

Simetrilerin taksonomisini ayırt edebilmek için önerilen bir yöntemle göre simetriler 3 farklı işleme göre oluşmaktadır. Bunlar; döndürme, yansıma ve çevirme işlemleridir. Bu 3 işlemin tüm kombinasyonlarıyla da farklı simetri çeşitleri görülmektedir. Döndürme nesnenin dairesel hareketiyle, yansıma ayna görüntüsüyle ve çevirme ise yeni bir konuma kaydırmayla oluşturulur (Graham vd. 2010).

Simetri grubu adı verilen, nesnelerin tüm simetri dönüşümlerini kapsayan kümeler vardır ve her simetri türünün kendine özgü simetri grubu vardır. Simetri gruplarının döndürme ve yansımayı birleştirmesi de muhtemeldir. Örneğin Şekil 2.9'daki gibi eşkenar üçgenin simetri grubu bu duruma örnektir (Klingenberg 2015).



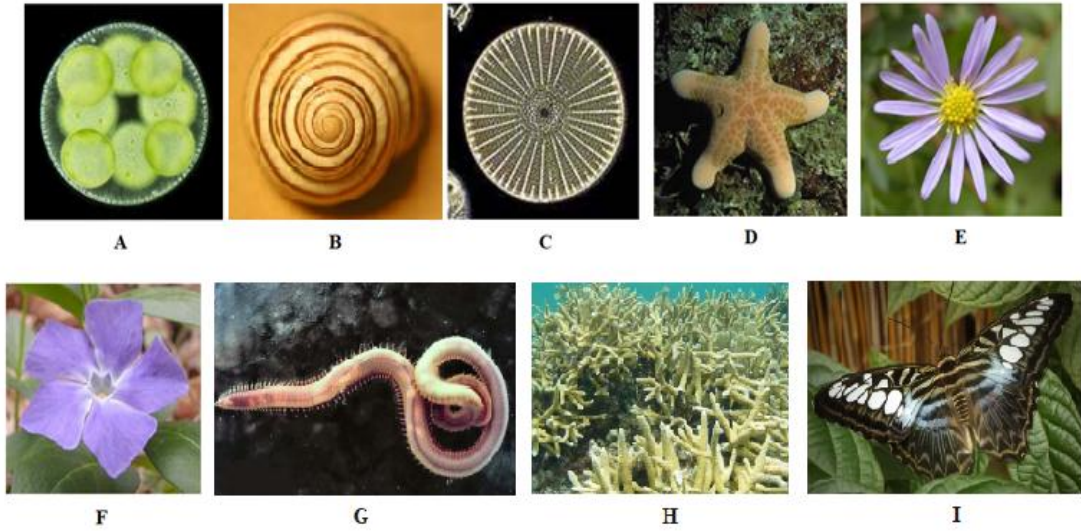
Şekil 2.9 Üçgenin 360°, 240° ve 120°'lik dönüşlerle ve yansımalarla oluşan simetri grupları

Radyal diğ er bir adıyla rotasyonel simetri doğ ada çokça rastlanan simetri çeşitlerindendir. Bu simetriye sahip canl ıların sağ veya sol taraf ı bulunmamaktadır.

Rotasyonel simetriyi her bir parçanın diğ er parçalara belirli bir açı yaparak d onmesi oluşturur buna örnek olarak küçük Cezayir menekşesi (*Vinca major*) verilebilir (Benitez vd. 2020, Savriama ve Klingenberg 2011).

    boyuttaki en simetrik nesne olarak k re örnek gösterilir ve bir küre adından da anlaşılacağı üzere küresel simetriye sahiptir. Bir başka simetri çeşidi de sarmal (spiral) simetridir. Bu simetri ise genişleme ve buna bağılı olarak d onme hareketiyle ötelenen salyangoz ve diğ er yumuşakçaların kabuklarında görülebilen simetri türüdür (Klingenberg 2015).

Baz ı simetri  eşitleri şekil 10'da (Graham vd. 2010, Anonymous 2017) verilmiştir. Asimetri ise herhangi bir simetri göstermeyen durumlara verilen simetri adıdır.



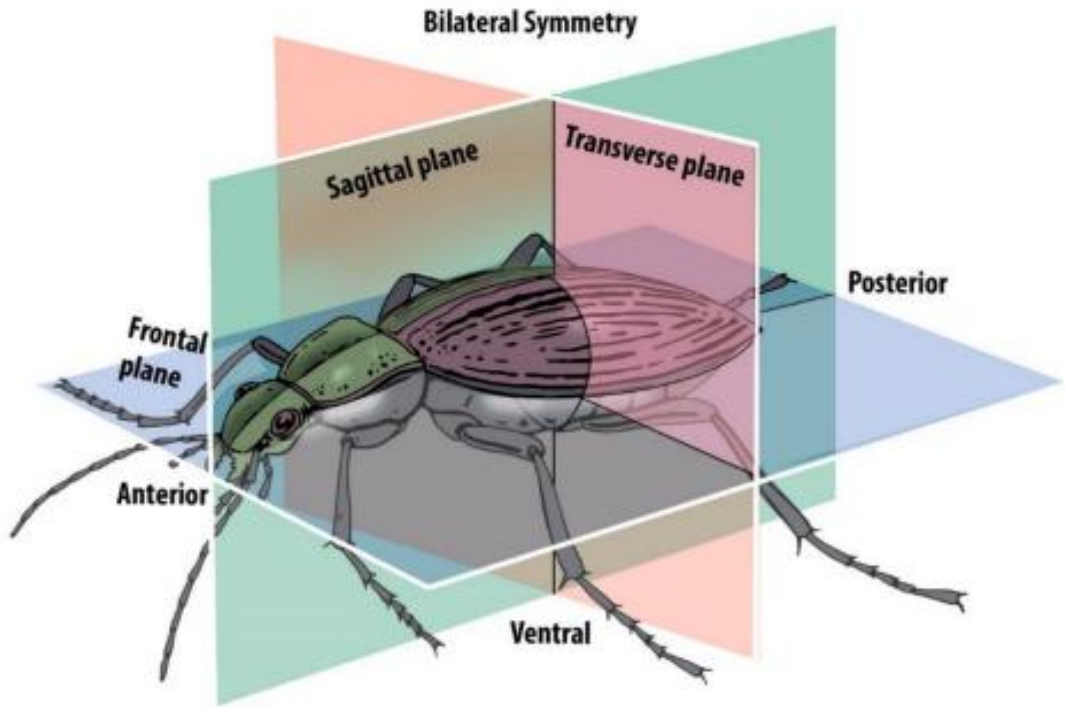
şekil 2.10 Baz ı simetri türleri

A- Küresel simetri (*Volvox*), B- Helikal simetri (Salyangoz, *Cepaea nemoralis*), C- Dairesel simetri (Sentrik diatom), D- Dihedral simetri (Deniz y ld z ), E- Dihedral simetri (Y ld z  i eğı), F- Rotasyonel simetri (Cezayir menekşesi, *Vinca major*), G- Translasyonel simetri (Annelid, *Glycera*), H- Fraktal simetri (Mercan), I- Bilateral simetri (Kelebek) (Graham vd. 2010, Anonymous 2017)

2.2.2 Bilateral simetri

Doğada simetrinin birçok çeşidine rastlanmaktadır ve hayvanlarda genellikle bilateral simetri bulunur. Bilateral simetri, organizmanın sağ ve sol taraflarının ayna görüntüsünde olma durumudur. Medyan düzlemi (vücudu sağ ve sol olarak ayıracak şekilde baştan aşağıya doğru tam ortadan iki kısma bölen düzlem) ile ayrılan parçalarda sağ ile sol birbiriyle eşleşir ve sağ taraf ile sol tarafta bulunan yapılar birbirinin görünüş itibarıyla aynısıdır. Simetri ve asimetri analizlerinin çoğunluğu bilateral simetriye sahip organizmalar üzerinde yapılmaktadır (Savriama ve Klingenberg 2011).

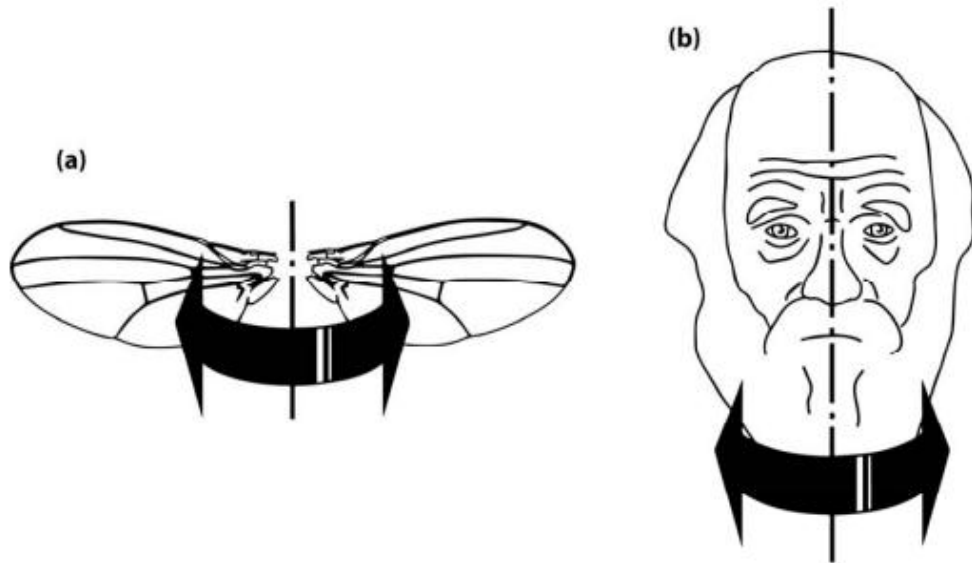
Bilateral simetrik canlılar, sagittal düzlemdeki yansımalarıyla vücutlarını iki eş parçayla sergileyen canlılardır (Benitez vd. 2020) (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Bilateral simetriye sahip karabit böceğinin (*Ceroglossus chilensis*) farklı düzlemlerle temsili gösterimi (Benitez vd. 2020)

2.2.3 Eksenine göre simetri şekilleri

Klingenberg'e (2015) göre şekil asimetrisinin analizi için simetri ekseninin ayrımını yapmak gerekmektedir. Simetri eksenini veya düzlemi, iki kopya arasında bulunur ama her iki kopyanın da bir parçası sayılmamaktadır. Analizi yapılan şekilde simetri ekseninin bulunmasına göre eşleşen simetri ve nesne simetrisi olmak üzere 2 farklı durum söz konusudur (Şekil 2.12). Eşleşen simetri, bir yapının birbirinin ayna görüntüsü olan gövdenin her iki yanında birer tane olmak üzere iki ayrı kopya halinde bulunduğu simetri türüdür ve tüm olası simetri türleri için geçerlidir. Buna örnek olarak arının sağ ve sol kanatları veya insanın sağ ve sol elleri örnek verilebilir. Nesne simetrisinde ise nesne kendi içinde simetri gösterir. Yani simetri eksenini yapının içinden geçmektedir. Örneğin insanın yüzü simetriktir ve simetri ekseninin yere dik bir şekilde alnın ortasından çene ortasına kadar geçtiğini varsayarsak sağda ve solda kalan yarılar birbirinin ayna görüntüsüdür.



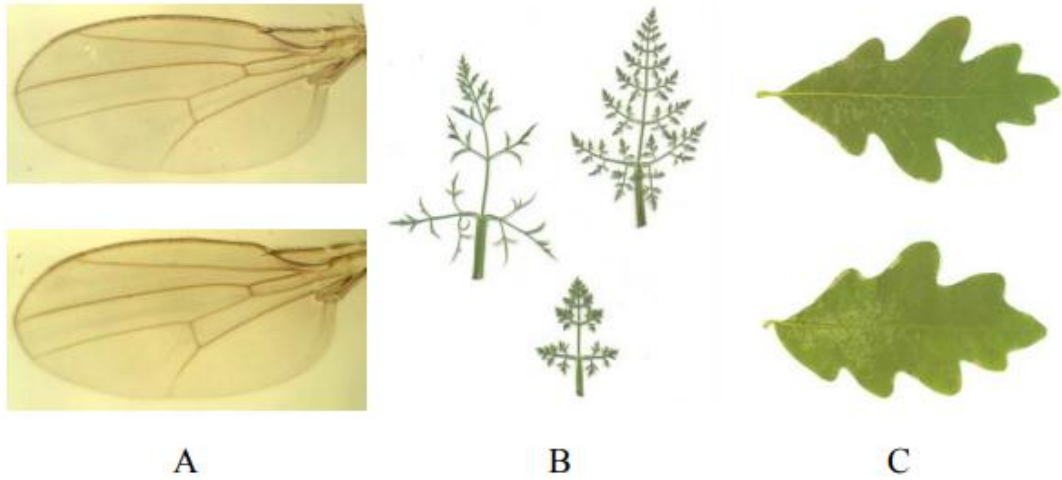
Şekil 2.12 Eşleşen simetri ve nesne simetrisi

- (a) Eşleşen simetri: Sineğin sağ ve solundaki iki farklı kanadı ve aralarından geçen simetri eksenini; (b) Nesne simetrisi: Yüzün içinden geçen simetri eksenini ve kendi içindeki simetrisini (Klingenberg 2015)

Simetri eksenine göre tespit edilen bu simetri türlerinin ayrımını kavramak asimetri analizlerinin yapılması için önemlidir. Sağ ve sol kopyalar eşleştirilirken eşleşme

dışında kalan farklılıklar asimetriyi göstermektedir. Şekil asimetrisi analizlerinin önemli bir yönü, dalgalanan asimetri ve bireysel varyasyon için kovaryans matrislerinin, kovaryasyon modellerindeki bilgilere erişmek için daha ileri analizlerde kullanılabilmesidir (Klingenberg 2015).

Nesnelerin bulundurduğu simetri tutarlı, kısmen tutarlı veya tutarsız olmasına rağmen asimetri çalışmaları her durumda bu nesnelere uygulanabilir (Şekil 2.13). Tutarlı nesnelerin asimetrisi GM ile ölçülür ve her ne kadar landmarkların konumu ve aralardaki mesafeleri artsa da sayıları aynıdır. Kısmen tutarlı simetriye sahip nesnelerde homolog landmark sayısı değişir. Tutarsız nesnelerde ise homolog landmark, tutarlı bir topoloji ve hatta bazen eşleşme noktaları bile bulunmaz ve asimetriyi ölçmek için genel bir yöntem bulunmaz (Graham vd. 2010).



Şekil 2.13 Bazı organizmalardaki simetri tutarlılık düzeyleri

(A) Tutarlı nesne: *Drosophila* kanatları, (B) Kısmen tutarlı nesne: Yabani havuç yapraklarının ikincil damarlanmaları (*Daucus carota*), (C) Tutarsız nesne: Ak meşe yaprağı (*Quercus alba*)

2.3 Dalgalanan Asimetri (DA)

Dalgalanan asimetri, bilateral vücut yapısına sahip organizmaların gelişim sürecinde simetrilerindeki küçük ve rastgele olan sapmaları ifade etmektedir (Ludwig 1932,

Klingenberg 2015). Bu bilateral simetrik organizmaların sağ ve sol tarafındaki bir özellik arasındaki mutlak bir fark sonucu tespit edilir (Bechshft vd. 2008).

Belirli koşullar altında eşit gelişime ulaşma yeteneğindeki simetriden sapmalarla, gelişimsel kararlılığın bir ls olarak öne çıkmıştır ve gelişimsel kararlılık prensibi, organizmanın gelişimi sırasındaki rahatsız olduğu koşullara karşı tamponlama yeteneğini yansıtmaktadır (Palmer 1996, Bechshft vd. 2008).

DA her yerde bulunabilir ve organizmaların kesin olarak belirlenmiş yollarda gelişmemelerinden kaynaklanmış bir asimetridir. Bu asimetri genellikle gelişimsel hataların etkilerini tahmin etmek için kullanılmaktadır ve bu hatalar bireyler arasında farklılık gösterirken, buna karşı oluşan dirençte de bireysel farklılıklar görülmektedir (Valen 1962).

DA'ya bağlı olarak yapılan tüm çalışmaların asıl amacı, organizmanın bilateral özelliğini oluşturan iki taraflı olarak eşleşen özelliklerin ideal durumunda olup olmadığını test etmektir ve organizmanın altında yatan gelişimsel stabiliteyi yansıttığından dolayı genetik kalitenin güvenilir bir göstergesi olduğu düşünülmektedir (Simmons vd. 1999). Bu genetik kalite, organizmaların doğadaki seçilimini de etkileyebilmektedir.

Organizmanın yaşadığı koşullar ile en iyi bağdaşan formu ideal formdur. İdeal formlar genellikle önceden bilinmez ve ortam koşullarına göre şekil alabilir. Bir organizmanın belirli koşullar altında ideal bir şekli üretme yeteneği ise o organizmanın gelişimsel kararlılığının göstergesidir. Bilateral simetriye sahip olan canlıların iki taraflı yapılarının sağlamış olduğu kusursuz simetri idealleri, bu ideallerden sapmaların karşılaştırılmasına olanak sağlar (Palmer 1994).

Morfolojik karakterlerdeki simetrik özelliklerin iki tarafı aynı genlerden ve çevresel koşullardan etkilenir (Debat vd. 2011). Yetersiz gelişim koşullarının neden olduğu DA

vücudun sağ ve sol taraflarından bağımsız olarak çeşitli vücut kısımlarını etkileyebilir (Silva vd. 2009, Szentgyörgyi vd. 2016).

DA'da odak nokta ortalama bir karakterin bir tarafta (örneğin sol taraf) diğerinden (örneğin sağ taraf) daha sık kendini göstermesidir. Bunun yanı sıra DA bireysel varyasyonu gösterirken, bireylerin olduğu grubun asimmetrik olduğunu istatistiksel veriler ortaya çıkarır ve böyle bir asimetri de kolektif (toplu) asimetri olarak adlandırılır (Ludwig 1932).

Zakharov (1992), dalgalanan asimetriyi belirli bir genotipin belirli ekolojik koşullar altında aynı hedef fenotipi tekrarlama yeteneği olarak belirtmiştir. Ya dalgalanan asimetri hiçbir değişiklik göstermez ya da çevresel veya ağırlıklı olarak genetik stres ile artar (Palmer ve Strobeck 2003). Simetriden sapmaların dayanağı kalıtsallık ise, bireyin asimetri derecesindeki varyasyonların hem genetik hem de genetik olmayan bir temeli olacaktır. Dahası kalıtsal bileşenler parçalara ayrılmadıkça sağ ve sol taraf farkının gelişimsel istikrarı tanımlamadığı düşünülmektedir (Palmer 1994). Bowyer vd. (2001) ise çevresel veya soy içi üreme gibi genetik streslere karşı daha iyi dayanıklı organizmaların belirli morfolojik yapılarının gelişimi sırasında daha az DA sergilediğini ve bunun sonucu olarak dalgalanan asimetrinin bireyler için fenotipik kalitenin bir ölçüsü olduğunu önermiştir.

İlişkisiz görünen vücut karakterlerinin boyutları arasında genellikle korelasyon mevcut olduğundan, farklı karakterlerin tamponlama kapasiteleri arasında bir korelasyon beklenebilmektedir (Valen 1962).

Çevrenin ve genetik faktörlerle derecesi büyüyen dalgalanan asimetri eş seçimiyle kalıtımda çok önemli bir rol oynamaktadır ve dalgalanan asimetrinin oluşmasının altında yatan sebepler araştırılmaya devam etmektedir (Nunes ve Souto 2021).

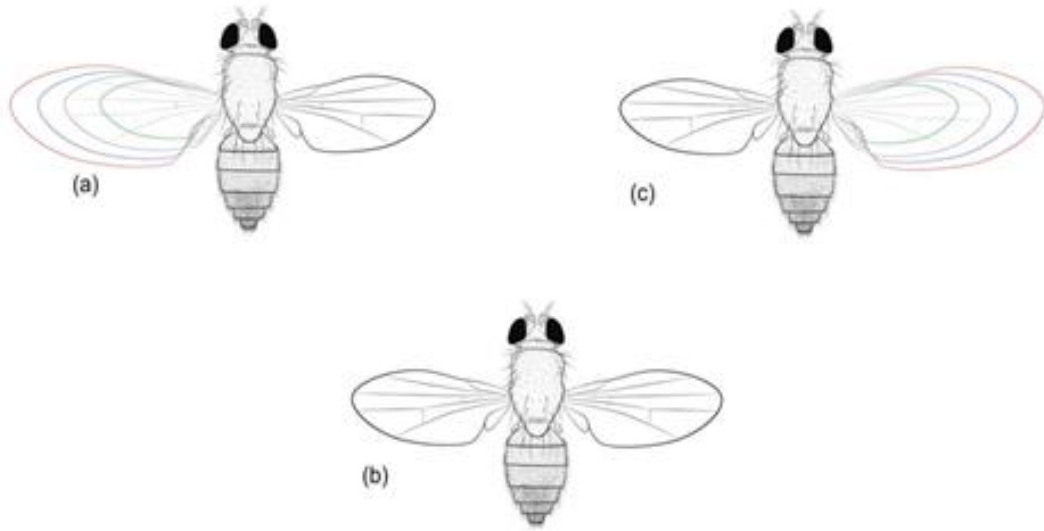
Bilateral simetri sergileyen canlılar genellikle vücutlarının iki tarafında benzer morfolojik yapıya sahiptir ve bu yapıların gelişimi genetik kontrol altında olduğundan,

aynı genomun ekspresyon ürünleri olarak her iki tarafta da morfolojik simetri sergilemeleri beklenir (Nunes vd. 2015).

Palmer ve Strobeck'e (1986) göre, bilateral simetriye sahip olan organizmalardaki her iki tarafında da bulunan yapılar, aralarındaki farklılıkların karşılaştırılabileceği mükemmel bir simetri sunar.

Dalgalandan asimetri rastgele ve yönsüz değışiklikleri sunar (Nunes vd. 2015) ama simetrinin sağ veya sol tarafa yönelimi de olabilir.

Nunes ve Souto (2021), *Drosophila* ile varsayımsal bir şema çizip sağ ve sol kanatlardaki boyutsal varyasyonu anlatmışlardır. Bu şemada anlatılana göre dalgalandan asimetride bir bireyin sağ tarafının sol tarafından daha büyük veya küçük ya da sol tarafının sağ tarafından daha büyük veya küçük olduğunu vurgulamıştır. Bu duruma göre de negatif asimetri ve pozitif asimetriyi açıklamışlardır (Şekil 2.14).



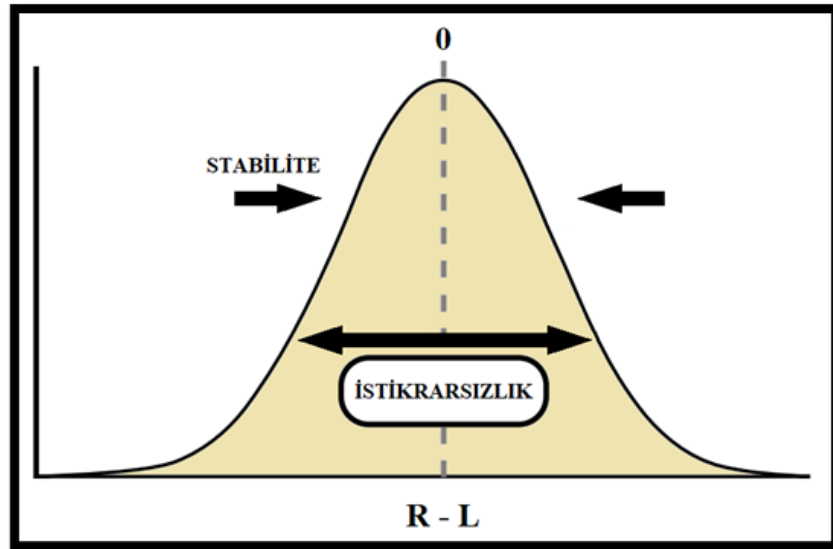
Şekil 2.14 *Drosophila* kanadında pozitif ve negatif asimetrinin gösterimi ve simetrik bir bireyin temsili

(a) Sağ kanattaki varyasyon, pozitif asimetri. (b) Simetrik birey. (c) Sol kanattaki varyasyon, negatif asimetri

Palmer (1994), dalgalanan asimetrinin varlığını kanıtlamak için 30 bireyin yeterli olduğunu belirtmiştir. Diğer dalgalanan asimetriye bağlı olarak yapılan çalışmalarda organizmaların sağ ve solunda bulunan morfolojik karakterlere ait uzunluklar ve açı ölçümleri kullanılmıştır. Bununla birlikte geometrik morfometri alanında şekil asimetrisini çalışmak için birçok yöntem geliştirilmiştir (Klingenberg 2015).

Sağ-sol frekans dağılımları simetrideki ince kırılmaları göstermenin en iyi yoludur. Bilateral vücut yapısına sahip olan organizmalarda kullanılan dalgalanan asimetriye, Palmer ve Strobeck (2003), sağ ve sol taraflar (Right-Left) arasındaki farkın varyasyonunun bir modeli olarak tanımlamış ve varyasyonun normal olarak ortalama sıfır civarında dağıtıldığını belirtmişlerdir. Bunu hesaplamak için baz alınan sağ ve soldaki morfolojik karakterlerin özellikleri sayısallaştırılır ve sayısallaştırılan verilerin ortalaması alınarak ‘‘R-L’’ farkı kullanılır.

Bilateral simetrik yapılarda dalgalı asimetrinin mutlak değeri, ortalaması sıfır olan normal bir dağılım ile karakterize edilir (Bowyer vd. 2001). Sonuç olarak çıkan değer ‘‘0 (sıfır)’’ a ne kadar yakınsa organizmanın ölçülen özelliği mükemmel simetriye yaklaşır. Dalgalanan asimetrinin frekans dağılımı Şekil 2.15’deki gibidir:



Şekil 2.15 Dalgalanan asimetrinin büyüklüğü, iki karşıt süreç olan gelişimsel stabilite ve gelişimsel istikrarsızlık arasındaki bir uzlaşmayı yansıtır (Palmer, 1994’ten değiştirilerek alınmıştır)

Analizlerdeki ciddi sıkıntıları önlemek adına ölçüm hatasını en aza indirmek esastır. Bu yüzden tekrarlı ve birbirinden bağımsız, farklı zamanlarda yapılan ölçümler, ölçüm hatasını düşürerek dalgalanan asimetrisinin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır (Bechshøft vd. 2008).

Bir organizmanın gelişimindeki durağanlık arttıkça simetrisi de ideale yaklaşmaktadır. Bu stabil durum düştükçe ideal durumdan uzaklaşmakta ve gelişimsel istikrarsızlık ortaya çıkmaktadır. Gelişimsel istikrarsızlığı temsil eden DA seviyesini değiştiren birçok biyolojik etmen bulunmaktadır. Bu etmenlerin daha iyi tanımlanması ve çalışmalarda genetik olarak daha yakın olan kolonilerin kullanılması dalgalanan asimetrisinin ölçülmesinde doğruluk payını önemli ölçüde arttırmaktadır (Nunes vd. 2015).

Klingenberg (2015), yapılan birçok çalışmada dalgalanan asimetriyi stresle, diğer olumsuz koşullara maruz kalmayla, akrabalık veya hibridizasyonla ve uygunluk ölçüleriyle ilişkilendirilmeye çalışıldığını belirtmiştir.

Önceki çalışmalar da gösteriyor ki bu etmenlerden en önemlileri çevresel kalite (sıcaklık, doğal ortam tahribatı gibi), heterozigotluk, uygunluk, soy içi çiftleşme, stres (antropojenik etki vb.) ve hibridizasyondur (göçmen arıcılık, ticari ana arı kullanımı, kontrolsüz çiftleşme) (Palmer 1994, Güler 2010, Nunes vd. 2015). Çevresel kalite, heterozigotluk ve uygunluk arttıkça DA frekansı azalır yani organizmanın mükemmel simetriye yaklaşmasını sağlar. Öte yandan soy içi çiftleşme, stres ve hibridizasyon arttıkça DA frekansı da artar. Bu da organizmanın mükemmel simetriden uzaklaştığını göstermektedir.

Nunes vd. (2015) daha önceden yapılmış bir çalışmada *A. mellifera*'nın insektisit uygulama alanlarındaki bireylerin tarsus uzunluğundaki DA indeksinin arttığını, farklı bir çalışmada ise Carabidae familyasına ait bir populasyonun şehirde bulunanlarının daha büyük dalgalanan asimetrisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum DA varlığının stresi yansıtan bir biyobelirteç olduğunu göstermiştir.

Kanat boyundaki asimetri sağ ve sol kanat ağırlıklarının farkının landmarkların merkezden ortalama sapması olan ağırlık merkezi boyutuna (centroid size) bölünüp 100 (sağ ve sol kanat arasındaki ağırlık merkezi boyutu farkının yüzdesi) ile çarpılmasıyla ölçülürken şekil asimetrisi (Procrustes DA skoru) ise sağ ve sol kanat şekli arasındaki Procrustes mesafesi ölçülür (Palmer ve Strobeck 2003, Szentgyörgy vd. 2017).

2.4 Geometrik Morfometri (GM)

“Morphe” ve “metron” kelimelerinden oluşan morfometri, terim itibariyle şeklin ölçümü anlamına gelmektedir (Mitteroecker ve Gunz 2009). Geometrik morfometri ise doğrusal, alansal veya hacimsel değişkenlerden bağımsız olarak landmarklarla elde edilen Kartezyen koordinatlarının verdiği tüm geometrik bilginin analizidir (Mitteroecker ve Gunz 2009, Klingenberg 2015, Rodriguez vd. 2017). Ayrıca analiz boyunca landmark konfigürasyonlarının geometrisini koruduğu ve istatistiksel sonuçların fiziksel şekiller veya formlar olarak temsil edilmesini sağladığı için geometrik morfometri adını almıştır (Mitteroecker ve Gunz 2009). Bu yaklaşımın temel ilerlemesi, yer işaretlerinin homolog simetrik yapıların şekil ve form farkı hakkında veri taşıma biçimindedir (Baranov 2014).

Çok çeşitli istatistiksel yaklaşımlara uygun olan Kartezyen koordinatlar yardımıyla nesnenin şekli, yorumlanması ve temsili kolaydır (Rodriguez vd. 2017) fakat GM yöntemlerinin hepsi cebirsel olduğundan hem rastgele değildir hem de sınırları vardır (Baranov 2014).

Geometrik morfometri yöntemiyle elde edilen koordinatlar iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) olabilir: 2D koordinatlar bilgisayar görüntüsü ölçülerek alınırken 3D koordinatlar ise yüzey taramaları veya hacimsel taramalarla elde edilebilir (Mitteroecker ve Gunz 2009).

Bir popülasyonun dalgalanan asimetrisini, sağ ve sol taraf arasındaki mutlak farkların ortalamasıyla tahmin etmek için morfometri yöntemleri kullanılarak ölçümler

alınabilmektedir (Nunes ve Souto 2021). Son yarım yüzyılda şekil asimetrisini ölçmeye yönelik çalışmalarda bir seçenek oluşturması açısından GM kullanılmaya başlanmıştır. Bu da morfometrik ölçümler esnasında oluşan hataların azalmasına ve daha doğru sonuçların alınmasına yardımcı olmuştur (Benitez vd. 2020).

GM'ye dayalı dalgalanan asimetrinin ölçülmesi sağ ve soldaki homolog organların nokta koordinatlarının değerlerindeki farklılıkların kullanılmasıdır (Baranov 2014).

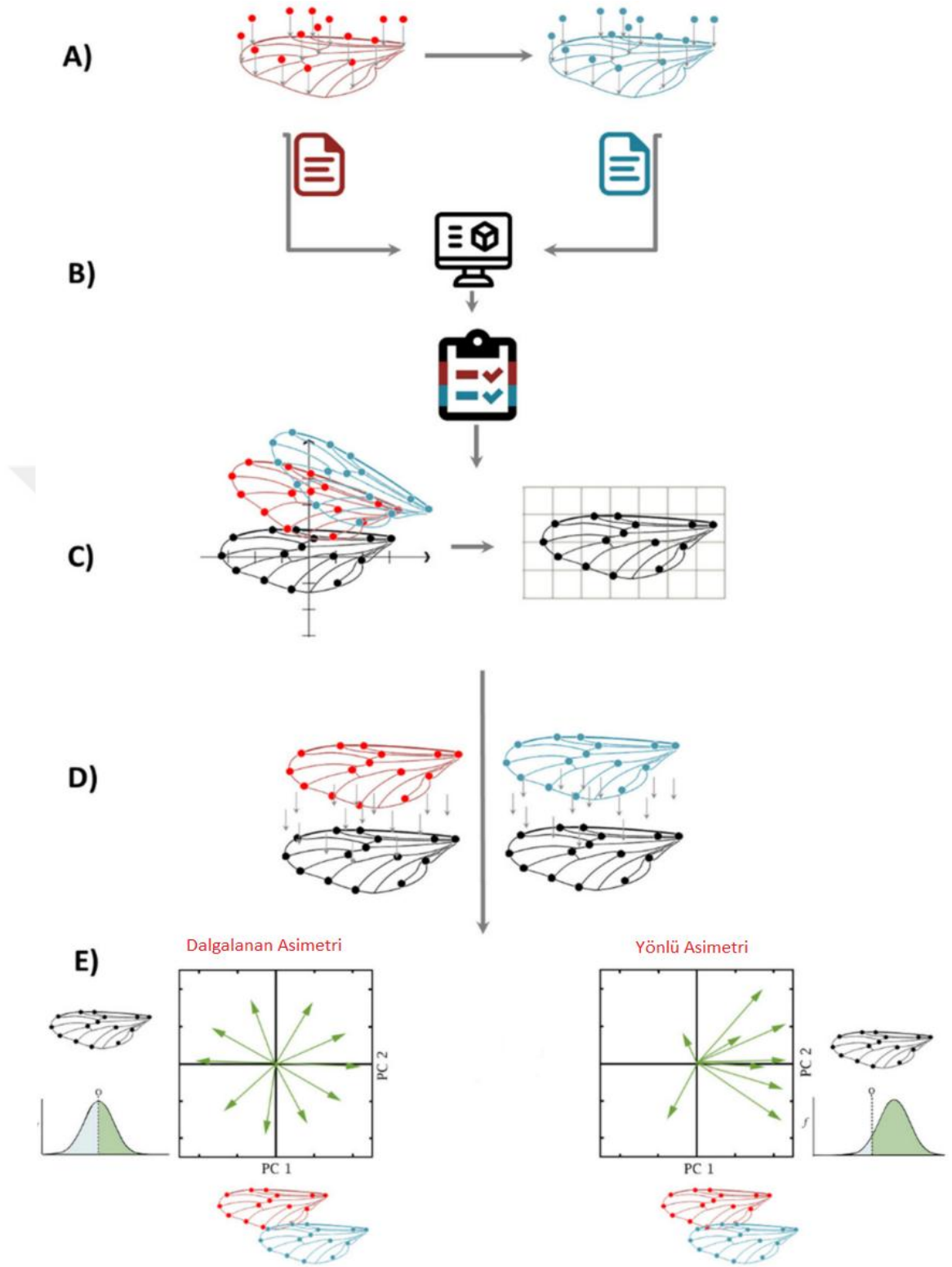
2.4.1 Geometrik morfometriyi kullanarak dalgalanan asimetrinin tespiti

Benitez vd. (2020) geometrik morfometriyi kullanarak dalgalanan asimetrinin tespitini MorphoJ programında anlatmışlardır.

Adım adım yapılan bu anlatıma göre A'dan E'ye doğru (Şekil 2.16):

- Bireylerin sağ ve sol taraflarının görüntüleri ayrı ayrı alınıp landmarklar yerleştirilmeli,
- Bu veriler birleştirilip Procrustes uyumuna tabi tutulmalı,
- Elde edilen veri kümesinde Procrustes ANOVA gerçekleştirilip birey-taraf etkileşimleri incelenmelidir.

Bu aşamalar eşleşen asimetri için kullanılır. Obje asimetrisi için yöntemler farklıdır.



Şekil 2.16 Dalgalandan asimetrisinin MorphoJ ile geometrik morfometri kullanılarak analizi (Benitez vd. (2020) den değiştirilerek alıntılanmıştır)

Nesnedeki potansiyel allometrik etkileri, gövdeyle desen arasındaki kovaryansın kontrol edilmesini ve çeşitli simetri türlerini tespit eden GM ile ilgili yapılan çalışmalarda kanat boyutunun ve şeklinin GM kullanılarak incelemiş ve *Drosophila melanogaster*'deki asimetrinin gerçek bir dalgalı asimetri olduğu ortaya koyulmuştur (Debat vd. 2011, Rodriguez vd. 2017).

A.m. carnica ve *A.m. jementica* kanatlarıyla yapılan bir çalışmada GM analizleri kullanılarak kanatlarda yüksek bir asimetrinin varlığı gösterilmiştir ve ayrıca söz konusu çalışmada tespit edilen asimetrinin nedenleri arasında sıcaklık, viral nedenler ve mevsimler etkilerin bulunabileceği tartışılmıştır (Abou-Shaara ve Al-Ghamdi 2012).

Nunes vd.'nin (2015) *Apis mellifera* ile yaptığı çalışmada kanatların hem boyut hem de şeklindeki fenotipik plastisiteyi GM'ye dayalı DA analiziyle tespit etmişler ve sonuç olarak antropojenik seviyenin yüksek olduğu kesimlerdeki kolonilerin daha çok dalgalanan asimetri gösterdiğini kanıtlamışlardır.

Bal arılarının GM'si gelişen bir teknik olmakla beraber arıların birçok durumunu tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bunlar; alt tür ayrımı, bölgesel sınıflandırma küme analizi, ırkların saflık testi, kolonilerdeki üretkenliğin ölçülmesi ve popülasyonun zaman içinde geçirdiği değişiklikleri izlemektir (Abou-Shaara 2013).

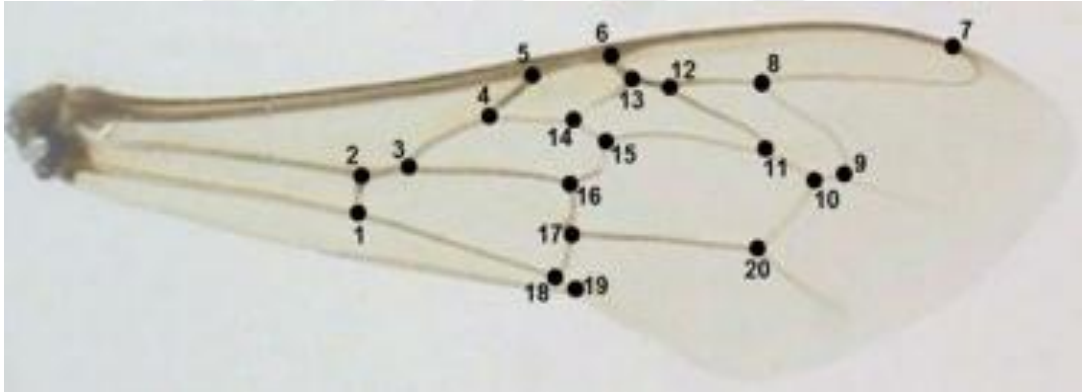
2.5 Landmark (Yer İşareti) Metodu

Landmark, numuneler arasında aynı biyolojik konumu temsil eden homolog noktalar ve bu homolog noktalar genellikle numunelerin uç noktaları, bükülme ve kesişme alanlarıdır (Klingenberg 2015, Rodriguez vd. 2017). Landmarklar bir yapıda belirsizlik olmaksızın iki boyutta veya üç boyuttaki noktaların Kartezyen koordinatlarını temsil eder (Savriama 2018). Biyometrik araştırmanın tüm ana öğeleri, şekil koordinatlarının çok değişkenli istatistiksel analizleri landmark verileri üzerinde gerçekleştirilir (Bookstein 1991). Geleneksel mesafe ölçümleri yerine landmark metodu kullanılarak bir organizmanın geometrik şekli, simetrisini ölçmek mümkündür (Graham vd. 2010).

Bookstein'a (1991) göre tüm biyolojik organların ve organizma formlarını analiz etmenin en etkili yolu, landmarkların geometrik konumlarını kaydetmektir. Farklı organizmalarda landmark lokasyonları değişmekte olup, balarılarının kanatlarında bu lokasyonlar ise kanatlardaki damarların kesiştiği noktalardır.

Bir çalışmadaki tüm örnekler arasında kesin olarak konumlandırılan landmarklar, morfolojik bir yapıdaki şeklin ana özelliklerin karakterizasyonunu sağlayabilir ve bu duruma bağlı olarak bir numunenin morfolojisini özetlemek için bir dizi iki boyutlu (2B, x,y koordinatındaki çift dizili sayılar) veya üç boyutlu (3B, x,y,z koordinatındaki üç dizili sayılar) koordinat verisi yeterlidir (Klingenberg 2015).

Bu tez çalışmasında Kandemir vd. (2011)'nin önerdiği 20 adetlik landmark düzeni kullanılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Bal arılarında ön kanadın 2D koordinatlarının elde edilmesi için kullanılan landmark lokasyonları (Kandemir vd. 2011)

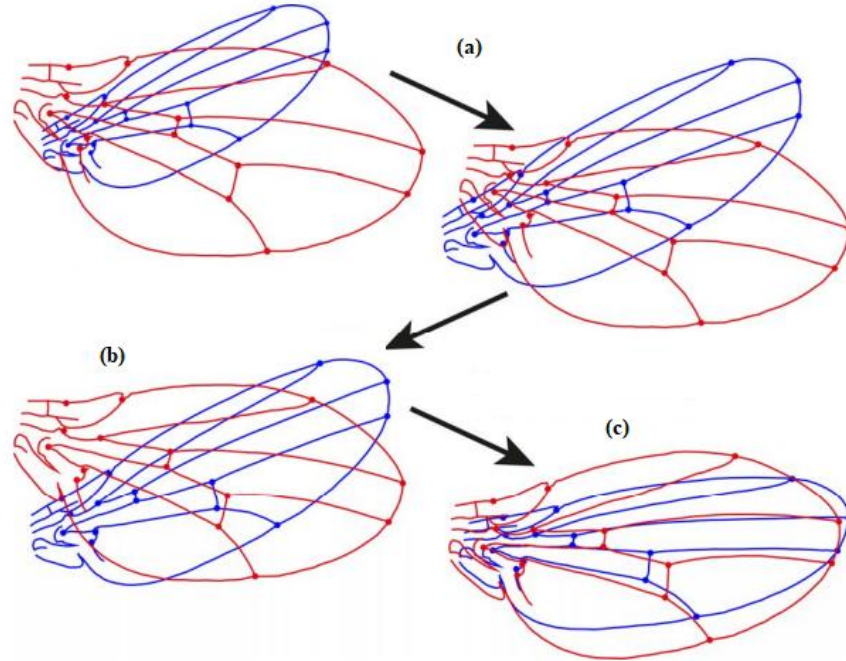
2.6 Procrustes Yöntemi

Analizi yapılacak nesnede landmarklar yerleştirilip sayısal veriler elde edildikten sonra bu landmarklar birçok farklı geometrik yaklaşımlarla işlenebilir. En yaygın landmark işleme ise Procrustes üst üste bindirme (superimposition) yöntemidir (Rodriguez vd. 2017). Bu yöntemin amaçları landmark koordinatlarını ağırlık merkezi boyutunda ölçeklendirip landmarklar arası mesafeyi en aza indirerek (Juhász vd. 2016) x,y

koordinatlarına göre yerleştirilmiş landmarkların eşleştirilmesiyle şekil verilerini çıkarmak (Benitez vd. 2020), hatta başka bir deyişle en uygun uyumu bulmak amacıyla boyut, konum ve yönelimdeki varyasyonları ortadan kaldırmaktır (Klingenberg 2015). Morfometride en yaygın yaklaşım olan Procrustes yöntemi dışında Öklid uzaklık matrisi analizi, eliptik Fourier analizi ve voksel tabanlı morfometri gibi etikete dayalı olmayan yaklaşımlar da bulunmaktadır (Mitteroecker ve Gunz 2009).

2.6.1 Asimetri çalışmalarında procrustes yönteminin aşamaları

Asimetri çalışmalarında Procrustes yönteminin birkaç aşaması bulunur. Önce her iki konfigürasyon da aynı boyuta ölçeklendirilir (Şekil 2.18.a), sonra ağırlık merkezleri aynı konuma aktarılır (Şekil 2.18.b) ve son olarak da birbirlerine karşılık gelen landmarkların arasında bulunan mesafelerin karelerinin minimum toplamını sağlayan oryantasyona döndürülür (Şekil 2.18.c). Daha sonra da birbirine karşılık gelen landmark çiftleri arasındaki sapmalar asimetri olarak ölçülür (Klingenberg ve McIntyre 1998, Klingenberg 2015).



Şekil 2.18 Procrustes yönteminin aşamaları (Klingenberg 2015)

Geometrik yöntemlerle çok değişkenli istatistik arasındaki bağlantının merkezinde yer alan Procrustes tekniği, büyük ölçülerdeki örneklemelerin analizine uygundur (Klingenberg ve McIntyre 1998).

Sağ kanat ve sol kanat arasındaki mesafeye Procrustes DA skoru denir (Szentgyörgy vd. 2017). Optimal olarak hizalanmış iki konfigürasyonun karşılık gelen landmarklar arasındaki mesafelerin karelerinin toplamının karekökü ise şekil analizi teorisinde merkezi bir rol oynayan Procrustes mesafesini verir ve bu da şekil değişim analizi için yöntemleri birbirine bağlayan bir metrik sistemdir (Klingenberg ve McIntyre 1998).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Örneklerin Toplanması ve Preparasyonu

Bu çalışmada kullanılması için arılıklardaki her kovandan 10 birey olmak üzere, Ankara'nın Kazan (Şekil 3.1) ilçesinden her 50 kovandan 500 birey (*Apis mellifera anatoliaca*), Artvin'in Camili bölgesinden (Şekil 3.2, 3.3, 3.4) 52 kovandan 520 birey (*Apis mellifera caucasica*), Hatila bölgesinden 47 kovandan 470 birey (*Apis mellifera caucasica*) ve Ardahan'ın Posof ilçesinden 20 kovandan 200 birey (*Apis mellifera caucasica*) olmak üzere toplamda 1690 adet birey toplanmıştır (Çizelge 3.1).



Şekil 3.1 Ankara-Kazan arılıklarının görseli (Fotoğraf: Prof. Dr. İrfan Kandemir)



Şekil 3.2 Artvin, Camili/İremi arılıklarının görseli (Fotoğraf: Prof. Dr. İrfan Kandemir)



Şekil 3.3 Artvin, Camili/Okul önu arılıklarının görseli (Fotoğraf: Prof. Dr. İrfan Kandemir)



Şekil 3.4 Artvin, Camili/Tevtiyet arılıklarının görseli (Fotoğraf: Prof. Dr. İrfan Kandemir)

Çizelge 3.1 Bu çalışmada kullanılan örneklerin ait olduğu bölge, şehir, lokasyon, alttür ve kovan bilgileri

Bölge	Şehir	Lokasyon	Alttür	Kovan	Birey
İç Anadolu Bölgesi	Ankara	Kazan	<i>A.m. anatoliaca</i>	50	500
Doğu Karadeniz Bölgesi	Artvin	Hatila	<i>A.m. caucasica</i>	47	470
Doğu Karadeniz Bölgesi	Artvin	Okul Önü-Camili	<i>A.m. caucasica</i>	29	290
Doğu Karadeniz Bölgesi	Artvin	İremi-Camili	<i>A.m. caucasica</i>	6	60
Doğu Karadeniz Bölgesi	Artvin	Tevtiyet 1-Camili	<i>A.m. caucasica</i>	17	170
Doğu Karadeniz Bölgesi	Ardahan	Posof	<i>A.m. caucasica</i>	20	200
Toplam				169	1690

Arılıklardan alınan bireyler laboratuvara getirilmek üzere %70lik etil alkol içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Bireylerin kovanlardan alınıp %70’lik etil alkol bulunduran tüp içerisinde muhafaza edilmesi (Fotoğraf: Prof. Dr. İrfan Kandemir)

Laboratuvara gelen örneklerin her iki yanındaki ön-arka kanatları ve toplayıcı bacakları bir pens yardımıyla torakstan ayrılmıştır. Aynı kovanlardaki bireylerin kanatları ve bacakları iki ayrı preparatta olmak koşuluyla 2 adet mikroskop lamı arasına sabitlenmiştir (Şekil 3.6). Bacakların lamlara sabitlenmesinde entellan kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Balarısına ait kanatların ve toplayıcı bacakların preparat örnekleri

3.2 Preparatların Dijital Ortama Aktarılması

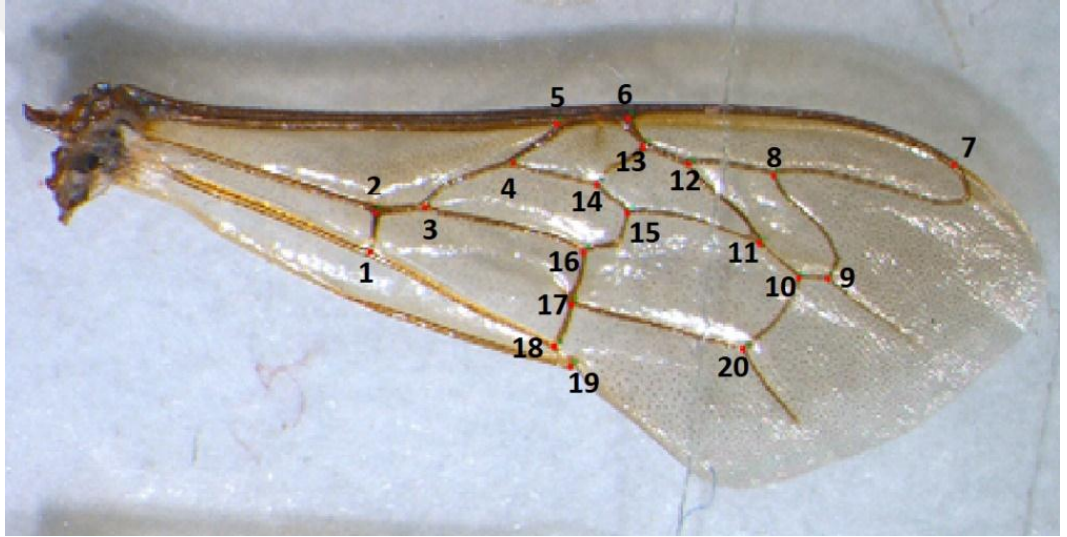
Preparasyon işleminin ardından lamaların ön-arka kanat ve kanatlardaki damarlanmalar görünecek şekilde fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraf çekimi LEICA MZ16 stereomikroskopta 3.2X büyütmesi kullanılarak görüntünün bilgisayar ortamına aktarılmasıyla tamamlanmıştır (Şekil 3.7). Her fotoğrafa daha sonraki aşamalarda kullanılan kalibrasyon işlemi için 2 mm'lik ölçek çubuğu yerleştirilmiştir.



Şekil 3.7 Görüntünün dijital ortama aktarılması (Koca (2012)'dan alıntılanmıştır)

3.3 Landmarkların Yerleştirilmesi

İki boyutlu koordinatların eldesi için landmarklar tpsUtil v.1.78 ve tpsDig2 v. 2.31 ile sayısallatırılmıştır (Rohlf 2017, 2019). Öncelikle tpsUtil ile kullanılacak kanat görselleri için bir notepad dosyası oluşturulmuş. Daha sonra tpsDig2 ile bu notepad dosyası açılarak sırasıyla landmarklar görsellere yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Toplamda 20 adet landmark yerleştirilmiş olup elde edilen koordinat verileri iki boyutlu olan x,y koordinat düzlemi 2D üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 3.8 Çalışmadaki bir bireyin kanadında landmarklar

Bee2 v.1.11, bal arılarının morfometrik karakterlerinin video kamera ile ölçülmesini destekleyen programdır. Bu programla elde edilen verilerin formatı Oberursel'deki Arıcılık Enstitüsü'nün morfometrik veri bankasında kullanılan formata karşılık gelmekte aynı zamanda veriler istatistiksel paket programlar (SPSS vb.) tarafından kullanılabilme ve Excel vb. elektronik tablo programlarına aktarılabilir (Ruttner 1988, Meixner ve Meixner 2004).

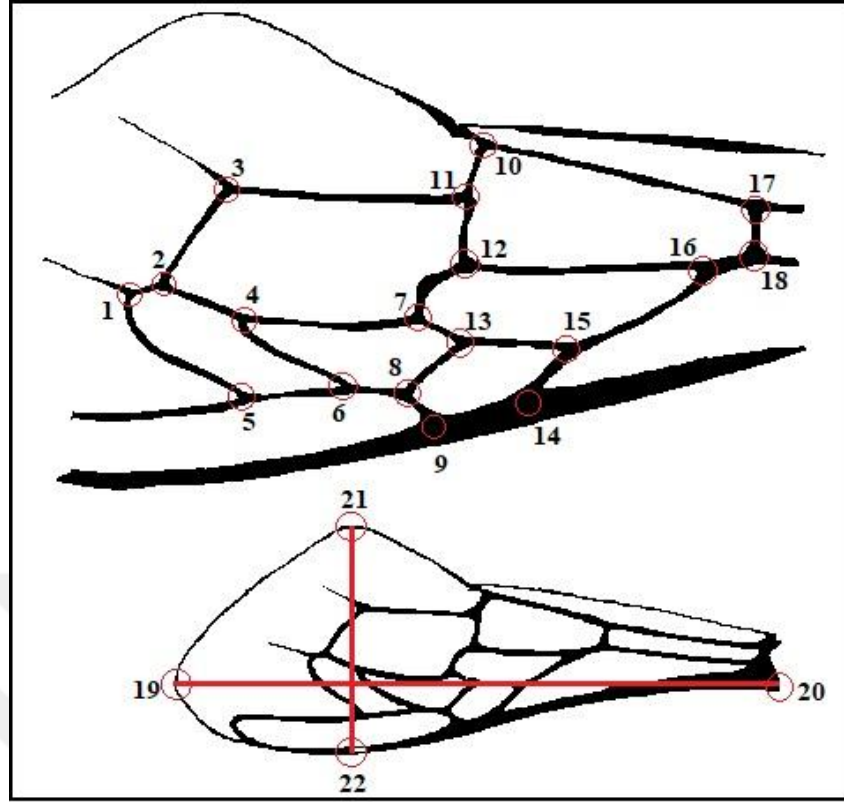
Landmarkları yerleştirmeden önce kanat ve bacak görsellerinin dijitale aktarılması sırasında her görsele eklenen 2 mm’lik kalibrasyon skalasıyla Bee2’deki kalibrasyon sekmesinde görseller 2 mm’ye kalibre edilmiştir. Her kanata 18 tanesi açđ ölçümü için, 2 tanesi uzunluk, 2 tanesi ise genişlik hesaplanması için toplamda 22 adet landmark yerleştirilmiştir (şekil 3.9).

Her bacağına ise 2 tanesi femur, 2 tanesi tibia, 2 tanesi tarsus uzunluğu için ve 2 tanesi ise tarsus genişliğu için toplamda 8 adet nokta yerleştirilmiştir (şekil 3.11).

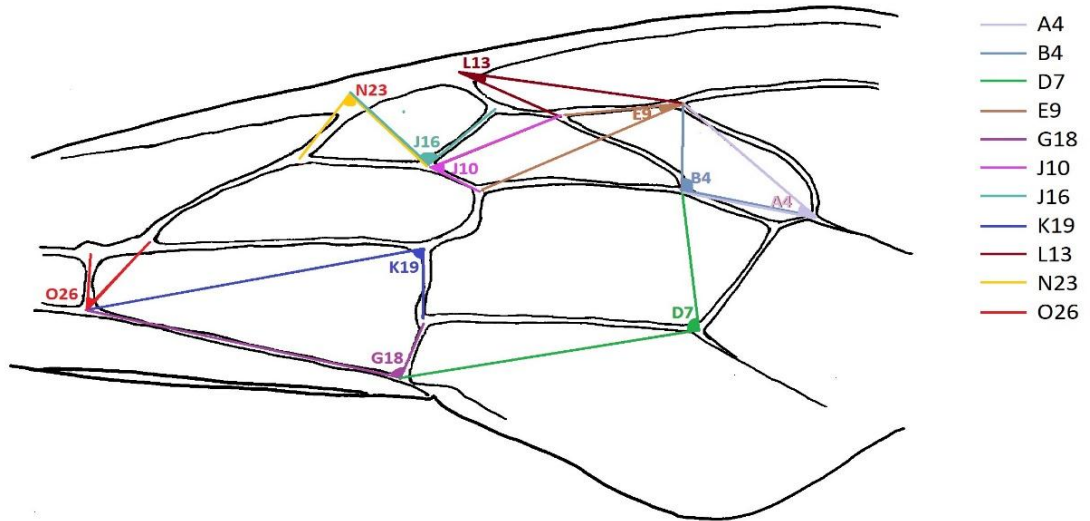
Yer işaretlelerini işaretle etmek zaman alıcı bir işlem olup genellikle hatalarla ilişkilendirilir çünkü bir yer işaretlelerinin tam konumu, özellikle damarlar geniş olduğuunda belirsizdir (Kekeçoğu vd. 2007). Bu yüzden landmarkların yerleştirilme işlemi hata payını en aza indirmek için 3 defa tekrarlanmıştır.

Bal arıyla yapılan birçok çalışmada en çok kullanılan karakterler ön kanat uzunluğu, kanat açıları ve kübital indekstir (Kandemir vd. 2000, Kekeçoğu vd. 2007). Kübital indeks, ön kanatların ‘A’ ve ‘B’ damar uzunluklarının birbirine oranıyla hesaplanır ve kalıtım derecesinin yüksek olması nedeniyle ıslah çalışmaları ve hibridizasyonun saptanması için güvenle kullanılmaktadır (Karacaoğu ve Fıratlı 1994).

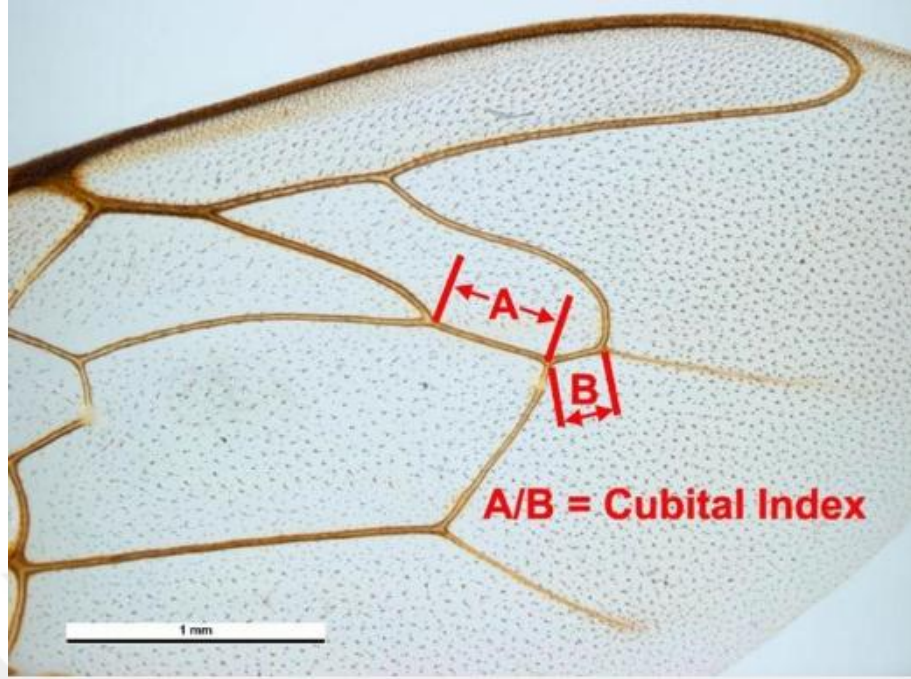
Bu çalışmada Bee2 programının yardımıyla bal arısı ön kanadının uzunluğu, genişliğu ve bunların birbirine yüzdellik oranı, kanattaki damarlanmalarda A4, B4, D7, E9, G18, J10, J16, K19, L13, N23, O26 olarak adlandırılmış 11 adet açđ genişliğu (şekil 3.10) ve kübital indeksi hesaplanmıştır (şekil 3.12).



Şekil 3.9 Bee2 programında kanat kesişimlerindeki ve uzunluk-genişlik tespitinde kullanılan landmarkların yeri (Ruttner 1988).



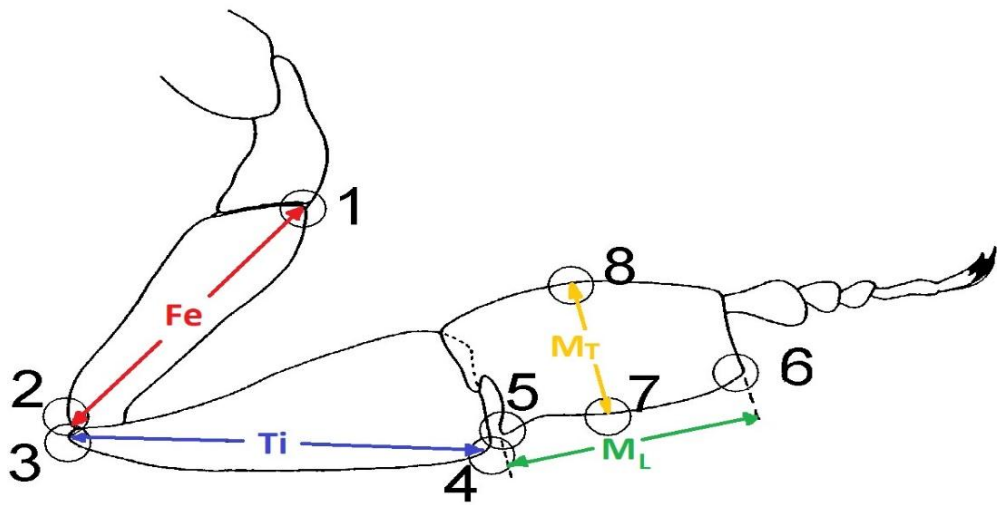
Şekil 3.10 Ön kanattaki Bee2 yardımıyla elde edilen 11 tane açının yerleri (Ruttner'dan (1988) değiştirilerek alıntılanmıştır)



Şekil 3.11 Kübital indeksin ölçümü (Anonymous 2022a)

3.4 Arka Toplayıcı Bacak Karakterlerinde Uzunluk ve Genişliğin Sayısallaştırılması

Arka toplayıcı bacaklarda 8 adet nokta kullanarak tarsusun genişliği, femur, tibia ve metatarsusun uzunluğunun nicel verileri elde edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.12 Metatarsus genişliği (M_T) ve femur (Fe), tibia (Ti) ve metatarsus (M_L) uzunlukları (Ruttner'dan (1988) değiştirilerek alıntılanmıştır)

3.5 PAST Programının Kullanımı

Benitez vd. (2020)'nin önerdiği geometrik morfometriyi kullanarak dalgalanan asimetrinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesini önermiştir.

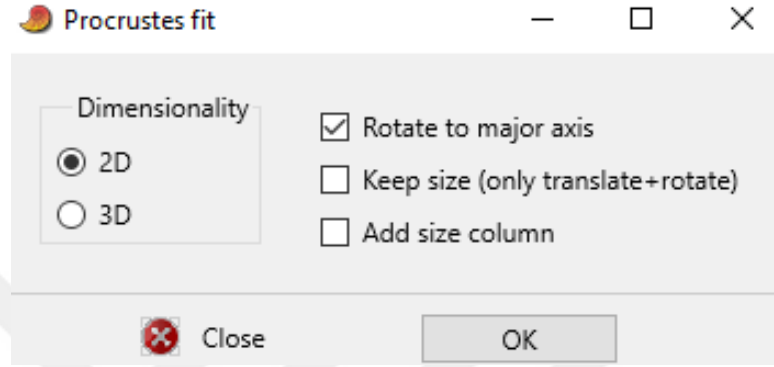
Bu tez çalışmasında da bu aşama için PAST programı kullanılmıştır. Daha önceden TPSDig2 ile landmark yerleştirilen ve x,y düzleminde koordinat verileri elde edilen arı örneklerinin tüm verileri PAST programındaki veri hücrelerine yerleştirilir ve daha sonra bu verilerin hepsi seçilip “Transform → Landmarks → Procrustes (2D+3D)” sekmeleri takip edilir (Şekil 3.13).

Bu işlemin amacı tüm x,y koordinatlarını Procrustes uyumuna göre üst üste bindirmektir.

File Edit Transform Plot Univariate Multivariate Model Diversity Timeseries Geometry Stratigraphy Script Help															
Show	☐ Row at	☐ Column	Edit										View		
			Log Subtract mean Remove trend Convert to ranks Row percentage Row normalize length Box-Cox Compositional data transforms Remove size from distances Landmarks Regular interpolation Evaluate expression										Cut Paste Copy Select all ☐ Bands Recover windows ☐ Binary Decimals: - ▼		
			Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7	X8	Y8
0			1473,0000	1312,0000	1491,0000	1521,0000	1605,0000	1640,0000	1701,0000	1807,0000	1730,0000	2609,0000	1696,0000	2162,0000	1637,0000
1			1442,0000	1211,0000	1460,0000	1424,0000	1571,0000	1528,0000	1658,0000	1695,0000	1686,0000	2490,0000	1666,0000	2049,0000	1595,0000
2			1424,0000	1274,0000	1439,0000	1488,0000	1549,0000	1579,0000	1635,0000	1771,0000	1666,0000	2570,0000	1621,0000	2135,0000	1566,0000
3			1447,0000	1254,0000	1467,0000	1464,0000	1583,0000	1556,0000	1670,0000	1742,0000	1710,0000	2519,0000	1713,0000	2109,0000	1622,0000
4			1550,0000	1235,0000	1569,0000	1431,0000	1669,0000	1533,0000	1763,0000	1705,0000	1793,0000	2504,0000	1761,0000	2093,0000	1691,0000
5						1454,0000	1661,0000	1554,0000	1753,0000	1721,0000	1787,0000	2540,0000	1765,0000	2082,0000	1704,0000
6						1503,0000	1594,0000	1598,0000	1682,0000	1758,0000	1714,0000	2571,0000	1709,0000	2132,0000	1626,0000
7						1515,0000	1511,0000	1622,0000	1592,0000	1793,0000	1607,0000	2608,0000	1526,0000	2157,0000	1486,0000
8						1513,0000	1681,0000	1624,0000	1769,0000	1785,0000	1790,0000	2607,0000	1752,0000	2161,0000	1688,0000
9			1210,0000	1424,0000	1240,0000	1501,0000	1332,0000	1519,0000	1673,0000	1727,0000	1842,0000	1753,0000	2646,0000	1708,0000	1647,0000
10			1159,0000	1416,0000	1189,0000	1491,0000	1284,0000	1508,0000	1624,0000	1719,0000	1797,0000	1744,0000	2591,0000	1711,0000	1647,0000
11			1145,0000	1435,0000	1187,0000	1501,0000	1285,0000	1511,0000	1608,0000	1670,0000	1778,0000	1702,0000	2556,0000	1657,0000	1605,0000
12			1217,0000	1391,0000	1241,0000	1463,0000	1348,0000	1479,0000	1590,0000	1665,0000	1843,0000	1709,0000	2654,0000	1699,0000	1626,0000
13			1189,0000	1406,0000	1211,0000	1482,0000	1324,0000	1501,0000	1613,0000	1642,0000	1810,0000	1742,0000	2614,0000	1732,0000	1654,0000
14			1138,0000	1441,0000	1157,0000	1515,0000	1263,0000	1536,0000	1643,0000	1569,0000	1729,0000	1757,0000	2531,0000	1735,0000	1665,0000
15			1085,0000	1465,0000	1113,0000	1541,0000	1206,0000	1555,0000	1665,0000	1543,0000	1712,0000	1771,0000	2513,0000	1711,0000	1667,0000
16			1140,0000	1358,0000	1158,0000	1435,0000	1244,0000	1453,0000	1566,0000	1560,0000	1733,0000	1685,0000	2582,0000	1641,0000	1592,0000
17			1147,0000	1474,0000	1174,0000	1550,0000	1257,0000	1568,0000	1682,0000	1593,0000	1774,0000	1801,0000	2582,0000	1757,0000	1712,0000
18			1217,0000	1484,0000	1242,0000	1555,0000	1329,0000	1570,0000	1658,0000	1765,0000	1831,0000	1787,0000	2638,0000	1731,0000	1682,0000
19			1013,0000	1432,0000	1045,0000	1505,0000	1123,0000	1520,0000	1635,0000	1465,0000	1727,0000	1754,0000	2435,0000	1748,0000	1669,0000
20			1298,0000	1328,0000	1328,0000	1408,0000	1431,0000	1423,0000	1654,0000	1760,0000	1632,0000	1921,0000	2726,0000	1620,0000	1565,0000
21			1151,0000	1345,0000	1174,0000	1421,0000	1283,0000	1441,0000	1553,0000	1599,0000	1651,0000	1769,0000	2568,0000	1672,0000	1590,0000
22			1127,0000	1305,0000	1157,0000	1374,0000	1245,0000	1388,0000	1462,0000	1566,0000	1575,0000	1727,0000	2513,0000	1541,0000	1487,0000
23			1135,0000	1373,0000	1163,0000	1450,0000	1261,0000	1466,0000	1577,0000	1585,0000	1673,0000	1749,0000	2528,0000	1706,0000	1611,0000
24			1181,0000	1374,0000	1195,0000	1453,0000	1298,0000	1472,0000	1528,0000	1630,0000	1691,0000	1804,0000	2619,0000	1711,0000	1638,0000
25			1112,0000	1577,0000	1145,0000	1653,0000	1248,0000	1674,0000	1464,0000	1567,0000	1880,0000	1735,0000	2541,0000	1875,0000	1806,0000
26			1101,0000	1408,0000	1127,0000	1484,0000	1226,0000	1495,0000	1460,0000	1598,0000	1684,0000	1746,0000	2531,0000	1665,0000	1600,0000
27			1108,0000	1434,0000	1124,0000	1505,0000	1223,0000	1518,0000	1451,0000	1628,0000	1714,0000	1720,0000	2498,0000	1695,0000	1641,0000
28			1104,0000	1460,0000	1120,0000	1552,0000	1216,0000	1567,0000	1476,0000	1571,0000	1750,0000	1720,0000	2530,0000	1726,0000	1627,0000

Şekil 3.13 PAST programında Procrustes uyumu aşamaları

Bu aşamadan sonra program Şekil 3.14'te görülen kutucuğu açmaktadır. Çalışılan boyutun (2D veya 3D), materyalin ana ekseninin belirlenmesi için sunulan bu kutucukta tez çalışmasına uygun olarak 2D boyut ve sadece ana eksene göre düzenleme seçenekleri seçilmiştir.



Şekil 3.14 Procrustes uyumu aşaması

Procrustes uyum aşamalarından sonra hücreler içerisindeki veri kümesi ana eksene göre yeni değerler almaktadır.

Daha sonra bu verilerin hepsi tekrardan seçilip ‘‘Geometry → Landmark (2D) → PCA (relative warps)’’ sıralamasıyla x,y eksenine göre PC1 ve PC2 elde edilmiştir (Şekil 3.15).

File Edit Transform Plot Univariate Multivariate Model Diversity Timeseries

Show

Click mode

☐ Row attributes

☐ Column attributes

☒ Select

☐ Drag rows/columns

Edit

Cut

Copy

Paste

Select

Geometry Stratigraphy Script Help

Directional analysis

Point pattern analysis (2D)

Points with z values (2D-z)

Landmarks (2D)

Landmarks (3D)

Elliptic Fourier (2D outlines)

Handge Fourier (2D outlines)

Map coordinate transformation

Open Street Maps

PCA (relative warps)

Thin-plate splines

Linear regression, 1 indep.

Common Allometric Component

Edit landmark lines/polygons

	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X7	Y7	X8	Y8
500	-0.3562304	-0.0261501	-0.3395306	0.0198936	-0.2884142	0.02037302	0.4615234	0.06759929	0.2037302	0.05958455
501	-0.3618124	-0.018106	-0.341933	0.02245535	-0.2855828	0.1997801	0.4541488	0.0765026	0.1997801	0.05897564
502	-0.3503173	-0.02098449	-0.3397339	0.01714807	-0.2888258	0.2083538	0.4591204	0.06586856	0.2083538	0.0545034
503	-0.3565985	-0.01940534	-0.3431712	0.02292002	-0.2892878	0.2092644	0.4495309	0.07733517	0.2092644	0.05483317
504	-0.3584554	-0.019173	-0.340828	0.02154201	-0.2784016	0.2125176	0.4482071	0.0778452	0.2125176	0.05705451
505	-0.3571077	-0.02205959	-0.3419839	0.02177421	-0.2884594	0.1978976	0.4598459	0.06158785	0.1978976	0.05908403
506	-0.3657081	-0.01627581	-0.3428717	0.02373747	-0.2855111	0.2035507	0.4553368	0.0746018	0.2035507	0.05656113
507	-0.3639191	-0.01887818	-0.3458555	0.02176669	-0.2905058	0.2052773	0.4599766	0.06830985	0.2052773	0.05296561
508	-0.368254	-0.01658093	-0.3440839	0.02176338	-0.2895548	0.2039815	0.4542039	0.07089002	0.2039815	0.05440754
509	-0.3612718	-0.02463521	-0.3411031	0.01738152	-0.2885951	0.2016405	0.4584393	0.07357061	0.2016405	0.05862595
510	-0.3631284	-0.02205441	-0.3424682	0.01840777	-0.2883868	0.2110667	0.4540698	0.06950366	0.2110667	0.0556757
511	-0.3721305	-0.0134371	-0.3457133	0.02387252	-0.2882269	0.2082551	0.4578076	0.07543373	0.2082551	0.05734285
512	-0.3647164	-0.01486596	-0.3469589	0.02401578	-0.2860808	0.207683	0.4584548	0.071435	0.207683	0.05694278
513	-0.3616742	-0.01901887	-0.3447537	0.0219108	-0.2807134	0.2127546	0.4512353	0.07460494	0.2127546	0.05707215
514	-0.3611881	-0.02193878	-0.3463091	0.01983413	-0.2839333	0.2049273	0.4594735	0.07464692	0.2049273	0.05703894
515	-0.3637596	-0.02350855	-0.3450919	0.01887941	-0.2915165	0.2078612	0.4599797	0.06642205	0.2078612	0.05682617
516	-0.3512636	-0.02510212	-0.337024	0.01766861	-0.287264	0.2042209	0.4821015	0.0602368	0.2042209	0.05775133
517	-0.3590012	-0.02482413	-0.339748	0.01694339	-0.2916842	0.2012945	0.4705268	0.06187564	0.2012945	0.06056212
518	-0.3551448	-0.02241415	-0.3384702	0.01745646	-0.288128	0.202577	0.4671775	0.07204414	0.202577	0.05917023
519	-0.3506557	-0.01573575	-0.3364491	0.02312012	-0.2920074	0.2120922	0.4540804	0.07615787	0.2120922	0.05731632
520	-0.3627506	-0.02407007	-0.3419142	0.01978579	-0.2828695	0.2030033	0.4598922	0.07256346	0.2030033	0.06302406
521	-0.3601871	-0.02046098	-0.3430664	0.02074731	-0.2809951	0.1987419	0.450494	0.08296859	0.1987419	0.06188968
522	-0.3591857	-0.02032073	-0.3395252	0.01899535	-0.2877481	0.2182388	0.4567881	0.07400444	0.2182388	0.05520143
523	-0.3650892	-0.01631102	-0.344958	0.02538403	-0.2880532	0.157068	0.4424797	0.08330622	0.157068	0.05448066
524	-0.3607157	-0.02098668	-0.3478761	0.0214607	-0.2901023	0.2048367	0.4505558	0.07014318	0.2048367	0.05872352
525	-0.3666534	-0.02123047	-0.3441186	0.01981479	-0.2850626	0.2125178	0.4530237	0.07190856	0.2125178	0.05504467
526	-0.3668546	-0.01839684	-0.3495722	0.02367094	-0.2932455	0.20586038	0.4500935	0.07815871	0.20586038	0.05586038
527	-0.3605411	-0.01928718	-0.3482833	0.02118797	-0.2903616	0.1998906	0.4560025	0.07553465	0.1998906	0.060054
528	-0.3660293	-0.03131029	-0.3420403	0.0100564	-0.2962415	0.2027600	0.4420654	0.0772023	0.2027600	0.060024

Şekil 3.15 PC1 ve PC2'nin elde edilmesi aşamaları

Asimetri alışmaları için Palmer ve Strobeck'in (1986) nerdiği iki yönlü varyans analizi (two-way ANOVA) kullanılmıştır ve ANOVA veri olarak Procrustes hizalı konfigürasyon koordinatlarını kullanır (Klingenberg ve McIntyre 1998).

Dalgalandan asimetri için iki yönlü ANOVA'yı gerçekleştirmek için tanjant uzayda görüntülenen homolog bilateral simetrik noktaların x,y koordinatlarının değerleri dikkate alınır (Baranov 2014). Bu tez çalışmasında da PAST programı yardımıyla iki yönlü ANOVA kullanılmış ve sonuçlar paylaşılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada kullanılan bireylerin Bee2 programıyla elde edilen tergit (2-3-4) pigmentasyonları ve sağ-sol (R-L) kanatların ortalama kübital indeks, ortalama kanat uzunluk, ortalama kanat genişlik değerleri, ortalama femur, tibia ve tarsus uzunluğu ve ortalama tarsus genişlik değerleri ve ön kanattaki damarlanma açılarının ortalama değerleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

4.1 Tergit renklemeleri, Kanat Kübital İndeks, Uzunluk ve Genişlik Ortalamaları

Bu tezde kullanılan tergit renklemeleri, kanat kübital indeks, uzunluk ve genişlik ortalamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tergit renklenme ortalamaları, kanat kübital indeksler ortalaması, kanat uzunluk ve genişlik ortalamaları

Lokasyon	Ort. T2 Rengi	Ort. T3 Rengi	Ort. T4 Rengi	Ort. Kanat Küb.İndeks		Ortalama Kanat Uzunluğu		Ortalama Kanat Genişliği	
				R	L	R	L	R	L
Kazan	8.270	7.086	5.498	2.139	2.153	894.206	899.326	308.092	308.057
Posof	2.102	3.620	1.157	2.136	2.095	910.052	924.092	317.322	320.022
Hatila	2.853	3.073	1.664	1.948	1.952	921.977	926.269	315.045	320.255
İremi	3.250	3.850	1.233	1.970	1.958	930.070	929.450	317.461	319.320
Okul önu	3.138	3.783	1.124	1.947	1.966	925.863	925.463	316.479	317.946
Tevtiyet	2.818	3.712	1.112	1.984	2.009	908.986	914.398	315.444	316.704

4.2 Toplayıcı Bacaktaki Karakterlerin Uzunluk ve Genişlik ve Hamuli Sayısı Ortalamaları

Tezde kullanılan hamuli sayısı, toplayıcı bacaktaki karakterlerin uzunluk ve genişlik ortalamaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Ortalama femur, tibia ve tarsus uzunluğu ve ortalama tarsus genişliği ve hamuli değerleri

Lok.	Ort. Tarsus Genişliği		Ort. Tarsus Uzunluğu		Ort. Femur Uzunluğu		Ort. Tibia Uzunluğu		Hamuli Sayısı	
	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
Kazan	115.576	115.663	197.380	196.829	265.346	263.014	326.287	325.144	21.45	21.34
Posof	117.028	118.015	202.719	202.775	268.841	267.602	329.509	324.661	21.4	21.35
Hatila	118.353	119.074	202.598	201.740	272.664	271.710	335.886	332.499	21.62	21
İremi	117.037	118.243	200.001	199.420	269.304	269.407	330.737	329.509	21.57	22
Okul	117.381	118.651	201.564	200.769	270.547	269.144	334.035	332.254	22	23
Tev.	117.402	117.904	198.329	198.828	268.170	266.226	331.989	330.641	22	23

4.3 Ön Kanattaki Damarlanmaların Yaptığı Açıkların Ortalama Değerleri

Tez çalışmasında kullanılan ön kanatlardaki damarlanmaların yaptığı açıkların ortalama değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Ön kanattaki damarlanma açıklarının ortalama değerleri

Subspecies:		<i>A.m. anatoliaca</i>		<i>A.m. caucasica</i>				
Şehir:		Ankara	Ardahan	Artvin				
Lokasyon:		Kazan	Posof	Hatila	İremi	Okul önü	Tevtiyet 1	
A4	R	31.835	35.833	34.075	33.663	34.360	34.140	
	L	32.148	35.781	34.278	33.908	34.355	34.109	
B4	R	102.640	97.922	100.967	100.250	100.034	101.604	
	L	102.353	97.557	100.992	100.662	99.265	101.155	
D7	R	99.361	101.667	101.154	98.822	101.015	101.296	
	L	100.341	102.585	102.198	102.181	101.646	101.764	
E9	R	19.989	19.953	20.349	20.534	20.361	20.437	
	L	19.465	19.643	20.078	20.353	20.054	20.235	
G18	R	94.374	96.034	96.573	99.024	98.552	98.124	
	L	95.637	96.989	97.306	99.954	98.869	98.811	
J10	R	53.212	55.541	52.980	52.347	52.553	52.053	
	L	53.077	55.137	52.561	51.219	52.062	51.589	
J16	R	88.661	89.244	87.364	88.359	88.089	88.676	
	L	88.535	87.708	87.089	86.330	86.984	86.146	
K19	R	79.864	77.926	77.248	77.196	76.761	77.026	
	L	79.587	77.327	76.417	76.597	76.012	76.279	
L13	R	13.283	13.088	12.931	12.559	13.286	13.342	
	L	13.724	13.356	14.017	12.966	13.607	13.457	
N23	R	88.229	88.186	86.387	87.283	87.001	87.605	
	L	88.158	87.122	85.502	85.587	85.869	84.961	
O26	R	35.605	34.354	36.240	34.831	35.640	35.745	
	L	35.501	35.005	35.552	34.349	35.409	35.562	

4.4 Ön Kanat ve Toplayıcı Bacağa Ait Sağ ve Sol Tarafların Ölçüm Değerlerinden Dalgalanan Asimetrisinin Hesaplanması

Yeşil ile işaretlenmiş değerler sütunlardaki en düşük dalgalanan asimetrik değerleri, kırmızı ile işaretlenen değerler ise sütunlardaki en yüksek dalgalanan asimetrik değeri temsil etmektedir.

Çizelge 4.4 Ön kanat ve toplayıcı bacak ölçüm değerlerinde sağ ve solun mutlak değer farkları: |R-L|

Lokasyon	Kanat Kübital R-L	Kanat Uzunluğu R-L	Kanat Genişliği R-L	Tarsus Genişliği R-L	Tarsus Uzunluğu R-L	Femur Uzunluğu R-L	Tibia Uzunluğu R-L	Hamuli Sayısı R-L
Kazan	0,014	5,12	0,035	0,087	0,551	2,332	1,143	0,108
Posof	0,041	14,04	2,7	0,987	0,056	1,239	4,848	0,05
Hatila	0,004	4,292	5,21	0,721	0,858	0,954	3,387	0,623
İremi	0,012	0,62	1,859	1,206	0,581	0,103	1,228	0,43
Okul önü	0,019	0,4	1,467	1,27	0,795	1,403	1,781	1
Tevtiyet	0,061	5,412	1,26	0,502	0,499	1,944	1,348	1

Çizelge 4.5 Ön kanatta ölçülen açıların ortalamasındaki sağ ve solun mutlak değer farkları

Lokasyon	A4 R-L	B4 R-L	D7 R-L	E9 R-L	G18 R-L	J10 R-L	J16 R-L	K19 R-L	L13 R-L	N23 R-L	O26 R-L
Kazan	0,313	0,287	0,98	0,524	1,263	0,135	0,126	0,277	0,441	0,071	0,104
Posof	0,052	0,365	0,918	0,31	0,955	0,404	1,536	0,599	0,268	1,064	0,651
Hatila	0,203	0,025	1,044	0,271	0,733	0,419	0,275	0,831	1,086	0,885	0,688
İremi	0,245	0,412	3,359	0,181	0,93	1,128	2,029	0,599	0,407	1,696	0,482
Okul ö.	0,005	0,769	0,631	0,307	0,317	0,491	1,105	0,749	0,321	1,132	0,231
Tevtiyet	0,031	0,449	0,468	0,202	0,687	0,464	2,53	0,747	0,115	2,644	0,183

4.5 Ön Kanat ve Toplayıcı Bacağa Ait Sağ ve Sol Tarafların Ölçüm Değerlerinde Yönlü Simetrinin Durumu

Mutlak değeri alınmamış sağ ve sol farkı asimetrinin x,y düzleminde pozitif mi yoksa negatif simetriye mi meyilli olduğunu göstermektedir. Eksi (-) değerler negatif simetriyi, artı (+) değerler ise pozitif simetriye yönelimi temsil etmektedir. Tez çalışmasında kullanılan kanat ve bacakların uzunluk-genişlik ortalama değerlerinde mutlak olmayan (R-L) sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kanat ve bacağın uzunluk-genişlik ortalama değerlerinde ve hamuli sayısında mutlak olmayan (R-L) sonuçları

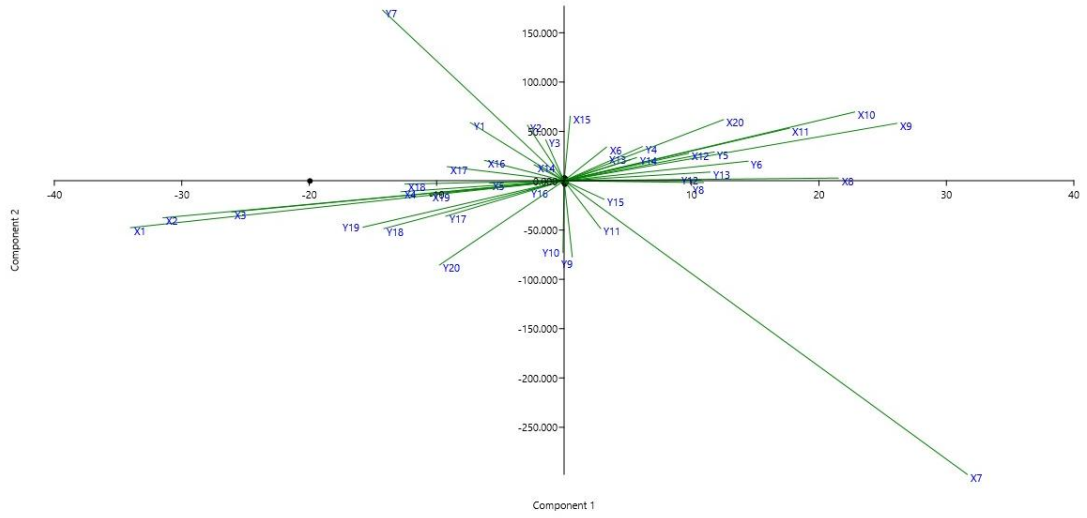
Lokasyon	Kanat Kübital R-L	Kanat Uzun. R-L	Kanat Geniş. R-L	Tarsus Geniş. R-L	Tarsus Uzun. R-L	Femur Uzun. R-L	Tibia Uzun. R-L	Hamuli R-L
Kazan	-0,014	-5,12	0,035	-0,087	0,551	2,332	1,143	0,108
Posof	0,041	-14,04	-2,7	-0,987	-0,056	1,239	4,848	0,05
Hatila	-0,004	-4,292	-5,21	-0,721	0,858	0,954	3,387	0,6234
İremi	0,012	0,62	-1,859	-1,206	0,581	-0,103	1,228	-0,43
Okul ö.	-0,019	0,4	-1,467	-1,27	0,795	1,403	1,781	-1
Tevtiyet	-0,061	-5,412	-1,26	-0,502	-0,499	1,944	1,348	-1

Tez çalışmasında kullanılan kanatlardaki açıların ortalama değerlerinde mutlak olmayan (R-L) sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

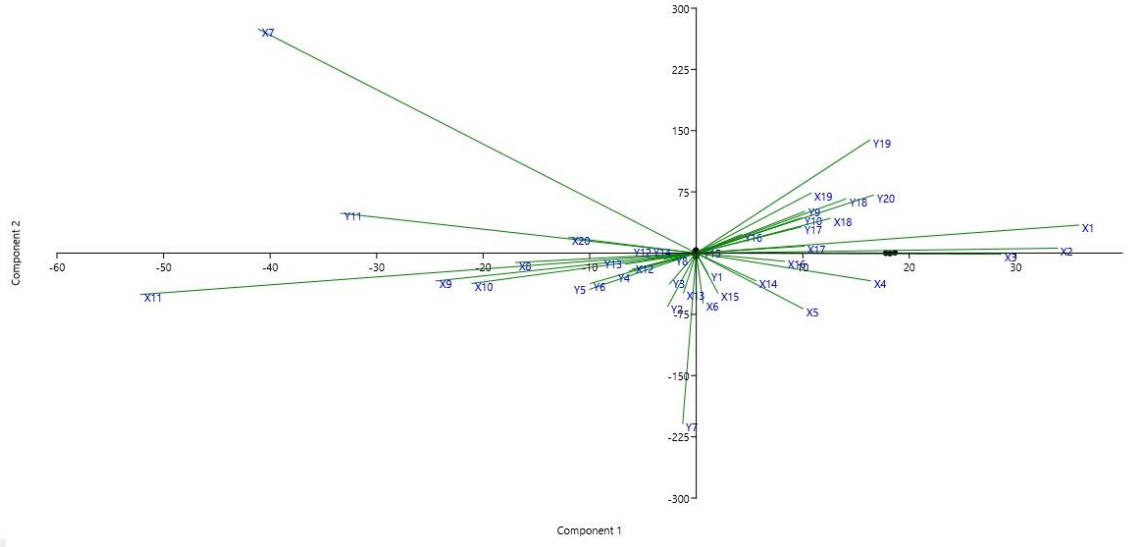
Çizelge 4.7 Kanattaki açıların ortalama değerlerinde mutlak olmayan (R-L) sonuçları

Lokasyon	A4 R-L	B4 R-L	D7 R-L	E9 R-L	G18 R-L	J10 R-L	J16 R-L	K19 R-L	L13 R-L	N23 R-L	O26 R-L
Kazan	-0,31	0,287	-0,98	0,524	-1,26	0,135	0,126	0,277	-0,44	0,071	0,104
Posof	0,052	0,365	-0,92	0,31	-0,96	0,404	1,536	0,599	-0,27	1,064	0,651
Hatıla	-0,2	-0,03	-1,04	0,271	-0,73	0,419	0,275	0,831	-1,09	0,885	0,688
İremi	-0,25	-0,41	-3,36	0,181	-0,93	1,128	2,029	0,599	-0,41	1,696	0,482
Okul önü	0,005	0,769	-0,63	0,307	-0,32	0,491	1,105	0,749	-0,32	1,132	0,231
Tevtiyet 1	0,031	0,449	-0,47	0,202	-0,69	0,464	2,53	0,747	-0,12	2,644	0,183

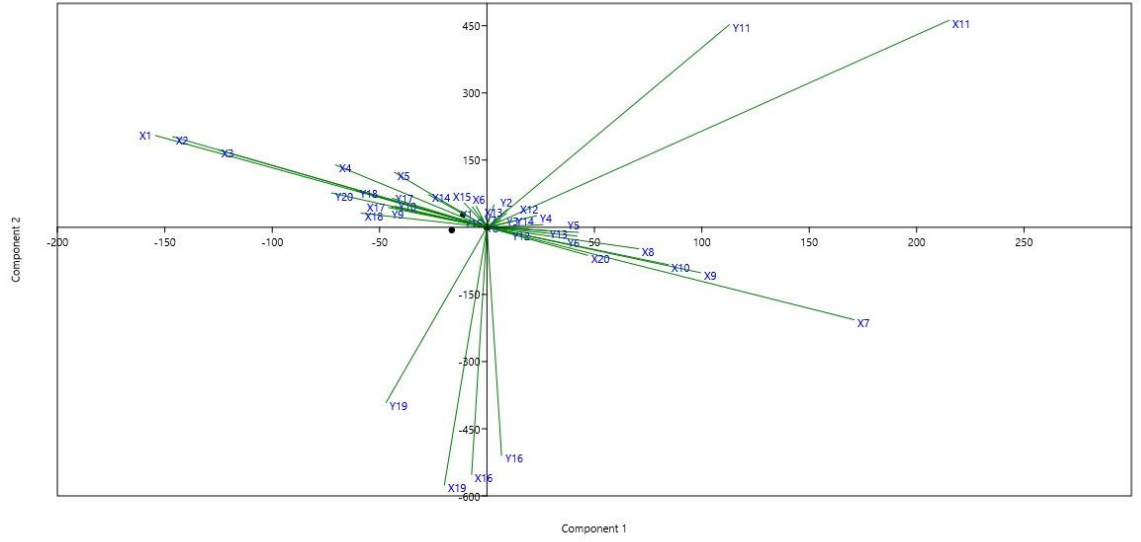
4.6 PC1 ve PC2 ile Dalgalanan Asimetrisinin Gösterilmesi



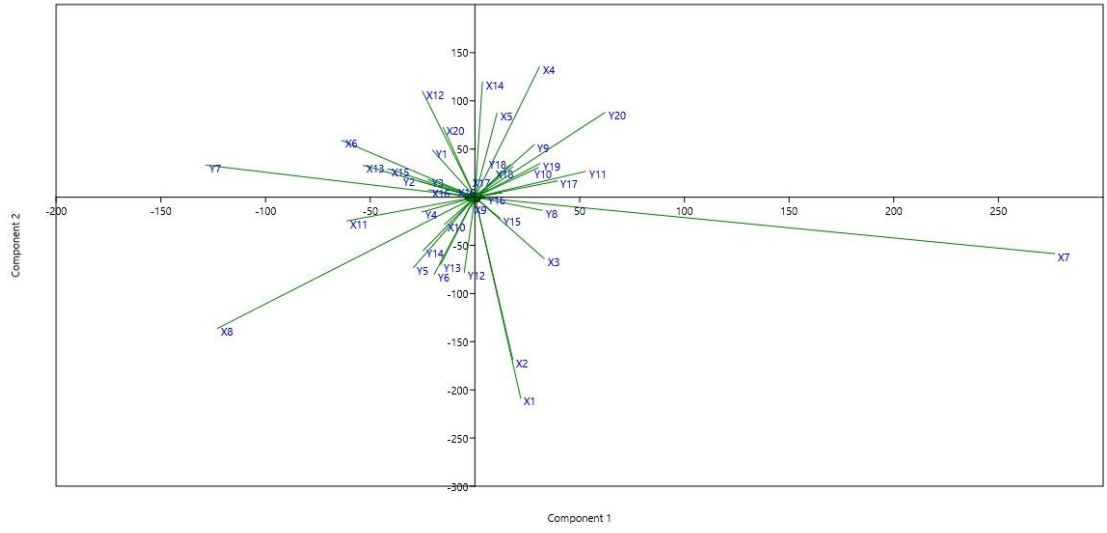
Şekil 4.1 Posof lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi



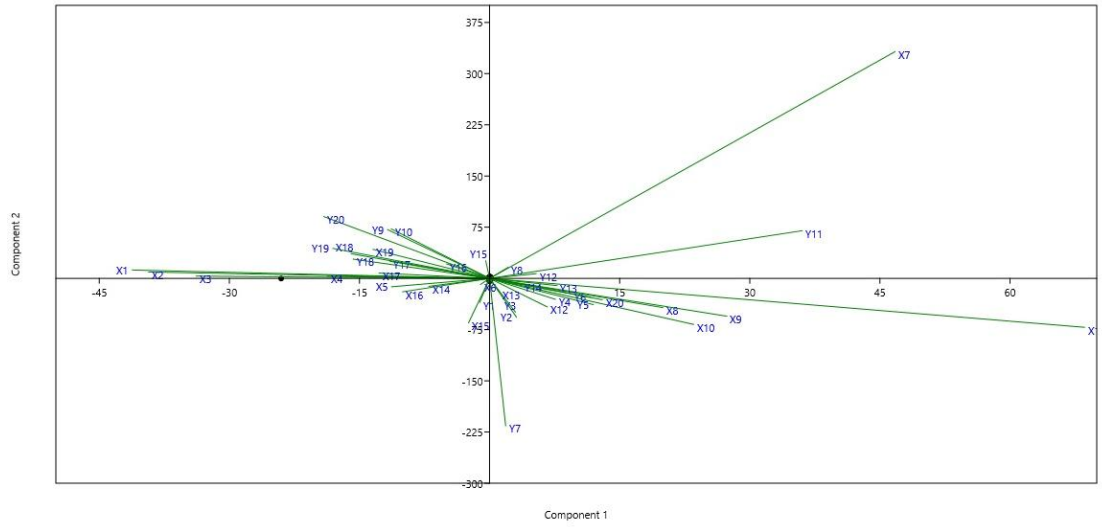
Şekil 4.2 Kazan lokasyonuna ait Anadolu bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi



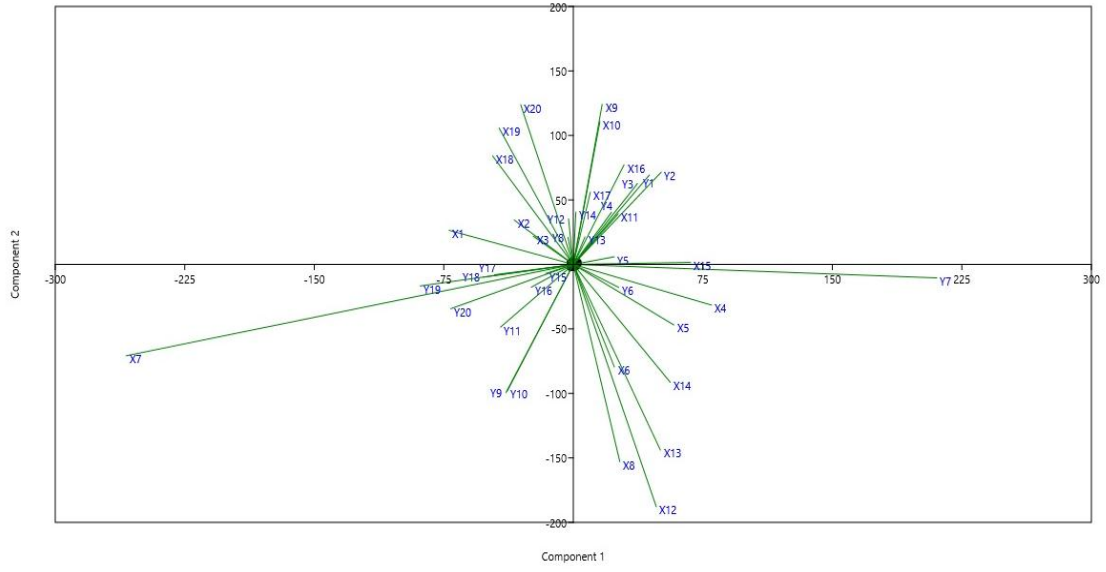
Şekil 4.3 Hatila lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi



Şekil 4.4 İremiç lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi



Şekil 4.5 Okul önü lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi



Şekil 4.6 Tevtiyet lokasyonuna ait Kafkas bal arılarında dalgalanan asimetrisinin PC1 ve PC2 ile gösterilmesi

4.7 Morpho J Programında Procrustes ANOVA

TPSDig2 ile elde edilen x,y koordinat verileri, Procrustes uyumuna göre düzenlenip daha sonrasında ise alttür bazında Procrustes ANOVA yapılmıştır. Sonucunda ise şeklin Procrustes ANOVA'sı (Çizelge 4.8), ağırlık merkezi boyutu (centroid size) (Çizelge 4.9) ve ortalama şeklin x ve y eksenindeki landmark koordinatları (Çizelge 4.10) elde edilmiştir.

Çizelge 4.8 Şekle ait Procrustes ANOVA sonuçları

Shape, Procrustes ANOVA:							
Effect	SS	MS	df	F	P (param.)	Pillai tr.	P (param.)
Individual	0,02544842	0,0007069005	36	43,71	<.0001	0,17	<.0001
Residual	1,96164687	0,0000161740	121284				

Çizelge 4.9 Ağırlık merkezi boyutu (Centroid size) sonuçları

Centroid size:					
Effect	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	9261098,418886	9261098,418886	1	210,50	<.0001
Residual	148222187,764071	43995,900197	3369		

Çizelge 4.10 Ortalama şeklin x ve y eksenindeki landmark koordinatları

Average shape:		
Landmark	Eksen 1 (x)	Eksen 2 (y)
1	-0,36147982	-0,02171926
2	-0,34386757	0,02021115
3	-0,28792206	0,02407482
4	-0,15788414	0,07624870
5	-0,09403074	0,12189070
6	0,00313194	0,12883521
7	0,45255192	0,07431491
8	0,20214682	0,05962992
9	0,28311038	-0,06568281
10	0,24661807	-0,06505890
11	0,18416270	-0,02229027
12	0,07858726	0,07756928
13	0,02699593	0,09470609
14	-0,04295374	0,04989109
15	-0,00342415	0,01677068
16	-0,06552513	-0,03150291
17	-0,08209775	-0,09389410
18	-0,10941837	-0,13869023
19	-0,08516670	-0,15956554
20	0,15646517	-0,14573853
Procrustes sums of squares:		1.9885522918321101
Tangent sums of squares:		1.9870952922244272

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında literatürde yer almış olan daha önceki dalgalanan asimetri çalışmaları incelenmiş ve tez çalışmasının sonuçlarıyla beraber değerlendirilmiştir.

Smith vd. (1997), *Apis mellifera*'nın erkek ve dişilerinde yaptığı asimetri çalışmasında, erkek bireylerin dişilere göre daha yüksek toplam asimetri gösterdiğini belirlemiştir. Bu farkın çoğunluğunu ise dalgalanan asimetrinin değil de yönlü asimetrinin neden olduğu görülmüştür. Dişilerdeki damarlanma anormalliklerinin sıklığının çok daha fazla olduğu belirlenmiş fakat ortalama asimetrinin de hibridizasyondan etkilenmediği görülmüştür. Bulgular sonucunda ise dişi ve erkekler için asimetri ve anormallikler arasındaki korelasyon eksikliğiyle beraber asimetri ve anormalliğin gelişimsel bozulmaya karşı bağımsız tepkileri olduğunu belirtilmiştir.

Klingenberg ve McIntyre (1998), çebe sineklerinin (*Glossina palpalis gambiensis*) kanatlarında asimetri çalışması yapmıştır. Sonuç olarak özel gelişimsel süreçlerin dalgalanan asimetriye etkisinin herhangi bir kanıtına ulaşamamışlar fakat uygulanacak farklı çalışma prensipleri ve yöntemlerin dalgalanan asimetrinin gelişimsel temelli ilişkisine daha fazla ışık tutacağını belirtmişlerdir.

Bowyer vd. (2001) tarafından, 1501 Alaska geyiğinin (*Alces alces gigas*) boynuz karakterleri ile asimetri çalışmaları yapılmış ve erkek bireylerde asimetrinin durumuna göre dişiler tarafından seçilimine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında, soldaki boynuz çatallarının sağdakine oranla daha fazla olduğu görülmüş ve bu da yönlü asimetrinin varlığını göstermiştir. Aynı zamanda boynuzun ayasını oluşturan kısımlarda ise dalgalanan asimetrinin varlığı görülmüştür. Daha küçük boynuza sahip erkeklerde dalgalanan asimetrinin derecesi daha fazla bulunmuştur. Bununla birlikte en sık çiftleşen geyiklerin ise en az dalgalanan asimetriyi ifade ederken bu ölçümün erkeklerde bireysel kaliteyi yansıttığı varsayılmıştır. Dişilerin eş seçiminde dalgalanan asimetriye dayanan veriler belirlenememiş olup araştırmacılar ek çalışmaların gerektiğini belirtmişlerdir.

Radwan (2003), bir akar türü olan *Rhizoglyphus robini*'yi soyiçi çiftleştirmiş ve bunun sonucunda stresle beraber akarın dalgalanan asimetrisiyle vücut uzunluğunun değişimini incelemiştir. Araştırmacı, dalgalanan asimetriyi arttıran faktörlerde soyiçi çiftleşmenin olduğunu fakat stres ile herhangi bir artışın olmadığı sonucuna varmıştır. Öte yandan stresin vücut uzunluğuyla azaldığını ve soyiçi çiftleşmeden etkilenmediğini gözlemledi.

Grönland ve Svalbard'da yaşamış olan kutup ayılarının (*Ursus maritimus*) kafataslarıyla yapılan bir çalışmada ise ölçülen özelliklerle beraber dalgalanan asimetrinin büyüklüğünün doğru orantıyla arttığı gözlemlenmiştir (Bechshøft vd. 2008). İnsan ve iklim streslerinin *Euglossine* cinsine ait 2 farklı tür arıda (*Euglossine pleosticta* ve *Euglossine nigrita*) kanat büyüklüğü ve dalgalanan asimetriye etkisini analiz eden araştırmacılar, sonuç olarak *Euglossine nigrita*'nın daha dirençli, *Euglossine pleosticta*'nın da bu stres faktörlerinden etkilendiğini ortaya koymuştur ve bu türün bir stres biyoindikatörü olarak kullanabileceğini önermişlerdir (Silva vd. 2009).

Debat vd. (2011), *Drosophila melanogaster* ile yaptıkları bir çalışmada, Siklin G'nin (CycG) aşırı ekspresyonu sonucunda kanat boyutuna, şekline ve femurun uzunluğuna etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlarda çok açık bir şekilde görülen kanat asimetrisi ve buna bağlı olarak da yüksek seviyelerde dalgalanan asimetrinin varlığı tespit edilmiştir. Dahası, kanatla sınırlı kalmayan bu dalgalanan asimetrinin, femur uzunluğunda da etkili olduğu görülmüştür. Siklin G'nin aşırı ekspresyonu sonucu da vahşi veya yapay herhangi bir organizmanın kanat asimetrisinde 40 kat artışa sebep olduğu bildirilmiştir.

A.mellifera'nın ön kanadında antropojenik çevrenin bir biyoindikatörü olan dalgalanan asimetriyi ve kanat boyutunu inceleyen Nunes vd. (2015) kanat şeklinde bir asimetri varlığını kanıtlamış fakat kanat boyutunda herhangi bir asimetriyi gözlemlememiştir. Bu nedenle insan etkisinin yoğun olduğu kolonilerde, kanat şekil asimetrisinin iyi bir antropizasyon derecesinin bir göstergesi olarak kullanabileceğini belirtmişlerdir.

Urošević vd. (2015), *Podarcis muralis* L. tür kertenkelelerin kafatası şekillerindeki bireysel varyasyonu ve asimetriyi araştırdıkları bir çalışmada, popülasyonlar arasında

yönlü ve dalgalanan asimetrinin varlığını görmüşlerdir. Asimetrik olduğu belirlenen kafatası şekil varyasyonunun, tüm popülasyonlarda benzer şekilde olduğu ve bu durumun da genellikle çenede bulunan bir kas odacığından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Dalgalanan asimetri varlığının yanı sıra yönlü asimetrinin de varlığı görülmüş bu da anatomik ve davranışsal yatkınlıkla ilişkilendirilmiştir. Araştırmacılar çalışmadaki bireysel varyasyon ve dalgalanan asimetriye eğilimin daha iyi ortaya çıkması içinse daha izole veya daha kirli habitatlardaki gibi popülasyonların araştırmaya dahil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Melitaea athalia türüne ait kelebeklerde, artan iklim değişikliklerinin morfolojik özelliklere, dalgalanan asimetriye ve varyansa etkilerinin incelendiği bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre böcek morfolojisinin çevresel değişikliklerle farklılıklar gösterebileceği görülmüş fakat iklimdeki artan değişikliğe göre dalgalanan asimetrinin de yüksek seviyelerde olmasıyla ilgili herhangi bir kanıya varılamamıştır (Juhász vd. 2016).

Szentgyörgyi vd. (2016), *Apis mellifera*'da işçi ve erkek bireylerde polen yoksunluğundaki ön kanadın asimetrisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, koloniler polene sınırlı ve sınırsız erişimlerle yetiştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ise gelişme sırasında polen yoksunluğunun ön kanat asimetrisinin varlığının iyi bir göstergesi olmadığı sonucuna varılmıştır. Tüm işçi ve erkek bireyler yönlü ön kanat asimetrini göstermiş de bu da dalgalanan asimetrinin analizini güçleştirmiştir. Polen yoksunluğunun kanat asimetrisine etkisi nispeten daha azdır. Bununla birlikte araştırmacılar, vücut kütlelerinin polen yoksunluğunun daha iyi bir göstergesi olduğunu savunmuşlardır.

Yine başka bir çalışmada Szentgyörgyi vd. (2017), *Apis mellifera*'da larva gelişimi sırasında erkek bireyleri kontrollü açlığa maruz bırakıp yetişkin evredeyken bu açlığın vücut kütlelerine, ön kanat boyut ve şekline, asimetrisine ve ejeküle edilen semen hacmine etkisini araştırmıştır. Elde edilen verilere göre düzenli beslenen bireylerin boyutu daha büyük çıkmış ve larva evresinde daha erken aç bırakılan bireylerde daha belirgin etkiler görülmüştür. Öte yandan bu durumun semen hacmine, kanat boyut ve

kanat şekli asimetrilerine herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiş ve böylelikle erkek arıların üremedeki önemli karakterleri korumaya çalıştığı sonucuna varılmıştır.

Sherratt vd. (2017) tarafından, deniz taraklarındaki kabuğu oluşturan kapakçıkların ekomorfolojiye göre değişim temposu ve çift taraflı olarak kabukların yönlü asimetrisi araştırılmıştır. Kabuğu oluşturan bu kapakçıkların morfolojik entegrasyonunun güçlü olduğuna dair gözlemler yapılmıştır ve sonuç olarak çevresel baskıların kabuk şekline olan etkisi ortaya koyulmuştur. Aynı zamanda türler arasında kabuk şeklindeki yönlü asimetri varlığı ve bunun da tarak makroevriminin önemli bir yönü olduğu belirtilmiştir.

Kıllı ayaklı çiçek arılarında (*Anthophora plumipes*) yapılan bir çalışmada kentleşmenin vücut büyüklüğü ve kanat asimetrisi incelenmiş ve sonuçlarda araştırmacıların beklentisinin tam tersi olarak kırsal kesimde, banliyö ve kentsel alanlardan daha çok asimetri görülmüştür. Genel kanı olarak asimetri çalışmaları yapan araştırmacılar asimetriyi çevre kirliliği ve besin azlığı ile ilişkilendirilse de kentsel peyzajın arılara daha kaliteli bir yaşam sunduğu sonucuna varılmıştır. Bu da arıların korunmasıyla ilgili yapılan çalışmaların önemini ortaya koymaktadır (Banaszak-Cibicka vd. 2017).

Küçük memelilerle yapılan bir çalışmada ise dalgalanan asimetrinin çevresel stresin bir indikatörü olduğu belirlenmiş ve dalgalanan asimetrinin ekolojik araştırmalarda kullanılmasının önemi vurgulanmıştır (Coda vd. 2017).

Batı bal arısı (*Apis mellifera* L.) ile yapılan bir çalışmada kentleşmenin dalgalanan asimetriye etkileri incelenmiştir. Farklı bölgelerden alınan bireylerin hem kanat boyutunda hem de şekil asimetrisinde kolonilere bağlı farklılıklar tespit edilmiştir ve elde ettikleri sonuçlarda, kanat şekil asimetrisinin kentleşmeyle olan ilişkisini belirlemek için kullanışlı bir potansiyeli olduğunu belirtmişlerdir (Leonard vd. 2018).

Bombus terrestris ile yapılan bir çalışmada, doğal toksinler, parazitler ve akrabalı yetiştirme gibi stres faktörlerinin kanat boyut ve şeklinde yaptığı etkiler tartışılmıştır. Kanat boyutu yönlü ve değişken asimetriden etkilenmiş fakat etki boyutları çok önemli

seviyelerde olmamıştır. Kullanılan bu morfolojik özellikler en hassas özellikler olmasına rağmen değişen asimetrisinin, stres için asıl fenotipik belirteç olmadığını göstermiştir (Gerard vd. 2018).

Fathy vd. (2018), *Apis mellifera carnica* bulunan 12 kolonide, bal ile beslenen işçi arılarla şekerli şuruplarla beslenen işçi arıları yönlü ve dalgalanan asimetrisine göre karşılaştırmıştır. Analiz sonuçlarında yönlü asimetrisinin beslemeyle ilişkili olmadığı öte yandan dalgalanan asimetrisinin ise doğrudan etkilendiği görülmüştür. Fakat karakterler ve besleme şekilleri arasında herhangi bir etkileşim elde edilememiştir. Aynı zamanda dalgalanan asimetrisinin stresle herhangi bir ilişkisi olup olmadığı daha iyi test edilmek için bireysel karakterler birleştirildi ve bileşik dalgalanan asimetri olarak analiz edildi. Bunun sonucunda ise kanat damarlanmaları arasındaki mesafelerin şekerle beslenen kolonilerde daha yüksek dalgalanan asimetri gösterdiği belirtilmiştir.

Afrika bal arılarıyla Avrupa bal arılarının hibridizasyonu sonucunda hibritlerdeki fenotipik özelliklerindeki değişimlerini inceleyen bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, genetik stres nedeniyle melez bireylerde veya uygun olmayan çevre koşullarında Avrupa bal arılarının Afrika bal arılarına kıyasla dalgalanan asimetrisinin durumu incelenmiştir. Analizlerin sonucunda kanat boyutu ve şekli için önemli dalgalanan asimetri seviyeleri keşfedilmiştir fakat bu durumun bireylerin soyuna göre değişmediği belirlenmiştir. Aynı zamanda süregelen hibridizasyonda eğer popülasyonların genetik ve fenotipik çeşitliliği artıp adaptasyon potansiyellerini etkiliyorsa, gelişimsel stres etkenlerinin tanımlanamadığı ve evrimsel sonuçların da belirsizliğini koruduğu belirtilmiştir (Galataud vd. 2020).

Nunes ve Souto (2021) yaptıkları bir çalışmada, dalgalanan asimetrisinin eş seçimi, cinsel seçim ve kalıtımda çok önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Araştırmacılar, geniş çapta taranan literatür sonuçlarına göre çevresel ve genetik etkiler, gelişim sırasındaki istikrarsızlığın bir tetikleyici olarak belirtmiş ve bundan dolayı bilateral organizmalarda yüksek dalgalanan asimetrik sonuçların görüldüğünü aktarmıştır.

Tüylü huş ağacının yapraklarında herbivor canlıların varlığının yarattığı stresi araştıran Kozlov vd. (2022), yaprakların hem boyutunu hem de dalgalanan asimetrisini analiz edip sonuç olarak yaprak boyutunun dalgalanan asimetriye göre daha hassas olduğunu görmüşlerdir ve dalgalanan asimetrinin stres etkisindeki bir indeks olarak kullanmayı amaçlayan araştırmacılara boyut gibi alternatif indeksleri de dikkate almalarını önermiştir. Ayrıca bu sayede çalışma daha doğruluk sağlayıp daha az numune veya ölçüm gerektirebileceği aktarılmıştır.

Rhinella marina tür kurbağalarla yapılan bir çalışmada, oksidatif stres ve dalgalanan asimetri, çevresel stres analiz etmek için kullanılmıştır. Çalışmada, ılıman bir orman ve bir çöplük olmak üzere iki farklı konumdaki bireyler kullanılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilirken çöplükten alınan kurbağaların daha yüksek seviyelerde dalgalanan asimetri gösterdiği görülmüştür. Ayrıca bu bireylerde daha yüksek seviyelerde süperoksit dismutaz ve antioksidan kapasitenin varlığı tespit edilmiştir. Antropize ortamların istilacısı olduğu belirtilen bu tür kurbağalar, bu özelliklerinin aksine çevresel stres seviyesinde en yüksek değerleri de yine antropize ortamda göstermiştir (Maldonado-Lopez vd. 2022).

Lazarov (2022), yaptığı bir çalışmada hijyenik ve hijyenik olmayan işçi bal arılarındaki (*Apis mellifera* L.) kitin bazlı vücut parçalarının özelliklerini incelemiştir. Çalışmada ön kanat uzunluğu, proboscis uzunluğu, bacak özellikleri gibi 18 morfolojik özelliği test etmiş ve hijyenik olan ve olmayan arılar arasında anlamlı farklar elde etmiştir. Sonuçlarını ise işçi arıların üretkenliği ile ilişkilendirmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen veriler de dalgalanan asimetrinin varlığına göre belirli testlere tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ise bu tezin amaçları olan iki alttür arasındaki (Anadolu ve Kafkas bal arıları arasında), farklı lokasyonlarda bulunan aynı alttürlerin arasındaki ve aynı lokasyon içindeki arılıklarda dalgalanan asimetrinin varlığının tespiti için incelenmiştir.

Morpho J programında analiz edilen x,y koordinat verilerine Procrustes ANOVA uygulanmıştır. Bunun sonucunda şekil analizi için çok yüksek anlamlılık gösteren sonuç

elde edilmiştir ($P<0,001$). Sonuca bağlı olarak eldeki verilerle asimetri çalışmalarında verimli sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir.

5.1 *A. m. anatoliaca* ve *A. m. caucasica* Arasında Dalgalanan Asimetri

Öncelikle ilk adım olan iki alttür arasındaki dalgalanan asimetrinin varlığına bakılmıştır.

Alttürleri birbirinden ayırt etmek için en belirgin özellik kanat uzunluk ve genişliğidir. İki alttüre ait tüm kanat uzunluk verilerinde two-way ANOVA ile anlamlılık derecesine bakılmıştır ve popülasyonlar arası anlamlı farklılıkların bulunduğu görülmüştür ($P<0,05$). *A.m. anatoliaca* beklendiği üzere *A.m. caucasica*'dan küçük kanat boyutlarını göstermiştir. Her iki alttürde de sağ ve sol ön kanat özellikleri dalgalanan asimetri göstermiştir.

En çok gelişimsel istikrar sağlayarak $|R-L|$ 'nin sıfıra "0" en yakın olan değerler tüm Anadolu ve Kafkas bal arıları arasında "0,4" değer ile Okul önu lokasyonundaki Kafkas bal arılarına aittir. Ana üretiminin olduğu bu popülasyon, içerisinde anaç kolonileri bulundurmaktadır.

A.m. anatoliaca'nın sağ ve sol ön kanada ait kübital indeksine bakıldığında, tüm *A.m. caucasica* popülasyonlarından daha fazla olduğu belirlenmiştir. Fakat dalgalanan asimetrisi hesaplandığında ise Kafkas arılarının ortalamasından daha düşük çıkmıştır. Bu da Kafkas bal arılarındaki daha fazla olan hibridizasyonun varlığında bir belirteç olabilir (Ortalama Anadolu CI $|R-L|$: 0,014 ve Ortalama Kafkas CI $|R-L|$: 0,0274). Ayrıca tüm alttürlerle ait kübital indekslerin dalgalanan asimetrisi hesaplanmıştır ve en çok gelişimsel istikrarı Hatila'daki Kafkas bal arısı popülasyonu temsil etmektedir (CI $|R-L|=0.004$).

Irklar arası en önemli ayırt edici özellikler olan A4, B4 ve K19 açılar incelenmiştir. Sonuç olarak beklendiği üzere B4 ve K19 açılarında Kafkas bal arılarının Anadolu bal arılarına göre daha küçük değerleri görülmüştür. Aynı zamanda tüm açılara bakıldığında

Anadolu bal arılarının Kafkas bal arılarına görece dalgalanan asimetri değerlerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. En fazla düzenden sapan ise Hatila popülasyonudur.

Anadolu bal arısının bacak karakterleri Kafkas bal arılarına göre hem daha küçük hem de daha az gelişimsel istikrarsızlık göstermektedir. Çalışkan bir ırk olan Anadolu bal arısının bulunduğu konum itibarıyla polen toplama kabiliyeti yüksek olduğunu düşündürmektedir. Bacak karakterlerindeki dalgalanan asimetrinin tespitine yönelik analizlerin sonucunda tüm Anadolu bal arılarının toplam ortalama verileri Kafkas bal arılarınınkinden daha az dalgalanan asimetri göstermektedir. En çok gelişimsel tutarsızlık gösteren popülasyon ise Okul önu lokasyonundakilerdir. Bunun sebebi yine buranın ana arı üretim merkezi olmasıdır. İşçi arıların önemli görevlerinden olan polen toplama becerisinin, en çok varyasyona sahip anaç kolonilerin olduğu lokasyonda etkin olmaması beklenen bir durumdur.

Arka kanatlarda bulunan ve ön kanatlara kenetlenmeyi sağlayan çengel şeklindeki hamuliler de sayılmıştır. Tüm popülasyonlar arasında en çok hamuli bulunduran lokasyonlar Okul önu ve Tevriyet'tir. Fakat bu durum tüm popülasyonlarda two-way ANOVA ile test edildiğinde hiçbir şekilde anlamlı farklılık elde edilememiştir ($P>0,05$). Bu popülasyonlarda dalgalanan asimetrinin hamuli sayısına herhangi bir etkisi saptanamamıştır. Bu durum, Meixner vd. (2013)'nin önerdiği üzere bal arısının tanımlanmasında ve bilinmeyen varyasyon durumlarında kılınmaya bakılması gerektiği önerileriyle çakışmaktadır.

Bal arısı alttürlerinin tergit pigmentasyonunu belirlemek amacıyla Ruttner (1988) tarafından önerilen sınıflandırma (Şekil 2.5) kullanılmıştır. Beklenildiği üzere Anadolu bal arılarının ($T_2= 8.27$, $T_3= 7.086$, $T_4=5.498$) tergit renkleri Kafkas bal arılarınınkinden ($T_2= 2.102 \leq x \leq 3.25$, $T_3= 3.073 \leq x \leq 3.85$, $T_4= 1.112 \leq x \leq 1.664$) daha az pigmentasyona sahip çıkmıştır.

5.2 Farklı coğrafyalarda (Posof-Camili-Hatila) Bulunan *A. m. caucasica* Populasyonlarında Dalgalanan Asimetri

Daha sonra tez çalışmasının ikinci adımı olan farklı lokasyonlarda bulunan aynı alttürlerin arasındaki dalgalanan asimetrisinin varlığına bakılmıştır.

Ön kanatların uzunluk ve genişlik verileriyle Kafkas bal arılarının tümünün arasında yapılan two-way ANOVA analizinde anlamlı bir fark görülmemiştir ($P>0,05$). Ölçümler sonucunda elde edilen verilen Posof, Camili ve Hatila ekotipleri arasında ortalama olarak uzunluk ve genişliğin belirli bir farkı gözlemlenememiştir.

Sağ ve sol ön kanatların dalgalanan asimetrisi incelendiğinde gelişimi en istikrarsız olan popülasyon ‘14, 04’ değer ile Posof’taki Kafkas bal arılarının oluşturduğu. PC1 ve PC2 grafiğindeki vektörel dağılımı da sapan bu yüksek derecedeki asimetrisinin nedeni diğer popülasyonlara göre daha izole bir lokasyonda olmasına istinaden soy içi çiftleşmenin fazla olduğu ve buna bağlı genetik stres faktörünün öne çıktığı söylenebilir. Arka bacak uzunluk ve genişlik değerlerinde yine Posof popülasyonu ortalamaya göre en çok dalgalanan asimetriyi vermektedir.

Tergit pigmentasyonlarına bakıldığında ise en çok pigmentasyondan en az pigmentasyona göre sırasıyla; Posof ($T_2=2.102$, $T_3=3.620$, $T_4=1.157$), Tevtiyet ($T_2=2.818$, $T_3=3.712$, $T_4=1.112$), Hatila ($T_2=2.853$, $T_3=3.073$, $T_4=1.664$), Okul önu ($T_2=3.138$, $T_3=3.783$, $T_4=1.124$) ve İremittir ($T_2=3.25$, $T_3=3.85$, $T_4=1.233$). Kafkas bal arılarının tümü karşılaştırıldığında Posof’a ait popülasyonun en çok pigmentasyonu gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum hava koşullarına bağlı olarak gelişim gösterebilmektedir. Ardahan’ın yaklaşık 1560 rakım ile Artvin’e göre daha yüksek ve daha soğuk olması burada bulunan popülasyonların pigmentasyonunun daha yoğun olmasına neden olabilir. Bu yorumlama Henriques vd. (2020)’nin yaptığı çalışmayı da destekler niteliktedir.

5.3 Artvin-Camili'deki Farklı Lokasyonlardaki *A. m. caucasica*'da Dalgalanan Asimetri

Tez çalışmasının üçüncü ve son adımı olan aynı lokasyon içindeki aralıklarda dalgalanan asimetrinin varlığının tespiti için incelenmiştir.

Tüm Kafkas bal arıları arasında yapılan two-way ANOVA analizinde anlamlı bir fark görülmemiştir ($P>0,05$) fakat Posof lokasyonu dahil edilmediğinde ise lokasyonlar arasında anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($P<0,05$). Bu durumda Artvin'deki Kafkas bal arılarının üzerinde farklı bir stres faktörü olduğu söylenebilmektedir. İremit, Tevtiyet ve Okul önü lokasyonlarındaki popülasyonların ön kanatlarının uzunluk ve genişlikleri karşılaştırıldığında en büyük kanatların İremitte, en küçük kanatların ise Tevtiyet'te olduğu görülmüştür. Sağ ve sol kanatların dalgalanan asimetri düzeyi incelendiğinde ise en çok Tevtiyet'in en az ise Okul önü popülasyonunun dalgalanan asimetri gösterdiği belirlenmiştir. Kübital indekslerin dalgalanan asimetrisine bakıldığında ise en az değeri İremit popülasyonu, en çok değeri ise Tevtiyet popülasyonu vermiştir. Bu durum da İremit popülasyonunun hibridizasyon seviyesi, Tevtiyet popülasyonundan daha az olduğunu ortaya koymaktadır.

Sağ ve sol arka bacakların dalgalanan asimetri incelendiğinde en çok gelişimsel tutarsızlık gösteren popülasyon ise Okul önü lokasyonundakilerdir. Bunun sebebi yine buranın ana arı üretim merkezi buna bağlı olarak da varyasyonun çok yüksek olmasıdır. İşçi arıların önemli görevlerinden olan polen toplama becerisinin, en çok varyasyona sahip anaç kolonilerin olduğu lokasyonda etkin olmaması beklenen bir durumdur.

Tergit pigmentasyonlarına bakıldığında ise en çoktan en aza doğru pigmentasyon ise; Tevtiyet ($T_2=2.818$, $T_3=3.712$, $T_4=1.112$), Okul önü ($T_2=3.138$, $T_3=3.783$, $T_4=1.124$) ve İremittir ($T_2=3.25$, $T_3=3.85$, $T_4=1.233$).

Aynı zamanda Benitez vd. (2020)'nin dalgalanan asimetriyi ayırt etmek için önerdiği yöntemle yapılan analizde Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre Okul önü popülasyonunun vektörel dağılımı en düzensiz

sonuçları vererek dalgalanan asimetrisini göstermiştir. Buna karşılık vektörel dağılım en düzgün olan ise İremit ve Tevtiyet popülasyondur. Bu durum yorumlanacak olursa İremit ve Tevtiyetteki ekotiplerin ortam şartlarına iyi uyum sağladığı, gelişimsel istikrarını en iyi koruyan popülasyonlar olduğu sonucuna varılmaktadır. Aynı zamanda vektörel dağılımın düzenliliği de seçim kaynaklı olabilir. Bu da İremit ve Tevtiyet'teki arıların düşük varyasyona sahip olan bir koloniden geldiklerini göstermektedir.

Bu çalışmayla birlikte, Ankara, Ardahan ve Artvin lokasyonlarındaki *A.m. anatoliaca* ve *A.m. caucasica* popülasyonları arasında dalgalanan asimetrinin düzeyleri belirlenmiştir ve daha sonra yapılacak çalışmalara da ışık tutması hedeflenmiştir.



KAYNAKLAR

- Abou-Shaara, H. F. 2013. A morphometry map and a new method for honey bee morphometric analysis by using the ArcGIS. *Arthropods*, 2(4), 189-199.
- Abou-Shaara, H. F., ve Al-Ghamdi, A.A. 2012. Studies on wings symmetry and honey bee races discrimination by using standard and geometric morphometrics. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 28(3), 575-584.
- Akyol, E., Şahinler, N. ve Özkök, D. 2006. Honeybee (*Apis mellifera*) Races, Ecotypes and Their General Characteristics in Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5(9), 771-774.
- Anonymous. 2014. Web Sitesi: <https://pixels.com/featured/honey-bee-wing-hamuli-light-micrograph-gerd-guenther.html>, Erişim tarihi: 17.11.2022.
- Anonymous. 2015. Web Sitesi: <https://healthywithhoney.com/body-parts-of-a-honey-bee-the-worker-bee/>, Erişim tarihi: 17.11.2022.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi: <https://lifethroughamathematicianseyes.wordpress.com/2017/08/01/symmetry-and-butterflies/>, Erişim tarihi: 22.11.2022.
- Anonymous. 2021. Web Sitesi: <https://www.dummies.com/article/home-auto-hobbies/hobby-farming/beekeeping/how-to-identify-the-basic-body-parts-of-honey-bees-188443/>, Erişim tarihi: 17.11.2022.
- Anonymous. 2022a. Web Sitesi: https://queenscontrivance.com/?page_id=1721, Erişim tarihi: 17.11.2022.
- Anonymous. 2022b. Web Sitesi: <https://www.editions-mem.com/castes-of-honey-bee-k.html>, Erişim tarihi: 17.11.2022.
- Banaszak-Cibicka, W., Fliszkiewicz, M., Langowska, A., Żmihorski, M. 2017. Body size and wing asymmetry in bees along an urbanization gradient. *Apidologie*, 49(3).
- Baranov, S. G. 2014. Use of Morphogeometric Method for Study Fluctuating Asymmetry in Leaves *Tilia cordata* under Industrial Pollution. *Advances in Environmental Biology*, 8(7), 2391-2398.
- Bechshøft, T. Ø., Rigét, F. F., Wiig, Ø. ve Sonne, C. 2008. Fluctuating asymmetry in metric traits; apractical example of calculating asymmetry, measurement error, and repeatability. *Annales Zoologici Fennici*, 45(1), 32–38.
- Benítez, H. A., Lemic, D., Leiva A. V., Bažok, R., Claveria, R. Ó., Živković, I. P ve Mikac, K. M. 2020. Breaking Symmetry: Fluctuating Asymmetry and Geometric Morphometrics as Tools for Evaluating Developmental Instability under Diverse Agroecosystems. *Symmetry*, 12(11), 1789.

- Bookstein, F.L. 1991. Morphometric Tools for Landmark Data. Cambridge University Press, 435, Cambridge.
- Bowyer, R.T., Stewart, K.M., Kie, J.G. ve Gasaway, W.C. 2001. Fluctuating Asymmetry in Antlers of Alaskan Moose: Size Matters. *Journal of Mammalogy*, 82(3), 814-824.
- Coda, J.A., Martinez, J.J., Steinmann, A.R., Priotto, J. ve Gomez, M.D. 2017. Fluctuating asymmetry as an indicator of environmental stress in small mammals. *Mastozoología Neotropical*, 24(2):313-321.
- Dar, S.A., Dukku, U.H., Ilyasov, R.A., Kandemir, I., Lee, M.L. ve Özkan Koca, A. 2019. Chapter 4. The classic taxonomy of Asian and European honey bees. In: *Phylogenetics of Bees*. R.A. Ilyasov ve H.W. Kwon. [eds.]. *Phylogenetics of Bees*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 107-137, New-York, USA.
- Debat, V., Bloyer, S., Faradji, F., Gidaszewski, N., Navarro, N., Orozco-terWengel, P., Ribeiro, V., Schlötterer, C., Deutsch, J. S. ve Peronnet, F. 2011. Developmental Stability: A Major Role for Cyclin G in *Drosophila melanogaster*. *PLoS Genetics*, 7(10), e1002314.
- Engel, M.S. 1999. The taxonomy of recent and fossil honey bees (Hymenoptera: Apidae:Apis). *Journal of Hymenoptera Research*, 8(2), 165–196.
- Fathy, H. M., Mazeed, A. M., Nafae, E. A. ve Abd El Dayem, M. R. 2018. Artificial Feeding as Stress Factor Affecting Wing Venation Symmetry of Worker Honeybees. *J. Plant Prot. and Path.*, Mansoura Univ., Vol.9 (10), 677 – 682.
- Galataud, J., Delatte, H., Techer, M.A., Simiand, C., Sookar, P., Reynaud, B. ve Cle'mencet, J. 2020. When European meets African honeybees (*Apis mellifera* L.) in the tropics: Morphological changes related to genetics in Mauritius Island (South-West Indian Ocean). *PLoS ONE*, 15(11):e0242053.
- Gerard, M., Michez, D., Debat, V., Fullgrabe, L., Meeus, I., Piot, N., Sculfort, O., Vastrade, M., Smagghe, G. ve Vanderplanck, M. 2018. Stressful conditions reveal decrease in size, modification of shape but relatively stable asymmetry in bumblebee wings. *Scientific RePortS*, 8, 15169.
- Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or, H. ve Nevo, E. 2010. Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. *Symmetry*, 2(2), 466-540.
- Güler, A. 2010. A morphometric model for determining the effect of commercial queen bees usage on the native honeybee population in a Turkish province. *Apidologie*, 41(6), 622-635.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4(1): 9 pp.

- Henriques, D., Lopes, A.R., Ferrari, R., Neves, C. J., Quaresma, A., Browne, K. A., McCormack, G. P. ve Pinto, M. A. 2020. Can introgression in M-lineage honey bees be detected by abdominal colour patterns? *Apidologie*, 51(9), 5583-593.
- Juhász E., Végvári, Z., Pecsénye, K., Tóth, J. P. ve Varga, Z. 2016. Climate-induced changes in the phenotypic plasticity of the Heath Fritillary, *Melitaea athalia* (Lepidoptera: Nymphalidae) *European Journal of Entomology*, 113(1), 104-112.
- Kandemir, I., Kence, M. ve Kence, A. 2005. Morphometric and electrophoretic variation in different honey bee (*Apis mellifera* L.) populations. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 29(3), 885-890.
- Kandemir, İ. 2010. Türkiye Balarısı Çeşitliliği. *Bilim Teknik Dergisi*, Tübitak, 516, 54-55.
- Kandemir, İ. Kence, M. ve Kence, A. 2000. Genetic and morphometric variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations of Turkey. *Apidologie*, 31, 343-356.
- Karacaoğlu M. ve Fıratlı, Ç. 1994. Orta Anadolu Karadeniz Geçit ve Ardahan İzole Bölgeleri Balarısı Ekotiplerinin Morfolojik Özellikleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1994), 207-214.
- Kekeçoğlu, M., Bouga, M., Soysal, M. İ. I. ve Harizanis, P. 2007. Morphometrics as a Tool for the Study of Genetic Variability of Honey Bees. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 4 (1), 7-15.
- Klingenberg, C. P. 2015. Analyzing Fluctuating Asymmetry with Geometric Morphometrics: Concepts, Methods, and Applications. *Symmetry*, 7(2), 843-934.
- Klingenberg, C. P. ve McIntyre, G. S. 1998. Geometric Morphometrics of Developmental Instability: Analyzing Patterns of Fluctuating Asymmetry with Procrustes Methods. *Evolution*, 52(5), 1363-1375.
- Kozlov, M.V., Zverev, V. ve Zvereva, E.L. 2022. Leaf size is more sensitive than leaf fluctuating asymmetry as an indicator of plant stress caused by simulated herbivory. *Ecological Indicators*, 140(8):108970.
- Lazarov, S. 2022. Characteristics of some chitin body parts in worker bees (*Apis mellifera* L.) from hygienic and non-hygienic bee colonies. *Agricultural Science and Technology*, 14 (2), 95-101.
- Leonard R.J., Wat, K.K.Y., McArthur, C. ve Hochuli, D.F. 2018. Urbanisation and wing asymmetry in the western honey bee (*Apis mellifera*, Linnaeus 1758) at multiple scales. *PeerJ*, 6:e5940.

- Ludwig, W. 1932. Das Rechts-Links-Problem im Tierreich und beim Menschen. Springer, 241, Berlin, Deutschland.
- Maldonado-López, Y., Prieto-Dueñas, I.S., Tapia-Torres, Y., Borges, M.A.Z., Suazo-Ortuño, I. ve Cuevas-Reyes, P. 2022. Fluctuating asymmetry and oxidative stress indicate environmental stress of Cane toads *Rhinella marina*. Zoologischer Anzeiger, 299(2), 234-242.
- Mao, W., Schuler, M. A. ve Berenbaum, M.R. 2015. A dietary phytochemical alters caste-associated gene expression in honey bees. Science Advances, 1(7), e1500795.
- Meixner, A., Meixner, M. 2004. Bee Morphometric (Bee2) Software, Version 1.11. 1996-2004, Frankfurt, Germany.
- Meixner, M. D., Pinto, M. A., Bouga, M., Kryger, P., Ivanova, E. ve Fuchs, S. 2013. Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*. Journal of Apicultural Research, 52(4), 1–28.
- Mitteroecker, P. ve Gunz, P. 2009. Advances in Geometric Morphometrics. Evolutionary Biology, 36(2), 235-247.
- Muturi, M. N. K., Bargul, J., Lattorff, H. M. G. 2022. Influence of the Type of Pollen Diet on the Survival, Body Weight, and Immune Response in the African Honeybee. Journal of Apicultural Science, 66(1), 29-40.
- Nunes, L.A., Araújo, E.D. ve Marchini, L.C. 2015. Fluctuating asymmetry in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) as bioindicator of anthropogenic environments. Revista de Biología Tropical, 63(3), 673-682.
- Nunes, V. C. S. ve Souto, P. M. 2021. Fluctuating Asymmetry (FA). In: Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior. Vonk, J. ve Shackelford, T. (eds), Springer International Publishing, 1-6, Switzerland.
- Koca, A. Ö. 2012. Ortadoğu’da Yayılış Gösteren *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) Alttürlerinin Geometrik Morfometri Yöntemleriyle Analizi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 167, Ankara.
- Palmer, A. R. 1994. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications. Markow, T.A. (ed.), Kluwer, 335-364, Dordrecht, Netherlands.
- Palmer, A. R. 1996. Waltzing with asymmetry. BioScience, 46(7), 518-532.
- Palmer, A. R. ve Strobeck, C. 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. Annual Review of Ecology and Systematics, 17, 391-421.
- Palmer, A.R. ve Strobeck, C. 2003. Fluctuating asymmetry analyses revisited, In: Developmental Instability (DI): Causes and Consequences. Polak, M. (ed), Oxford University Press, 279-319, Oxford.

- Pérez-Rodríguez, L., Jovani, R. ve Stevens, M. 2017. Shape matters: Animal colour patterns as signals of individual quality. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1849).
- Radwan, J. 2003. Inbreeding not stress increases fluctuating asymmetry in the bulb mite. *Evolutionary Ecology Research*, 5, 287–295.
- Ratnieks, F. L. W. ve Visscher, P. K. 1989. Worker policing in the honeybee. *Nature*, 342, 796-797.
- Rohlf, F.J. 2017. tpsDIG2, version 2.31. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, New York.
- Rohlf, F.J. 2019. tpsUtil, version 1.78. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, New York.
- Ruttner, F. 1988. *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*, 1th edition. Springer-Verlag, 284, Berlin.
- Ruttner, F. 1992. *Naturgeschichte der Honigbienen*, Ehrenwirth. Springer-Verlag, 357, Berlin.
- Savriama, Y. 2018. A Step-by-Step Guide for Geometric Morphometrics of Floral Symmetry. *Front Plant Sci.*, 9, 1433.
- Savriama, Y. ve Klingenberg, C. P. 2011. Beyond bilateral symmetry: geometric morphometric methods for any type of symmetry. *BMC Evolutionary Biology*, 11, 280.
- Sherratt, E., Serb, J. ve Adams, D.C. 2017. Rates of morphological evolution, asymmetry and morphological integration of shell shape in scallops. *BMC Evolutionary Biology*, 17, 248.
- Sıralı, R., Cimbirtioğlu, Ş. ve Develi, Z. Ş. 2017. Anadolu Arısı (*Apis mellifera anatoliaca*) 'nın Bazı Önemli Özellikleri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 17(2), 82-92.
- Silva, M. C., Lomonaco, C., Augusto, S. C., ve Kerr, W. E. 2009. Climatic and anthropic influence on size and fluctuating asymmetry of Euglossine bees (Hymenoptera, Apidae) in a semideciduous seasonal forest reserve. *Genetics and Molecular Research*, 8(2), 730-737.
- Simmons, L. W., Tomkins, J. L., Kotiaho J. S. ve Hunt J. 1999. Fluctuating paradigm. *Proceedings of the Royal Society*, 266(1419), 593-595.
- Smith, D.R., Crespi, B.J. ve Bookstein, F.L. 1997. Fluctuating asymmetry in the honey bee, *Apis mellifera*: effects of ploidy and hybridization. *Journal of Evolutionary Biology*, 10, 551-574.

- Szentgyörgyi, H., Czekońska, K. ve Tofilski, A. 2016. Influence of pollen deprivation on the fore wing asymmetry of honeybee workers and drones. *Apidologie*, 47(5), 653-662.
- Szentgyörgyi, H., Czekońska, K. ve Tofilski, A. 2017. The Effects of Starvation of Honey Bee Larvae on Reproductive Quality and Wing Asymmetry of Honey Bee Drones. *Journal of Apicultural Science*, 61(2), 233-243.
- Toth A. L. ve Robinson, G. E. 2009. Evo-Devo and the Evolution of Social Behavior: Brain Gene Expression Analyses in Social Insects. *Cold Spring Harb or Symposia on Quantitative Biology*, 74, 419-426.
- Urošević, A., Ljubisavljević, K. ve Ivanović, A. 2015. Fluctuating asymmetry and individual variation in the skull shape of the common wall lizard (*Podarcis muralis* Laurenti, 1768) estimated by geometric morphometrics. *Herpetological Journal*, 25, 177-186.
- Valen, L.V. 1962. A Study of Fluctuating Asymmetry. *International Journal of Organic Evolution*, 16(2), 125-142.
- Zakharov, V. M. 1992. Population phenogenetics: Analysis of developmental stability in natural populations. *Acta Zoologica Fennica*, 191, 7-30.