

***MEGABOMBUS* DALLA TORRE, 1880 ALTCİNSİ
(HYMENOPTERA: APIDAE, *BOMBUS* LATREILLE)
TÜRLERİ ÜZERİNDE SİSTEMATİK ARAŞTIRMALAR VE
BOMBUS ARILARININ ÖRTÜ ALTI TARIMDA
TOZLAŞTIRICI ETKİLERİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR**

**SYSTEMATICAL STUDIES ON THE SPECIES OF THE
SUBGENUS *MEGABOMBUS* DALLA TORRE, 1880
(HYMENOPTERA: APIDAE, *BOMBUS* LATREILLE) AND
STUDIES ON POLLINATING EFFECTS OF BUMBLEBEE
IN GREENHOUSES**

SEÇİL BÜYÜKKAFADAR

Doç. Dr. Ahmet Murat AYTEKİN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2014

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/07/2014

SEÇİL BÜYÜKKAFADAR

ÖZET

MEGABOMBUS DALLA TORRE, 1880 ALTCİNSİ (HYMENOPTERA: APIDAE, BOMBUS LATREILLE) TÜRLERİ ÜZERİNDE SİSTEMATİK ARAŞTIRMALAR VE BOMBUS ARILARININ ÖRTÜ ALTI TARIMDA TOZLAŞTIRICI ETKİLERİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

SEÇİL BÜYÜKKAFADAR

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Murat AYTEKİN

Temmuz 2014, 100 sayfa

Bu tez çalışması ile *Megabombus* altcinsi içerisinde incelenen 5 türde landmark tabanlı geometrik morfometrik çalışmalarının kullanılması hedeflenmiştir. Ayrıca bombus arılarının örtü altı tarımda tozlaştırıcı etkileri çalışılmıştır. Çalışma kapsamında Batı Palearktik'te yayılış gösteren toplam 1097 örneğin kanat yapıları analiz edilmiştir. Bu örneklerden 703 işçi, 173 kraliçe ve 221 erkek birey üzerinde geometrik morfometrik analizler uygulanmıştır. Örneklerin sağ ön kanatlarına landmarkların yerleştirilmesi sonucu landmarkların iki boyutlu kartezyen koordinatları belirlenmiş, ardından Procrustes analizi ile standardize edilmiş ve ince tabaka analizi ile kanatlarda gözlenen deformasyonlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Buradan elde edilen veri ile hesaplanan ortalama değerlerinin kullanılmasıyla türler arasında bir benzerlik ağacı oluşturulmuştur. Bulgulardan tüm türlerin belirgin ve net bir şekilde birbirlerinden ayrıldıkları anlaşılmıştır. İşçilerde ve erkeklerde morfolojik olarak birbirine çok benzeyen *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türleri ile *B. portchinsky* ve *B. hortorum* türlerinin benzer kanat morfometrisine sahip oldukları gözlenmiştir. *B. gerstaeckeri* bu türler ile karşılaştırıldığında kanat morfometrisinde farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde *Bombus terrestris* türü arılar ile Ankara Kalecik'te bir uygulama serasında çalışılmıştır. *Bombus terrestris* arılarının sekiz gün boyunca tozlaştırıcı davranışları izlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre en iyi tozlaştırma aktivitesinin sabah saatlerinde gerçekleştiği kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bombus* (s.l), *Megabombus*, Sistematik, Geometrik morfometri, *Bombus terrestris*, Tozlaşma

ABSTRACT

SYSTEMATICAL STUDIES ON THE SPECIES OF THE SUBGENUS *MEGABOMBUS* DALLA TORRE, 1880 (HYMENOPTERA: APIDAE, *BOMBUS* LATREILLE) AND STUDIES ON POLLINATING EFFECTS OF BUMBLEBEE IN GREENHOUSES

SEÇİL BÜYÜKKAFADAR

Master of Science, Department of Biology

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Murat AYTEKİN

July 2014, 100 pages

In this study it was aimed to be used of landmark based geometric morphometric studies within the 5 species which belong the *Megabombus*. In addition, pollinating effects of bumblebee in greenhouse were studied. Within this study, wings structure of total 1097 specimens that are distributed in western Palaearctic were analyzed. Geometrical morphometry analyses were carried out on 703 workers, 173 queens and 221 males within these species. After placing landmarks on the right fore wings, two-dimensional Cartesian coordinates were calculated, then by Procrustes analysis the coordinates were standardized and the deformations which observed in the wings after the thin-plate spline analysis were analyzed by comparing. By using calculated mean values from according to the results a similarity tree was formed in between species. According to the results all species were clearly and distinctly found to be different. Both in workers and males the species *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. ruderatus* which resemble each other, and the species *B. portchinsky* ve *B. hortorum* were similar based on their wing morphometry. *B. gerstaeckeri* was compared with these species that it was determined difference in wing morphometry. In the second part of the study, *Bombus terrestris* were studied in a application greenhouse in Ankara Kalecik. *Bombus terrestris* bees were be followed pollinating effects for eight days. According to the results best pollinating activity was recorded that has been carried out in the morning.

Keywords: *Bombus* (s.l), *Megabombus*, Systematics, Geometric morphometrics, *Bombus terrestris*, Pollination

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgisi, tecrübesi ile hayatıma yön veren, güzel tecrübeler kazanmamı sağlayan değerli Hocam Doç. Dr. A. Murat Aytekin'e,

Desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için değerli hocalarım Prof. Dr. Kadriye Sorkun, Doç. Dr. Osman Sert ve Prof. Dr. Nevin Keskin olmak üzere Uygulamalı Biyoloji Anabilim Dalı'na,

Umutsuzluğa, mutsuzluğa kapılmama izin vermeyen, hoşgörüsü ve sevgisi ile her zaman yanımda olan pek bi'sevgili Özgür Şahiner'e,

Arılar ve akademi hakkında sayelerinde çok şey öğrendiğim, bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan ve hep yanımda olan değerli hocalarım Fatih Dikmen, Pınar Barkan, Çiğdem Özenirler ve Kürşat Koyuncu'ya

Hiçbir zaman yalnız, sevgisiz ve şefkatsiz bırakmayan Elf gözleri hep üzerimde olan canım arkadaşlarım Melike Topçular ve Merve Dinar'a

Desteklerinden dolayı Seçil Aytekin, Yavuz Turan, Hüseyin Ali Bolat, Senem Özdemir Fırat ve Burcu Şabanoğlu'na,

Sevdiklerimizle bir arada olmamızı sağlayan güzel mekânın güzel insanlarından başta Gülşah olmak üzere tüm Soul ekibine,

Tüm hayatım boyunca sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen, her koşulda yanımda olan Anneme, Babama ve canım kardeşlerim Sevgi ve İbrahim'e,

Sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	ix
KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. <i>Bombus</i> (s.lato) Latreille, 1802'un Önemi.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. <i>Bombus</i> Cinsine Ait Genel Bilgiler	5
2.2. <i>Bombus</i> Arılarının Kökeni.....	10
2.3. <i>Bombus</i> (s.l.) Taksonomisi	13
2.4. <i>Megabombus</i> 'a Ait Genel Bilgiler.....	16
2.5. Geometrik Morfometri.....	20
2.6. <i>Bombus</i> (s.l.) Tozlaşma faaliyetleri	24
3. MATERYAL VE METOD.....	30
3.1. İncelenen Örnekler	30
3.2. Landmark Tabanlı Geometrik Morfometri Çalışmaları	32
3.3. <i>Bombus</i> (<i>Bombus</i>) <i>terrestris</i> (L., 1758)'in Örtü Altı Tarımda Tozlaşma Faaliyetleri.....	34
4. BULGULAR	35
4.1. Morfolojik İnceleme Sonucu Elde Edilen Bulgular	35
4.1.1. <i>Bombus</i> (<i>Megabombus</i>) <i>argillaceus</i> (Scopoli,1763).....	35
4.1.2. <i>Bombus</i> (<i>Megabombus</i>) <i>hortorum</i> (L., 1761)	37
4.1.3. <i>Bombus</i> (<i>Megabombus</i>) <i>portchinsky</i> Radoszkowski, 1883	39
4.1.4. <i>Bombus</i> (<i>Megabombus</i>) <i>gerstaeckeri</i> Morawitz, 1881	40
4.1.5. <i>Bombus</i> (<i>Megabombus</i>) <i>runderatus</i> (Fabricius, 1775)	40
4.2. Geometrik Morfometri.....	42
4.2.1. Erkek Bireylere Ait Morfometrik Bulgular.....	42
4.2.2. İşçi Bireylere Ait Morfometrik Bulgular.....	52
4.2.3. Kraliçe bireylere Ait Morfometrik Bulgular	62

4.3. Örtü Altı Tarımda <i>Bombus terrestris</i> L.'in Faaliyet Verileri	72
4.3.1. <i>Bombus terrestris</i> Kolonilerinin Domates Serasında Tozlaşma Faaliyetleri...	72
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	80
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1. Dişi bir bombus arısında başın anteriordan şematik görüntüsü	6
Şekil 2. <i>Bombus</i> arısında thoraks yapısının dorsalden görünüşü.....	7
Şekil 3. <i>Bombus</i> arısında abdomenin dorsalden görünüşü	8
Şekil 4. <i>Megabombus</i> erkek genital organı.....	10
Şekil 5. <i>Bombus</i> (s.l.)'un tarihsel dağılımlarının özeti	13
Şekil 6. Cameron et al [32] yeniden çizdiği filogeni hesaplamalarını gösteren yakın zamanda listelenen <i>Bombus</i> altcinsleri.	16
Şekil 7. <i>B. argillaceus</i> türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü	17
Şekil 8. <i>B. hortorum</i> türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü	18
Şekil 9. <i>B. portchinsky</i> türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü	18
Şekil 10. <i>Megabombus</i> filogenisi	20
Şekil 11. Ön kanatta kullanılan landmarklar	33
Şekil 12. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı	42
Şekil 13. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı.	43
Şekil 14. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC2).....	44
Şekil 15. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	45
Şekil 16. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	46
Şekil 17. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	48
Şekil 18. <i>B. hortorum</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi.....	48
Şekil 19. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. hortorum</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi.....	49
Şekil 20. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi.....	49
Şekil 21. <i>B. hortorum</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi.....	50
Şekil 22. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı	51
Şekil.23. UPGMA ağacında dört grubun karşılaştırılması.	52

Şekil 24. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı	53
Şekil 25. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı	53
Şekil 26. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı	54
Şekil 27. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	55
Şekil 28. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	56
Şekil 29. <i>B. gerstaeckeri</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	58
Şekil 30. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	58
Şekil 31. <i>B. hortorum</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	59
Şekil 32. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi	59
Şekil 33. <i>B. hortorum</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi	60
Şekil 34. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı	61
Şekil 35. UPGMA ağacında beş grubun karşılaştırılması	62
Şekil 36. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı	63
Şekil 37. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı	63
Şekil 38. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı	64
Şekil 39. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	65
Şekil 40. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı	66
Şekil 41. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. gerstaeckeri</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	68
Şekil 42. <i>B. gerstaeckeri</i> ve <i>B. portchinsky</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	68
Şekil 43. <i>B. gerstaeckeri</i> ve <i>B. hortorum</i> türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi	69
Şekil 44. <i>B. argillaceus</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi	69

Şekil 45. <i>B. hortorum</i> ve <i>B. ruderatus</i> türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi.....	70
Şekil 46. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı	71
Şekil 47. UPGMA ağacında beş grubun karşılaştırılması	71
Şekil 48. <i>B. terrestris</i> türü arılarının domates çiçeğinde polen toplaması	72
Şekil 49. <i>Bombus terrestris</i> arılarının kovanlarına girişleri ve çıkışları.....	75

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1. <i>Bombus</i> cinsi erkek genital organına ait kısımların isimlendirilmesinde kullanılan farklı terimler	9
Çizelge 2. Mons Üniversitesi Zooloji Laboratuvarı Müzesinin ve Doğa Biyoçeşitlilik Merkezi'nin Koleksiyonlarından Kullanılan Örnekler.....	30
Çizelge 3 ve Çizelge 4. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar. ...	47
Çizelge 5. Erkek bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde dört grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.	50
Çizelge 6. ve Çizelge 7. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar. .	57
Çizelge 8. İşçi bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde beş grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.	60
Çizelge 9. ve Çizelge 10. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar.....	67
Çizelge 11. Kraliçe bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde beş grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.	70
Çizelge 12. <i>Bombus terrestris</i> arıların serada elde edilen tozlaşma verileri	74
Çizelge 13. <i>Bombus terrestris</i> arılarının birinci gün tozlaşma aktiviteleri	76
Çizelge 14. <i>Bombus terrestris</i> arılarının ikinci gün tozlaşma aktiviteleri	76
Çizelge 15. <i>Bombus terrestris</i> arılarının üçüncü gün tozlaşma aktiviteleri.....	77
Çizelge 16. <i>Bombus terrestris</i> arılarının dördüncü gün tozlaşma aktiviteleri	77
Çizelge 17. <i>Bombus terrestris</i> arılarının beşinci gün tozlaşma aktiviteleri	78
Çizelge 18. <i>Bombus terrestris</i> arılarının altıncı gün tozlaşma aktiviteleri.....	78
Çizelge 19. <i>Bombus terrestris</i> arılarının yedinci gün tozlaşma aktiviteleri	79
Çizelge 20. <i>Bombus terrestris</i> arılarının sekinci gün tozlaşma aktiviteleri	79

KISALTMALAR

CANOVAR	Kanonik Varyans Analizi (Canonical Variate Analysis)
IMP	Birleştirilmiş Morfometri Paketi (Integrated Morphometrics Package)
GPA	Genelleştirilmiş Procrustes Analizi (Generalized Procrustes Analysis)
MANOVA	Çoklu Varyans Analizi (Multiple Analysis of Variance)
PCA	Temel Öğeler Analizi (Principal Component Analysis)
TPS	İnce Tabaka Analizi (Thin Plate Spline)
UPGMA	Ağırlıklı Olmayan Çift Grup Ortalamaları Analizi (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean)

1. GİRİŞ

1.1. *Bombus* (s.lato) Latreille, 1802'un Önemi

Hymenoptera takımı insanların en çok yararlandığı böcek türlerini içerir. Zararlı böcekler üzerinde predatör ya da parazitoit olan pek çok türün yanı sıra bitkilerin tozlaşmasını sağlayan en önemli grubu olan arılar da yine Hymenoptera takımındadırlar [1]. Bal arıları (*Apis* L. 1758) ve bombus arıları (*Bombus* Latreille 1802) aslında Hymenoptera tür çeşitliliğinin sadece küçük bir kısmını oluşturmalarına rağmen böcekler arasında en tanınmış gruplardan birisidir. Arılar, insan kültürü ve ortak mitolojisi ile tarım, ekonomi ve ekoloji içerisinde her zaman çok özel bir yere sahip olmuştur [2]. Angiospermilerin tozlaşmasında çok önemli bir role sahiptirler ve ticari ürünlerin büyük çoğunluğu arıların yardımı ile tozlaştırılır [3, 4, 5]. İnsanlar tarafından doğrudan besin kaynağı olarak kullanılan 107 bitkinin %85'i doğrudan böcekler ile tozlaşmaya ihtiyaç duymaktadır [6].

Ilıman iklimlerde, bazı ağaç türleri (çam, meşe vb.) rüzgar ile tozlaşırlar ancak bazı çalı türleri (*Prunus* sp., *Rubus* sp., *Paliurus spina-christi* Mill., *Vitex agnus* L.), küçük ağaçlar (*Juniperus* sp., *Vitis vinifera* L., *Laurocerasus officinalis* L.) birçok kır çiçeğini içeren otsu bitkiler (*Carduus* sp., *Cirsium* sp., *Lamium* sp.) arılar ile tozlaşmaktadır. Çöl ve kurak maki alanları arı ile tozlaşan bitkilerce son derece zengindir, bu bitkiler besin sağlamada, yaban hayatını korumada, erozyon ve diğer problemleri önlemede önemli rol oynamaktadırlar. Habitatların korunması arı popülasyonunun korunmasına bağlıdır. Arıların varlığı bitki çeşitliliğini ve bolluğunu işaret ettiğinden dolayı faydalı indikatörlerdir [7]. Eğer arılar yok olursa floranın önemli unsurlarından olan üreme ciddi anlamda kısıtlanabilmektedir [5].

Bombus arıları, iri yapılı, renkli, çok önemli polinatörlerdir, Palaeartik, Nearktik, Oriental ve Neotropik bölgelerin özellikle alpin, subalpin ve arktik kuşakları boyunca yaygın biçimde bulunurlar [8].

Bombus arıları, ekosistemlerin önemli bir parçasıdır ve tozlaşma aktivitesi birçok bitki türünün korunması için gereklidir [7]. *Bombus* arıları hem doğal ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilirliği için hem de domates, meyve ağaçları ve yumuşak meyveler de dahil olmak üzere bazı ticari ürünlerin milyar

dolarlık endüstrisi için gerekli olan tozlaşma faaliyetlerini sağlarlar [3]. Doğal ekosistemler için bombus arılarının biyoçeşitlilik değerlerinin yanı sıra, tozlaşma faaliyetlerinin değeri, dünya çapında 250 kadar *Bombus* türünün hepsinin ya da birçoğunun devamlılığını gerektirir [9].

Bombus arılarının vücutlarındaki yoğun kıllar çiçekten çiçeğe etkin polen taşınmasını sağlamaktadır. *Bombus* arıları polen yayan bitkilerin çiçeklerine ve meyvelerine tutunarak buzz mekanizması olarak adlandırılan kanat kaslarını titreterek silkeleme davranışı göstermeleri nedeni ile de önem taşımaktadırlar [10]. Doğal yetişen ve kültürü yapılan birçok bitkinin tozlaşmasında oldukça önemli role sahip olmaları nedeniyle bombus arıları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır ve ticari anlamda üretilerek özellikle örtü altı tarımda pek çok bitkide tozlaşmada kullanılmaktadır [11,12].

Gelişmiş ülkelerde son yıllarda çevre ve insan sağlığını korumak için organik ve en önemli ögesi doğal girdi kullanımı olan biyolojik tarım teknikleri uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye’de örtü altı sebze yetiştiriciliğinde tozlaşma amacıyla hormon yerine bombus arılarının kullanımı iyi tarım uygulamaları açısından da büyük önem taşımaktadır [13].

Dünyada 250’nin üzerinde *Bombus* (s.lato) türü olduğu tahmin edilmektedir [14]. Ülkemiz sahip olduğu 47 tür ile Batı-Palaeartik’te tür sayısı bakımından en zengin ülkelerden birisidir [15,16].

Taksonomik çalışmalarda, yalnızca belirli karakterler kullanıldığında türler ya da popülasyonlar zaman zaman çakışabilmektedir. Bu, özellikle genital organ yapısı çıkarılmadan ayırt edilebilmesi çok zor olan bombus arılarının erkek bireylerinin sınıflandırma çalışmalarında karşılaşılmaktadır [17]. Aynı şekilde, sadece tüy rengi kullanarak bütün bombus arısı türlerini doğru olarak tanımlamak mümkün değildir [18, 19]. *Bombus* arılarının taksonomisinde çözülememiş sorunlar hala vardır ve bu da DNA çalışmaları özellikle barkodlama çalışmaları, allozim tabanlı modeller, eşeysel feromon analizi ve hem kladistik hem de geleneksel yöntemler ile morfometri gibi alternatif yöntemlerin yaygın biçimde kullanılmasına [15] ve son yıllarda da artan bir biçimde bu yöntemlerin bir kaçını bir arada kullanabilen bütünleşik taksonomik modellerin uygulanmasına yol açmıştır.

Geometrik morfometri, bombus arıları üzerinde ortaya konulacak taksonomik çalışmalarda diğer yöntemlere göre çok daha ucuz olması, hızlı sonuç vermesi ve müze materyali gibi eski örnekler üzerinde uygulanabilirliği olması açısından oldukça avantajlı bir araç niteliğindedir [15]. Geometrik morfometrik teknikler Klingenberg et al. [20] tarafından *Bombus empaticus* üzerinde, Aytekin et al. [15] tarafından *Sibiricobombus Vogt, 1911* altcinsi üzerinde, De Meulemeester et al. [21] tarafından *Bombus (Bombus)*'ta, Wappler et al. [22] tarafından fosil bombus arı türlerinde ve Barkan ve Aytekin [23] tarafından *Thoracobombus*' ta uygulanmıştır.

Megabombus dünya çapında 20 türü olan en büyük altcinslerden birisidir ve bu altcins içerisinde Türkiye'de *Bombus argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türleri bulunmaktadır ancak bu türler taksonomisinde sorunlar olan türler olarak kabul edilmektedir [24]. 1900'den itibaren, *B. ruderatus* ve *B. hortorum* uzmanlar tarafından hem Britanya Adası'nda hem de Avrupa'da ayrı bir tür olarak ele alınmaktadır. Buna rağmen, birçok yazar bu türlerin tüm örneklerini ayırt etmede zorluklar yaşamaktadır. Tek bir karakter her durumda bu türlerin ayrılmasını garanti etmemektedir [25]. Sibling türler olan *B. ruderatus* ve *B. hortorum* türlerinin morfolojisi oldukça benzerdir. Her iki türün işçi bireyleri için herhangi bir tanı karakter yoktur ve erkek bireylerinin genital organ yapıları standart anahtarlarda aynı şema ile gösterilmektedir [26]. Hem *B. ruderatus*'ta hem de *B. hortorum*'da thoraksta ve tergumda koyu (melanik ve yarı melanik) ve soluk kılların oluşturduğu şeritlere sahip bireyler bulunmaktadır ve bu taksanın tanımlanmasını daha da zor hale getirmektedir [25]. Bu iki türün işçilerinde yaka ve tüy renklerine dayalı olarak morfolojik bir spektrum bulunmaktadır ve soluk tüy rengine sahip bireyleri teşhis etmede büyük güçlükler yaşanmaktadır [27]. Diğer bir sorunlu tür olan *B. argillaceus*'un çoğu karakteri *B. ruderatus*'a ait karakterler ile benzerdir. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* arasındaki esas farklılık kraliçelerin renk desenlerinden ileri gelmektedir. Hemen hemen benzer morfolojiye sahip farklı renklerdeki *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* dar bölgelerde bir arada bulunabilmektedir ve bu yerlerde ara veya genetik olarak rekombinant bireylere kanıt olabilmektedir [28]. Scholl, Obrecht ve Zimmermann [29] Fransa'nın güneydoğusunun bir kısmında *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* arasında çok nadir olsa da görülen melez olduğu düşünülen kraliçeleri bulmuşlardır. Bu hibrit

bölgenin her iki tarafında ayrı bir tür olarak kabul edilmektedir. Scholl, Obrecht ve Zimmermann [29]'ın sadece önemsiz bir gen akışının meydana geldiğini hesaplamasından dolayı, çoğu yazar ayrı bir tür olarak ele almaya devam etmektedir [30]. Bu gibi sorunlu türlerin dağılımının ve karşılaşılan problemlerin çözülmesi açısından durumun tespit edilmesi, sorunların bir arada tanımlanması ve geometrik morfometrinin bir yöntem olarak denenmesi son derece önemlidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. *Bombus* Cinsine Ait Genel Bilgiler

Takım: Hymenoptera

Alttakım: Apocrita

Üstfamilya : Apoidea

Familya : Apidae

Tribüs: Bombini Latreille, 1802

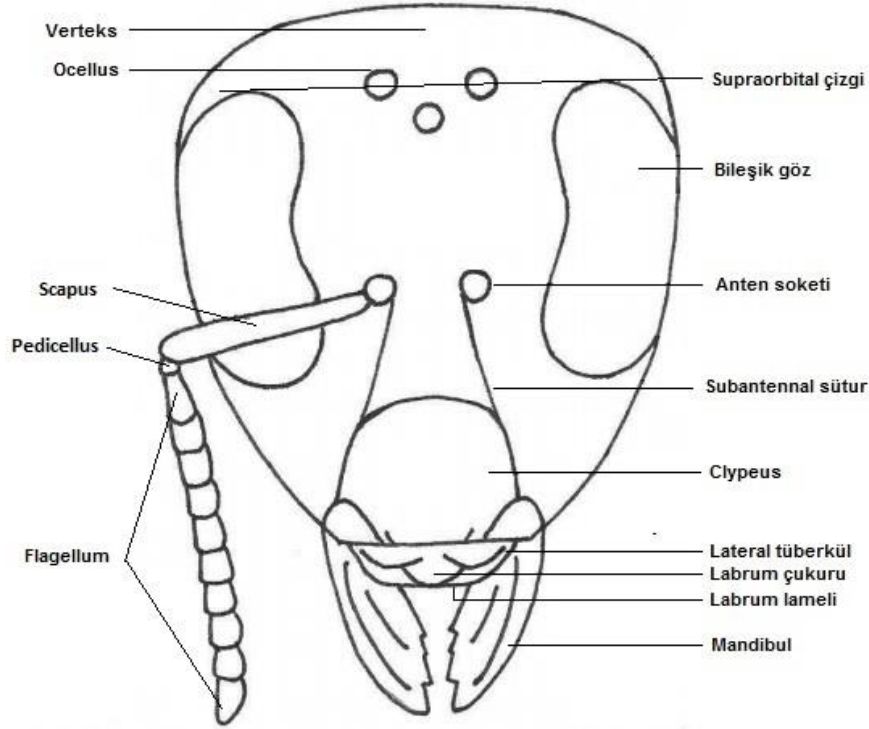
Genus : *Bombus* (s.l.) Latreille, 1802

Bombus arıları Bombini tribüsünü oluşturan monofiletik bir gruptur [31, 32]. Tüm *bombus* arıları tek bir cinste *Bombus* Latreille içerisinde incelenmektedir [33].

Bombus arıları büyük (vücut uzunluğu 7–32 mm) ve iri yapılı böceklerdir. Vücutları çeşitli renklerde, uzun, tüysü yoğun kıllarla kaplı olmasına rağmen metasomanın ventral yüzeyinin bir kısmında, propodeumda, 1. metasomal tergumun anterior yüzünde ve başın bir bölümünde kıllar az sayıda veya hiç yoktur. Eksremitelerin distal kısımlarındaki skleritler genellikle siyah ve açık kahverengidir, parlak sarı, kırmızı veya metalik renkler asla görülmez. Kanatlar genellikle saydam (şeffaf) olmakla beraber bazı türlerde oldukça koyu ya da lekeli olabilir nadiren metalik yansımalar da gösterir [28].

Baş ya da prosoma vücudun ilk kısmıdır ve hypognathous tiptedir. Bileşik gözler başta lateral olarak konumlanır ve çok sayıda fasetten oluşur. Bileşik gözler dışında baş, ince, uzun, değişik renk ve sıklıkta tüyler ile örtülmüştür. Yüzün üst kısmında, ters üçgen şeklinde sıralanmış ocelli olarak adlandırılan üç basit göz bulunur [4]. Ocellinin bileşik gözlere göre konumu ve büyüklüğü değişmektedir. Lateral ocellus ile bileşik göz arasındaki alana ocello-oküler veya ocellar alan ve bileşik gözlerin üst kenarına teğet olarak geçen sanal çizgiye de supra-orbital çizgi adı verilir. En değişken karakterlerden biri, hem tür içinde hem de türler arasında başın dorsumunda, verteksin ocello-oküler alanının yapısıdır [4] (Şekil 1). Dişi *bombus* arıları 12 anten segmentine (scapus, pedicellus ve 10 flagellum)

ve 6 görünür gastral terga ve sternaya sahipken erkeklerde 13 anten segmenti (scapus, pedicellus ve 11 flagellum) ve yedi görünür terga ve sterna bulunur [28]. Özellikle ilk üç anten segmentinin yapısı sistematik açıdan oldukça önemlidir. Anten soketi altında bir subantennal sütur vardır [18].

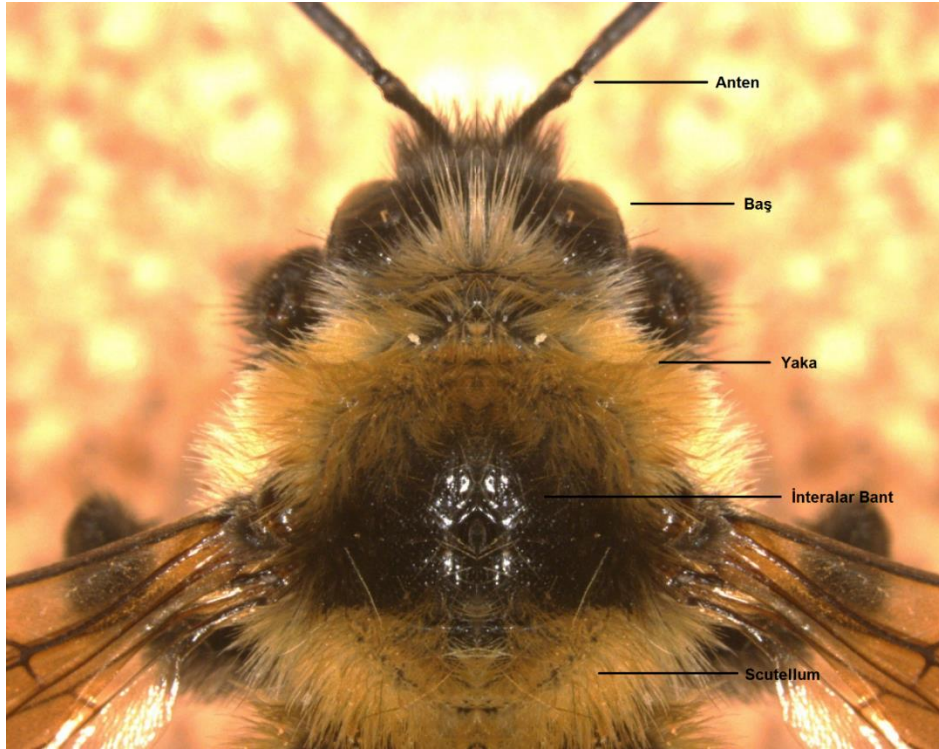


Şekil 1. Dişi bir bombus arısında başın anteriordan şematik görüntüsü. (Barkan [34] 'den değiştirilerek alınmıştır)

Başın en son alt uç kısmında prosomanın geri kalanı ile bazalde genişçe eklemlenmiş olan serbestçe hareket edebilen sklerit yapıda labrum bulunur [4]. Labrumun eni boyundan fazla ve dörtgene yakın şekildedir, uç kısmında "labrum lameli" yer alır [24]. Dişilerin labrumunda anteriorde enlemesine girinti olmasına rağmen, uzunlaşmasına orta çıkıntı yoktur [35]. Labrum, baş kapsülünün en alt hareketsiz sklerit yapısı olan clypeusun apikal kenarı ile geniş bir biçimde eklenmiştir. Başın geri kalanı ile clypeusun bazal eklemlenmesi epistomal sütur ile sınırlandırılmıştır. Epistomal süturdan antenal soketlere dorsal olarak uzanan subantennal süturdur ve tipik olarak her bir anten soketine tek bir subantennal sütur uzanmaktadır.

Bileşik gözlerin en alt sınırı olan ve mandibular ekleminden bileşik gözlerin alt sınırını ayıran integümentin küçük bir bölgesi malar alan olarak adlandırılır [4].

Mesosoma ya da thoraks, birinci abdominal segment (propodeum) ile gerçek thorasik kısmın birleşimidir. Bu nedenle prothoraks, mesothoraks, metathoraks ve propodeum olarak adlandırılan dört ana segmentten oluşmaktadır. Meso ve metathorasik segmentler kanat eklemlerini taşır. İkinci thorasik segmentin dorsal yüzeyi olan mesonotum, mesoscutum (scutum) ve mesoscutellum (scutellum) olmak üzere iki temel kısma bölünür [4]. Serviks ve gerisindeki prothoraksın dorsaline “yaka”, mesothoraksın dorsalindeki kılların oluşturduğu banda “interalar bant”, mesothoraks proksimali ile metathoraks dorsaline de “scutellum” adı verilir [36] (Şekil 2). Thoraksta kullanılan karakterlerin çoğunluğu bacaklardan alınır. Ön bacaklarda anten temizleme organı bulunur. Orta tibiada bir, arka tibiada ise iki distal mahmuz vardır [37]. Bazı tür gruplarında orta basitarsusun (birinci tarsomer) distal posterior köşesinde belirgin bir büyüme vardır. Bu dikensi bir çıkıntı oluşturabilir ancak yakın türler arasında farkı nadiren belirgindir [35]. Dişilerde arka tibianın dış yüzeyi düz, çıplak ve parlaktır; yarlarda kıvrık uçlu olan uzun kıllar, polen taşıma organı olan ‘tibial corbicula’yı (polen sepetini) oluşturur [38].



Şekil 2. *Bombus* arısında thoraks yapısının dorsalden görünüşü.

Metasoma thoraks ile kaynaşmış birinci segment dışında kalan asıl abdomen segmentlerinden oluşmaktadır [4]. Abdomen, dişilerde görülebilir altı, erkeklerde ise yedi segmentten oluşur; dişilerde distal kısım sivri, erkeklerde ise yuvarlaktır (Şekil 3). Abdomen segmentlerindeki tüylerin rengi tür teşhisinde önem taşımaktadır [18, 19, 39].



Şekil 3. *Bombus* arısında abdomenin dorsalden görünüşü

Abdomen sonunda, dişilerde iğne, erkeklerde ise genital kapsül bulunur. Dişilerde ovipozitör savunma aracı olarak kullanılmak üzere bir iğneye dönüşmüştür [40]. İğne, bazalinde bir zehir kesesi bulunan bir çift gonofizden oluşmaktadır. Yumurtalar ovipozitör yerine, iğnenin bazalinde bulunan bir açıklıktan bırakılırlar [41]. Dişi genital organı kuru örneklerde her zaman iyi korunamaz ve şekli bozulabilir böylece bu karakter kullanılamaz hale gelebilir. Buna karşın, erkek genital organı (genital kapsül) son derece sklerotize olması nedeniyle iyi korunur [35]. Genital organ yapısına ait terminoloji Michener [42] ve Williams et al. [14]'a göre yeniden düzenlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. *Bombus* cinsi erkek genital organına ait kısımların isimlendirilmesinde kullanılan farklı terimler [43]

Michener (1944)	Richards (1968)	Williams (1985) Michener (2000)
gonobase	cardo	gonobase
gonocoxite	stipes	gonocoxa
squama	squama	gonostylus
gonostylus	lacinia	volsella
spatha	spatha	spatha
penis valve	sagitta	penis valve

Bombus cinsi üyelerinde, erkek genital organında, distalden proksimale doğru bazalde gonobase (bazal halka), latero- medialde gonocoxa, medialde spatha ve penis valve'leri, postero-lateralde gonostylus ve apikalde volsella yer almaktadır [14, 42] (Şekil 4).



Şekil 4. *Megabombus* erkek genital organı [43]

2.2. Bombus Arılarının Kökeni

Hymenoptera, böceklerin tür bakımından zengin dört takımından (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera ve Lepidoptera) biridir ve dünya çapında yaklaşık 125.000 türü tanımlanmıştır [41]. Alçak rakımlı tropikal bölgelerden kutup ortamlarına ve yüksek rakımlı bölgelere kadar değişen, hemen hemen tüm karasal habitatlarda görülmektedirler [41, 44].

Hymenoptera geleneksel olarak Symphyta ve Apocrita olmak üzere iki alttakıma ayrılır. Apocrita alttakımı, thoraks ile ilk abdominal segmentin sıkı bir şekilde kaynaşması ile oluşan bir bel bölgesine sahiptir. Birinci ve ikinci abdominal segmentler arasındaki daralma, vücut kısımlarının pre-ve post-bel bölgelerini direkt olarak belirtmek için mesosoma ve metasoma terimlerinin kullanılması gerekliliğine yol açmıştır. Symphyta üyeleri kısmen kanat damarlanmalarını tamamlamıştır, larvaları fitofagtır ve erginleri ince bel bölgesine sahip değildir [45].

Apocrita alttakımı monofiletiktir ve genellikle Aculeata ve parazitoid yaban arıları (Parasitica) olarak iki gruba ayrılır. Aculeata; arılar (Apoidea), predatör yaban

arıları (Vespoidea), parasitoid aculeatlar (Chrysoidea) ve karıncalar (Formicoidea) olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır [45].

Apoidea üstfamilyasının ortaya çıkması bundan yaklaşık olarak 120 milyon yıl önce, Kretase döneminde gerçekleşmiştir [41]. Kökeni Symphyta olan bir atadan, Ichneumonoidea ve Chalcidoidea gibi parazitoitik grupların türediği ileri sürülmektedir [38]. Bu gruplardan Vespoidea ve Sphecoidea'nin evrimleştiği, Sphecoidea içerisindeki Crabronidae'den de Apoidea'nin köken aldığı ortaya konmuştur [4].

Melo [46] Apoidea'yı Ampulicidae, Apidae, Crabronidae, Sphecidae ve Heterogynidae olmak üzere beş familyaya ayırmıştır [46, 47].

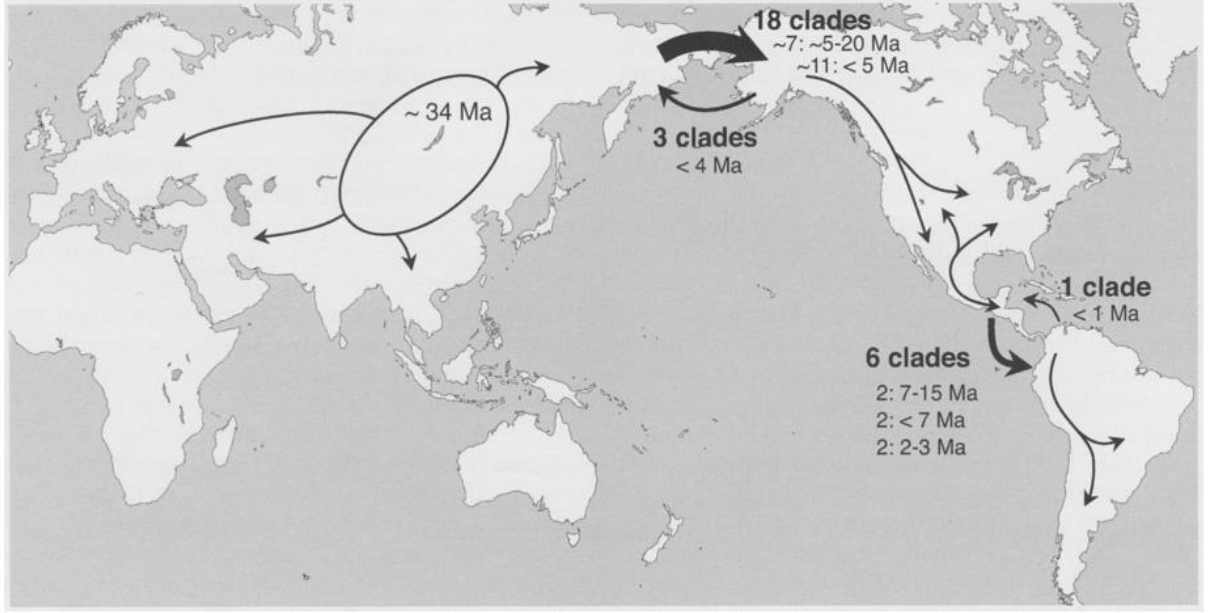
Michener [44], Apoidea'yı 10 familyaya bölmektedir. Bunlar; Sternotritidae, Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Melittidae, Megachilidae, Apidae, Sphecidae, Crabronidae ve Ampulicidae'dir. Daha sonra ise Apoidea iki gruba bölünmüştür. Bunlar ise, sphecoid yaban arıları ya da Spheciformes ile arılar ya da Apiformes'tir. Apiformes'i sphecoid yaban arılarından ayırmaya yardımcı olan bazı yapısal karakterler vardır. Bunlar; genellikle tüysü, dallanmış kılların varlığı, takip eden tarsal segmentlerden daha geniş arka basitarsiye ve çoğu sphecoid yaban arısından genellikle daha uzun proboscise sahip olmasıdır. Pek çok yaban arısının başın alt kısmında ışıpta parlaklığa yol açan altın veya gümüş renkte kılların olması, hemen hemen tüm arıları sphecoid yaban arılarından kolaylıkla ayıran bir karakterdir. Arılar ise nerdeyse bu özelliği hiç göstermez. Çünkü baş kısmındaki kılları daha soluk, genellikle daha dik ve tüysüdür ya da çoğunlukla bulunmamaktadır [44].

Apidae familyası 3 altfamilyaya ayrılır: Apinae, Nomadinae, Xylocopinae. Apinae, büyük ve çok çeşitli bir gruptur. Daha önce familya seviyesinde sınıflandırılan grupları içerir (Anthophoridae, Bombidae, Emphoridae, Euceridae, Meliponidae, Xylocopidae, vb.) [44].

Bombini tribüsü içerisinde bulunan *Bombus*, günümüze kadar devamlılığını korumuş olan tek cinstir [48]. Bombini tribüsü Apini (bal arıları), Meliponini (iğnesiz arılar) ve Euglossini (primer tropikal orkide arılar) tribüleri ile birlikte arka bacakta polen taşıyan yapı (korbikula) ile ayırt edilen korbikulat arıları oluşturmaktadır [4, 32].

Korbikulat arılar 65 myö'den daha önce ortaya çıkmıştır ve en eski korbikulat arı fosilinin saptanan yaşı ve sonrasında arıların başlangıcı (*Anthophila*) yaklaşık 125 milyon yıldır. Korbikulat arıların, arılar içinde daha uç dalda olduğu ve büyük olasılıkla ilk arı çeşitlenmesinden on milyonlarca yıl sonra yayıldıkları tahmin edilmektedir [49]. Buna göre, Grimaldi ve Engel [41] paleontolojik ve morfolojik kanıtlara dayanarak korbikulat arı çeşitlenmesini 80 ila 90 myö olduğunu tahmin etmektedir [48].

Soğuk iklimler *Bombus* arıların (*Bombus*) evrimsel tarihinde önemli rol oynamıştır. Bu dayanıklı, tüylü arılar fakültatif endoterimi [50] içeren termoregülatör adaptasyonlara sahiptir ve bu tüyler arktikte, subarktikte ve dünyanın kuzey bölgelerinde yüksek çeşitliliğe ulaşma ve alpin ekosistemlerde böceklerin yaşayamadığı en yüksek seviyelerin bazılarında yaşamak için olanak sağlamıştır [48]. Günümüze kadar gelen *Bombus* soyunun ilk farklılaşmasının 40-25 milyon yıl civarında olduğu ve Eosen-Oligosen devrinde, buzullaşma ve faunanın değiştiği zamanda ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Williams [51] *Bombus*'un ilk çeşitlenmesini özellikle en yüksek tür çeşitliliğine ulaştığı Asya'daki dağlarda başladığını söylemiştir [48]. Çünkü bu bölge halen *bombus* arılarının en büyük çeşitliliği gösterdiği alanlardır (özellikle Doğu Tibet sınırındaki ve Orta Asya'daki dağlarda) [52]. Eski Dünya kladları *bombus* arıların evrimi boyunca Palearktik ve Doğu bölgeler arasındaki önemli hareketi göstermektedir (Şekil 5). *Bombus* arılarının çeşitlenmesi muhtemelen, yaklaşık 39 milyon yıl önce Atlantik Okyanusu boyunca Avrupa ve Kuzey Doğu Amerika'yı birbirine bağlayan ana kara bağlantılarının kaybolmasından sonra başlamıştır. *Bombus* arılarının, Orta Amerika'da ılıman iklimli habitatların baskın olduğu Miyosen sonlarında yayılmış olabileceği, And Dağları'nın yükselişiyle oluşan yeni ılıman bölgelerle birlikte de Güney Amerika'ya ulaşmış olabileceği düşünülmektedir [48]. *Bombus* arıların Anadolu'ya gelişi ise iki yoldan olmuştur. Birinci yolu izleyenler Kafkaslar üzerinden geçerek Kuzeydoğu Anadolu'dan Hazar Denizi'ne kadar uzanan alanı içine alan İran-Hazar sığınağına ulaşmıştır. Diğer yolu izleyenler ise Balkanları içerisine alan Makedonya-Trakya sığınağına ulaşmıştır ve bu iki sığınaktan Anadolu'ya göç başlamıştır [53]. Son yıllarda kuzeyden inişin Kaçkarlar'dan değil daha doğudan olduğu düşünülmektedir [54].



Şekil 5. *Bombus* (s.l.)'un tarihsel dağılımlarının özeti (Hines, [48]'dan alınmıştır)

2.3. *Bombus* (s.l.) Taksonomisi

Bombus arılarının taksonomisi pek çok türün politipik olmasından dolayı özellikle zorluklar içermektedir. Birçok alt spesifik (infra-spesifik) taksa, alttür ya da sadece varyasyon olarak kabul edilmiştir [28, 33]. Morfolojik karakterler, altcins taksonomisi düzeyinde temel olarak belirli bir noktaya gelmiş olmasına karşın [55], türlerin net bir şekilde teşhis edilmesinde genellikle çok büyük sorunlar vardır [56].

Takson ile ilgili çalışmalar gerçek anlamda Carl von Linnaeus ile başlamıştır denilebilir. Linne, tüm *Bombus* ve *Psithyrus*'ları, *Apis* cinsi içerisinde incelemiştir [57]. Latreille, 19. yüzyılın hemen başında o güne kadar tespit edilen 13 türü *Bombus* cinsi içerisinde toplamıştır [19]. 30 yıl kadar sonra, Lepeletier yuva paraziti olan türleri ayırarak, *Psithyrus* cinsine dahil etmiştir [58].

Koulianos ve Schmid-Hempel, bombus arılarında renk desenleri esas alınarak yapılan ilk sınıflandırmayı Dalla Torre (1880, 1882) tarafından yapıldığını belirtmiştir. Sistematikçiler [18, 59, 60, 61, 62] bombus arılarını sınıflandırmada büyük ölçüde renk ve desenleri kullanmaktadırlar [63]. *Bombus* cinsi arılarının en belirgin özelliği farklı renk desenlerinden oluşmuş uzun ve çoğunlukla parlak renkli kıllarla kaplı olmasıdır. Yaklaşık bir yüz yıl önce, bombus arısının renk

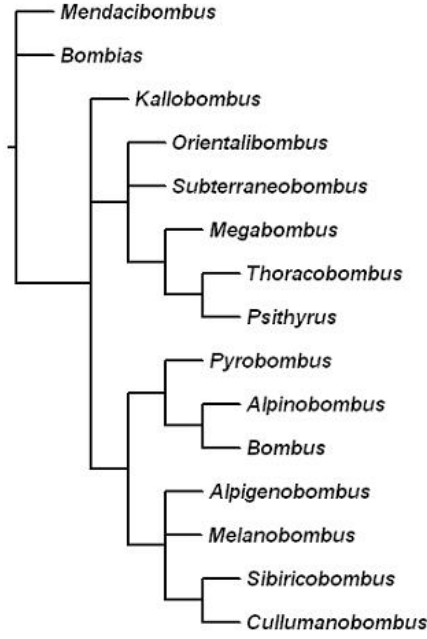
desenlerinin sadece türler arasında değil, aynı zamanda tür içinde de son derece çeşitli olabildiği anlaşılmıştır. Bu yüzden, farklı türlerden bazı bireylerinin birbirlerine daha çok benzeyebildiği görülmüştür [14].

Daha sonra Radoszkowski [64], erkek genital organ morfolojilerinin benzerliklerini esas alarak yeni bir sınıflandırma yapmıştır ve *Bombus* cinsini beş altcins ayırarak incelemiştir. Morfolojik karakterleri esas alarak yapılan bu çalışma Vogt [65] tarafından geliştirilerek altcins sayısını, *Soroensibombus*, *Terrestribombus*, *Sibiricobombus*, *Cullumanobombus*, *Pratobombus*, *Lapidariobombus*, *Hortobombus*, *Agrobombus* ve *Subterraneobombus* olmak üzere dokuzaya çıkartmıştır [14]. Cameron ve arkadaşları [32], Krüger (1917)'in bombus arılarının bir bölümünü, orta basitarsusta dikensi yapının varlığına ya da yokluğuna bağlı olarak ve baş yapısı da dahil olmak üzere birtakım tanımlayıcı morfolojik karakterlere göre, iki büyük bölüme, *Odontobombus* ('dikenli') ve *Anodontobombus* ('dikensiz') ayırdığını belirtmiştir. *Odontobombus* (*Thoracobombus*, *Laesobombus*, *Mucidobombus*, *Rhodobombus*, *Subterraneobombus*, ve *Megabombus*) ve *Anodontobombus* (*Pyrobombus*, *Bombus s.s.*, *Alpinobombus*, *Cullumanobombus*, *Melanobombus*, *Kallobombus*, *Confusibombus*, ve *Mendacibombus*) kısa yüzlü ve uzun yüzlü ayırma karşılık gelecek şekildedir. Daha yakın zamanlarda Pekkarinen ve arkadaşları [66], Pamilo ve arkadaşları [67] moleküler teknikler kullanarak *Odontobombus* ve *Anodontobombus*'un monofiletik gruplar olmadığı sonucuna varmışlardır [63]. Ito 1985'te Skorikov'un Krüger'den farklı olarak Bombinae'yi çok sayıda cins ve altcinsler halinde incelediğini belirtmiştir [58]. Richards [17], daha önceki tüm çalışmaları kapsayacak bir araştırma ile, parazitik *Psithyrus* türlerini de dahil ederek, hepsini *Bombus* cinsine ait 35 altcinste incelemiştir. Williams'a göre 1758 yılında isimlendirmenin başlangıç noktası olan Linneaus'den beri, sinonimler dahil olmak üzere yaklaşık 2800 resmi isim, *Bombus* türleri ve daha düşük derece takson içinde belirtilmektedir [28]. Renk varyasyonunun genişliği anlaşıldığında, farklı yazarlar tarafından başlangıçta ayrı bir tür olarak tanımlanan taksonun, aynı olduğu kabul edilmiştir ve böylece tanımlanan türlerin sayısı azaltılmıştır [68]. Williams [28] 35 olan altcins sayısını başlıca erkek genital organı temel alarak 38'e çıkartmıştır [32].

Koulianos ve Schmid-Hempel, Sladen (1899)'un ve Sakagami (1976)'nın larvaları beslemek için erginlerin kullandığı yönteme bağlı olarak, *Bombus*'u cep yapıcı olanlar ile polen depolayanlar şeklinde ikiye ayırdığını belirtmiştir [63].

Son iki yüzyılın büyük çoğunluğunda birçok yazar bombus arılarını *Bombus* (s.l.) (tamamen sosyal türler için) ve *Psithyrus* (s.l.) (yuva parazitik bombus arıları) olmak üzere iki cins içine yerleştirmiştir. Sosyal parazit altcinsi *Psithyrus* ise birçok taksonomik tartışmaya sebep olmuştur. Tarihsel olarak, *Psithyrus* yaşamlarındaki konukçu durumları ile ilişkili farklı biyolojileri ve morfolojilerinden dolayı, bombus arılarının ayrı bir cinsi olarak kabul edilmekteydi. Son birkaç yıldaki bulguların çoğunluğu ile uyumlu olan sonuçlar ise *Psithyrus*'un, *Bombus* cinsi içinde bir monofiletik grup olduğunu doğrulamaktadır [14].

Böylece altcins sistemi Williams ve arkadaşlarının [14] önerilerine göre, oldukça sadeleştirilmiştir [35]. Bu nedenler ile filogenetik ve DNA tabanlı alternatif çalışmalar sonucunda tüm bombus arılarının daha önce ayrı bir cins olarak kabul edilen *Psithyrus* (s.l.) da dahil olmak üzere *Bombus* (Apidae: Bombini) cinsi içerisinde incelenmesi önerilerek altcins sayısı 15'e indirilmiştir (Şekil 6). Bu yeni sisteme göre *Bombus* cinsi içerisinde *Psithyrus*, *Mendacibombus*, *Bombias* (*Bombias* + *Confusibombus*), *Alpigenobombus*, *Sibiricobombus* (*Sibiricobombus* + *Obertobombus* Reinig, 1930), *Subterraneobombus*, *Thoracobombus* (*Tricornibombus* Skorikov, 1922 + *Exilobombus* Skorikov, 1922 + *Fervidobombus* + *Rhodobombus* + *Laesobombus* Skorikov, 1922 + *Eversmannibombus* Skorikov, 1938 + *Mucidobombus* Skorikov, 1922 + *Thoracobombus*), *Megabombus* (*Diversobombus* Skorikov, 1914 + *Senexibombus* Frison, 1930 + *Megabombus*), *Orientalibombus* Richards, 1929, *Bombus* s.str., *Alpinobombus*, *Cullumanobombus* (*Cullumanobombus* + *Brachycephalibombus* + *Rubicundobombus* Skorikov, 1922 + *Coccineobombus* Skorikov, 1922 + *Dasybombus* + *Crotchiibombus* Franklin, 1954 + *Seperatobombus* Frison, 1927 + *Funebribombus* Skorikov, 1922 + *Fraternobombus* Skorikov, 1922 + *Robustobombus* Skorikov, 1922), *Pyrobombus* (*Pyrobombus* + *Pressibombus* Frison, 1935), *Melanobombus* (*Rufipedibombus* Skorikov, 1922 + *Festivobombus* Tkalcu, 1972 + *Melanobombus*) ve *Kallobombus* olmak üzere 15 altcins içerisinde incelenmektedir [14].



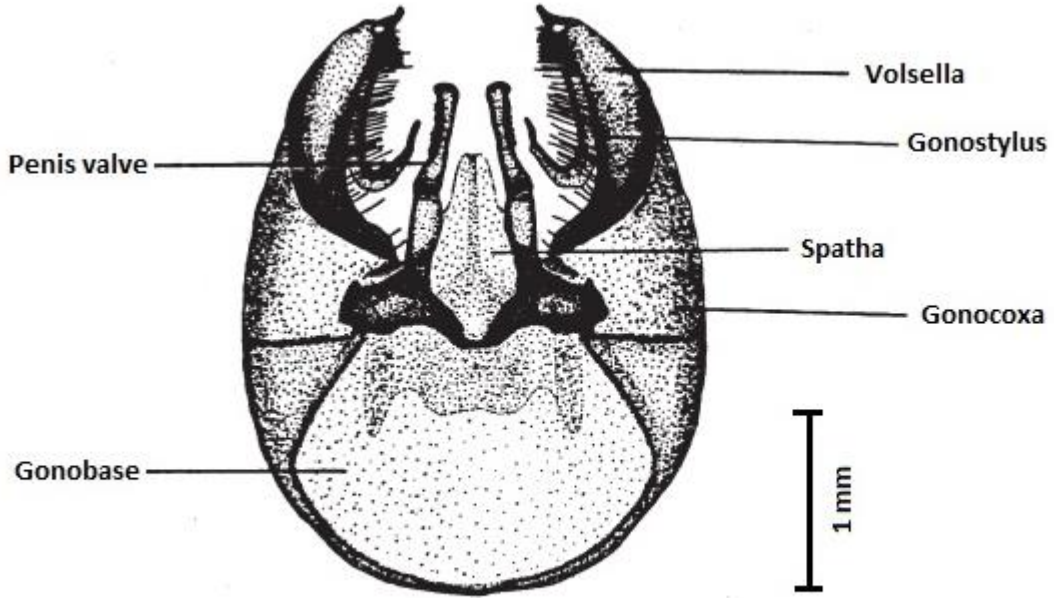
Şekil 6. Cameron et al [32] yeniden çizdiği filogeni hesaplamalarını gösteren yakın zamanda listelenen *Bombus* altcinsleri (Williams et al, [14]'den alınmıştır).

2.4. *Megabombus*'a Ait Genel Bilgiler

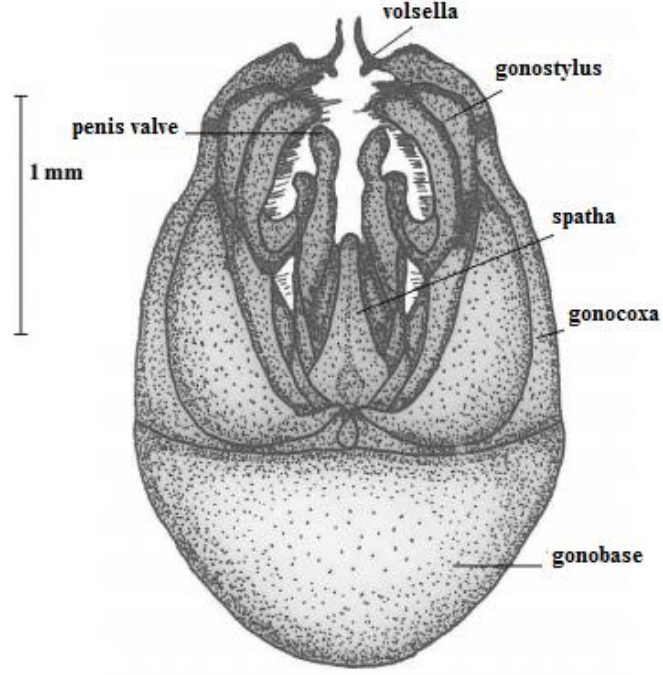
Megabombus'un habitatı tropikal dağlık ormanlar dahil olmak üzere ovalar, ormanlar ve çayırlardır. Proboscisleri orta ile uzun arası bir boyda olduğundan, ziyaret ettikleri bitkiler de sıklıkla orta ile derin aralıkta korollaya sahip bitkilerdir. *Megabombus* altcinsi en uzun dilli bombus arılarını içerir. Bu türler genellikle bilateral simetrik, uzun korallı çiçeklerin sınırlı bir aralığında özelleşmiştir ve hatta özellikle polen aramak için, oligolektik ilişkiler geliştirebilmektedir (en iyi bilinen *B. consobrinus*). Yuvaları toprağın altında ya da bazen toprak yüzeyindedir [30].

Megabombus altcinsinde incelenen *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türleri dişilerinde clypeal hattın clypeusun boyuna orantısı ile supra-orbital hattın lateral ocelliyi apikalde teğet geçmesi veya ortada kesmesi durumu, belirgin ayırıcı karakter olarak kabul edilebilir. Bu sistematik özellikler incelenen bütün örneklerde saptanmıştır. Ancak, *Megabombus* altcinsinde erkek bireylerin genital organ yapıları birbirlerine çok benzemektedir. Özellikle *B. hortorum* ve *B.*

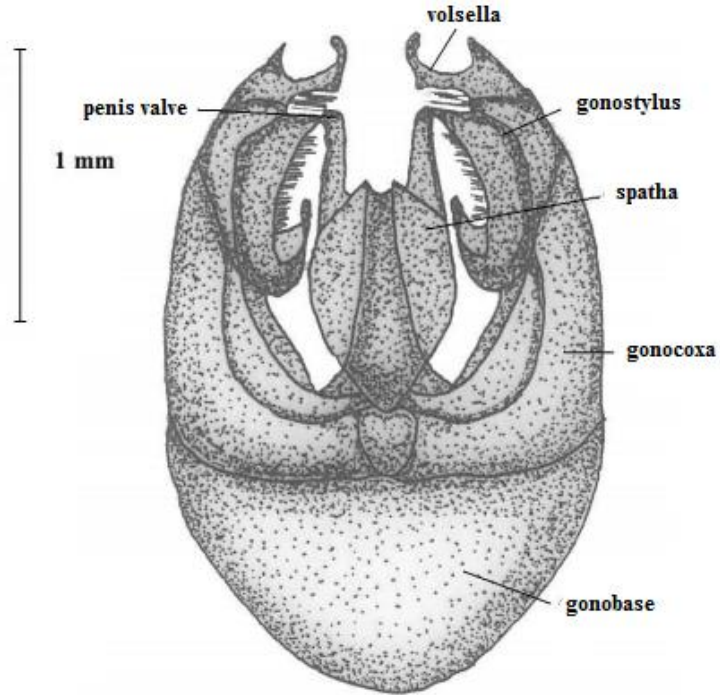
portchinsky erkeklerinde türleri birbirlerinden ayıracak güvenilir anahtar karakterler yetersizdir. Her iki türde de genital organda volsella uzun çizme biçiminde, gonostylus kulak kepçesi gibi, medio-proksimalde U şeklinde yukarı kıvrık, *B. portchinsky*'dekinden sivri ve kısa, özellikle *B. hortorum*'daki daha yuvarlak ve uzundur [24]. Ventral görünümünden ise *B. argillaceus*'ta gonostylusun apikali sivri olduğu görülür ve penis valve gonocoxaya doğru uzanan bazal bir parçaya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7-9) [69]. Ancak bu durum bazı örneklerde değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle *Megabombus* altcinsi türlerinde farklı ve daha yeni geliştirilen yöntemlerin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır [24].



Şekil 7. *B. argillaceus* türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü (Aytekin & Çağatay [69]'dan değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 8. *B. hortorum* türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü (Aytekin [24]'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 9. *B. portchinsky* türünde genital organ yapısının dorsalden görüntüsü (Aytekin [24]'den değiştirilerek alınmıştır).

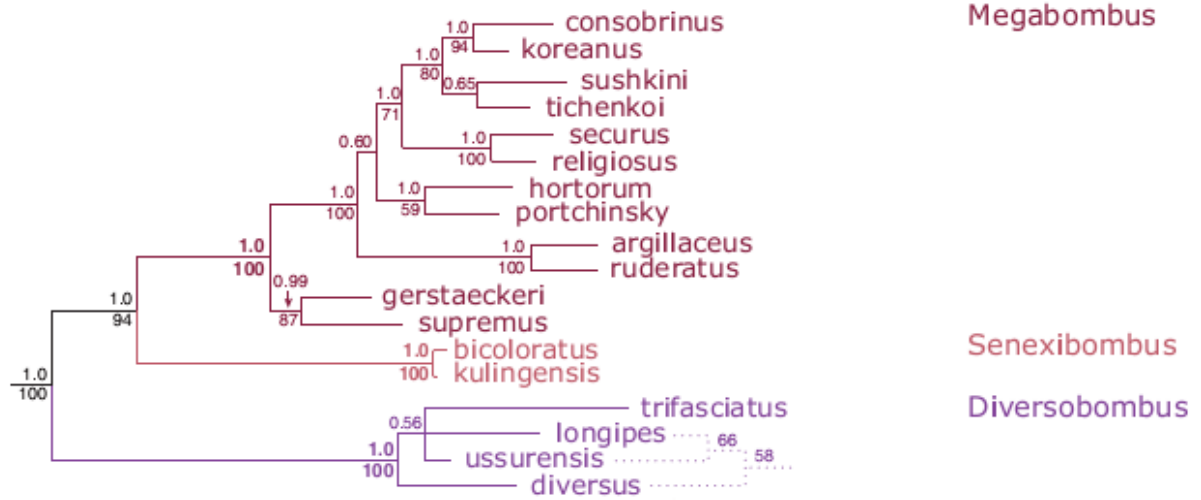
Megabombus altcinsinde yer alan türlerin dişi bireyleri;

-İkinci sternumun anterior ve posterior kenarlar arasında düz olması,

-Arka tibianın corbicular yüzeyinin neredeyse düz ve sadece anteriorde zayıfça konveks olması, distal yarısında posteriorde konkavlık göstermesi,

-Clypeus dorsalinin üçte birinde çok sayıda nokta ile uzunlamasına dorsal median yarık bulunması (*hortorum* grubu), clypeusun orta yarısında parlak, seyrek, küçük noktaların bulunması ile *Bombus* (s.l.) içerisindeki diğer altcinslere bağlı türlerin dişi bireylerinden ayrılmaktadır [14].

Daha önceki sisteme göre *Megabombus* cinsi Bombinae altfamilyasında 6 altcins içerisinde ele alınmaktaydı, bunlar; *Megabombus* Dalla Torre altcinsi (içindeki türler: *argillaceus*, *portchinsky*, *hortorum*), *Rhodobombus* Dalla Torre altcinsi (*pomorum*, *mesomelas*, *armeniacus*), *Subterraneobombus* Vogt altcinsi (*melanurus*, *fragrans*, *subterraneus*), *Eversmannibombus* Skorikov (*persicus*) altcinsi, *Laesobombus* Krüger (*laesus*) altcinsi ve *Thoracobombus* Dalla Torre (*pasuorum*, *mlokosievitzi*, *sylvarum*, *runderarius*, *zonatus*) altcinsidir [24]. *Megabombus* önerilen yeni altcins sistemine göre sayıları 15'e indirgenmiş olan altcinslerden biri olarak incelenmektedir. Yapılan sadeleştirme ile *Rhodobombus*, *Laesobombus*, *Eversmannibombus* ortadan tamamen kaldırılarak *B. laesus*, *B. pomorum*, *B. mesomelas*, *B. armeniacus*, *B. persicus* türleri yeni *Thoracobombus* altcinsi içerisine dahil edilmiştir [14]. *Megabombus* altcinsi *Diversobombus* + *Senexibombus* + *Megabombus* olarak üç bölüm şeklinde değerlendirilmiştir [32]. Bu kladin bombus arıları arasında en uzun dilleri ile tanınan tek bir altcins - *Megabombus* altcinsi olarak ele alınması önerilmektedir [14]. *Megabombus* dünya çapında 20 tür ile temsil edilmektedir. Palaeartik'te ise *Bombus diversus*, *Bombus ussurensis*, *Bombus longipes*, *Bombus gerstaeckeri*, *Bombus argillaceus*, *Bombus ruderatus*, *Bombus hortorum*, *Bombus portchinsky*, *Bombus czerskii*, *Bombus tichenkoi*, *Bombus consobrinus* ve *Bombus koreanus* olmak üzere toplam 12 tür ile temsil edilmektedir (Şekil 10) [30].



Şekil 10. *Megabombus* filogenisi (Cameron et al. [32]'den alınmıştır).

2.5. Geometrik Morfometri

Organizmaların anatomik özelliklerini karşılaştırmak, yüzyıllardır biyolojinin asıl unsurlarından olmuştur. Organizmaları taksonomik olarak sınıflandırmak ve biyolojik yaşamın çeşitliliğini anlamak, tarihsel olarak morfolojik formların tanımlamalarına dayanmaktadır. Morfolojik çalışmalar ortalama değerler olarak özetlenen ve gruplar arasında karşılaştırılan, bir veya daha fazla ölçülebilir özellikleri için niceliksel verileri içermektedir [70]. Morfolojik varyasyonun taksa arasındaki mesafeler ile karakterize olduğuna inanıldığından sistematikte, morfolojik veriler önemli olarak görülmektedir. Bu mesafelerin varlığı her taksonu teşhis edilebilir yapmaktadır ve onların hiyerarşik yapısı kökenin ve nesillerin evrimsel sürecinde birleştirilmiş morfolojik değişimin etkilerini yansıtmaktadır. Bu mesafeler evrimsel süreçlerin bir dizi sonucu olarak ortaya çıkabilir ancak onların keşfi, tanımlanması ve yorumlanması tüm sistematik araştırmaların ilk ve en temel görevidir [71]. Yirminci yüzyıla gelindiğinde, morfolojik şeklin niceliksel tanımlanması gruplar içinde ve arasında şekil varyasyonlarını açıklayan istatistiksel analizleri bir araya getirilmiştir ve morfometrinin modern alanı başlamıştır [70].

Morfometri şekil varyasyonunun ve bu varyasyonun diğer değişkenler ile kovaryansının çalışıldığı matematiksel şekil analizinin bir dalıdır [72, 73]. Biyolojik formun birçok morfolojik özelliği açıkça evrimsel süreçlerin yansıması olmasından

ve morfolojik varyasyon örneklerinin değerlendirilmesi filogenetik ilişkileri anlamak için geleneksel olarak kullanılmış olmasından dolayı, morfometrik analizlerin filogenetik çalışmalarda önemli rol oynayacağını varsaymak doğal görünmektedir. 1960'lardan önce filogenetik analizler morfolojik varyasyonun niteliksel değerlendirmesine dayanıyordu ve o zamanlar bu sadece teorik bir yöntemdi, çünkü hızlı ve etkili morfolojik analizler için gerekli olan görüntüleme, hesaplama araçları ve veri analiz teknikleri mevcut değildi. Çok fazla sayıda olan filogenetik hipotezler, morfometrik analizlerin kullanılması ile sınırlandırılmıştır ve bu deneylerin büyük bir kısmı 1960'ların ve 1970'lerin numerik taksonomi/fenetik yaklaşımı sayesinde yapılmıştır [74].

Geleneksel olarak morfometri, uzunluk, genişlik ve yükseklik gibi niceliksel değişken gruplara çok değişkenli istatistiksel analizlerin uygulamasıdır. 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında morfolojik yapıların sayısallaştırılması ve nasıl analiz edileceklerine dair değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişiklik ile ilgilenilen morfolojik yapıların geometrisine ağırlık verilmiş ve bu bilgilerin analiz boyunca korunması sağlanmıştır. 1993 yılında bu yeni yaklaşıma 'geometrik morfometri' denmiş ve morfometri alanında bir devrim olarak nitelendirilmiştir [70]. Geometrik morfometri, bir yapının genel şeklinin analizini ve sayısallaştırmasını amaçlayan metotların merkezidir [72, 75]

Geleneksel morfometride olduğu gibi bir organizmanın kompleks biçimi lineer ya da doğrusal ölçümleri kullanarak özetlenmemektedir [76]. Bu ölçümler büyük ölçüde boyutu ile ilgili olduğu için boyutu düzeltmek adına çok çaba harcanmaktadır [73]. Genel olarak, doğrusal mesafelerden şekillerin grafiksel gösterimlerini oluşturmak mümkün değildir [70]. Bu nedenle şeklin bazı açıları daima kaybolmaktadır. Dolayısıyla bu ve diğer birkaç zorluk için morfolojik şekil analizi ve alternatif yöntemlerin niceliği araştırılmaya başlanmıştır. Bu yöntemlerden biri landmark tabanlı geometrik morfometrik olarak bilinmektedir. Bu yöntemin araştırma alanı Kartezyen koordinatları alınabilen yapılardaki çalışmalarını içermektedir [76].

Landmark tabanlı geometrik morfometrik yöntemler biyolojik olarak tanımlanabilir landmarkların iki veya üç boyutlu koordinatlarının toplanması ile başlar. Tüm morfometrik ölçümler landmarkları esas almaktadır. Landmarklar iki ya da üç boyutlu öklid ölçümlerinin uzayda bir nesne üzerinde işlevsel olarak yeniden

yerleştirilebilen koordinat durumları olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım Bookstein tarafından sunulana göre daha spesifik olduğu halde kavram olarak aynıdır [70]. Çok değişkenli morfometrilerin öklid mesafeleri landmarklar arasındaki mesafedir. Landmarklar formdan forma gerçek homolijiyi ifade etmektedir. Landmark noktaları yalnızca kendilerine ait lokasyonlara sahip olmakla kalmazlar ancak çalışmada yer alan diğer formların her biriyle de aynı lokasyonlara sahiptirler. Biyolojik landmarklar Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 olmak üzere üç çeşit olarak belirlenmiştir. Tip 1 landmarklar üç yapının kesiştiği uzamsal noktaları içermektedir ve Tip 1 landmarklar biyometrik açıdan önemli ölçüde açıklayıcı olarak kabul edilmektedir [72]. Tip 2 landmarklar ise yapıların maksimum kavislenen yerlerine ve Tip 3 landmarklar da yapıların uç yerlerine yerleştirilmektedir [74].

Bookstein [72] tarafından geliştirilen göreceli warplar ve Bookstein Biçim koordinat (BC) yöntemleri landmark verilerine dayalı morfometrik varyasyon analizleri için taksonomistlere özel bir yardım sağlamaktadır [15].

Örneklerin skalasında, transformasyonunda ve rotasyonunda (aynı düzleme alınmalarında) varyasyon etkileri hala var olduğu için değişken olan koordinatların doğrudan analizi uygunsuz olmaktadır. Bu nedenle, bu gibi değişkenlerin analizi öncesi, şekilsel olmayan varyasyonların matematiksel olarak çıkarılması gerekmektedir. Şekilsel olmayan varyasyon ortadan kaldırıldığında, varyasyonlar şekil varyasyonları haline gelir ve bu istatistiksel olarak örnekleri karşılaştırmak için kullanılabilir ve şeklin grafiksel gösterimleri karşılaştırma için oluşturulabilir. Bu gibi biçimsel olmayan farklılıkları ortadan kaldırmak için geliştirilmiş birkaç superimpozisyon (üst üste çakıştırma) metodu vardır [70]. Üst üste çakıştırma metodları bazı optimizasyon kriterlerine göre bunları kapsayarak landmarkların konfigürasyonlarında şekilsel olmayan varyasyonları ortadan kaldırır. Bookstein Biçim Koordinatları özellikle basit bir üst üste çakıştırma yöntemidir. Diğer bir üst üste çakıştırma yöntemi olan Genelleştirilmiş Procrustes Analizi (GPA: Genelleştirilmiş En Küçük Kareler Yöntemi denilen, daha önceki literatürde bu nedenle GLS olarak ifade edilen) translasyon ve rotasyon parametreleri için en küçük kareler metodu hesaplamaları kullanarak landmark konfigürasyonlarını üst üste getirir. İlk olarak, her konfigürasyonun ağırlık merkezi, başlangıç noktasına çevrilir ve konfigürasyonlar birim boyutuna yani ortalama ölçeklendirilir. Son olarak, konfigürasyonlar benzer landmarklar arasında kareleri alınmış farkları en

aza indirgemek için en iyi şekilde döndürülür [77]. Üst üste çakıştırmadan sonra, şekil farklılıkları nesnelere arasına karşılık gelen landmark koordinatlarındaki farklılıkları ile tanımlanabilir. Ayrıca bu farklılıklar, şekil varyasyonlarının çok değişkenli karşılaştırmalarında veri olarak kullanılmaktadır. Alternatif olarak, ince tabaka analizleri (TPS:Thin plate spline) bir nesneden diğerine şekildeki deformasyonları görselleştirmek için kullanılmaktadır [72]. Nesnelere arasındaki şekil farklılıkları nesnelere gösteren deformasyon ağlarının farklılıkları açısından daha sonra tanımlanmaktadır. Bu deformasyonları açıklayan parametreler (kısmi sapma durumları) popülasyonların içinde ve arasında şekildeki varyasyonları istatistiksel olarak karşılaştırmak için şekil değişkenleri olarak kullanılabilir [70]. Bunu gerçekleştirmek için ise PCA (Temel Ögeler Analizi) ve CANOVAR (Kanonik Varyans Analizi) kullanılmaktadır. PCA bireyler arasında varyasyon tanımlamalarını basitleştirmek için bir araç iken, CVA gruplar arasındaki farkların tanımlamalarını basitleştirmek için kullanılmaktadır. PCA, varyasyon ve kovaryasyon örneklerini basitleştirmektir ve birbirinden bağımsız ve orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonları olan yenileri (temel bileşenler) ile orijinal değişkenleri değiştirerek yorumlama yaparak örnekleri daha kolay izlenebilir hale getirmektedir. CVA yönteminde örneklerdeki grupların bağıl pozisyonları analiz edildiği için, bireylerin analizine başlanmadan önce gruplandırılması gerekmektedir. Bu analizler ile farklılıklar özetlendikten sonra istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ise MANOVA (Çoklu Varyans Analizi) ile test edilmektedir. MANOVA'da iki sınıf ile tek bir kategorik değişken ve çok değişkenli bağımlı değişken vardır. Bağımlı değişkende sınıflar arasında fark olup olmadığına bakmak ve aynı anda tüm ölçülen değişkenlerde iki ortalama arasındaki farkı değerlendirmek istenmektedir [73].

Bombus arılarında klasik morfometrik çalışmalarda öncelikle çeşitli ağız parçalarının ölçümlerine ek olarak genellikle radyal hücre uzunluğu ya da kanadın toplam uzunluğunu kullanılmıştır [68, 78], ancak tek başına kanat ölçümleri geleneksel ve geometrik morfometrik çalışmaların çoğunda kullanılmaktadır. Kunkel [79] 'in belirttiğine göre, ilk olarak Comstock (1893) geleneksel sınıflandırmada böcek kanadının damarlanma sisteminin kullanılmasını popüler hale getirmiştir. 1970'li yıllardan bu yana, birçok yazar sistematikte ve filogenide özellikle iki boyutlu morfometrik çalışmalarda böcek kanatları kullanmaya

başlamıştır [76], özellikle bal arılarının kanatlarında çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [80]. Tofilski [81] kanat damarlanmalarını temel alarak bal arılarının alttürlerini tanımlamak için standart morfometrinin ve geometrik morfometrinin etkinliğini karşılaştırmıştır. Kanatların sert ve sıkı sıkıya eklemli yapılar olmasından dolayı geometrik morfometrik çalışmalar için çok yararlı araçlar haline gelmiştir [76]. Kanat damarlanma örnekleri boyuna ve çapraz damarların birleşme koordinatları ile ölçülebilir ve bu muhtemelen filogenetik ve gelişim bilgilerini yansıtmaktadır [82]. Kanat morfometrisi yakından ilişkili takson arasında ayırım yapmak için Hymenoptera'nın taksonomik çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır ve ayrıca türler arasında kanat şeklinde, boyutunda ve mekanik özelliklerinde önemli farklılıkları göstermiştir [15]. Bu yöntem aynı zamanda bombus arı çalışmalarını oldukça etkilemiştir. Owen [82], *Bombus* altcinsleri arasında morfometrik şekil ilişkileri Plowright ve Stephen (1973) tarafından temel bir şekilde önceden incelendiğini belirtmiştir. *Bombus* sistematğinde bu yöntemin kullanımı ile olumlu sonuçlar alındığı Klingenberg [83], Aytakin et al. [15], De Meulemeester et al. [84], Özenirler [85] ve Barkan ve Aytakin [23] çalışmalarında gösterilmektedir.

2.6. *Bombus* (s.l.) Tozlaşma faaliyetleri

Tozlaşma, bir çiçeğin anterinden aynı ya da farklı çiçeğin stigmasına polen transferi olarak tanımlanmaktadır. Bitkilerin çoğunda, tozlaşma tohum bağlama için gereklidir [52]. Tozlaşma, muhtemelen insan sağlığına ve ekonomisine böceklerin en büyük katkılarından birisidir. Ayrıca ekolojik dengenin korunmasında son derece önemlidirler [11].

Bitkiler rüzgar, su, kuşlar ve yarasalarda dahil olmak üzere polen taşımak için çeşitli vektörleri kullanabilmektedir, ama önemli bir çoğunluğu böcekler tarafından tozlaştırılır. Kendi döllek bitkiler, Kolza (*Brassica napus* L.), kahverengi hardal (*Brassica juncea* (L.) Czern.) ve domates (*Solanum lycopersicum* L.) gibi kendi kendine tozlaşma yeteneğine sahiptir, ancak böcek ziyaretlerine anterden stigmaya polen taşımak için gereksinim duymaktadırlar. Kolza bitkisinde olduğu gibi uygun tozlaşma tohumların erken ve düzgün olgunlaşmasını sağlayarak üreticiye daha fazla fayda sağlar; aksi takdirde, tohum olgunlaşması aksar ve bazı tohumlar hasattan önce dökülür. Meyvelerden çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.),

kavun (*Cucumis melo* L.) ve kivi (*Actinidia deliciosa* A.Chev.) için meyve büyüklüğü üretilen tohum ile ilgilidir ve yeterli tozlaşma ile maksimum meyve büyüklüğü sağlanmaktadır [52].

Böcekler tarafından çiçeklerin tozlaştırılmasının birçok avantajı vardır. Geleneksel görüşler böcek tozlaşmanın aynı türün çiçekleri arasında poleni doğrudan transfer ettiği için polenlerin daha az israf edilmesini sağladığı yönündedir. Böcekler (özellikle kanatlı olanlar) tarafından tozlaştırma mesafeli olarak gelişen çiçeklerin üremesine olanak sağlamaktadır [45]. Böceklerin tozlaşmada kullanımı tarımsal üretimde ürünün kalitesini artırıcı bir rol oynamakta, bitki popülasyonunun sürekliliğini sağlayarak ekolojik dengeyi korumaktadır. Ekolojik dengenin kurulamadığı alanlarda erozyon etkisiyle zamanla toprak verimliliği kaybolmakta, bitki popülasyonları nesillerini sürdürememektedirler [86].

Diğer böcek gruplarının aksine, ergin arılar polen ile yavrularını beslemektedir. Yavruları için yeterli kaynağı toplamak üzere, arılar yüksek çalışma hızını devam ettirmek zorundadır. Çalışma hızları arıları mükemmel polinatör yaptığından dolayı pek çok bitki arı tozlaşması için öncelikli olarak adapte olmuştur [52].

Arılar, sadece kültür bitkilerinde tozlaşma yaparak ürünün nicelik ve nitelik yönünden artmasını sağlamakla kalmayıp, doğadaki yabani bitkilerde de tozlaşmayı gerçekleştirerek, bu bitkilerin çoğalıp yayılmalarına, yaban hayatının gelişmesine, bitki ve hayvanlarda çeşitliliğin artmasına olanak sağlamaktadırlar [87]. Bazı bitki familyalarının tozlaşma için arılara çok büyük ölçüde bağımlı olduğu düşünülmektedir. Bu familyalar Boraginaceae, Ericaceae, Fabaceae, Iridaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Orchidaceae, Scrophulariaceae, Solanaceae ve Violaceae'dir [88].

Darwin tozlaşmadan ve arılardan özellikle de bombus arılarından (humble-bee) etkilenmiştir. Tozlaşma hakkında bugün bildiklerimizin pek çoğu Darwin'nin Kent'teki bahçesinde bitkiler ve böcekler ile çalışmalarına dayanmaktadır [52]. Bombus arıları soğuk havalara daha fazla toleranslı oldukları için soğuk ve ılıman ekosistemlerdeki birçok bitkinin temel tozlaştırıcısı olarak önemli rol oynamaktadır. Bombus arı işçileri 10°C den düşük sıcaklıklarda hala aktif iken, bal arısı genellikle 16°C'den daha az hava sıcaklığında besin aramazlar [50]. Sıcaklık 32 °C'nin üzerine çıktığında bombus arıları besin aramayı durdurmaktadır ([89], *B. terrestris* için) [90]. Bu endotermileri sayesinde güne besin aramaya bal arılarından daha

önce başlamaktadırlar. Aynı koşullar altında, bombus arıları bal arılarından daha hızlı besin arama eğilimindedir ve böylece arı başına daha fazla çiçeği tozlarlar [52]. Bombus arılarının dillerinin bal arılarına oranla daha uzun olması korallalı çiçekleri tozlaştırma konusunda çok daha etkilidir [90]. Ayrıca, bombus arıları daha küçük soliter türlere kıyasla, daha geniş alanda besin aramaktadır ve böylece bitkileri daha iyi tozlaştırabilmektedir [52].

Birçok yazara göre [19, 40, 52, 91, 92] bombus arıları çoğunlukla Asteraceae, Ericaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Onagraceae, Ranunculaceae ve Scrophulariaceae familyalarına dahil bitkilerden beslenmektedir. Ancak, bombus arı türlerinin üzerinden toplandığı bitkiler bir bölgeden diğerine farklılık gösterebilmektedir [93].

Tarımda tozlaştırıcı böcekler olarak bombus arılarının potansiyel değeri uzun bir süredir kabul edilmiştir. Bombus arılarının kullanımı üreticilere, mekanik tozlaşmanın sebep olduğu yüksek maliyeti azaltması, meyve verimini ve kalitesini artırması ve bombus arı aktivitelerini izleme kolaylığı gibi faydalar sağlamaktadır [90]. Bu özellikleri ile *Bombus* doğal ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilirliği için ve domates, meyve ağaçları ve üzümü meyveler dahil olmak üzere ticari ürünler üreten milyarlarca dolarlık endüstri için gerekli olan tozlaşma faaliyetini sağlamaktadır [3].

Sera domatesi, meyve durumu için ek olarak tozlaşmaya ihtiyaç duyar ve genellikle mekanik titreşme (el ile tozlaştırma) ile tozlaştırılır ve gösterilen emek fazladır ve bu yüzden de pahalıdır [94]. Bombus arıları domates çiçeğini ziyaret ettiğinde, mandibulları ile anter konilerini kavrayarak titretiler ve tozlaştırmayı gerçekleştirirler [90]. Bal arıları da domatesin tozlaşması için kullanılmıştır ancak verim konusunda çok istikrarsız ürünler elde edilmiştir ve çoğunlukla da öncelikleri domates çiçeklerini ziyaret etmek değildir. Bombus arıları, bal arıları veya mekanik tozlaşma ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir verim sağlamaktadırlar [95].

1987 yılında, Dr De Jonghe bombus arılarının ticari yetiştirilmesi için Biobest şirketini kurmuştur. Onun girişimini sonraki yıl, 1967 yılından bu yana biyolojik kontrol ajanlarının bir üreticisi olan Hollandalı şirketi Koppert Biyolojik Sistemleri ve 1989 yılında başka bir Hollanda şirketi, BBB (Bunting Brinkman arıları) izlemiştir. Bugün bombus arılarının Türkiye'de de olmak üzere dünya çapında kayıtlı 30 üreticisi vardır [90].

Yetiştirme uygulamaları 250 bombus türünün çoğunda test edilmiş olmasına rağmen, sadece beş tür (dördü *Bombus* altcinsine ait) yetiştirilmektedir ve sera domatesinin tozlaşması için büyük ölçüde Avrupa'da, Kuzey Afrika kıyılarında ve Batı ve Orta Asya'da doğal olarak yayılış gösteren *Bombus terrestris* ve doğal olarak Kuzey Amerika'da yayılış gösteren *Bombus impatiens* dünya çapında ticari olarak üretilen tozlayıcılar olarak kullanılmaktadır [90].

Bombus terrestris (L. 1758) Batı Palaearktik içinde en bol bulunan ve en yaygın bombus arı türlerinden biridir. 1988 yılında, yetiştiriciliği bölgesel olarak toplanan *Bombus terrestris terrestris* ile Belçika'da ve Hollanda'da başlamıştır [96]. *Bombus terrestris* geniş dağılımı, büyük koloni üretimi ve yapay koşullara adapte olabilmesi ile ticari yetiştiricilikte tercih edilmiştir [90]. *Bombus terrestris* arıları uzun dilleri, iri vücutları, yüksek tarlacılık kapasiteleri, düşük sıcaklık ve ışık yoğunluğunda çalışabilmeleri, sera içi koşullara iyi uyum sağlamaları, üretimlerinin nispeten kolay olması ve daha sakin olmaları gibi özellikleri ile tozlaşmada etkenliği artırmaktadır [50].

B.terrestris'in çoğu alt türü ticari yetiştiriciliğin ilk yıllarında kullanılmıştır. Ticari bakımından, ancak, *B.t.dalmatinus* üstün özelliklere sahip olduğunu kanıtlamıştır. *B.t.dalmatinus* en büyük kolonileri üretir ve yetiştirilmede başarı oranı en yüksektir. Dolayısıyla, yetiştirme sektöründe baskın alttür haline gelmiştir. Bugün, *B.terrestris* kolonileri (özellikle *B.t.dalmatinus*'un) sadece dağılımının Avrasya alanında değil, aynı zamanda Doğu Asya'da (Japonya, Güney Kore, Çin) ve Güney Amerika'da (Şili) ticari tozlaşma için kullanılır. *B.terrestris*'in (*B. t. canariensis* olmadan) bugün dünya çapında satışı yılda yaklaşık 900.000 koloniye ulaşmış olduğu hesaplanmıştır [90].

Bombus terrestris, farklı çiçek türlerinin yüzlercesinden besin toplayan polilektik bir arıdır [96]. Rasmont ve arkadaşlarının [96] belirttiğine göre, Rasmont (1988)'de *Bombus terrestris*'in Fransa ve Belçika'da 309 çiçek türünü ve Ruszkowski (1971)'de ise Polonya'da 570 çiçek türünü ziyaret etmiştir.

B. terrestris Türkiye'nin en yaygın bombus arı türlerinden biridir. *B. terrestris* özellikle kıyı alanı boyunca, açık habitatlarda ve genellikle 1000 m üstünde bulunmaktadır. Ülkemizde ziyaret ettiği bitkiler ise; Asteraceae: *Arctium lappa* L., *Carduus* sp., *Carthamus vulgaris* L., *C. lanatus* L., *Centaurea scabiosa* L., *C. solstitialis* L., *Cirsium acaule* (L.) Scop., *C. arvense* (L.) Scop., *C. eriophorum* (L.)

Scop., *C. palustre*, *Echinops sphaerocephalus* L., *E. Viscosus* L., *Helianthus annuus* L., *Taraxacum officinale* L.; Boraginaceae: *Anchusa azurea* Mill., *A. italica*, *A. officinalis* L., *Cerinth* sp., *Echium vulgare* L., *E. creticum*; Brassicaceae: *Brassica napus* L.; Campanulaceae: *Campanula* sp.; Cistaceae: *Cistus* sp.; Ericaceae; *Erica cinerea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium* sp.; Fabaceae; *Anthyllis vulneraria* L., *Astragalus* sp., *Cytisus* sp., *Coronilla emerus* (L.) Lassen, *C. varia*, *Lathyrus pratensis* L., *Lotus comiculatus* L., *Medicago* sp., *Onobrychis viciifolia* Scop., *Trifolium pratense* L., *T. repens*, *Vicia* sp., *Vida cracca*; Gentianaceae; *Gentiana* sp.; Geraniaceae: *Geranium* sp.; Lamiaceae: *Ajuga* sp., *Glechoma hederacea* L., *Lamium album* L., *L. maculatum*, *Lavandula* sp., *Mentha longifolia* (L.) Huds, *Salvia* sp., *Stachys alpina* L., *S. germanica*, *S. lanata*, *S. officinalis*, *Teucrium* sp. *Thymus* sp.; Liliaceae: *Asphodeline taurica* (Pall.) Endl.; Lythraceae: *Lythrum* sp.; Malvaceae: *Malva* sp., *Lavatera* sp.; Rosaceae: *Malus domestica* Borkh., *Prunus* sp., *Rubus idaeas* L.; Salicaceae: *Salix* sp.; Apiaceae: *Eryngium* sp.; Verbenaceae: *Vitex agnus castus* L. [24, 97].

Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliği 1940’lı yıllarda Antalya’da kurulan seralar ile başlamıştır. 1940-1960 yılları arasında seracılığın gelişimi çok yavaş olmuştur ve özellikle Antalya ve İzmir civarında yayılma göstermiştir. Bu yıllardan sonra plastiğin örtü materyali olarak kullanılmaya başlanması ile gerek sera, gerekse alçak tünel alanlarında hızlı bir artış görülmüştür [98].

Ülkemizde yılda ortalama 100.000 adet ticari olarak üretilen *Bombus*, başta domates olmak üzere (%95) serada yetiştirilen birçok ürünün tozlaşmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [99]. *Bombus* türlerinin yetiştirilmesi için uygun olup olmadığını belirten kriterler bulunmaktadır. Bu kriterlerde türlerin oldukça yaygın olması, büyük ve uzun ömürlü koloniler üretmesi, bitkilerin geniş bir çeşitliliğini tozlaştırmaya uygun olması, kutularda tutulmaya uygun olması, bitkilerin çoğunun tozlaşması için gerekli olan titreşme davranışını gösterebilmesi gereklidir [100]. Sladen [101] *bombus* arılarının yetiştirilmesinde çiftleşme ve kış uykusu gibi zorlukların olduğunu belirtmiştir. Birçok araştırmacı bu gibi zorlukların üstesinden gelebilmek için *bombus* arılarının yaşam döngüsünün her aşamasına müdahale edebilecek yöntemleri denemişlerdir. Avrupalı araştırmacılar *B. terrestris* ve *B. lapidarius* ‘un yanı sıra *B. hortorum* gibi *Megabombus* türlerinin yetiştirilmesi için çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda *B. hortorum* türlerinin baharda kır

çiçeklerinin tozlaştırmasında başarılı sonuçlar almalarına rağmen türün yetiştirilmesi başarı ile sonuçlanmamıştır. *B. hortorum* gibi uzun dilli arılar derin korallalı bitkilerin tozlaştırılması için çok daha uygun türler olsa da yetiştirilmeye uyum sağlayamamışlardır. Sladen'in [101] *Bombus* türlerini cep yapıcı ve polen depolayıcı türler olarak iki gruba ayırt etmesi ile davranış farkları anlaşılmıştır [90]. Cep yapıcısı olan bombus arıları geliştirmekte olan larvalarına doğrudan kullanılabileceği poleni yavru yığınlarına bitişik cep şeklinde kuluçka hücreleri yaparak sağlamaktadır. *Bombus* ve *Pyrobombus* cinsine ait polen depolayan türler ise, larvalarını beslemek için yığınlar halinde poleni yavrulara yakın yerlere yerleştirir ve taşıma ile polen sağlamaktadırlar [102]. Cep yapıcısı olan bombus arılarından *Megabombus* türleri (*B. hortorum*) poleni yavru hücrelere bağlı cepler içine koyma davranışı yetiştirilmesi için polen depolayıcılardan daha az uygun bulunmuştur [90].

3. MATERYAL VE METOD

3.1. İncelenen Örnekler

Çalışma kapsamında *Megabombus* içerisinde yer alan türler Belçika'da Mons Üniversitesi Fen Fakültesi Zooloji Laboratuvarı Müzesinde (Umons) ve Hollanda'da Doğa Çeşitlilik Merkezi'nde (Naturalis Biodiversity Center) bulunan ve çoğunluğu Batı Palaeartik Bölge'den toplanan örneklerden oluşmaktadır (Çizelge 2). Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan bombus arıları Koppert firmasından alınan *B. terrestris* kolonilerinden oluşmaktadır.

Çizelge 2. Mons Üniversitesi Zooloji Laboratuvarı Müzesinin ve Doğa Biyoçeşitlilik Merkezi'nin Koleksiyonlarından Kullanılan Örnekler

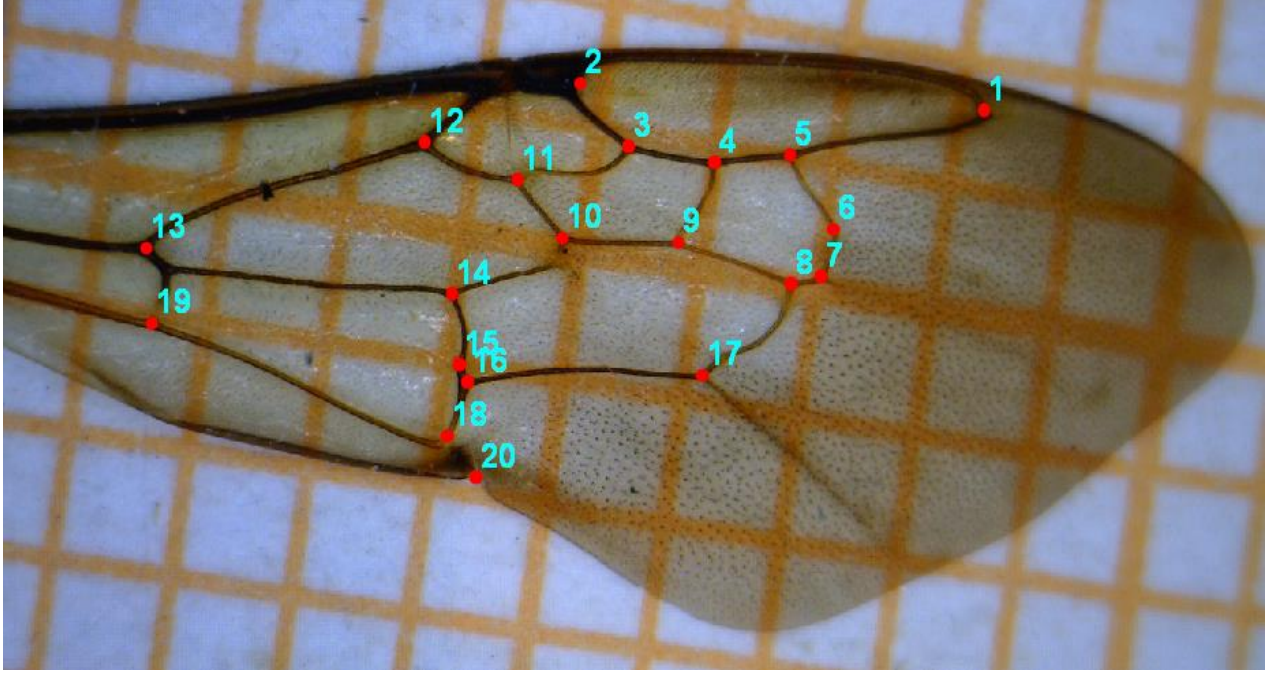
İşçiler	Birey Sayısı	Mons Üniversitesi Zooloji Laboratuvarı Müzesi (UMONS- Université de Mons-Hainaut Faculté des Sciences Laboratoire Zoologie)	Doğa Biyoçeşitlilik Merkezi (Naturalis Biodiversity Center)
<i>B. argillaceus</i>	243	Bargemon, La Roque-Esclapon, Broves, Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes (Fransa), Adana, Niğde, Kayseri, Malatya, Kahraman Maraş, Sivas, Erzincan, Ağrı, Kars, Giresun	Soria, Valladolid (İspanya), Litoral (Portekiz), Agrolis, Chania, Crete, Iráklion, Messenia, Samos (Yunanistan), Kuzey Kafkasya (Rusya), Konya, Ankara
<i>B. gerstaeckeri</i>	27	Pyrénées-Orientales (Fransa)	-
<i>B. hortorum</i>	252	Pyrénées-Orientales, Lozère, Aveyron, Cote d'or, Peone, Col Cayolle, Pyrénées-Atlantiques, Marne, Nièvre, Gonfaron (Fransa), Monstreux, Gembloux, Waterloo, Les epioux, Hainaut, Namur (Belçika), Oulu (Finlandiya)	Rheinland-Pfalz (Almanya), Bleiberg, Liège (Belçika), Drenthe, Gelderland, Limburg, Overijssel, Soeren, Weerribben, Zeeland, Zwolle, Zuid (Hollanda), Ettelbrück (Lüksemburg)
<i>B. hortorum jonghei</i>	7	Haute-Corse (Fransa)	-
<i>B. portchinsky</i>	53	Artvin, Erzincan, Erzurum, Sivas, Kars	-
<i>B. ruderatus</i>	116	Ampus, Gonfaron, Lorgues, Bormes-les-Mimosas, Bargemeon, Aude, Le Luc, Aveyron, Ardeche, Mazaugues, Moissac-Bellevue, Pyrénées-Orientales, Hautes-Alpes (Fransa), Sardinya (İtalya)	-
<i>B. ruderatus corsicola</i>	5	Korsika (Fransa)	-

Erkekler	Birey Sayısı	Mons Üniversitesi Zooloji Laboratuvarı Müzesi (UMONS- Université de Mons-Hainaut Faculté des Sciences Laboratoire Zoologie)	Doğa Biyoçeşitlilik Merkezi (Naturalis Biodiversity Center)
<i>B. argillaceus</i>	86	Alpes-de-Haute-Provence, La Roque-Esclapon (Fransa), Adana, Ağrı, Hakkari, Kars, Niğde, Sivas	Kuzey Kafkasya, Nordkaskasien (Rusya), Litoral (Portekiz), Málaga (İspanya), Girit, Thessalia, Korfu, Aegina, Makedonya (Yunanistan), Transkafkasya (Azerbaycan), Steiermark (Slovenya), Lavanttal (Avusturya), Graubünden (İsviçre), Tirol (İtalya), Macaristan, Küstendil (Bulgaristan), Ankara, Adana, Nevşehir
<i>B. hortorum</i>	88	Pyrénées-Orientales, Romiguières, Lozère, Aveyron, Pyrénées-Atlantiques, Mazamet, Meuse, Givrauval (Fransa), Jalhay, Gembloux (Belçika)	Ötztal (Avusturya), La Bastide des Jourdans, Voorburg (Fransa), Emmen, Gelderland, Groningen, Limburg, Noord-Brabant, Overijssel, Schiermonnikoog, Zuid, Zwin (Hollanda)
<i>B. hortorum jonghei</i>	1	Corse (Fransa)	-
<i>B. portchinsky</i>	6	Artvin, Erzurum, Kars	-
<i>B. ruderatus</i>	29	Aups, Ardèche, Aveyron, Besse-sur-Issole, Broves, Gonfaron, Lorgues, Bormes-les-Mimosas, Le Luc, Vidauban, Tourves (Fransa)	-
<i>B. ruderatus corsicola</i>	11	Korsika (Fransa)	-

Kraliçeler	Birey Sayısı	Mons Üniversitesi Zooloji Laboratuvarı Müzesi (UMONS- Université de Mons-Hainaut Faculté des Sciences Laboratoire Zoologie)	Doğa Biyoçeşitlilik Merkezi (Naturalis Biodiversity Center)
<i>B. argillaceus</i>	36	Alpes-de-Haute-Provence, Ruines de Castellaras, Manche (Fransa), Artvin, Kars, Konya, Sivas	Avila, Santander (İspanya), Alpes-de-Haute-Provence (Fransa), İtalya, Messenia, Makedonya (Yunanistan), Türkmenistan, Niğde, Konya, Kocaeli, Sivas, Gümüşhane
<i>B. gerstaeckeri</i>	4	Pyrénées-Orientales (Fransa)	-
<i>B. hortorum</i>	68	Pyrénées-Orientales, Lozère, Gonfaron (Fransa), Les Epioux (Belçika)	Bleiberg, Moresnet (Belçika), Den Dunge, Drenthe, Emmen, Gelderland, Limburg Noord-Brabant, Schoonebeek, Zuid (Hollanda)
<i>B. hortorum jonghei</i>	20	Corse (Fransa)	-
<i>B. hortorum reinigiellus</i>	4	Andalusia-Sierra Nevada (İspanya)	-
<i>B. portchinsky</i>	5	Erzincan, Erzurum	-
<i>B. ruderatus</i>	30	Aveyron, Besse-sur-Issole, Broves, Bouches du Rhône, Gonfaron, Flassans-sur-Issole, Forcalqueiret, Le Luc, Pyrénées-Orientales, Sellians, Tourves (Fransa)	-
<i>B. ruderatus corsicola</i>	6	Korsika (Fransa)	-

3.2. Landmark Tabanlı Geometrik Morfometri Çalışmaları

Megabombus içerisinde yer alan türlere ait erkek, işçi ve kraliçe bireylerin sağ ön kanatları mikroskop ve üzerine bağlı dijital kamera kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Fotoğraflar tps-UTIL 1.44 [103] programı ile düzenlenmiş ve böylece kanat üzerine daha önceden belirlenmiş landmarkların konabileceği bir formata getirilmiştir. Fotoğraflara tps-DIG 2.12 [104] programı ile daha önce Aytekin ve arkadaşları [15] tarafından belirlenmiş olan noktalara 20 adet landmark yerleştirilerek landmarkların iki boyutlu Kartezyen koordinatları saptanmıştır. Bu işlem her örnek için tekrarlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Ön kanatta kullanılan landmarklar (Rohlf, [104])

Elde edilen koordinatlar IMP (Birleştirilmiş Morfometri Paketi) [73] CoordGen6f'de Procrustes rotasyonu (GPA: Genel Procrustes Analizi) ile standardize edilmiştir [105]. Böylece landmark konfigürasyonları arasındaki skala, ordinasyon ve yönelim farklılıkları ortadan kaldırılmıştır [73].

Elde edilen veri, tps Relw 1.45 [106]' da görece warpları açısından incelenmiştir. Biçimsel yapı farklarının ilk iki temel öge (PC) üzerindeki dağılımları IMP'de PCAGen6p'de incelenmiştir. IMP CVAGen6n'de ise kanonik varyans analizi gerçekleştirilmiş ve bireylerin ilk iki kanonik değişkendeki dağılımları belirlenmiştir.

Morpheus [107] programında GPA rotasyonu ile standardize edilen veri yine aynı programda ince tabaka analizi (TPS: Thin Plate Spline) ile incelenmiştir. Her bir türün konsensus konfigürasyonunun genel ortalama referans formundan farkları grafik halinde özetlenmiştir. Böylece deformasyonun hangi landmarklara yoğunlaştığı belirlenerek gruplar arasındaki varyasyon gözlenmiştir. Aynı programda hesaplanan ortalama değerleri NTSYS2.10 [108] programında SAHN kümeleme yöntemi kullanılarak bir benzerlik ağacı elde edilmiştir.

3.3. *Bombus (Bombus) terrestris* (L., 1758)'in Örtü Altı Tarımda Tozlaşma Faaliyetleri

2012 yılında 5 Ağustos ile 12 Ağustos tarihleri arasında Ankara Kalecik ilçesindeki 500 m²' lik modern bir serada bombus arılarının ziyaret ettiği domates bitkisi üzerinde çalışma yapılmıştır. Seraya dört çeşit domates ekilmiştir; bunlar 36 adet olmak üzere A, B, C, D ve E sıralılarına Ayaş domatesi, F sırasına Alsancak domatesi, G sırasına Adamset domatesi ve H sırasına Jacobs domatesidir. Fideler ipler aracılığı ile yukarıya bağlanmış ve domates sıraları numaralandırılmıştır.

Tozlaşma çalışmaları için *Bombus terrestris* arıları getirilmiş ve bu arılar ile çiçeklenme dönemi boyunca tozlaşma gerçekleştirilmiştir. Tozlaşma faaliyeti için *B. terrestris* arılarının bulunduğu kovan korunaklı bir şekilde ve domateslere uygun bir mesafeye yerleştirilmiştir. Her sabah saat altıda başlanılarak iki saatlik takipler ile bombus arılarının kovana giriş çıkışları, domates çiçeklerini ziyaret etme süreleri ve polen toplamaları takip edilmiştir. Öğlen saatlerinde sıcaklığın artması ile bombus arılarının etkilenmesi nedeniyle kovan seradan alınıp sıcaklık uygun değere gelene kadar oda sıcaklığında, kapalı, boş bir depoya konulmuştur. Sıcaklık değerlerinin uygun olduğu zamanda kovan tekrar seraya getirilmiştir ve çiçeklerin kapanma vakitlerine kadar takiplerine devam edilmiştir. Sekiz gün boyunca bombus arılarının domates çiçeklerini tozlaştırma faaliyetleri takip edilmiş ve verileri kayıt altına alınmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Morfolojik İnceleme Sonucu Elde Edilen Bulgular

4.1.1. *Bombus (Megabombus) argillaceus* (Scopoli,1763)

Apis argillacea Scopoli, 1763

Bombus ligusticus Spinola, 1806

Dişi: Kraliçenin vücut uzunluğu 21-24 mm, işçi 13-17 mm; baş uzunluğu 80±2.6mm; malar alan çok uzun, 75±3.1mm; clypeusun uzunluğu genişliğinden biraz daha uzun, 98±1.6mm; kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; kraliçede kıllar bütün abdominal tergada siyah; işçide kıllar birinci tergumda sarı, ikinci ve üçüncü tergada siyah, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada beyazdır.

Erkek: Vücut uzunluğu 13-17 mm; baş uzunluğu 90±5.2mm; birinci flagelar segment neredeyse üçüncüyle eşit, ikinciden daha uzun; kıllar başta siyah ve sarı; clypeus uzunluğu 93±4.6mm; kıllar yaka ve scutellum sarı, interalar bantta siyah; kıllar birinci tergumda sarı, ikinci ve üçüncü tergada apikalde bazı sarı kıllar dışında siyah, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada beyaz, yedinci tergumda siyah.

Genital organda, volsellanın apikali bir çıkıntı ile yukarı doğru ve kısa bir çıkıntılı ile de aşağı doğru uzanır, apikalde uzun çizme biçiminde, bazalde genişçe; ventral görünümünden içteki kenar yoğun ve uzun kıllı; penis valve içteki kenarda testere dişli ve medianda küçük kitinize halka ile penis valvenin bazali ventral görünümünden gonobasenine içine doğru derinden çukur; spatha normal boyutta, oldukça saydam; gonocoxa hem dorsal hem ventral görünümünden dışbükey, iç kenarda seyrek koyu sarı kıllar ile fazlasıyla pigmentli, spatha altında kalp şeklinde iki simetrik parçalar birleşir; gonostylus distalde eğik, penis valvenin testere dişli parçası boyunca yukarı doğru uzanan boynuz şeklinde bir çıkıntı ile gonocoxa üzerine uzamıştır; gonobase çok geniş, dorsalde dışbükey ve açık kahverengi [24].

Dünya Yayılışı: Sovyetler Birliği [109]; Bulgaristan [110]; Avusturya, Fransa, İran, İspanya, İtalya, Kafkasya, Macaristan, [19]; İtalya [51]; Polonya [111]; Slovenya [112].

Türkiye Yayılışı: Emir Dağı, Sultan Dağı (Konya), Baba Dağı (Zonguldak) [113]; Çankırı, Karabük, Kastamonu [114]; Uludağ-Bursa, Hattuşaş (Yozgat), Van [115]; Ayazma (Çanakkale), Kayseri, Mazakıran, Ürgüp, Çayırbaşı [116]; Tavas, Kazıklı, Isparta, Ağlasun (Burdur), Cevizli (Antalya), Beyşehir, Ulukışla (Niğde) [117]; Erzurum [18]; Ankara [68]; Adana, Adıyaman, Afyon, Ağrı, Aksaray, Ankara, Antalya, Ardahan, Artvin, Bayburt, Bingöl, Bitlis, Bolu, Burdur, Bursa, Çankırı, Çorum, Denizli, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Gümüşhane, Hakkari, Hatay, Iğdır, Isparta, İstanbul, Kahramanmaraş, Karaman, Kars, Kayseri, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Malatya, Muş, Nevşehir, Niğde, Rize, Samsun, Sivas, Tokat, Trabzon, Tunceli, Van, Yozgat [118].

Ziyaret Ettiği Bitkiler: *Acantholimon* sp., *Anchusa* sp., *Alkanna* sp., *Astragalus* sp., *Salvia* sp. [116]; *Anchusa* sp., *Carduus* sp., *Cirsium* sp., *Coronilla* sp., *Delphinium* sp., *Echium italicum* L., *Lotus corniculatus* L., *Onobrychis* sp., *Stachys* sp. [117]; *Anchusa officinalis* L., *Carduus nutans* L., *C. candicans*, *Cichorium inthybus* L., *Cirsium appendiculatum* Griseb., *C. ligulare*, *Digitalis viridiflora* Lindley, *Hypericum perforatum* L., *Matricaria tenuifolia*, *Ononis hircina* Jacq [110]; *Anchusa strigosa* Labill., *Anchusa undulata* L., *Ballota nigra* L., *Centaurea kotschyi* Boiss & Heldr., *Echinops orientalis* Trautv., *Echinops ritro* L., *Galega officinalis* L., *Hedysarum syriacum* Boiss., *Lythrum salicaria* L., *Ononis spinosa* L., *Onosma gigantea* Lam., *Ptilostemon diacantha* (Labill.) Greuter, *Rhinanthus rumelicus* Velen., *Salvia verticillata* L., *Vicia cracca* L., [119]; *Anchusa leptophylla* Roemer & Schultes, *Ballota nigra* L., *Centaureae solstitialis* L., *Consolida orientalis* (Gay) Schrid., *Consolida regalis* ssp. *paniculata* var. *Paniculata* S. F. Gray, *Cousinia* sp., *Cousinia caesarea* Boiss. & Ball., *Echium italicum* L., *Helianthus annuus* L., *Ononis spinosa* L., *Salvia virgata* Jacq., *Salvia cyanescens* Boiss. & Ball., *Salvia brakteata* Banks. & Sol., [69].

4.1.2. *Bombus (Megabombus) hortorum* (L., 1761)

Apis hortorum Linnaeus, 1761

Apis paludosa Müller, 1776

Bombus meridionalis Dalla Torre, 1879

Bombus hispanicus Pittioni, 1939

Megabombus asturiensis Tkalců, 1975

Dişi: Kraliçenin vücut uzunluğu 18-21 mm, işçilerde 8-14 mm; baş uzunluğu, kraliçede 4.76 ± 0.77 (Art.Avr \pm SD) işçilerde 3.71 ± 0.38 mm; kıllar başta siyah; labrumun bazali iri noktalı, labrum çukuru derin ve dar; clypeal hat clypeusun 1/3'üne kadar uzanır, yüzeyi küçük ama sık noktalı; malar alan uzun, kraliçede 0.73 ± 0.12 mm., işçilerde 0.67 ± 0.11 mm; thoraksta kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; abdomende kıllar birinci tergumda sarı, ikinci tergumun latero-proksimalinde sarı ve distalinde siyah, üçüncü tergumda siyah, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada beyaz.

Erkek: 11-16 mm; baş uzun 3.91 ± 0.25 mm; birinci antenal flagellum (F_1) ve F_2 'nin uzunluğu hemen hemen aynı, her ikisi de F_3 'den daha uzun, malar alan çok uzun 1.12 ± 0.15 mm; kıllar başta siyah, vertekste sarı ve siyah karışık dağılmış; thoraksın yaka ve scutellum kısımlarında sarı, interalar bantta siyah; abdomende birinci tergumda sarı, ikinci tergum latero-proksimalinde sarı, distalinde siyah, üçüncü tergumda siyah, dördüncü ve beşinci tergada beyaz, altıncı tergum medialinde siyah, lateralinde açık sarı veya beyaz, yedinci tergumda siyah.

Dünya Yayılışı: Sovyetler Birliği [109]; Finlandiya [120]; İngiltere, İskoçya, Galler Ülkesi [40]; Bulgaristan [110]; Polonya [121]; Finlandiya [122]; Danimarka, Norveç, İsveç, Finlandiya, Sovyet Rusya [66]; Belçika, Fransa, İrlanda, Türkiye, Kafkasya, İran, Korsika, İspanya, Portekiz, Polonya, Almanya, Hollanda, İsviçre, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Avusturya, Macaristan, Romanya, Yunanistan, Yugoslavya [19]; İngiltere [51]; Hollanda [123]; İrlanda, İngiltere, Galler Ülkesi, İskoçya, Norveç, Danimarka, İsveç, Finlandiya, Rusya [124]; Korsika [125]; Almanya [126]; Polonya [39].

Türkiye Yayılışı: Uludağ (Bursa) [113]; Bolu, Dorukhan, Semen Dağı, İsfendiyar Dağı, Ilgaz Dağı (Kastamonu) [114]; Canik Dağları, Rize, Trabzon [115]; Kobaklı, Ardiçbaşı (Çanakkale), Ardahan, Çayırbaşı, Yalnızçam Dağları (Ardahan) [116]; Ardahan, Erzurum [18]; Ağrı, Ardahan, Artvin, Bayburt, Bilecik, Bolu, Bursa, Çankırı, Erzincan, Erzurum, Giresun, Gümüşhane, Kars, Kastamonu, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Trabzon [118].

Ziyaret Ettiği Bitkiler: *Anthyllis vulneraria* L., *Silene vulgaris* (Moench.) Garcke, *Stachys alpina* L., [127]; *Anchusa officinalis* L., *Carduus nutans* L., *C. candicans*, *Centaurea scabiosa* L., *Centaurea phrygia* L., *Cirsium appendiculatum* Griseb., *Crepis bienos* L., *Echium vulgare* L., *Hieracium hoppeanum*, *Knautia midzorensis* Formánek, *Lamium purpureum*, *Nepeta pannonica* L., *Stachys officinalis* (L.) Trevis., *Trifolium repens* L. [110]; *Callistephus chinensis* (L.) Ness., *Galeopsis* sp., *Lotus corniculatus* L., *Papaver* sp., *Raphanus raphanistrum* L., *Rumex* sp., *Trifolium pratense* L., *T. repens* L., *Thymus* sp., [121]; *Helianthus annuus* L [128]; *Arctium lappa* L., *Trifolium pratense* L. [18]; *Arcticum minus* (Hill) Bernh., *Bryonia cretica* L., *Centaurea scabiosa* L., *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *C. arvense* (L.) Scop., *Convolvulus arvensis* L., *Dipsacus fullonum* L., *Epilobium hirsutum* L., *Lamium album* L., *Rubus fruticosus* agg L., *Scrophularia nodosa* L., *Stachys sylvatica* L., [129]; *Trifolium pratense* L. [11]; *Digitalis lutea* L. [130]; *Anthyllis vulneraria* L., *Campanula lanceolata* Lapeyr., *Carduus nigrescens* Vill., *Centaurea nigra* L., *Cirsium eriophorum* (L.) Scop., *Cirsium palustre* (L.) Scop. *Cirsium* sp., *Echium vulgare* L., *Epilobium anustifolium* L., *Galeopsis segetum* Neck., *Prunella grandiflora* (L.) Jacq., *Rubus* sp., *Salvia officinalis* L., *Scabiosa columbaria* L., *Stachys officinalis* (L.) Trevis., *Trifolium pratense* L., *Vicia cracca* L., [131]; *Mimulus guttatus* DC. [132].

4.1.3. *Bombus (Megabombus) portchinsky* Radoszkowski, 1883

Portchinskij Radoszkowski, 1883

Porchinsky Radoszkowski, 1883

Portchinsky Radoszkowski, 1883

Portschinsky Radoszkowski, 1883

Dişi: Kraliçenin vücut uzunluğu 18-24 mm, işçilerde 9-16 mm; baş uzunluğu, kraliçede 4.83±0.61 mm, işçilerde 3.77±0.33 mm; kıllar başta siyah; labrumun bazali iri noktalı, labrum çukuru derin ve dar; clypeal hat clypeusun 1/3 üne kadar uzanır, yüzeyi küçük fakat yoğun noktalı; malar alan çok uzun, kraliçede 1.34±0.28mm, işçilerde 0.72±0.22mm; thoraksta kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; kanatlar koyu duman rengi; abdomende kıllar birinci tergumda sarı, ikinci tergum latero-proksimalinde sarı, distalinde siyah, üçüncü tergumda siyah, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada kirli beyaz veya sarımsı beyaz.

Erkek: 12-17 mm; baş uzunluğu, 3.71±0.25mm; F₁ ve F₂ nin uzunluğu hemen hemen aynı, her ikisi F₃ den daha uzun; malar alan çok uzun, 1.18±0.11mm; kıllar başta genellikle siyah, vertekste sarı ve siyah kıllar karışık dağılmış; thoraksta kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; abdomende kıllar birinci tergumda sarı, ikinci tergum latero-proksimalinde açık sarı, distalinde siyah, üçüncü tergumda siyah, dördüncü ve beşinci tergada beyaz, altıncı ve yedinci tergada siyah

Dünya Yayılışı: Türkiye, Kafkasya, İran [19].

Türkiye Yayılışı: Ardahan, Çayırbaşı [116]; Erzurum, Ağrı [18]; Ağrı, Ardhan, Bayburt, Erzurum [118].

Ziyaret Ettiği Bitkiler: *Acantholimon androsaceum* (Jaub. Et Spach.), *Astragalus ornithopoides* Lam., *Campanula glomerata* L., *Carduus crispus* L., *Centaurea glastifolia* L., *Jurinea moscus*, *Lamium amplexicaula* L., *Salvia* sp., *Taraxacum officinale* L., *Trifolium pratense* L. [18].

4.1.4. *Bombus (Megabombus) gerstaeckeri* Morawitz, 1881

Gerstäckeri [*gerstaeckeri*] Morawitz, 1881

Gerstaeckeri Hoffer, 1883

Dişi: Kraliçenin vücut uzunluğu 17-20 mm, işçilerde 13-16 mm; ocelli neredeyse düz bir çizgi şeklinde, supra-orbital hattın altında; clypeus konveks ve çok az noktalı; thoraksta kıllar sarımsı gri ile kırmızımsı kahverengi; abdomende kıllar birinci tergumda sarımsı gri ile kırmızımsı kahverengi, ikinci ve üçüncü tergada siyah, dördüncü ve beşinci tergada beyaz, altıncı tergumda siyah.

Erkek: 16-18 mm; thoraksta kıllar sarımsı gri ile kırmızımsı kahverengi; abdomende kıllar birinci tergumda sarımsı gri ile kırmızımsı kahverengi, ikinci ve üçüncü tergada siyah, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada beyaz, yedinci tergumda siyah.

Dünya Yayılışı: Alpler, Balkanlar, Pireneler [19].

Ziyaret Ettiği Bitkiler: *Aconitum anthora* L., *A. napellus* L., *A. lycoctonum* L. [133, 134], *A. variegatum* L. [135], *Delphinium dubium* (Rouy et Fouc.) Pawl. [136].

4.1.5. *Bombus (Megabombus) ruderatus* (Fabricius, 1775)

Apis ruderata Fabricius, 1775

Apis perniger Harris, 1776

Bombus villarricaensis Asperen de Boer

Dişi: Kraliçenin vücut uzunluğu 21- 24 mm., işçilerde 9-16 mm; başın boyu eninden uzun; antenlerde F_1 uzunluğu F_2 ve F_3 'ün toplam uzunluğu kadar; lateral ocelli supra-orbital hattın üstünde; labrum çukuru derin ve geniş, labral tüberkül dışbükey ve sivri, yüzeyi sık noktalı; clypeus konveks, yüzeyi sık küçük noktalı; malar alanın boyu eninin bir buçuk katı kadar; arka tibia yüzeyi çok az ağsı, basitarsus çok yoğun kıllı; başta kıllar siyah; thoraksta kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; abdomende kıllar birinci tergumda sarı, ikinci tergumda

sarı, üçüncü tergumun latero-proksimalinde siyah ve distalinde beyaz, dördüncü, beşinci ve altıncı tergada kirli beyaz veya sarımsı beyaz.

Erkek: 15-17 mm; baş çok uzun; anten çok uzun ve F_1 uzunluğu F_3' e eşit; malar alanın boyu eninin iki katı kadar; orta basitarsusun distali bazalinden daha geniş; arka bacakta tibia düz, yüzeyi ağsı, basitarsus geniş ve iri, en geniş kısmında, genişliği tibiadan daha az; başta kıllar siyah; thoraksta kıllar yaka ve scutellumda sarı, interalar bantta siyah; abdomende birinci tergumda sarı, ikinci tergumda siyah, üçüncü tergumda proksimalde siyah, latero-distalde beyaz medio-distalde siyah, dördüncü ve beşinci tergada beyaz, altıncı tergum medialinde siyah, lateralinde açık sarı veya beyaz, yedinci tergumda siyah.

Dünya Yayılışı: Batı Almanya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Güney Fransa, İngiltere, İskoçya, İspanya, İtalya, İsveç, İsviçre, Kuzey Afrika, Norveç, Portekiz, Sovyetler Birliği [19].

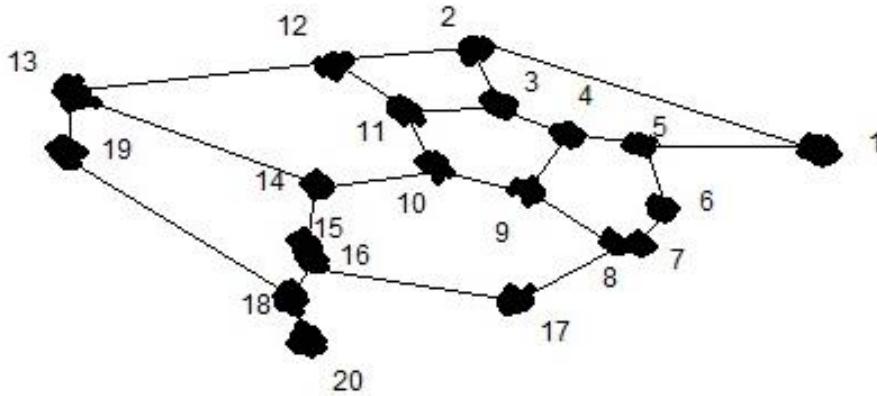
Ziyaret Ettiği Bitkiler: *Alstroemeria aurea* L., *Anchusa azurea* Mill., *Arundo donax* L., *Ballota nigra* L., *Borago officinalis* L., *Cerintho major* L., *Cladiolus* sp., *Daucus carota* L., *Echium* sp., *Echium vulgare* L., *Glechoma hederacea* L., *Helianthus annuus*, L., *Jasminum fruticans* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Lamium maculatum* L., *Lamium album* L., *Lathyrus magellanicus* Lam., *Lavandula* sp., *Lotus corniculatus* L., *Orchis laxiflora* Lam., *Papaver* sp., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, *Primula elatior* (L.) Hill, *Salvia officinalis* L., *Symphytum officinale* L., *Stachys* sp. *Taraxacum* sp., *Tetragonolobus maritimus* (L.) Roth, *Tilia cordata* Mill., *Trifolium pratense* L., *Vicia* sp., *Vicia cracca* L., *Vicia pannonica striata* (M. Bieb.) Nyman, *Vicia sativa* L., *Vicia narbonensis* L., *Vicia faba* L., [133]; *Vicia nigricans* Hook. & Arn. [137]; *Rubus idaeus* L. [138].

4.2. Geometrik Morfometri

Geometrik morfometri çalışmalarında sağ ön kanatta belirlenen 20 landmark kullanılarak erkek, işçi ve kraliçe bireylerinde ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan landmarklar Aytekin et al., [15]'a göre belirlenmiştir.

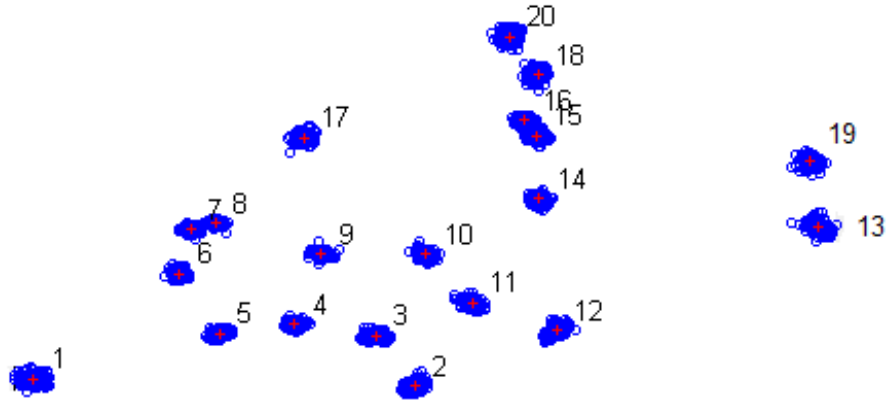
4.2.1. Erkek Bireylere Ait Morfometrik Bulgular

Analizlerde erkek bireylerden 221 adet örnek analiz edilmiştir. TpsDIG2.12 [104] programında landmarklar belirlenen noktalara yerleştirilmiştir. TpsRelw [106] programında Procrustes uygulanarak 20 landmarkın dağılımı tespit edilerek, dağılımda herhangi bir sapma olup olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 12).



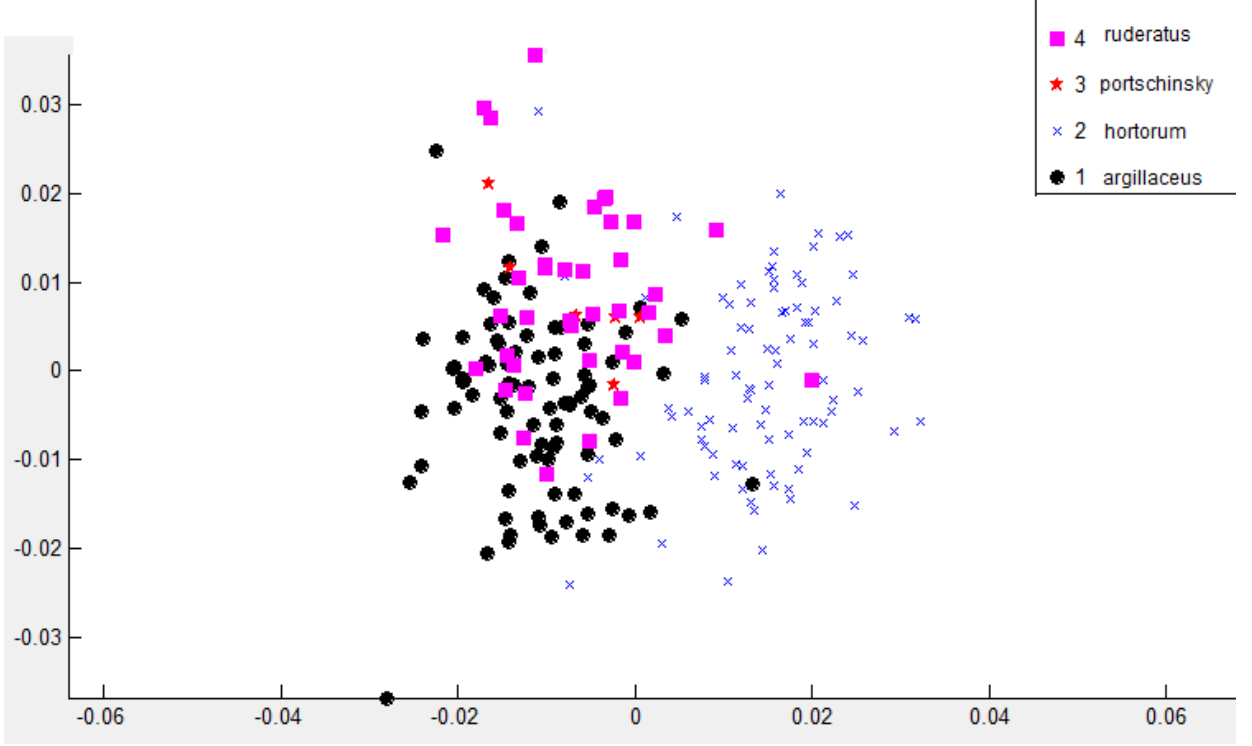
Şekil 12. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı

Procrustes rotasyonu, IMP CoordGen6f programında uygulanmıştır (Şekil 13). Daha sonra PCA ve CVA için gerekli olan gruplamalarda *B. ruderatus corsicola* alttürü *B. ruderatus* türünü temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Böylece dört grup tayin edilmiştir.



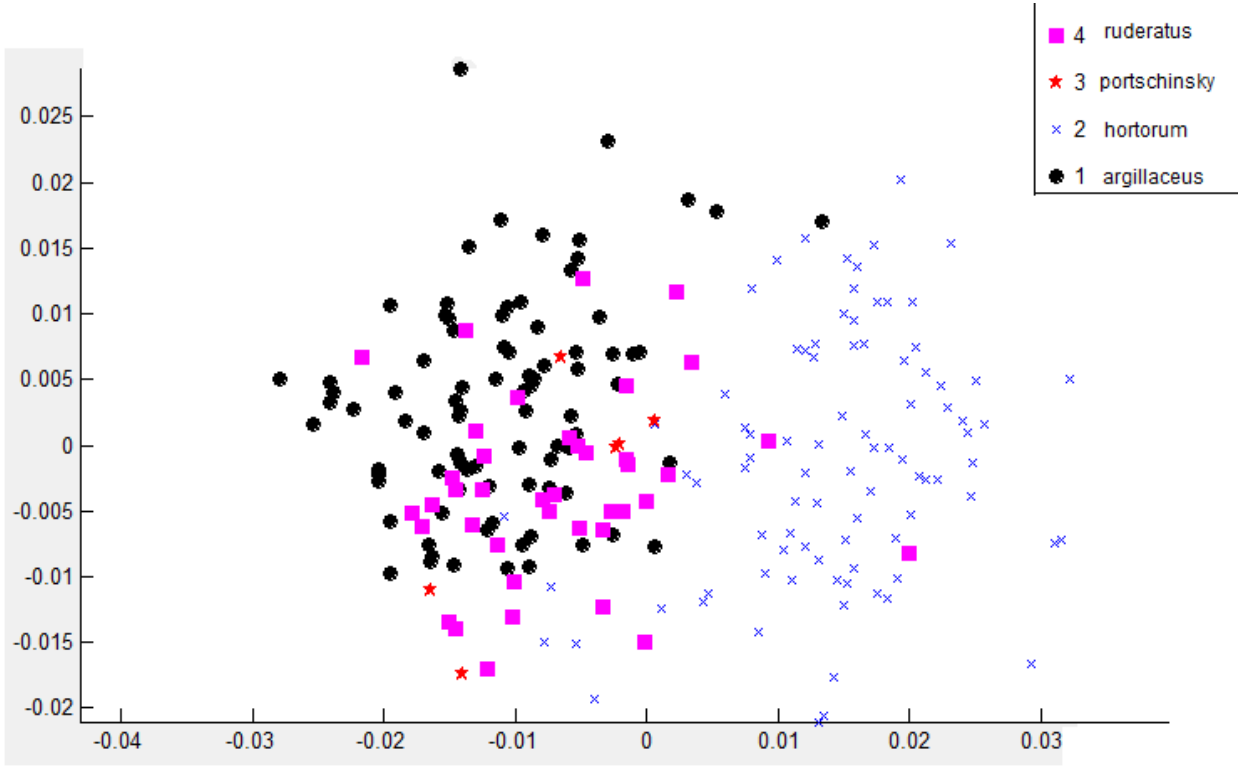
Şekil 13. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı.

IMP Programında [139] PCAGen6p'de bireylerin birinci ve ikinci (PC1 ve PC2), ikinci ve üçüncü (PC2 ve PC3), birinci ve üçüncü (PC1 ve PC3) temel öğeler üzerindeki dağılımı incelenmiştir. PC1 ve PC2 üzerindeki dağılımda birtakım kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar (Şekil 14).



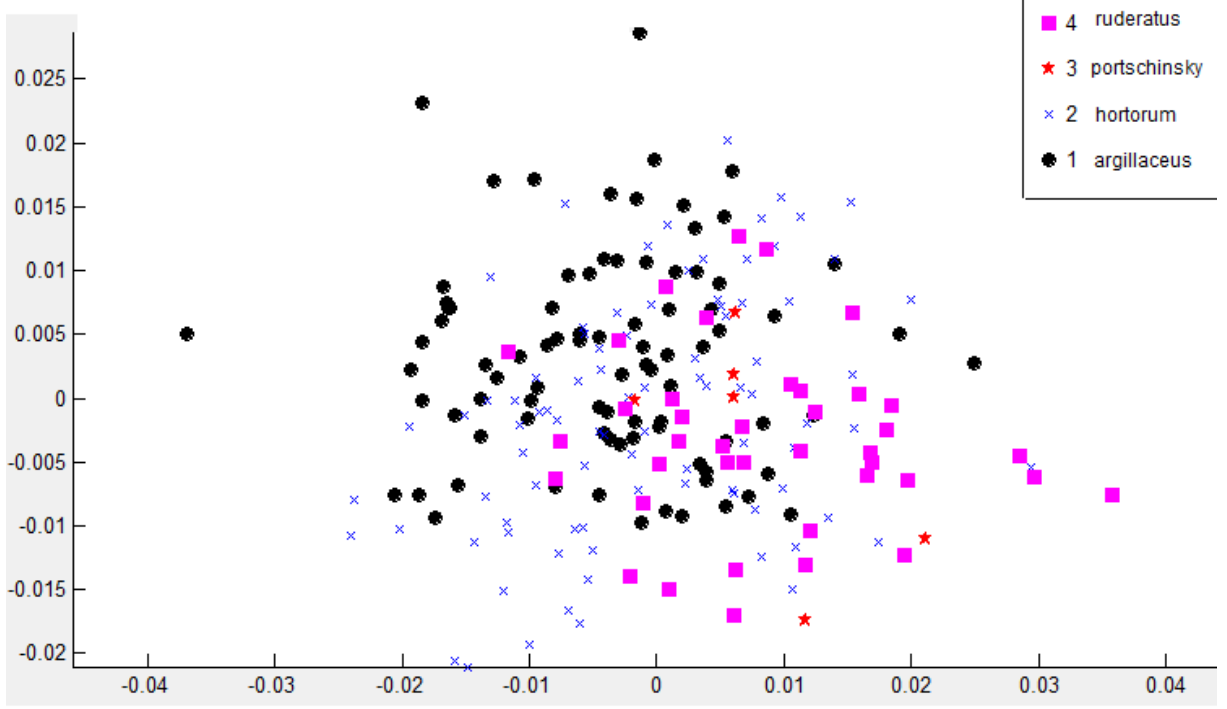
Şekil 14. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC2).

PC1 ve PC3 üzerindeki dağılımda bazı kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın durmaktadırlar. *B. argillaceus* türüne ait bireyler *B. ruderatus* türüne ait bireyler ile iç içe bulunmaktadırlar (Şekil 15).



Şekil 15. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC3).

PC2 ve PC3 üzerindeki dağılımda kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde daha önceki analizlerde diğer türlere göre daha uzakta bulunan *B. hortorum* türlerine ait bireylerin diğer türlere yaklaştıkları hatta birlikte kümeler oluşturdukları görülmektedir. Daha önceki analizlerde birbirlerine çok daha yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden uzaklaşmış oldukları görülmektedir. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. hortorum* türlerine ait bireylerin birbirleriyle çakıştığı da görülmektedir. *B. portschinsky* türlerine ait bireyler ise diğer türlere ait bireyler ile çakışmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC2, dikey eksen PC3).

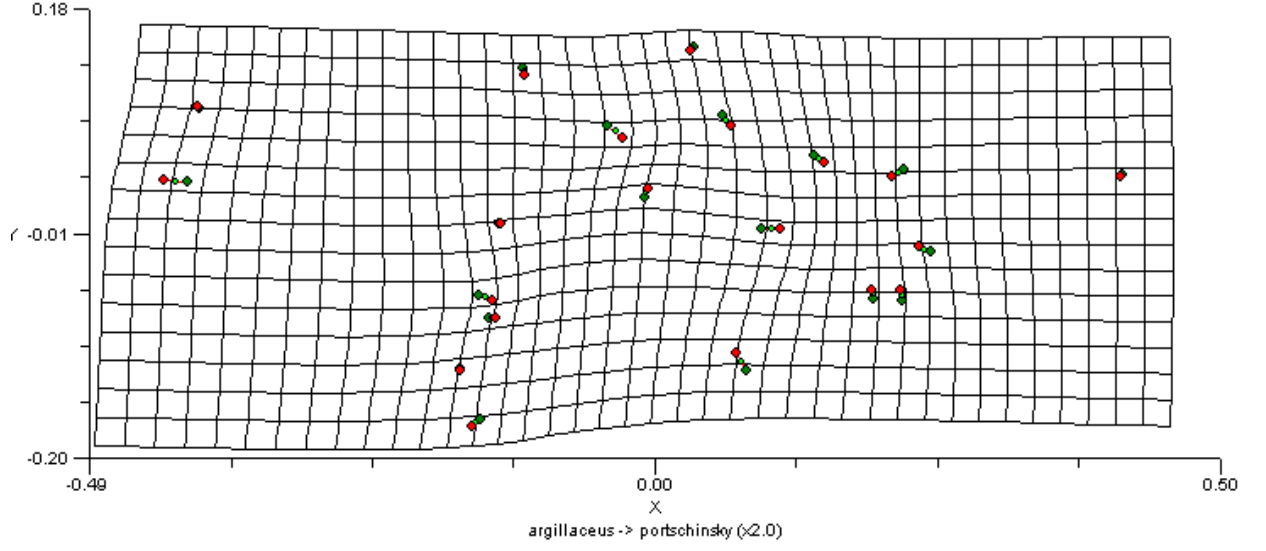
Görece warp'lar tpsRelw [106]'da belirlenmiş, elde edilen sayısal verilerden en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı olan landmarkın ise 1. landmark olduğu tespit edilmiştir. Varyans değerlerine baktığımızda sırasıyla $S^2=0.00007579$ ve $S^2= 0.00006915$ ile 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, $S^2= 0.00002273$ ile de 7. landmarkın en düşük varyansa sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3 ve Çizelge 4).

Çizelge 3 ve Çizelge 4. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar.

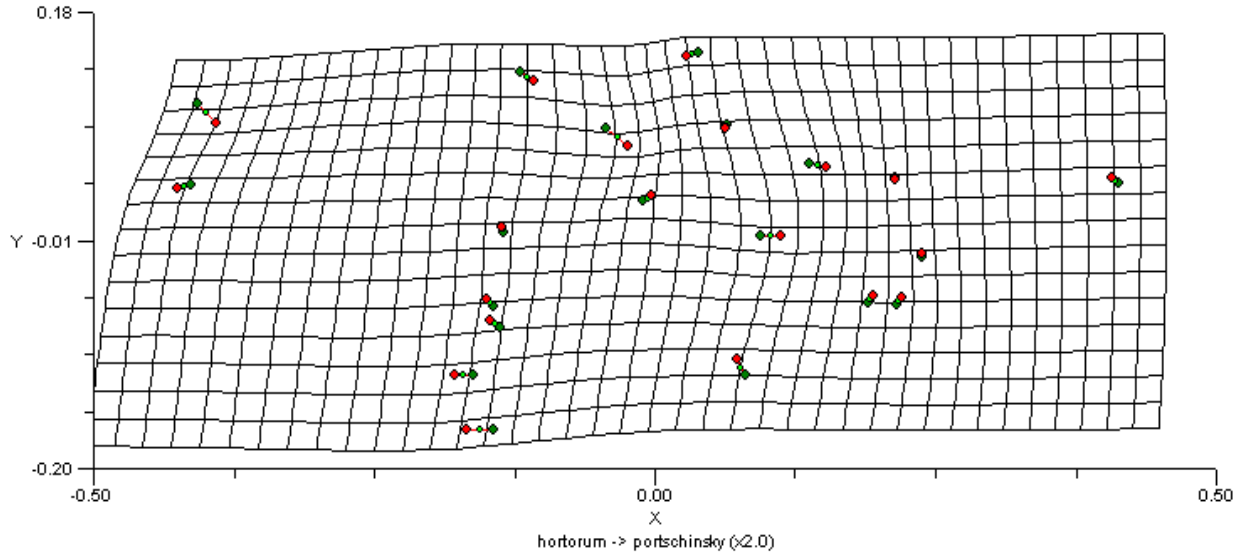
LM#	SS
1	0.00011
2	0.00410
3	0.01335
4	0.01315
5	0.01085
6	0.03058
7	0.13742
8	0.10399
9	0.00896
10	0.00944
11	0.00992
12	0.00194
13	0.00130
14	0.01496
15	0.30310
16	0.29592
17	0.00140
18	0.02949
19	0.00154
20	0.00848

LM#	S ² x	S ² y	S ²
1	0.00005052	0.00001862	0.00006915
2	0.00002698	0.00001098	0.00003796
3	0.00002897	0.00001055	0.00003952
4	0.00002239	0.00000697	0.00002936
5	0.00003120	0.00000588	0.00003707
6	0.00001548	0.00001001	0.00002550
7	0.00001583	0.00000690	0.00002273
8	0.00001659	0.00000624	0.00002283
9	0.00002377	0.00000778	0.00003154
10	0.00002201	0.00001471	0.00003672
11	0.00002407	0.00001528	0.00003935
12	0.00003561	0.00001167	0.00004728
13	0.00003921	0.00003658	0.00007579
14	0.00001782	0.00001094	0.00002876
15	0.00003162	0.00001579	0.00004741
16	0.00002604	0.00000835	0.00003439
17	0.00002968	0.00001501	0.00004468
18	0.00003014	0.00001732	0.00004746
19	0.00002709	0.00002073	0.00004782
20	0.00003321	0.00002007	0.00005328

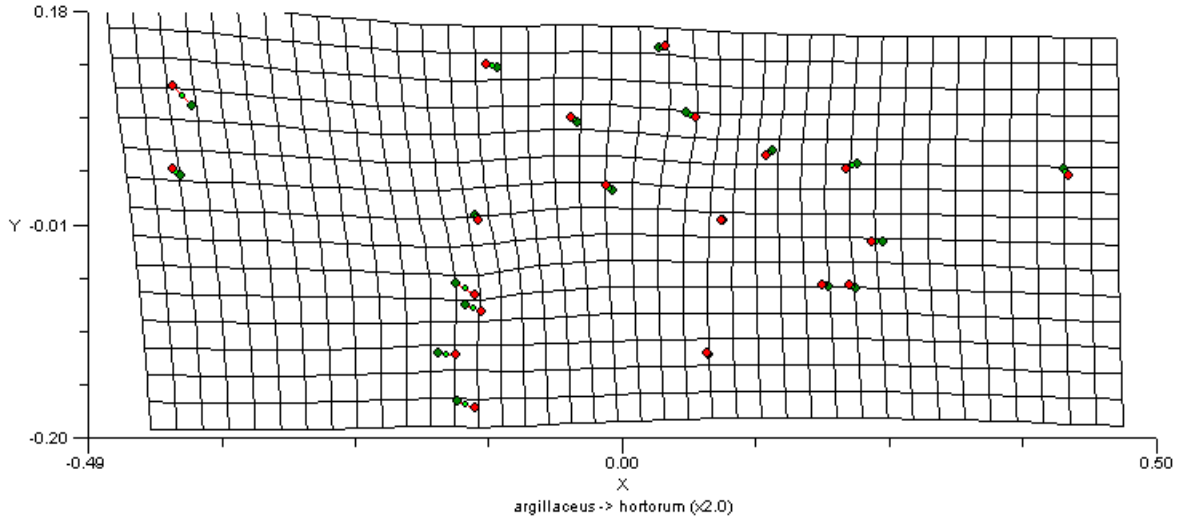
Türler arasında ön kanatlardaki farklılıklar Morpheus programında deformasyon gridleri üzerinde gösterilmiş ve ince tabaka analizi gerçekleştirilmiştir. Deformasyonlar iki kez ekzejere edilerek farklılıkların daha belirgin olarak gözlenebilmesi amaçlanmıştır. İkili gruplarda en çok deformasyonun *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 9, 11, 13 ve 19 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır (Şekil 17 - Şekil 21).



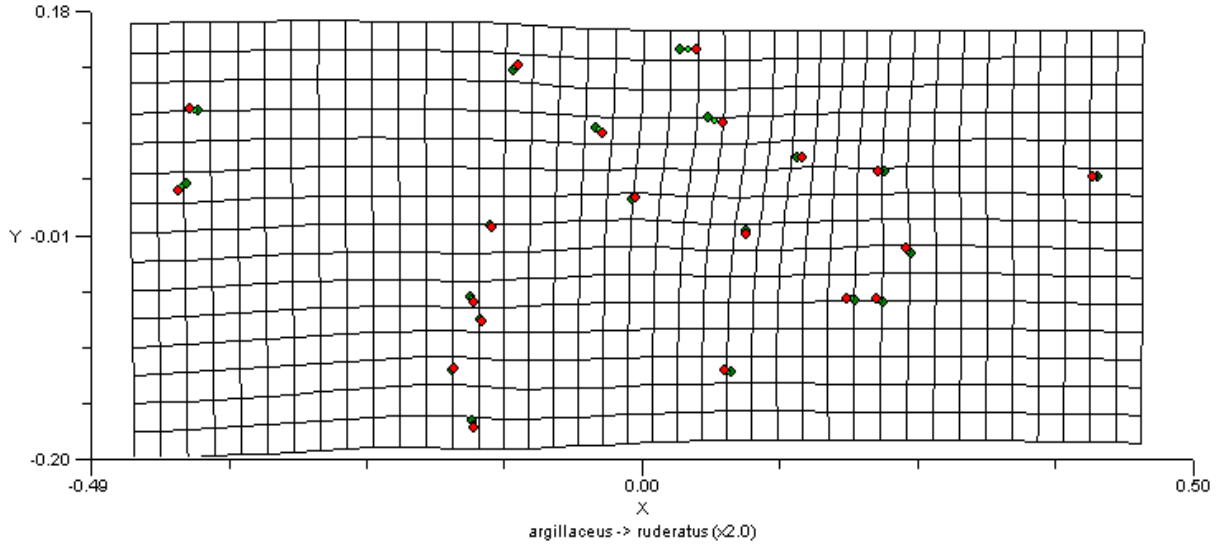
Şekil 17. *B. argillaceus* ve *B. portschinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzeje edilmiştir).



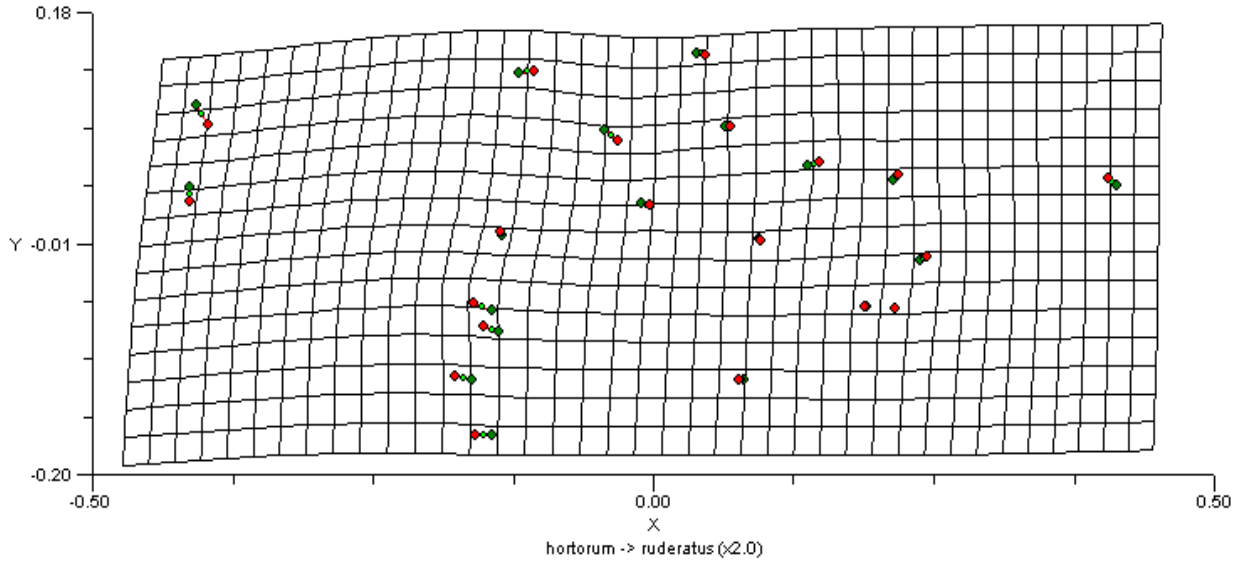
Şekil 18. *B. hortorum* ve *B. portschinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzeje edilmiştir).



Şekil 19. *B. argillaceus* ve *B. hortorum* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



Şekil 20. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



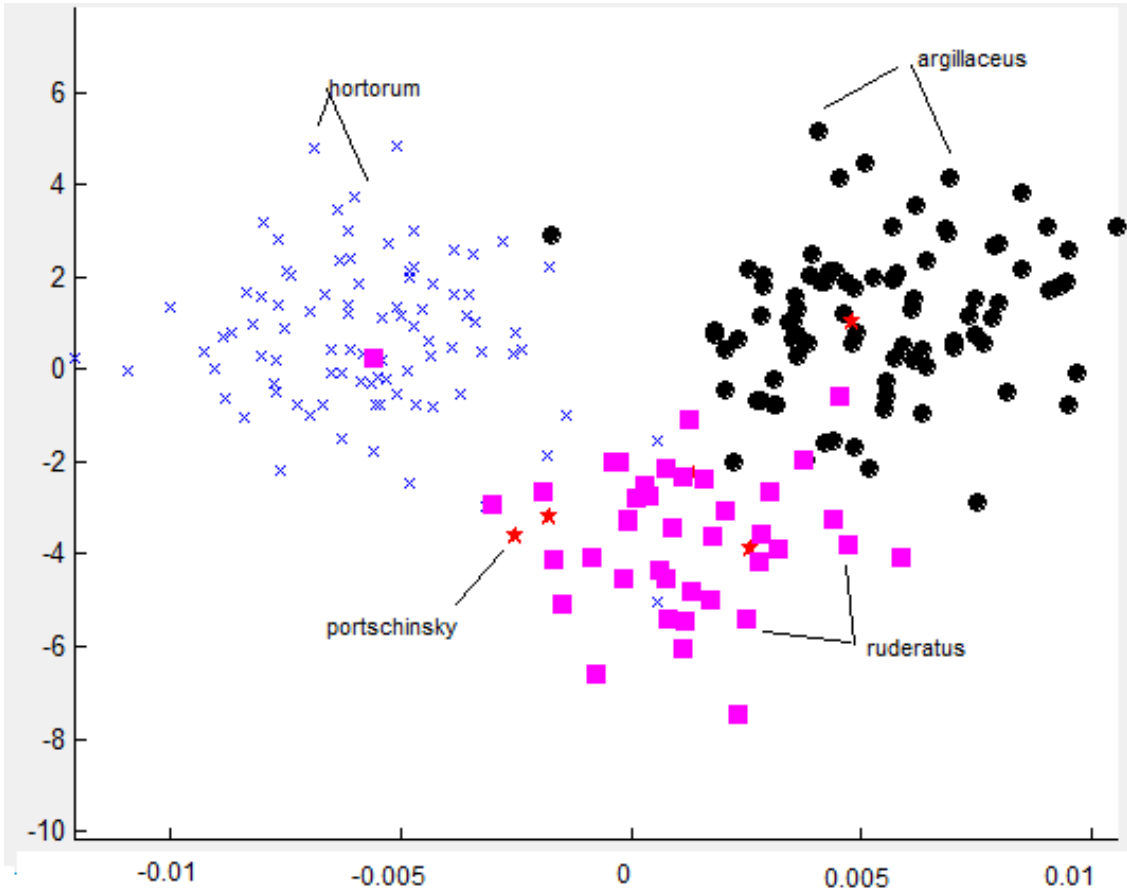
Şekil 21. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).

Çalışmada gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı IMP programı içerisinde CVAGen6p'de analiz edilmiştir. Program içerisinde gerçekleştirilen MANOVA (çok yönlü varyans analizi) uygulanmış ve elde edilen değerler sonucu dört grubun birbirlerinden farklı oldukları ortaya çıkmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Erkek bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde dört grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.

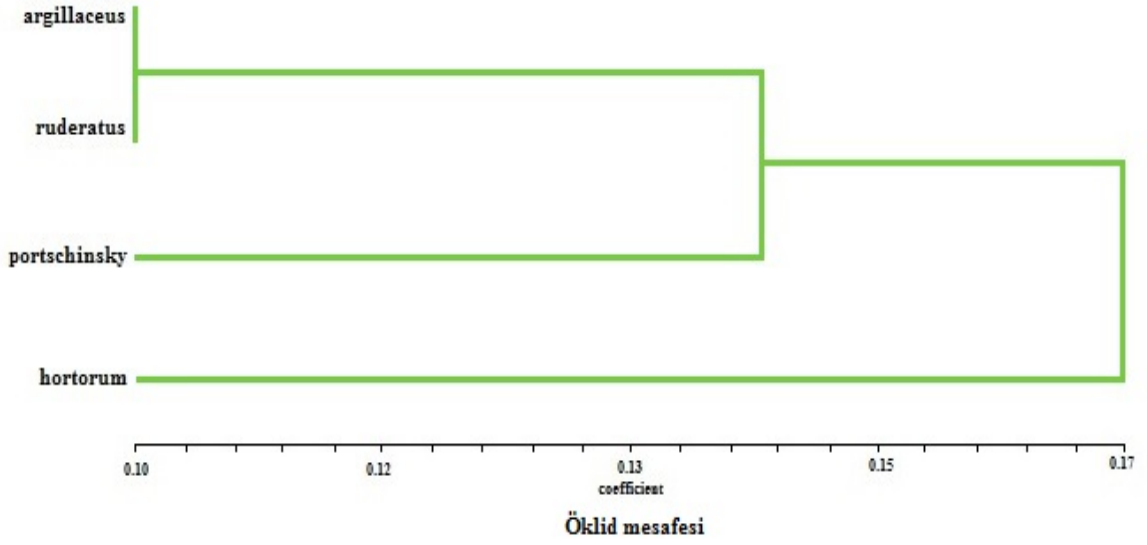
	Lambda	chi ²	P
Eksen 1	0.0431	628.8257	p<2.22045e-016
Eksen 2	0.2502	277.0921	p<2.22045e-016
Eksen 3	0.5527	118.5914	p=2.68564e-011

IMP CVAGen6n programının yardımı ile CANOVAR gerçekleştirilmiş ve bireylerin ilk iki kanonik değişken üzerindeki dağılımları belirlenmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı (yatay eksen CV1, dikey eksen CV2).

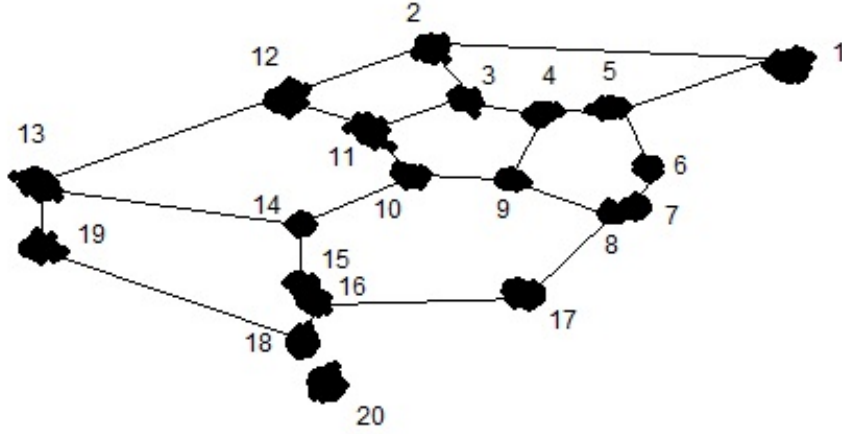
Tps verisi kullanılarak Morpheus Programında hesaplanan ortalama değerleri Ntsys Programında SAHN Kümeleme Yöntemi uygulanarak ve öklid mesafesi esas alınarak gruplandırılmış ve UPGMA (ağırlıklı olmayan çift grup ortalamaları analizi) ile bir ağaç haline getirilmiştir (Şekil 23).



Şekil.23. UPGMA ağacında dört grubun karşılaştırılması.

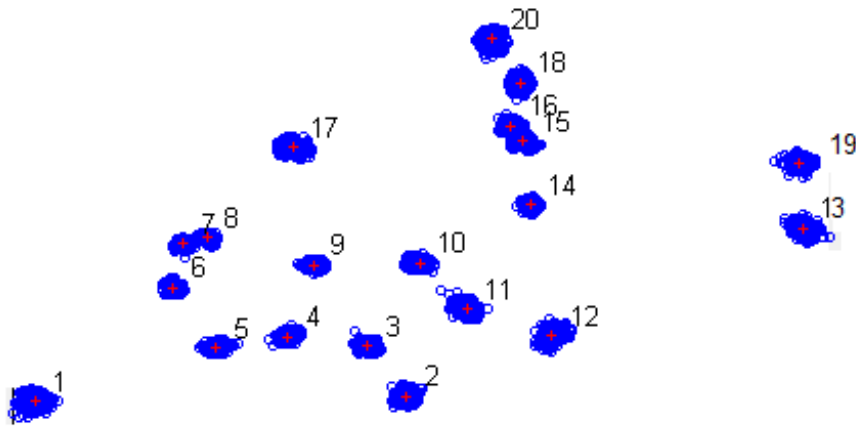
4.2.2. İşçi Bireylere Ait Morfometrik Bulgular

Analizlerde işçi bireylerden 703 adet örnek analiz edilmiştir. TpsDIG2.12 [104] programında landmarklar belirlenen noktalara yerleştirilmiştir. TpsRelw [106] programında Procrustes uygulanarak 20 landmarkın dağılımı tespit edilerek, dağılımda herhangi bir sapma olup olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 24).



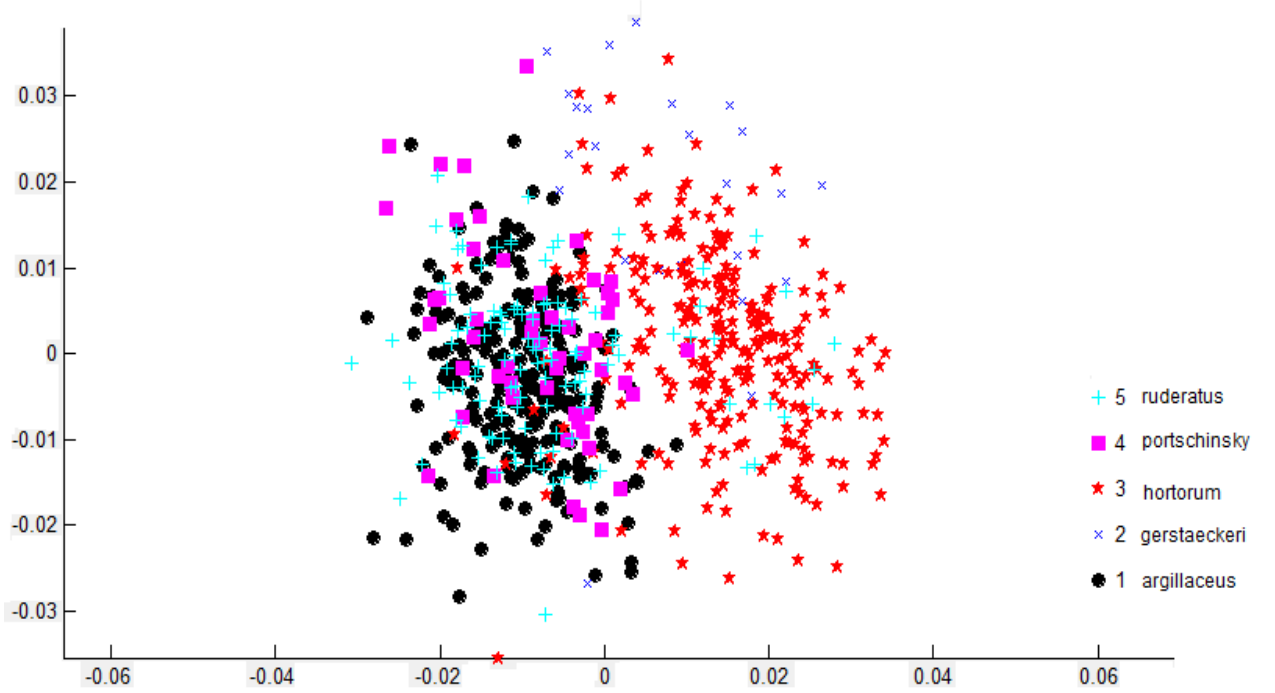
Şekil 24. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı

Procrustes rotasyonu, IMP CoordGen6f programında uygulanmıştır (Şekil 25). Daha sonra PCA ve CVA için gerekli olan gruplamalarda *B. ruderatus corsicola* alttürü *B. ruderatus* türünü ve *B. hortorum jonghei* alttürü *B. hortorum* türünü temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Böylece 5 grup tayin edilmiştir.



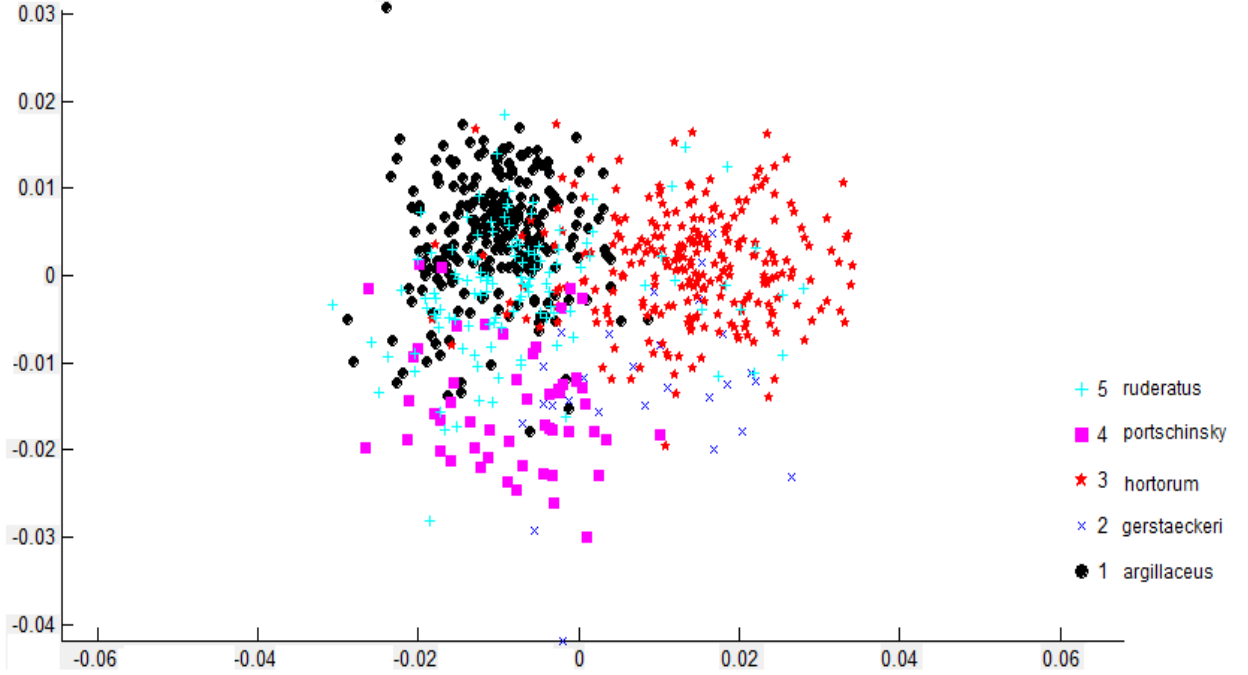
Şekil 25. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı.

IMP Programında [139] PCAGen6p'de bireylerin birinci ve ikinci (PC1 ve PC2), ikinci ve üçüncü (PC2 ve PC3), birinci ve üçüncü (PC1 ve PC3) temel ögeler üzerindeki dağılımı incelenmiştir. PC1 ve PC2 üzerindeki dağılımda birtakım kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. gerstaeckeri* ve *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar (Şekil 26).



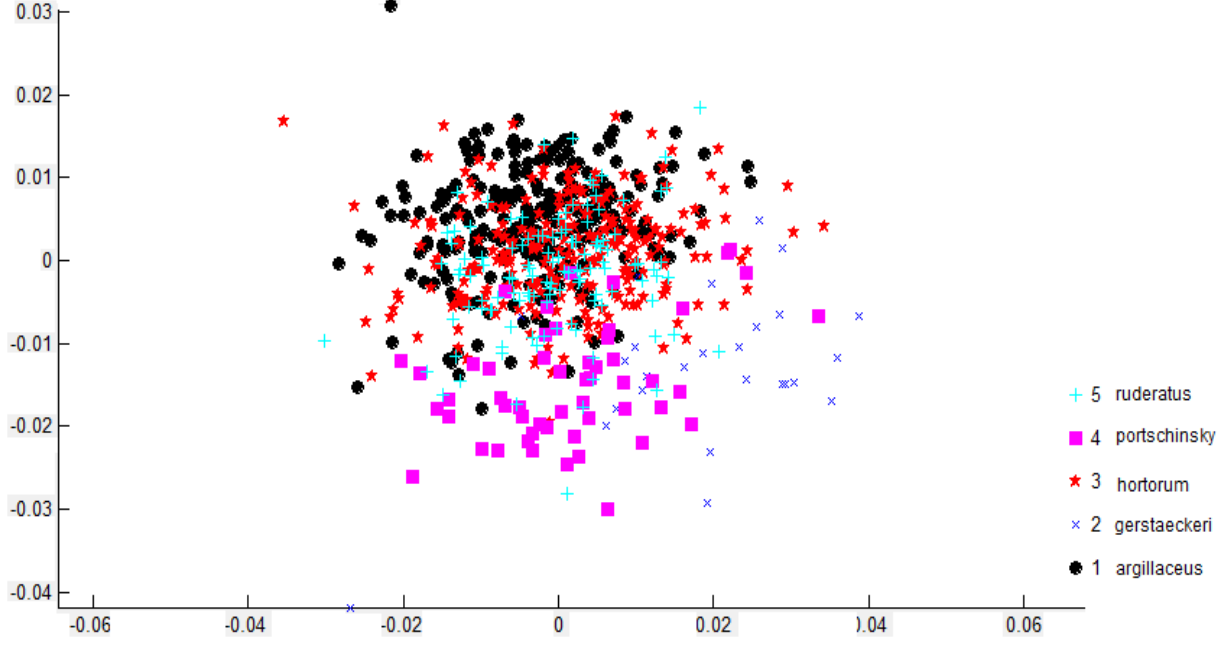
Şekil 26. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC2).

PC1 ve PC3 üzerindeki dağılımda kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. gerstaeckeri* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri birbirlerine yakın durmaktadırlar. *B. argillaceus* türüne ait bireyler *B. ruderatus* türüne ait bireyler ile iç içe bulunmaktadırlar (Şekil 27).



Şekil 27. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC3).

PC2 ve PC3 üzerindeki dağılımda birtakım kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde daha önceki analizlerde diğer türlere göre daha uzakta bulunan *B. hortorum* türlerine ait bireylerin diğer türlere yaklaştıkları hatta birlikte birtakım kümeler oluşturdukları görülmektedir. Daha önceki analizlerde birbirlerine yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden uzaklaşmış oldukları görülmektedir. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler birbirleriyle çakışmaktadır. *B. portschinsky* ve *B. gerstaeckeri* türlerine ait bireyler ise diğer türlere ait bireylerden daha uzakta durmaktadır (Şekil 28).



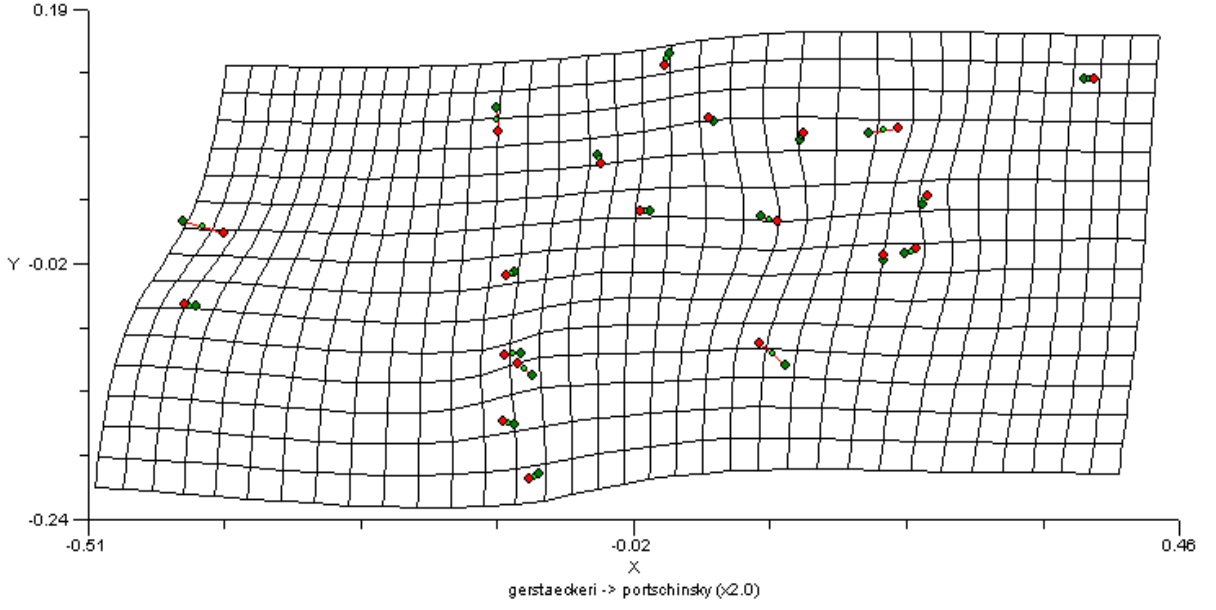
Şekil 28. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC2, dikey eksen PC3).

Görece warp'lar tpsRelw [106]'da belirlenmiş, elde edilen sayısal verilerden en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı olan landmarkın ise 1. landmark olduğu tespit edilmiştir. Varyans değerlerine baktığımızda sırasıyla $S^2=0.00007589$ ve $S^2= 0.00006187$ ile 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, $S^2= 0.00001746$ ile de 8. landmarkın en düşük varyansa sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6 ve Çizelge 7).

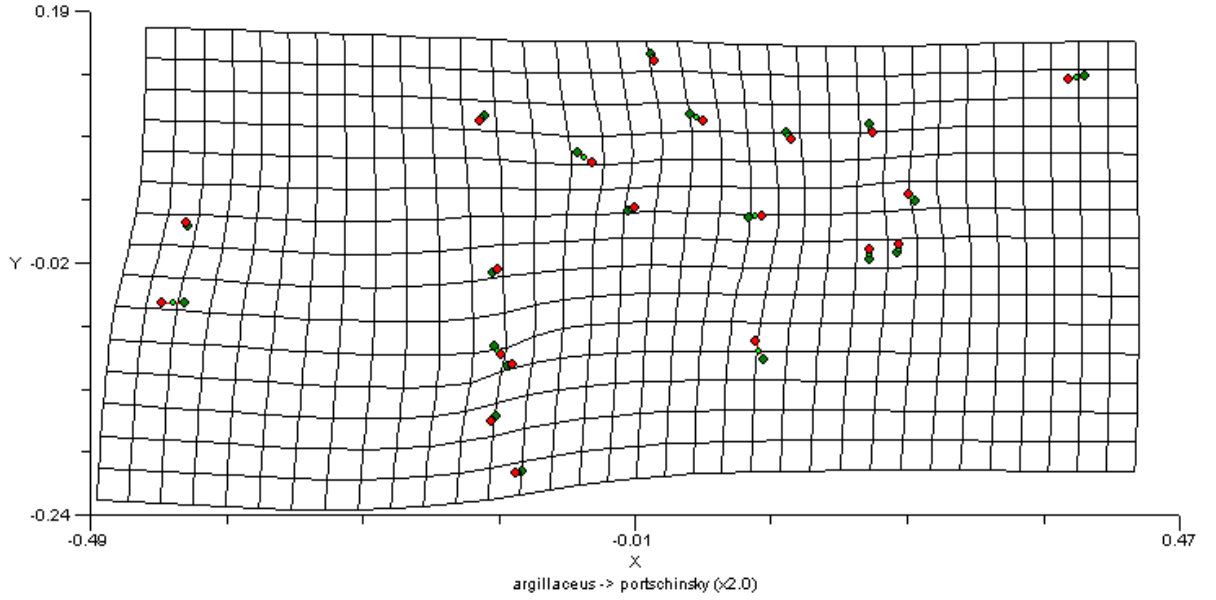
Çizelge 6. ve Çizelge 7. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar.

LM#	SS	LM#	S ² x	S ² y	S ²
1	0.00012	1	0.00004165	0.00002023	0.00006187
2	0.00427	2	0.00001897	0.00001363	0.00003260
3	0.01466	3	0.00002183	0.00000901	0.00003084
4	0.01514	4	0.00002414	0.00000714	0.00003128
5	0.01190	5	0.00002481	0.00000673	0.00003155
6	0.03250	6	0.00001232	0.00000799	0.00002030
7	0.15832	7	0.00001455	0.00000554	0.00002010
8	0.12053	8	0.00001226	0.00000520	0.00001746
9	0.00952	9	0.00001822	0.00000463	0.00002285
10	0.01027	10	0.00003043	0.00000778	0.00003821
11	0.01072	11	0.00002652	0.00001737	0.00004389
12	0.00210	12	0.00004013	0.00001985	0.00005998
13	0.00139	13	0.00004779	0.00002810	0.00007589
14	0.01499	14	0.00001267	0.00000758	0.00002026
15	0.26588	15	0.00002766	0.00001275	0.00004042
16	0.28039	16	0.00002356	0.00000919	0.00003275
17	0.00148	17	0.00003974	0.00001415	0.00005389
18	0.03695	18	0.00002478	0.00001901	0.00004379
19	0.00153	19	0.00002957	0.00001707	0.00004664
20	0.00734	20	0.00003510	0.00002131	0.00005642

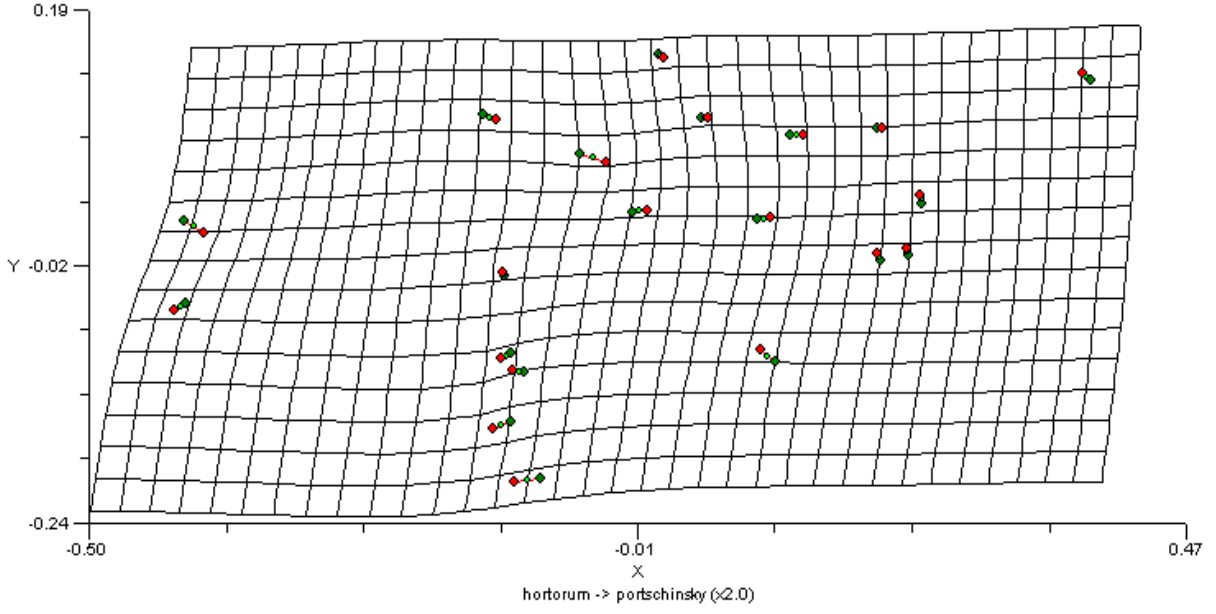
Türler arasında ön kanatlardaki farklılıklar Morpheus programında deformasyon gridleri üzerinde gösterilmiş ve ince tabaka analizi gerçekleştirilmiştir. Deformasyonlar iki kez ekzejere edilerek farklılıkların daha belirgin olarak gözlenebilmesi amaçlanmıştır. İkili gruplarda en çok deformasyonun *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 6, 9, 13 ve 16 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır (Şekil 29 - Şekil 33).



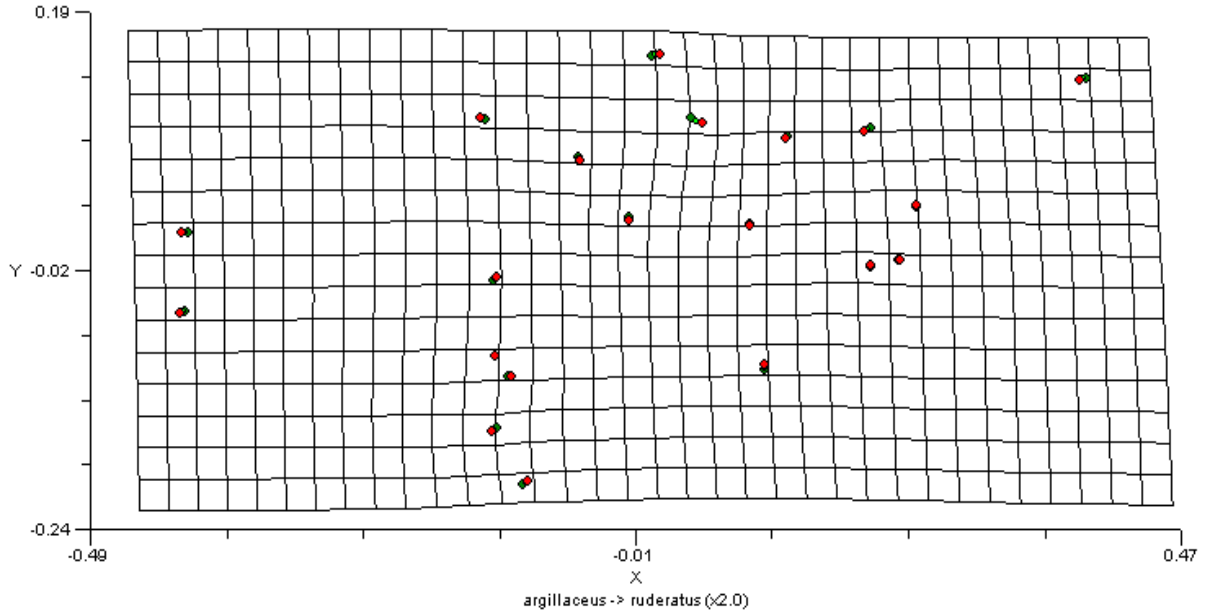
Şekil 29. *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



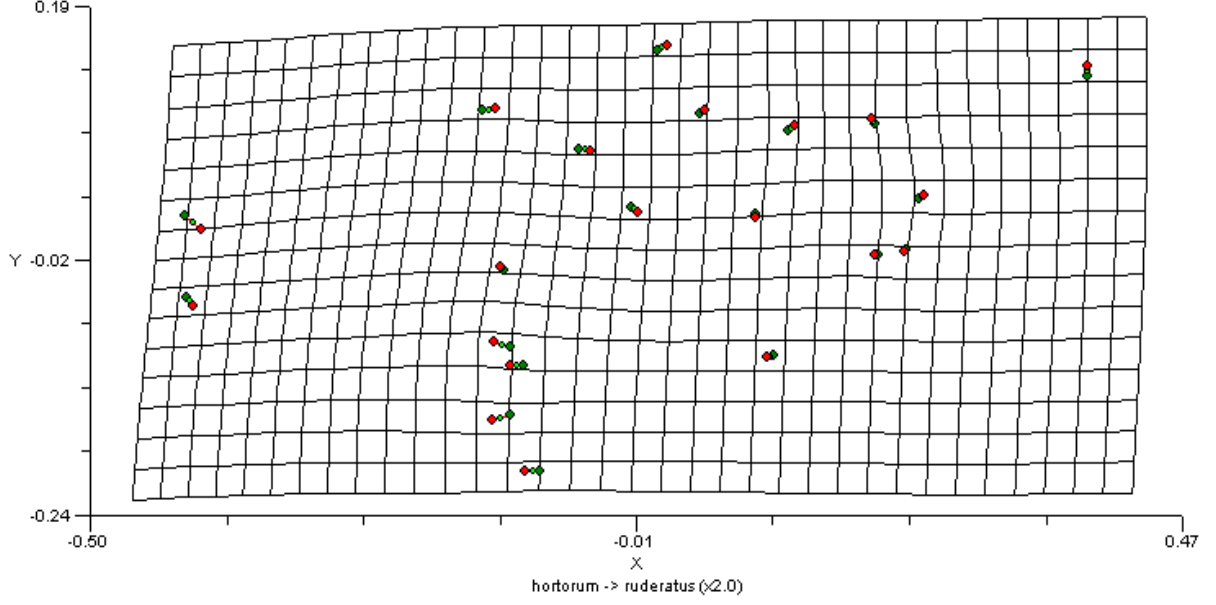
Şekil 30. *B. argillaceus* ve *B. portchinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



Şekil 31. *B. hortorum* ve *B. portschinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



Şekil 32. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



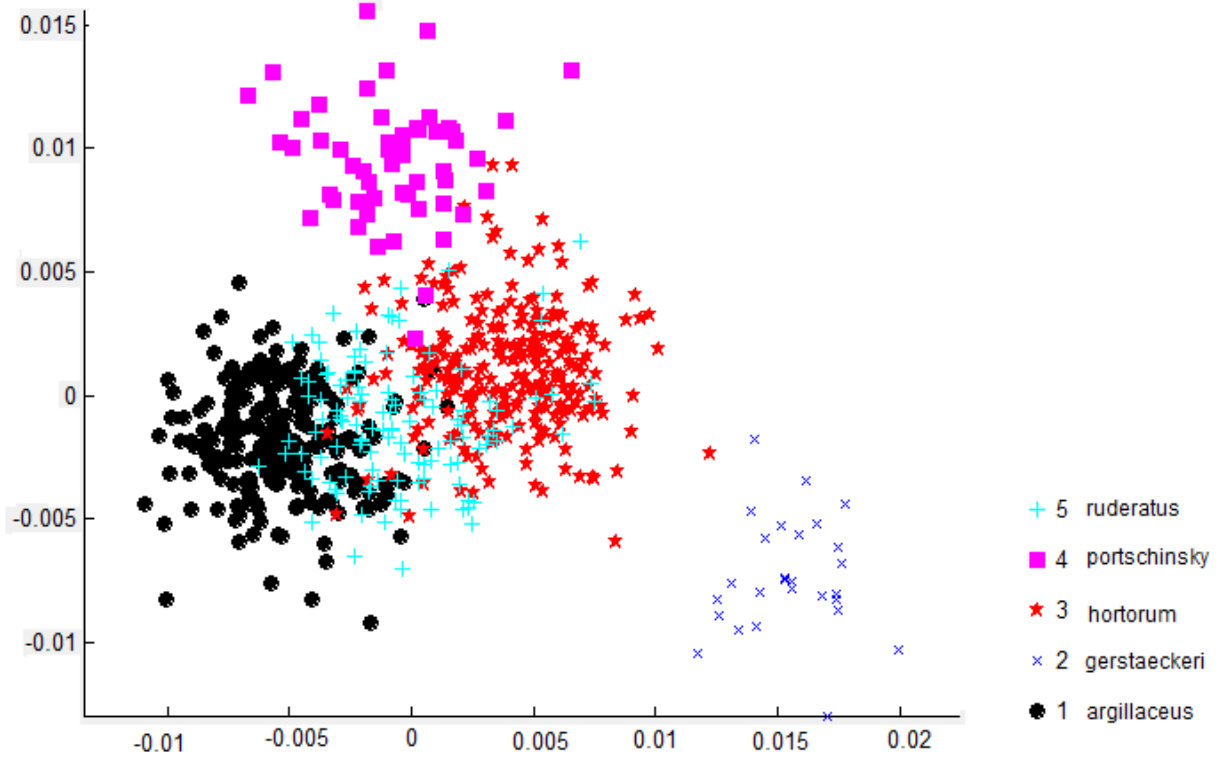
Şekil 33. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzeje edilmiştir).

Çalışmada gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı IMP programı içerisinde CVAGen6p'de analiz edilmiştir. Program içerisinde gerçekleştirilen MANOVA (çok yönlü varyans analizi) uygulanmış ve elde edilen değerler sonucu beş grubun birbirlerinden farklı oldukları ortaya çıkmıştır (Çizelge 8).

Çizelge 8. İşçi bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde beş grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.

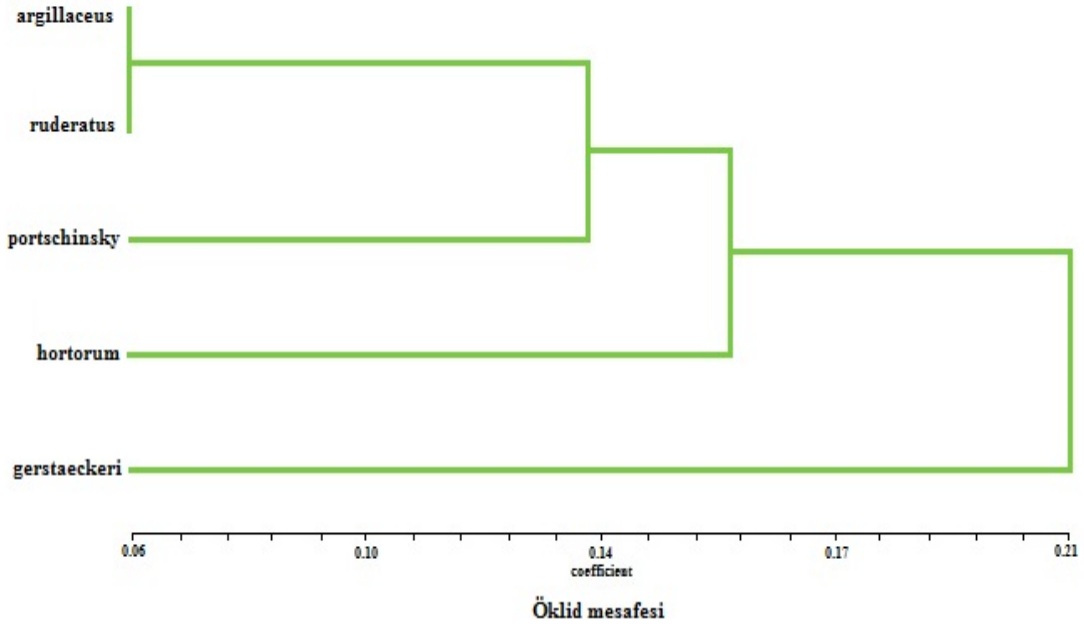
	Lambda	chi ²	P
Eksen 1	0.0150	2863.0729	p<2.22045e-016
Eksen 2	0.0721	1792.3246	p<2.22045e-016
Eksen 3	0.2102	1063.0465	p<2.22045e-016
Eksen 4	0.5611	393.8429	p<2.22045e-016

IMP CVAGen6n programının yardımı ile CANOVAR gerçekleştirilmiş ve bireylerin ilk iki kanonik değişken üzerindeki dağılımları belirlenmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı (yatay eksen CV1, dikey eksen CV2).

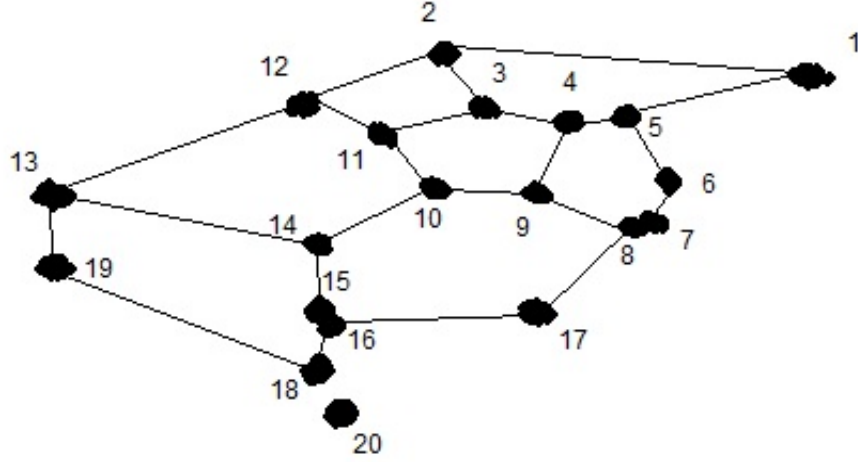
Tps verisi kullanılarak Morpheus Programında hesaplanan ortalama değerleri Ntsys Programında SAHN Kümlleme Yöntemi uygulanarak ve öklid mesafesi esas alınarak gruplandırılmış ve UPGMA (ağırlıklı olmayan çift grup ortalamaları analizi) ile bir ağaç haline getirilmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. UPGMA ağacında beş grubun karşılaştırılması.

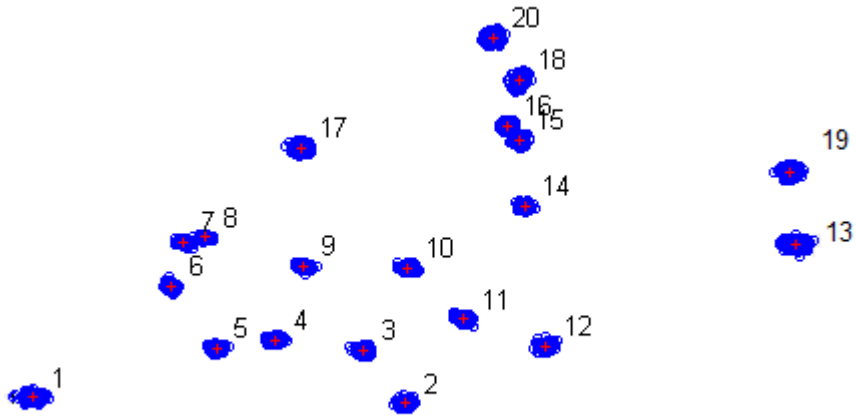
4.2.3. Kraliçe bireylere Ait Morfometrik Bulgular

Analizlerde kraliçe bireylerden 173 adet örnek analiz edilmiştir. TpsDIG2.12 [104] programında landmarklar belirlenen noktalara yerleştirilmiştir. TpsRelw [106] programında Procrustes uygulanarak 20 landmarkın dağılımı tespit edilerek, dağılımda herhangi bir sapma olup olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 36).



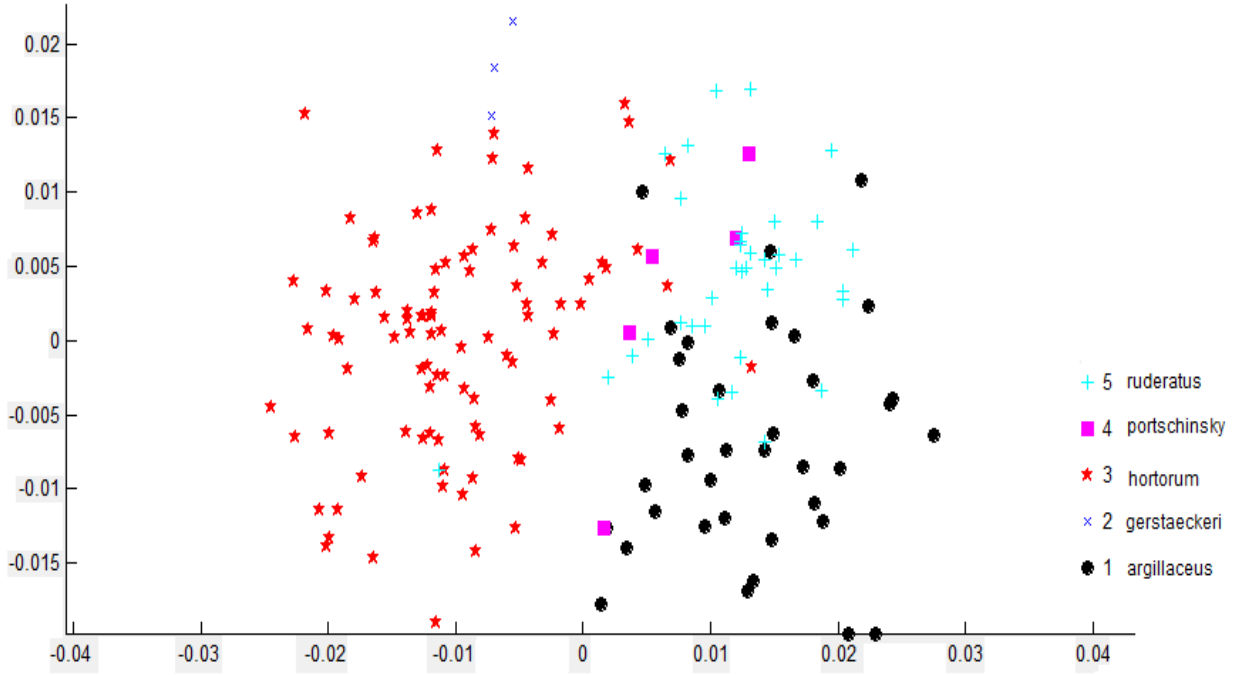
Şekil 36. TpsRelw1.45 programında [106] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı

Procrustes rotasyonu, IMP CoordGen6f programında uygulanmıştır (Şekil 37). Daha sonra PCA ve CVA için gerekli olan gruplamalarda *B. ruderatus corsicola* alttürü *B. ruderatus* türünü ve *B. hortorum jonghei* ve *B. hortorum reinigiellus* alttürü *B. hortorum* türünü temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Böylece 5 grup tayin edilmiştir.



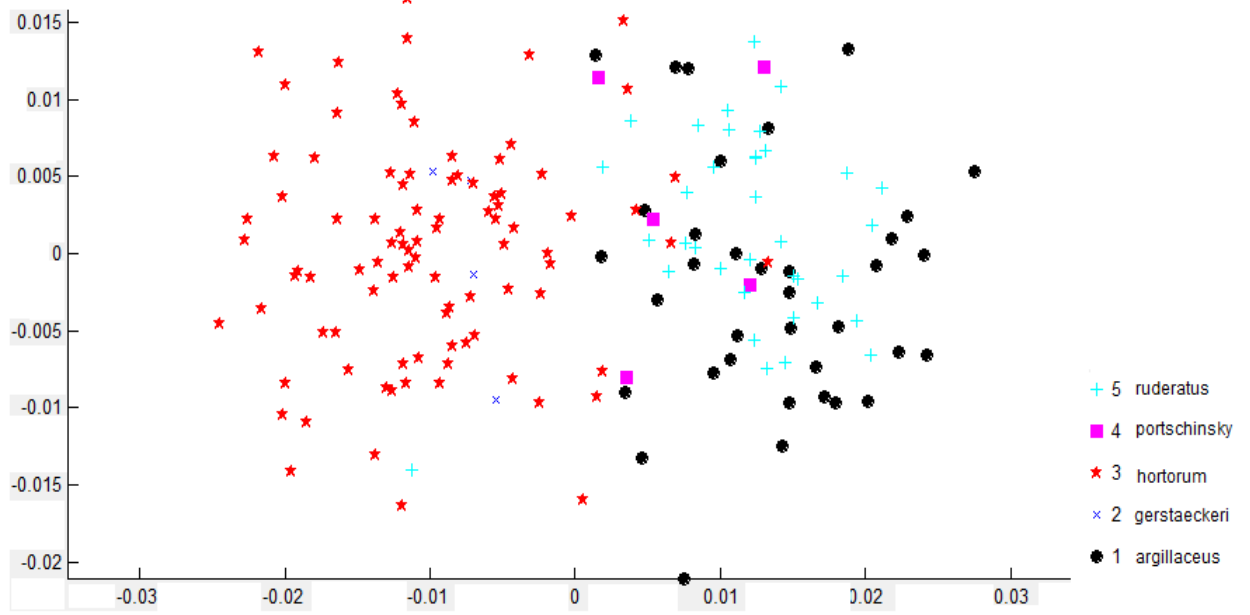
Şekil 37. IMP programında [139] yapılan Procrustes analizi sonucu landmarkların dağılımı.

IMP Programında [139] PCAGen6p'de bireylerin birinci ve ikinci (PC1 ve PC2), ikinci ve üçüncü (PC2 ve PC3), birinci ve üçüncü (PC1 ve PC3) temel ögeler üzerindeki dağılımı incelenmiştir. PC1 ve PC2 üzerindeki dağılımda birtakım kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. gerstaeckeri* ve *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar (Şekil 38).



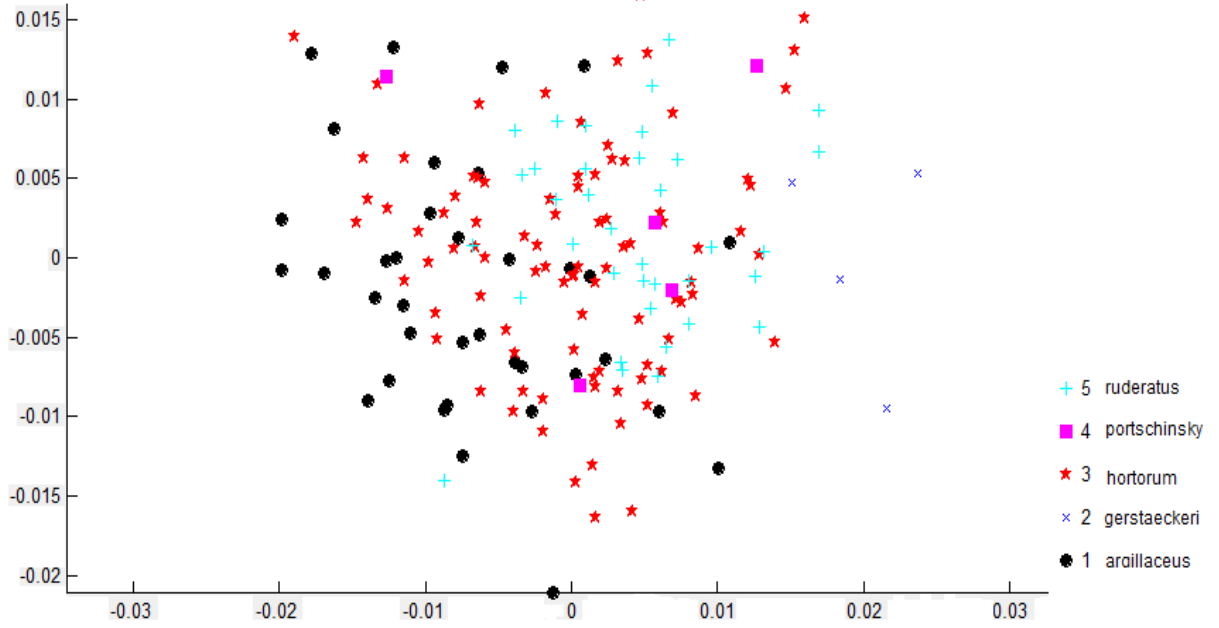
Şekil 38. Bireylerin ilk iki temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC2).

PC1 ve PC3 üzerindeki dağılımda kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri birbirlerine yakın durmaktadırlar. *B. argillaceus* türüne ait bireyler *B. ruderatus* türüne ait bireyler ile iç içe bulunmaktadırlar (Şekil 39).



Şekil 39. Bireylerin birinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC1, dikey eksen PC3).

PC2 ve PC3 üzerindeki dağılımda birtakım kümelenmelerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Analizde daha önceki analizlerde diğer türlere göre daha uzakta bulunan *B. hortorum* türlerine ait bireylerin diğer türlere yaklaştıkları hatta birlikte birtakım kümeler oluşturdukları görülmektedir. Daha önceki analizlerde birbirlerine yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden uzaklaşmış oldukları görülmektedir. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler birbirleriyle çakışmaktadır. *B. portschinsky* ve *B. gerstaeckeri* türlerine ait bireyler ise diğer türlere ait bireylerden daha uzakta durmaktadır (Şekil 40).



Şekil 40. Bireylerin ikinci ve üçüncü temel öge üzerindeki dağılımı (yatay eksen PC2, dikey eksen PC3).

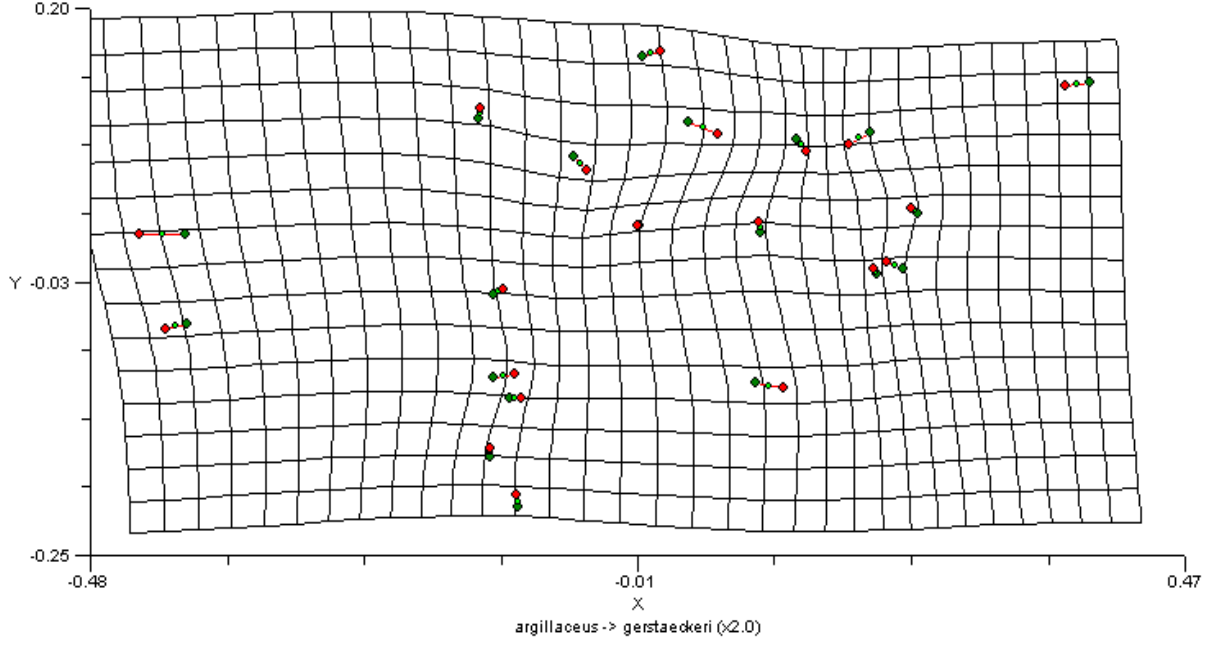
Görece warp'lar tpsRelw [106]'da belirlenmiş, elde edilen sayısal verilerden en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı olan landmarkın ise 1. landmark olduğu tespit edilmiştir. Varyans değerlerine baktığımızda sırasıyla $S^2=0.00006578$ ve $S^2= 0.00004597$ ile 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, $S^2= 0.00001492$ ile de 8. landmarkın en düşük varyansa sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 9 ve Çizelge 10).

Çizelge 9. ve Çizelge 10. TpsRelw programından [106] elde edilen görece warp'lar.

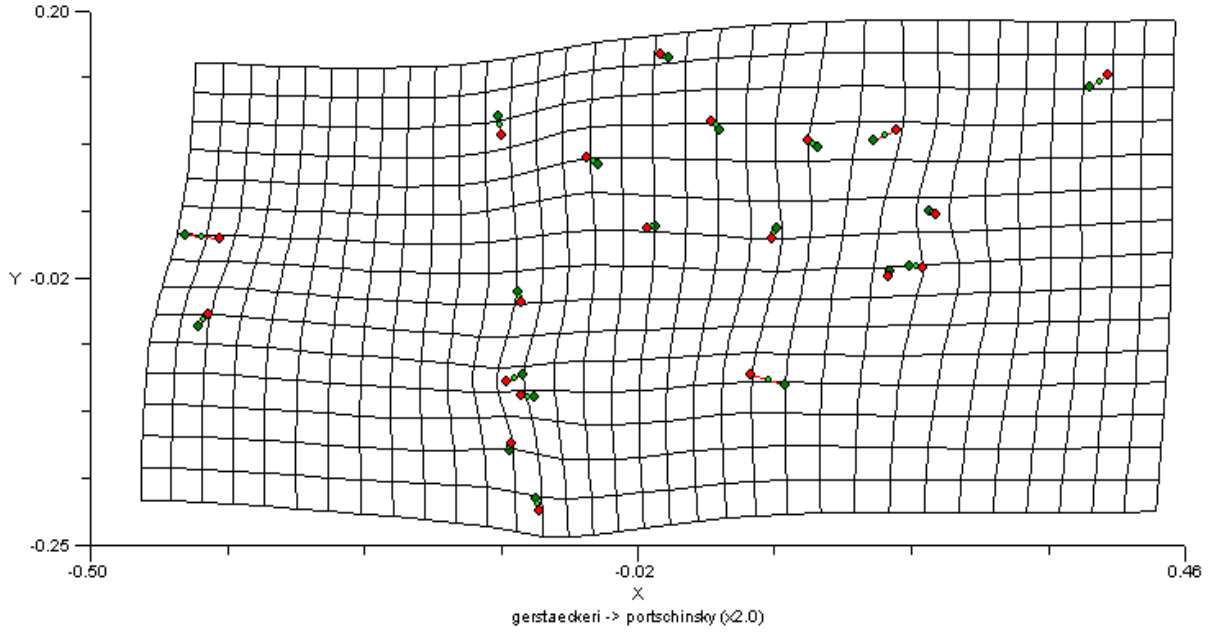
LM#	SS
1	0.00012
2	0.00327
3	0.01099
4	0.01693
5	0.01415
6	0.02981
7	0.18499
8	0.14709
9	0.00946
10	0.00740
11	0.00774
12	0.00181
13	0.00099
14	0.01233
15	0.25931
16	0.25647
17	0.00137
18	0.02758
19	0.00117
20	0.00702

LM#	S ² x	S ² y	S ²
1	0.00003591	0.00001006	0.00004597
2	0.00001589	0.00000832	0.00002421
3	0.00002014	0.00000600	0.00002613
4	0.00001739	0.00000710	0.00002449
5	0.00001678	0.00000612	0.00002290
6	0.00000871	0.00000812	0.00001683
7	0.00001405	0.00000325	0.00001730
8	0.00001155	0.00000337	0.00001492
9	0.00001652	0.00000282	0.00001934
10	0.00002363	0.00000560	0.00002924
11	0.00001754	0.00000729	0.00002483
12	0.00002271	0.00000834	0.00003105
13	0.00005403	0.00001175	0.00006578
14	0.00001156	0.00000517	0.00001673
15	0.00001654	0.00000836	0.00002489
16	0.00001261	0.00000572	0.00001833
17	0.00002753	0.00001005	0.00003759
18	0.00002604	0.00001666	0.00004270
19	0.00002561	0.00001108	0.00003669
20	0.00002892	0.00001338	0.00004230

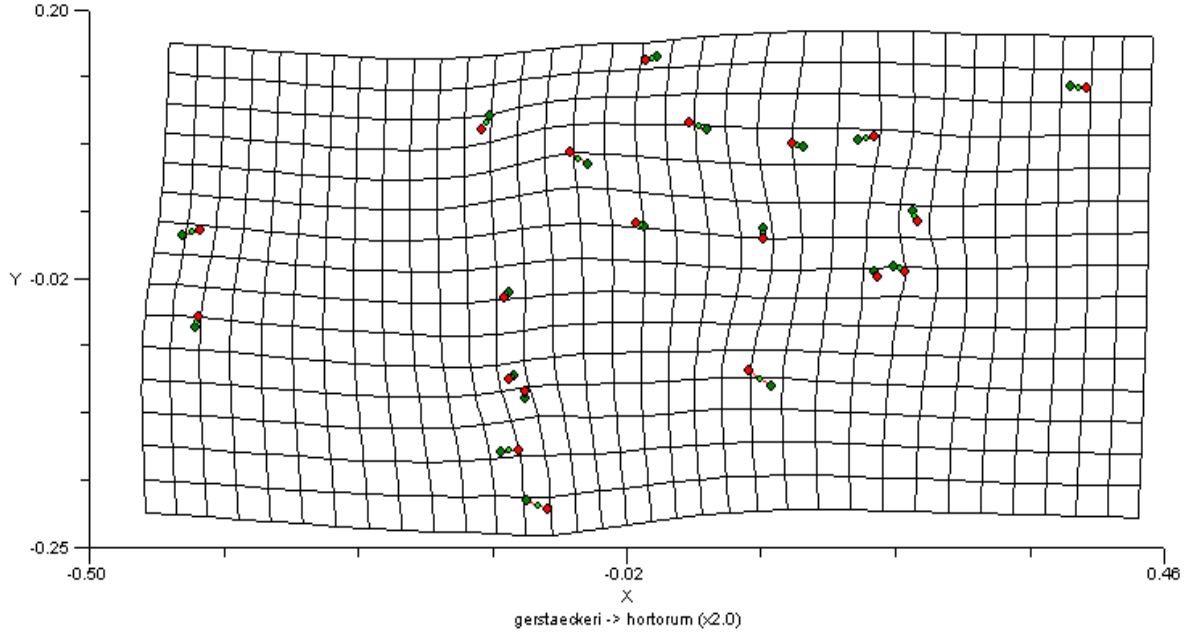
Türler arasında ön kanatlardaki farklılıklar Morpheus programında deformasyon gridleri üzerinde gösterilmiş ve ince tabaka analizi gerçekleştirilmiştir. Deformasyonlar iki kez ekzejere edilerek farklılıkların daha belirgin olarak gözlenebilmesi amaçlanmıştır. İkili gruplarda en çok deformasyonun *B. argillaceus* ve *B. gerstaeckeri* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. argillaceus* ve *B. gerstaeckeri* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 4, 7, 9 ve 14 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır (Şekil 41 - Şekil 45).



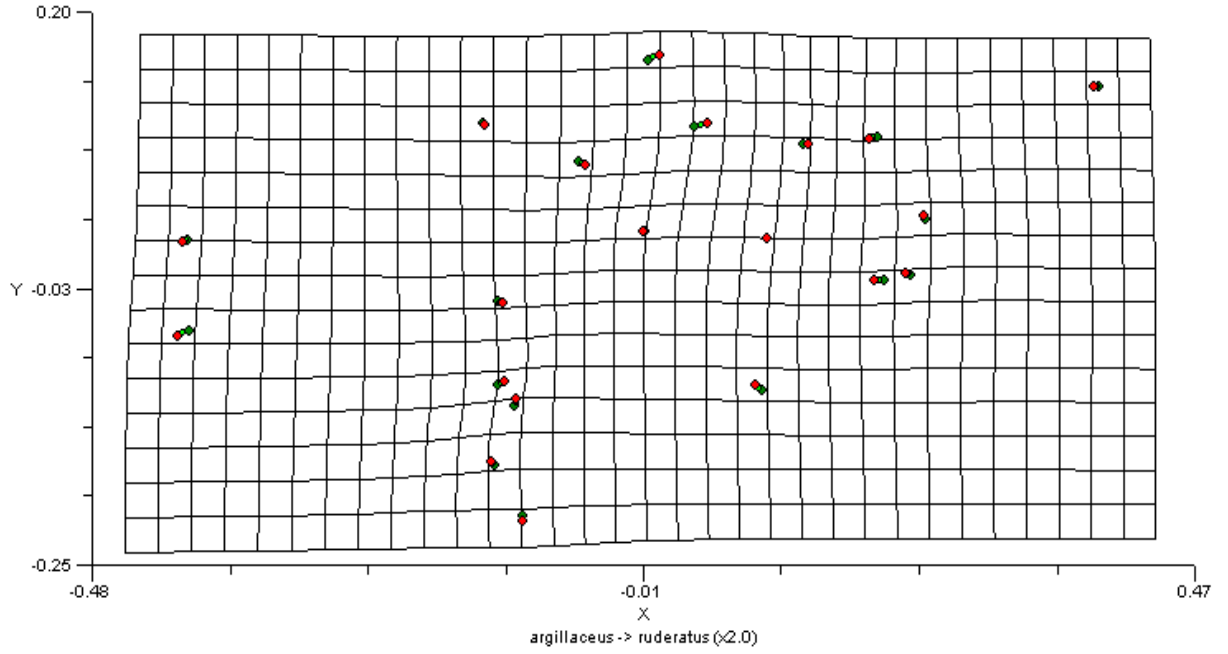
Şekil 41. *B. argillaceus* ve *B. gerstaeckeri* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



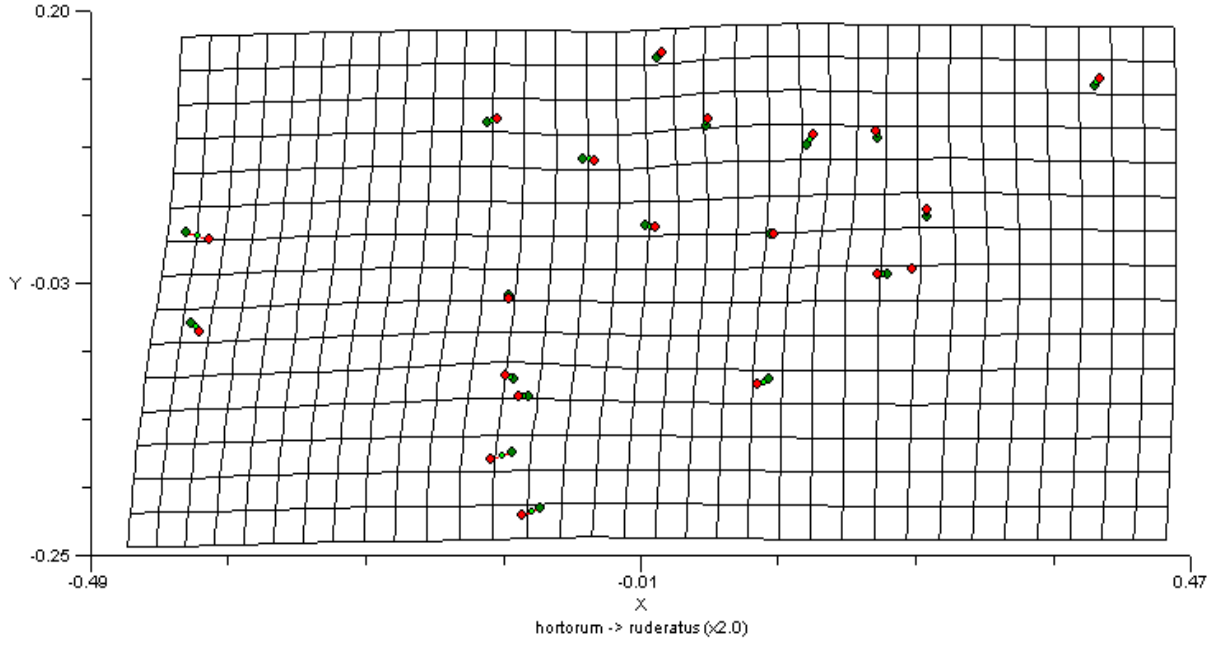
Şekil 42. *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



Şekil 43. *B. gerstaeckeri* ve *B. hortorum* türleri arasındaki belirgin farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



Şekil 44. *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).



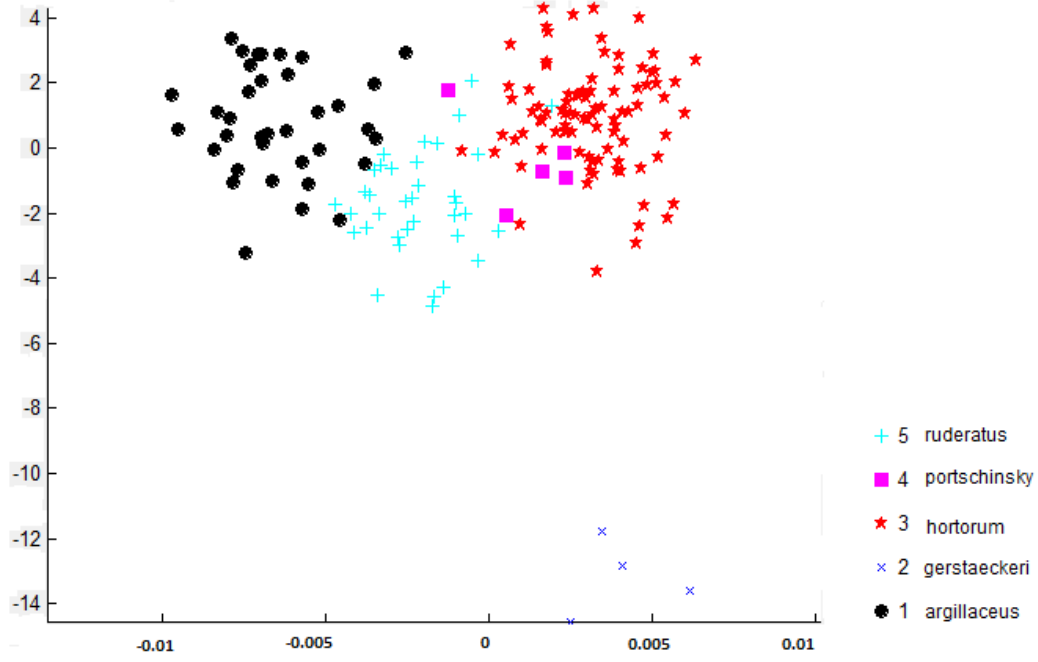
Şekil 45. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türleri arasındaki düşük farklılığı gösteren deformasyon gridi (görselliği arttırmak için iki kat ekzejere edilmiştir).

Çalışmada gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı IMP programı içerisinde CVAGen6p’de analiz edilmiştir. Program içerisinde gerçekleştirilen MANOVA (çok yönlü varyans analizi) uygulanmış ve elde edilen değerler sonucu beş grubun birbirlerinden farklı oldukları ortaya çıkmıştır (Çizelge 11).

Çizelge 11. Kraliçe bireylerde gerçekleştirilen MANOVA analizinde beş grup arasında anlamlı bir fark olup olmadığını gösteren çizelge.

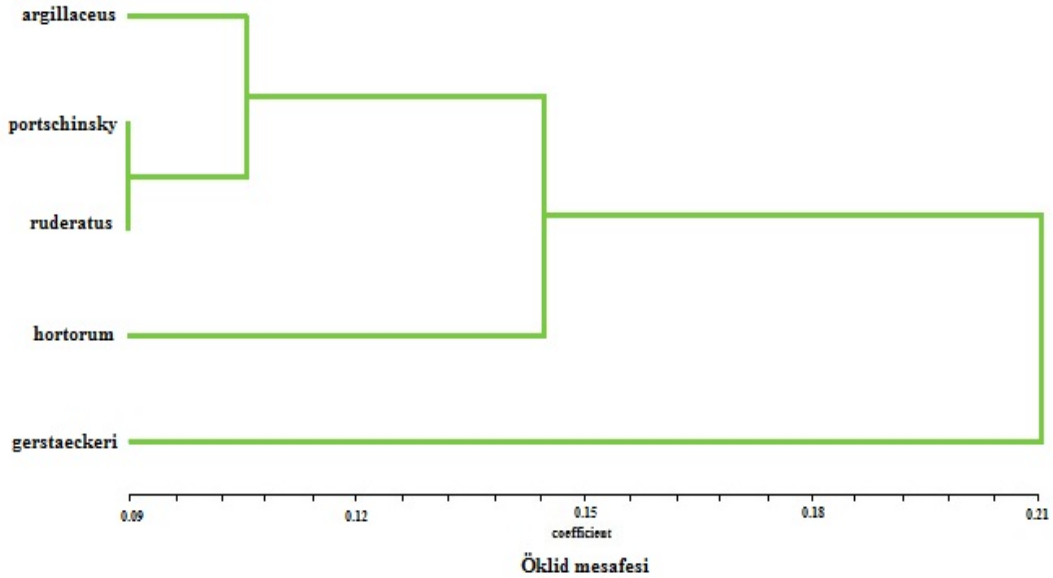
	Lambda	chi ²	P
Eksen 1	0.0100	697.2109	p<2.22045e-016
Eksen 2	0.0764	389.5549	p<2.22045e-016
Eksen 3	0.2375	217.7762	p<2.22045e-016
Eksen 4	0.6444	66.5659	p=0.000477795

IMP CVAGen6n programının yardımı ile CANOVAR gerçekleştirilmiş ve bireylerin ilk iki kanonik değişken üzerindeki dağılımları belirlenmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. Grupların ilk iki kanonik düzlem üzerindeki dağılımı (yatay eksen CV1, dikey eksen CV2).

Tps verisi kullanılarak Morpheus Programında hesaplanan ortalama (mean) değerleri Ntsys Programında SAHN Kümlleme Yöntemi uygulanarak ve öklid mesafesi esas alınarak gruplandırılmış ve UPGMA (ağırlıklı olmayan çift grup ortalamaları analizi) ile bir ağaç haline getirilmiştir (Şekil 47).



Şekil 47. UPGMA ağacında beş grubun karşılaştırılması

4.3. Örtü Altı Tarımda *Bombus terrestris* L.'in Faaliyet Verileri

Ankara Kalecik İlçesi'nin Koramaz-Gümüşpınar köyünde 710 metre rakımında 40°07 262 K ve 033°26 507 D koordinatlarındaki 500 m² lik bir serada *Bombus terrestris* arılarının kullanımı ile domates bitkilerinin tozlaştırma faaliyetleri gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. *Bombus terrestris* Kolonilerinin Domates Serasında Tozlaşma Faaliyetleri

Serada *Bombus terrestris* arılarının 8 gün boyunca düzenli aralıklarla takibi sonucu veriler elde edilmiştir (Çizelge 12). Çiçeklerin gün ışığı ile açılmaya başladığı sabah saatlerinde ilk olarak arıların kovandan giriş çıkışları takip edilmiştir. Çıkış olması durumunda *B. terrestris* arılarının domates fidelerinden hangi çeşit domates çiçeğine konduğu ve polen toplayıp toplamadığı kaydedilmiştir. Polen toplama durumlarında kovana geri dönüş yapana kadar takip edilmeye devam edilmiştir (Şekil 48).



Şekil 48. *B. terrestris* türü arılarının domates çiçeğinde polen toplaması

Öğlen saatlerinde artan sıcaklık ve nem oranından dolayı tozlaşma faaliyetlerini durdurdukları gözlemlenmiştir. *B. terrestris* kolonisinin sıcaklıktan etkilenme durumlarına bakılarak, oda sıcaklığında ve az ışık alan kapalı boş bir depoya konulmuştur. Serada sıcaklık ve nem kontrolü takip edilerek uygun sıcaklıkta *B. terrestris* kovanı tekrar seraya getirilmiştir. Kovandan giriş ve çıkışları kontrol edilerek çiçeklerin kapanma zamanına kadar tozlaşma faaliyetleri takip edilmiştir.

Çizelge 12. *Bombus terrestris* arıların serada elde edilen tozlaşma verileri

Gün	Saat	Sıcaklık °C/ Nem RH	Giriş Sayısı	Polenli Arı Sayısı	Çıkış Sayısı
05-08-12	06:00-08:00	23.2 / % 71	7	0	11
05-08-12	09:00-11:00	35.7 / % 47	10	0	9
05-08-12	13:00-14:00	42.7 / % 31	0	0	0
05-08-12	15:00-16:00	42.1 / % 28	0	0	0
05-08-12	16:30-17:30	40.5 / % 31.5	0	0	0
05-08-12	18:00-19:00	32 / % 47.5	0	0	2
06-08-12	06:00-08:00	22.8 / % 68.0	9	0	10
06-08-12	09:00-11:00	36.5 / % 41.5	9	0	5
06-08-12	13:00-14:00	41.0 / % 28.5	0	0	0
06-08-12	15:00-16:00	29.0 / % 59	0	0	0
06-08-12	16:30-17:30	25.6 / % 61.5	2	0	2
06-08-12	18:00-19:00	27.2 / % 59	0	0	0
07-08-12	06:00-08:00	21.3 / % 79.3	7	0	6
07-08-12	09:00-11:00	34.7 / % 52	4	0	5
07-08-12	13:00-14:00	42.4 / % 30	0	0	0
07-08-12	15:00-16:00	36.9 / % 32.5	0	0	0
07-08-12	16:30-17:30	39.8 / % 32	2	0	1
07-08-12	18:00-19:00	33.5 / % 34	0	0	0
08-08-12	06:00-08:00	24.2 / % 67.4	7	1	7
08-08-12	09:00-11:00	31.2 / % 49.7	8	3	10
08-08-12	13:00-14:00	35.5 / % 41	6	1	7
08-08-12	15:00-16:00	42.5 / % 31.5	1	0	1
08-08-12	16:30-17:30	42.0 / % 26	3	0	3
08-08-12	18:00-19:00	34.1 / % 37.5	0	0	0
09-08-12	06:00-08:00	22.9 / % 72.4	2	0	3
09-08-12	09:00-11:00	38.9 / % 42.7	3	0	5
09-08-12	13:00-14:00	43 / % 31.5	0	0	0
09-08-12	15:00-16:00	43.2 / % 30	0	0	0
09-08-12	16:30-17:30	40.6 / % 27	0	0	0
09-08-12	18:00-19:00	33.4 / % 42	0	0	0
10-08-12	06:00-08:00	22.4 / % 76	1	0	7
10-08-12	09:00-11:00	36.5 / % 47.7	10	2	1
10-08-12	13:00-14:00	50.9 / % 21	0	0	0
10-08-12	15:00-16:00	40 / % 29	0	0	0
10-08-12	16:30-17:30	43.4 / % 22	0	0	0
10-08-12	18:00-19:00	37.3 / % 27	0	0	0
11-08-12	06:00-08:00	21.8 / % 66.7	8	2	8
11-08-12	09:00-11:00	37.2 / % 45.7	1	1	4
11-08-12	13:00-14:00	48.5 / % 20.5	0	0	0
11-08-12	15:00-16:00	45.5 / % 16	0	0	0
11-08-12	16:30-17:30	41.2 / % 24	0	0	0
11-08-12	18:00-19:00	35.1 / % 29.5	1	0	0
12-08-12	06:00-08:00	22.8 / % 66.4	1	0	1
12-08-12	09:00-11:00	37 / % 42.7	2	0	1
12-08-12	13:00-14:00	48.3 / % 22	0	0	0
12-08-12	15:00-16:00	52.1 / % 17	0	0	0
12-08-12	16:30-17:30	36.7 / % 30.5	0	0	0
12-08-12	18:00-19:00	32.5 / % 36	0	0	0

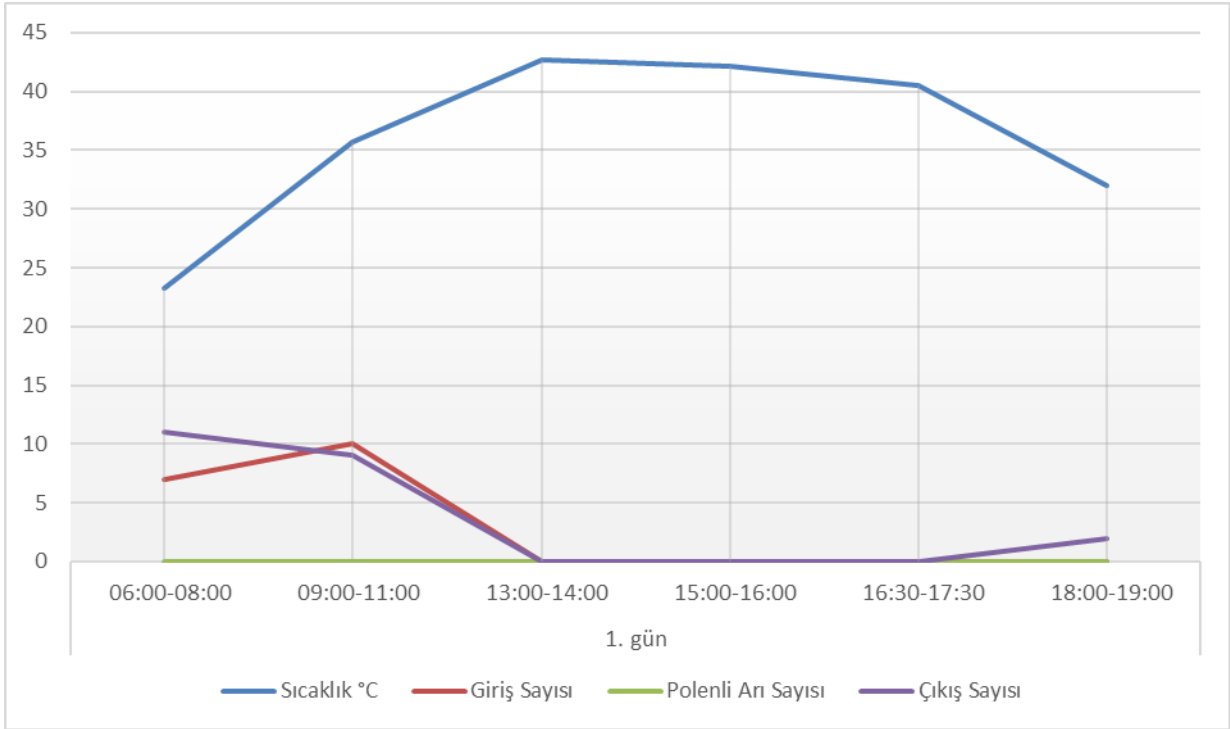
Kaydedilen verilerle göre sabah saatlerinde 20 °C ile 32 °C sıcaklık aralığında ve % 70 ve % 50 arası bağıl nemde (RH) *Bombus terrestris* arılarının kovanlarına girişleri ve çıkışları en iyi düzeyde gerçekleşmektedir (Çizelge 13 - 20). Ancak öğlen saatlerinde sıcaklık değeri arttıkça ve bağıl nem oranı azaldıkça *B. terrestris* arılarının kovana giriş sayıları ve çıkış sayıları azalmakta hatta hiç gerçekleşmemektedir (Şekil 49).



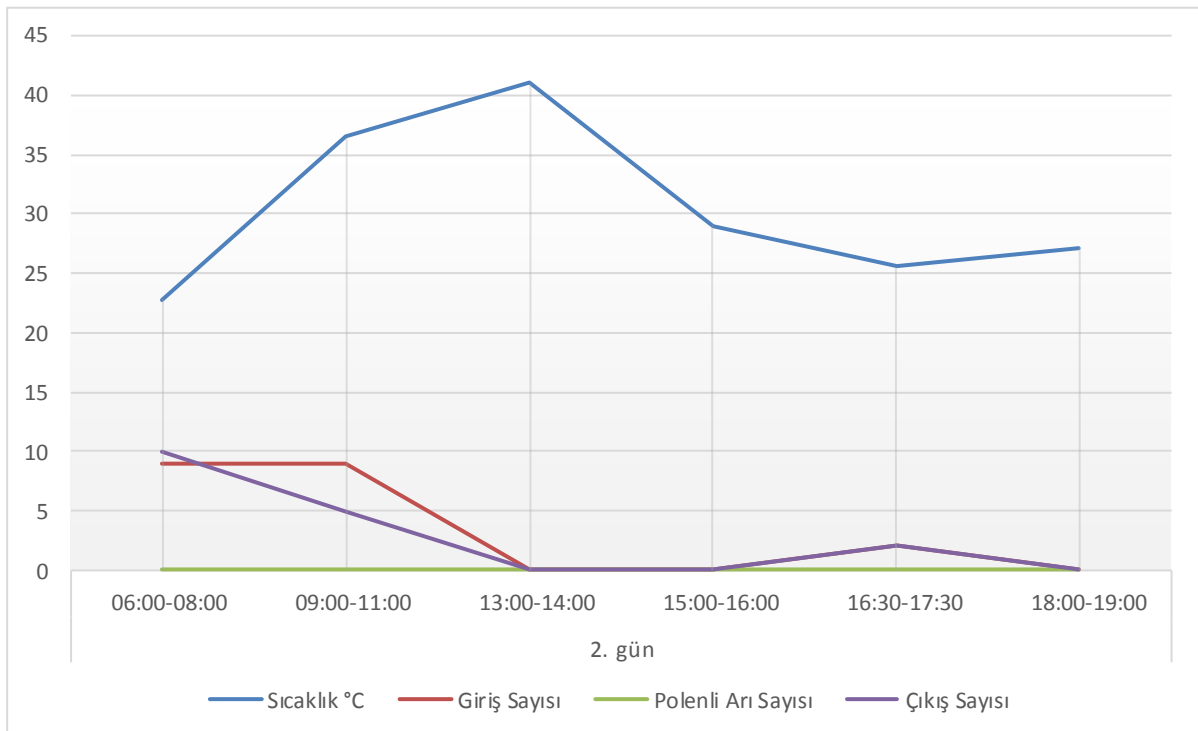
Şekil 49. *Bombus terrestris* arılarının kovanlarına girişleri ve çıkışları

Bombus terrestris en iyi sabah 06:00 ile 08:00 zaman aralığında uçuş aktivitesi göstermiştir. 09:00 ile 11:00 zaman aralığında ise uygun sıcaklık ve nem değerinde en iyi tozlaştırma aktivitesini gerçekleştirmiştir (Çizelge 13 -20). Serada bulunan dört çeşit domates türünden de polen topladıkları ve çiçekte kalma sürelerinin 4 sn ve 11 sn arasında değiştiği gözlenmiştir. Diğer zaman aralıklarında artan sıcaklık değerleri ve nem değerlerindeki azalma nedeniyle uçuş ve tozlaşma faaliyetleri azalmıştır.

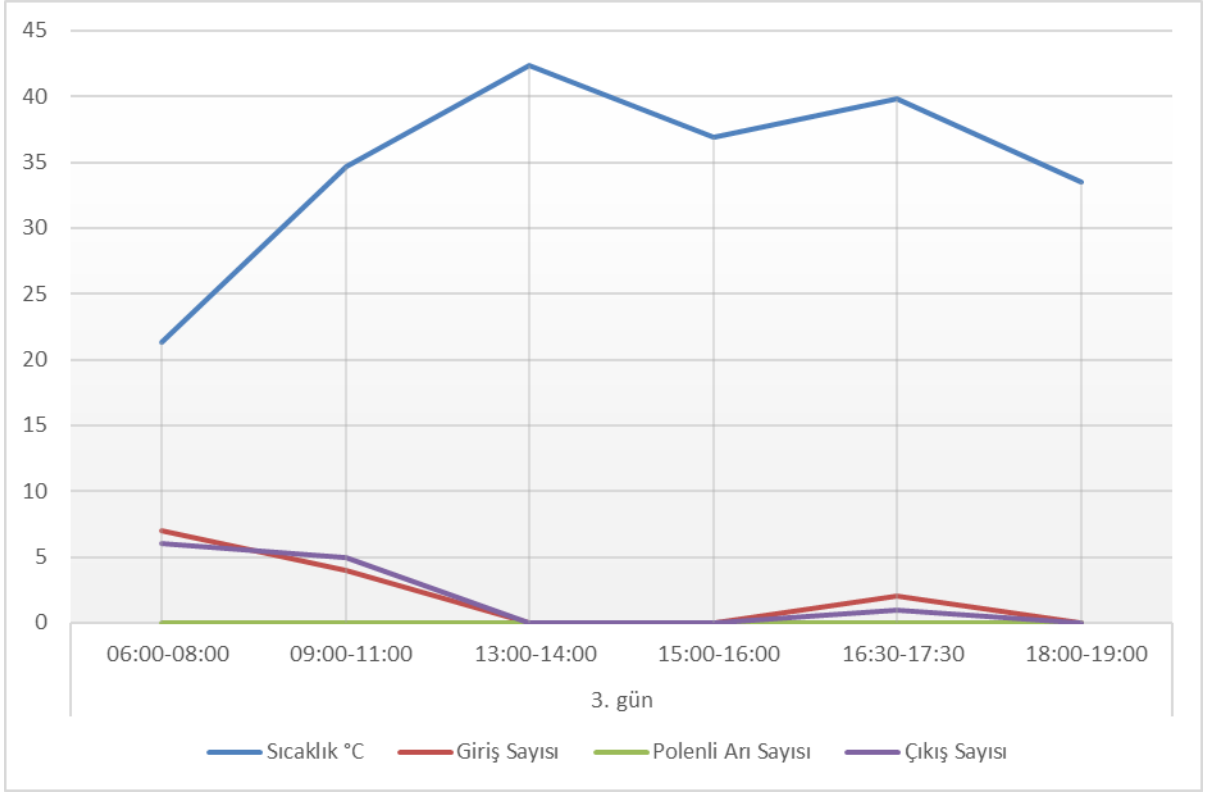
Çizelge 13. *Bombus terrestris* arılarının birinci gün tozlaşma aktiviteleri



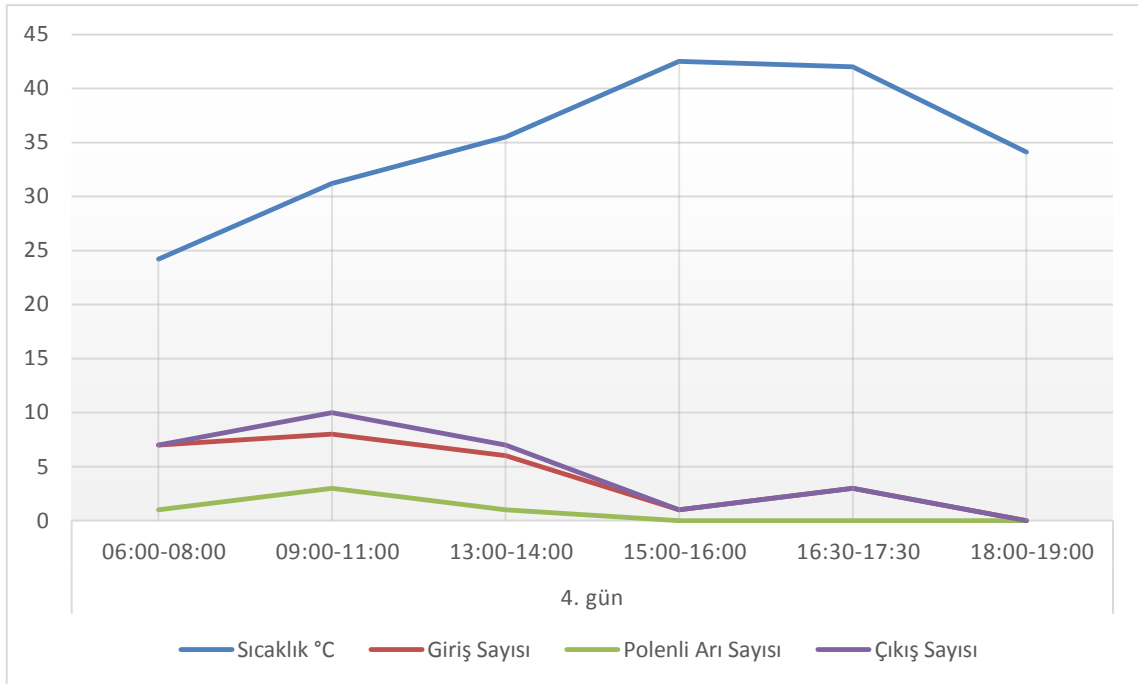
Çizelge 14. *Bombus terrestris* arılarının ikinci gün tozlaşma aktiviteleri



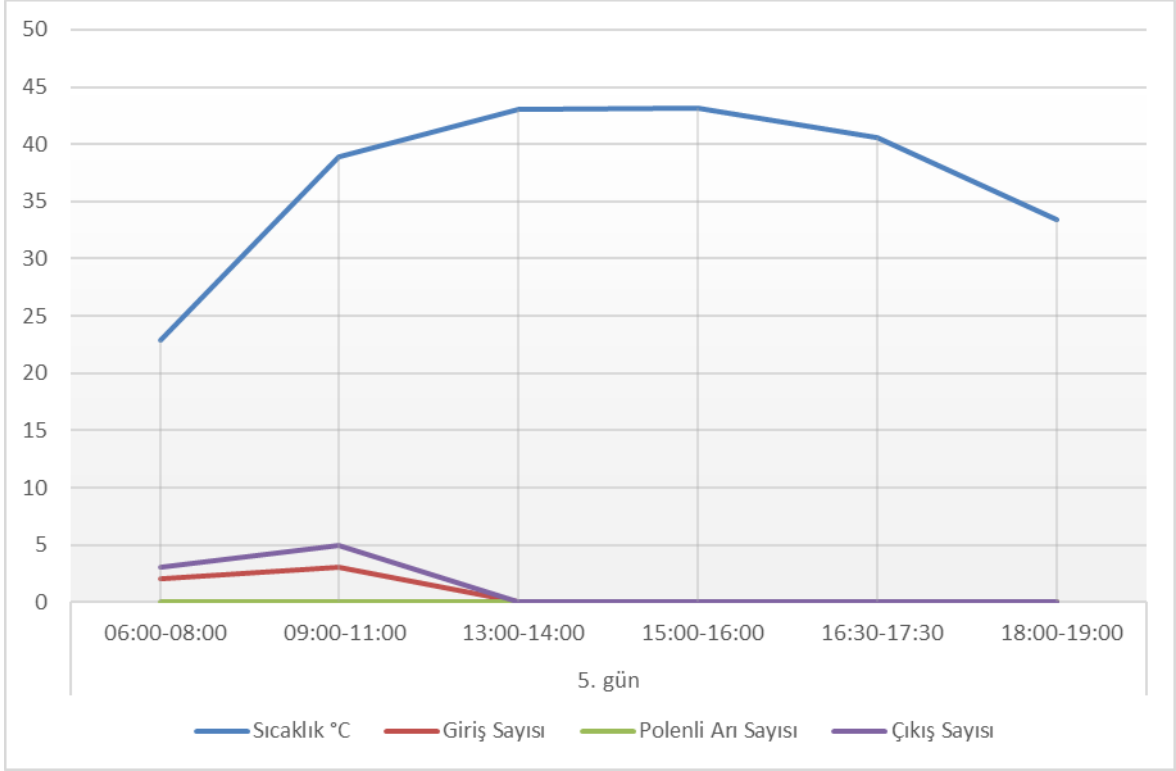
Çizelge 15. *Bombus terrestris* arılarının üçüncü gün tozlaşma aktiviteleri



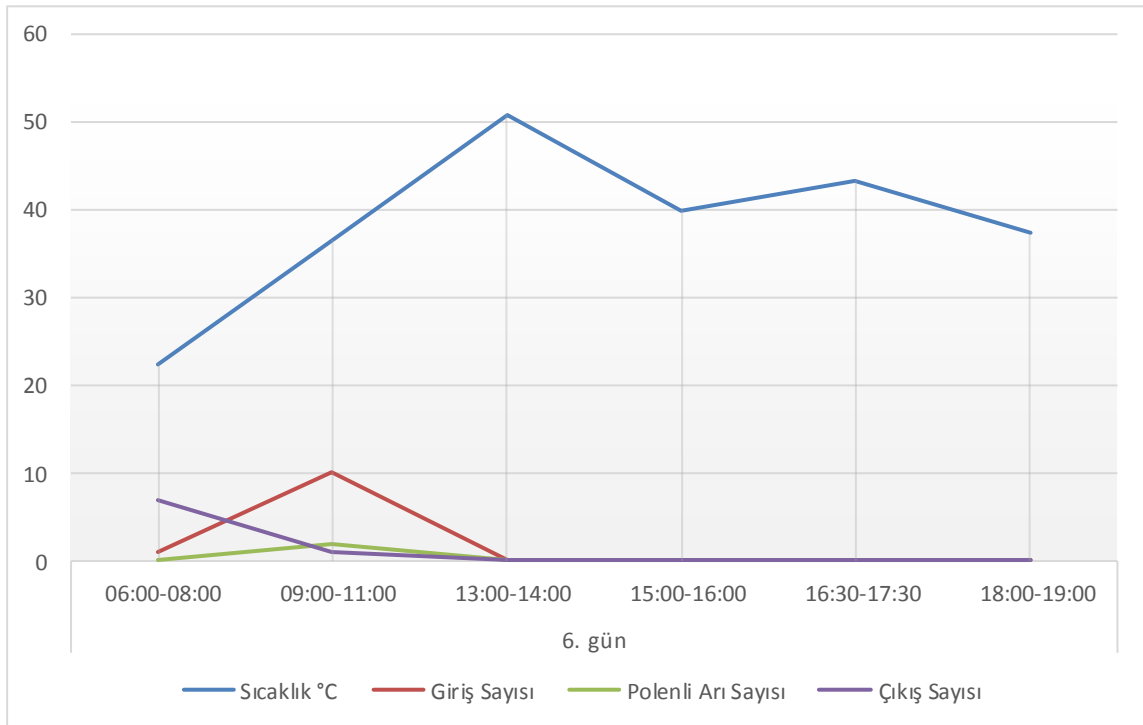
Çizelge 16. *Bombus terrestris* arılarının dördüncü gün tozlaşma aktiviteleri



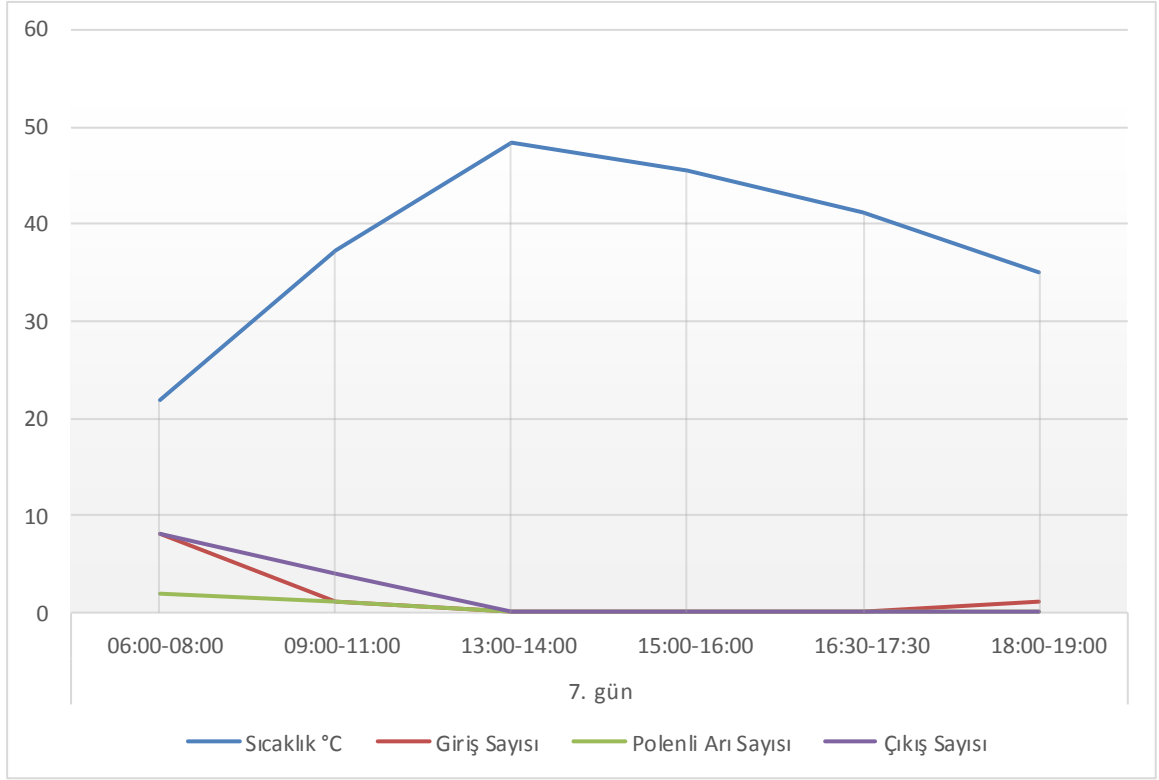
Çizelge 17. *Bombus terrestris* arılarının beşinci gün tozlaşma aktiviteleri



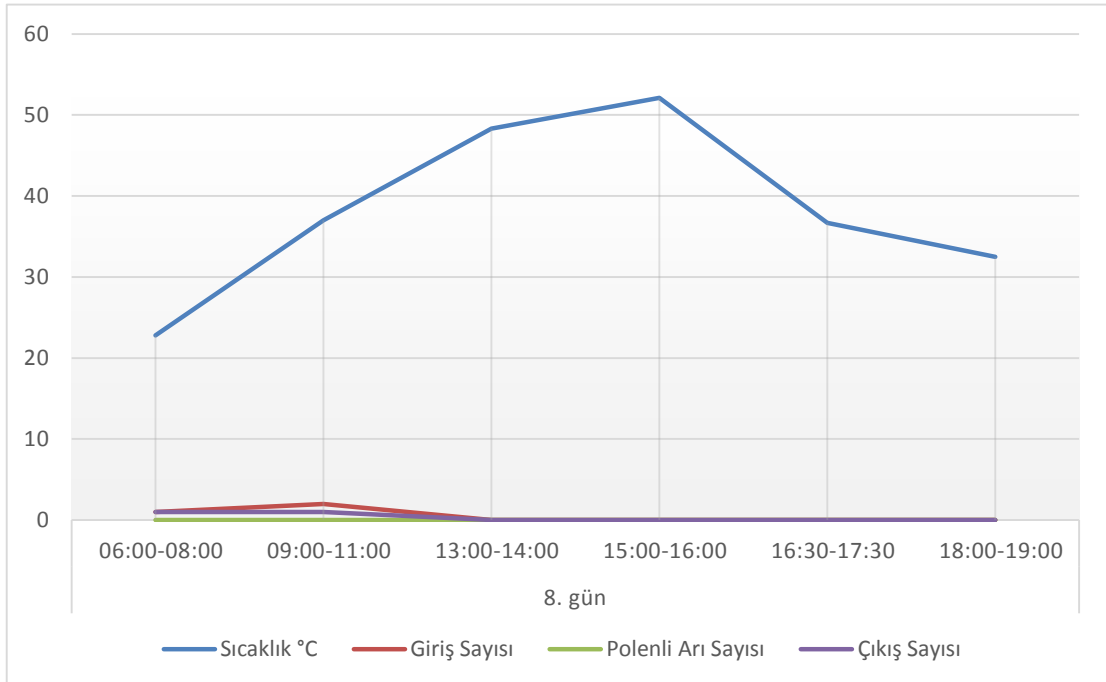
Çizelge 18. *Bombus terrestris* arılarının altıncı gün tozlaşma aktiviteleri



Çizelge 19. *Bombus terrestris* arılarının yedinci gün tozlaşma aktiviteleri



Çizelge 20. *Bombus terrestris* arılarının sekinci gün tozlaşma aktiviteleri



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bombus arıları diğler arılara kıyasla morfolojik olarak nispetendaha homojenik olmasına [5] ve türler arasında renk desenlerinde genellikle benzerlik göstermesine rağmen [140], türler içinde renk desenlerinde çoğunlukla çok değışken olması taksonomisinde karışıklığa neden olmaktadır [35].

Taksonomik çalışmalarda tek değışkenli karakterler kullanıldığında türler ya da popülasyonlar çakışabilmektedir [55]. Yeterli morfolojik anahtar karakterlerin olmaması ve morfolojik tanımlama kriterlerinde çok önemli varyasyonların belirlenmesi yeni çalışmalara yönelmeyi sağlamıştır. Ito [58], bu nedenlerle Medler (1952) ile morfometrik çalışmaların ve Stephen ve Cheldelin ile biyokimyasal çalışmaların başladığını belirtmiştir. Bombus arıları için geleneksel morfometrik ve sayısal taksonominin ilk uygulamaları Plowright ve Stephen [141]'nin *Bombus* ve *Psithyrus*'un evrimsel ilişkisi üzerine çalışmaları ile olmuştur [82].

Bombus taksonomisinde karışıklıkların çözülmesinde özellikle son yıllarda moleküler teknikler çoğunlukla kullanılır hale gelmiştir [8, 12, 32, 63, 142, 143, 144, 145, 146] DNA çalışmaları, allozim çalışmaları, eşeysel feromon analizi ve hem kladistik hem de geleneksel yöntemler ile morfometri gibi alternatif yöntemlerin kullanılması ile taksonomik çalışmalara alternatif yöntemler olmuştur [15]. Alternatif yöntemlerden olan geometrik morfometrik biyolojik çalışmaların birçok türünde özellikle sistematikte ve ekolojide önemli bir rol oynamaktadır [73]. Çeşitli yönlerden geleneksel morfometrik ile karşılaştırıldığında daha avantajlıdır [70]. Geometrik morfometrik teknikler bombus arıları üzerinde Klingenberg et al. [20], Aytekin et al. [15], De Meulemeester et al. [21], Wappler et al. [22] ve Barkan ve Aytekin [23] tarafından başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Geleneksel morfometri ile birleştirildiğinde, klasik taksonomi *Megabombus* altcinsinin doğallığını anlamda daha iyi bulgular verdiği görülmektedir [144].

Bombus arılarının taksonomik ve sistematik çalışmalarının yanı sıra tozlaşma çalışmaları da büyük önem arz etmektedir. Bombus arıları hem bitkiler hem de doğal ekosistemler için, özellikle dağlık alanlarda, önemli tozlaştırıcılardır [3,103]. Bombus arıları bal arısı kovanının da bol bulunduğu yerlerde sera yetiştiriciliğinde

giderek daha çok kullanılmaktadır. Bal arısı popülasyonunun azalmasına neden olan bir akarın yayılması ile birlikte ve sera yetiştiriciliğinin artması bombus arılarının önemini daha da artırmıştır [147]. *Bombus terrestris* L. kolay üremesi ve bulunabilirliği nedeniyle seralarda çok sık kullanılmaktadır [148].

Bu çalışmada, *Bombus* cinsi içerisindeki *Megabombus* altcinsinde yer alan türlerde geometrik morfometri uygulanmıştır. Sağ ön kanatlarda daha önce Aytekin et al. [15]'da belirlenmiş olan noktalara 20 adet landmark yerleştirilerek kanat şekilleri ortaya konmuştur. Landmark tabanlı geometrik morfometri yönetimi ile türlerin birbirlerinden anlamlı bir şekilde ayrıldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın ikinci kısmında, Bombus arılarının (*Bombus terrestris*) örtü altı tarımda tozlaştırıcı etkilerini izlemek için Ankara Kalecik'te kurulan serada takipleri yapılmıştır. Tozlaştırıcı faaliyetlerinin sekiz gün boyunca takibi sonucu anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında Belçika'da Mons Üniversitesi Fen Fakültesi Zooloji Laboratuvarı müzesinin (Umons) ve Hollanda'da Doğa Çeşitlilik Merkezi'nin (Naturalis Biodiversity Center) koleksiyonundaki teşhisli *Megabombus* türleri kullanılmıştır. Koleksiyondan erkeklerden 4 tür (*B. argillaceus*, *B. hortorum* (spp. *jonghei*), *B. portchinsky* ve *B. ruderatus* (spp. *corsicola*), işçilerden 5 tür (*B. argillaceus*, *B. gerstaeckeri*, *B. hortorum* (spp. *jonghei*, spp. *reinigellius*), *B. portchinsky* ve *B. ruderatus* (spp. *corsicola*) ve kraliçelerden ise 5 tür (*B. argillaceus*, *B. gerstaeckeri*, *B. hortorum* (spp. *jonghei*), *B. portchinsky* ve *B. ruderatus* (spp. *corsicola*) incelenmiştir.

Türler için yapılan sistematik bulgular ve deskripsiyonlar Aytekin [24, 69]'dekilerle tam olarak uyum göstermektedir. Türkiye'de *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türleri tespit edilen *Megabombus* türleridir.

B. argillaceus özellikle Anadolu'nun batısında *B. terrestris* ile birlikte görülen çok yaygın ve tipik bir Doğu-Akdeniz türüdür [16]. *B. argillaceus*'un kraliçeleri tüy renkleri abdomenin tamamında siyah renktedir ve bu renklenme ile diğer türlerden belirgin şekilde ayırt edilebilir. Ancak, işçi ve erkekleri *B. hortorum* türüne benzemektedir. *B. argillaceus*'un genital organ yapısı *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türlerinin genital organları ile benzerdir ancak ventralden bakıldığında *B. argillaceus*'ta gonostylusun apikali sivri olduğu ve penis valvenin gonocoxaya doğru uzanan bazal bir parçaya sahip olduğu görülmektedir. *B. argillaceus*, uzun

gonostylus ve çizme biçiminde volsellaya sahip olmasıyla diğer türlerden ayırt edilebilmektedir. Benzer karakterlere sahip olan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türleri, kraliçelerin renk desenlerinin farklı olmasıyla ayrılabilir.

B. hortorum türü Anadolu'nun kuzey ve iç bölümlerinde yaygındır [144]. Toros'larda bir bölgede de *B. hortorum* türü tespit edilmiştir. Reinig [116] tarafından *B. hortorum* ağaçlık bölgelere özgü bir tür olarak belirtilmişse de Pittioni & Schmidt [149] ile Rasmont [133]'a göre orman-kenarı özellikte olduğu bildirilmiştir [16]. *B. portchinsky* türünün kuru örnekleri genellikle eski bir koleksiyon örneğindeki *B. hortorum* türü ile karıştırılabilir. Genellikle yeni toplanmış örneklerde renkler daha belirgindir ve teşhis edilmesi daha kolaydır. *B. portchinsky* ve *B. hortorum* türünün erkek bireyleri çok benzer morfolojiye ve genital organa yapısına sahiptir. *B. portchinsky* türünde supra-orbital hattın lateral ocellusa teğet geçmesiyle ve bu hattın ocellusu ortada kesmesiyle *B. hortorum*'dan ayırt edilebilmektedir.

B. gerstaeckeri türünün dağılımı Avrupa'nın güney dağları ile sınırlıdır [16]. *B. gerstaeckeri*, *B. argillaceus*, *B. hortorum*, *B. portchinsky* ve *B. ruderatus* türlerine kıyasla kolay teşhis edilen bir türdür. Thoraksta kılların sarımsı gri ile kırmızımsı kahverengi olması ile ayırt edilebilmektedir.

B. ruderatus türü Batı Avrupa'da özellikle Akdeniz bölgesinde çok yaygın bir türdür. Kuzey Cezayir, Kuzey Tunus ve Güney İtalya ve Atlas Dağlarından, İsveç, Litvanya ve Belarus'a kadar geniş bir dağılım göstermektedir [25]. *B. ruderatus*'un işçi ve erkek bireyleri Avrupa'da *B. hortorum* ile karıştırılmaktadır. Morfolojik ve tüylenme karakterlerinin birleşimi *B. ruderatus*'tan *B. hortorum*'un ayrılması için gereklidir. Tek bir karakter her durumda bu taksanın ayrılması için yeterli değildir. Başın genişliği arasındaki ve malar alanının uzunluğu oranı *B. ruderatus*'tan *B. hortorum*'un kraliçesi için en iyi ayrılmayı sağlamaktadır.

Geometrik morfometrik çalışmalarda erkeklerde 4 türe ait 221 birey, işçilerde 5 türe ait 703 birey ve kraliçelerde 5 türe ait 173 birey analiz edilmiştir. PCA ve CVA için gerekli olan gruplamalarda erkeklerde *B. ruderatus corsicola* alttürü *B. ruderatus* türünü, *B. hortorum jonghei* ve *B. hortorum reinigiellus* alttürü *B. hortorum* türünü temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Böylece erkeklerde 4 grup, işçilerde ve kraliçelerde 5 grup tayin edilmiştir.

Erkekler için elde edilen görece warp'lara göre en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı olan landmarkın ise 1. landmark olduğu, varyans değerlerinde ise 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, 7. landmarkın en düşük varyans değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Türler arasında ön kanatlardaki deformasyonlarda ikili gruplarda en çok deformasyonun *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 9, 11, 13 ve 19 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır.

Erkek bireylerde gerçekleştirilen Temel Ögeler Analizi'nde PC1 ve PC2'de *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* ait bireyler daha belirgin kümeler oluşturmuşlardır. (Şekil 14). Analizde *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar. PC1 ve PC3'te, PC1 ve PC2'den biraz farklı olarak yakın bulunan *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerinden biraz daha uzaklaştığı görülmektedir. PC2 ve PC3'te ise diğer temel ögeler üzerinde gerçekleşen dağılımlardan farklı olarak birbirlerine çok daha yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden uzaklaşmış oldukları görülmektedir. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. hortorum* türlerine ait bireylerin de birbirleriyle çakıştığı görülmektedir. Kanonik Varyans Analizinde ise *B. hortorum* türünün diğer türlerden uzakta yer aldığı, *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinin birbirlerine yakın bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 22). UPGMA ağacından elde edilen sonuçlar PCA ve CVA verilerini doğrular niteliktedir (Şekil 23). UPGMA verilerine göre *B. argillaceus* *B. ruderatus* ile grup oluşturmuştur ve *B. hortorum* ağaçta hepsinden ayrı olarak yer almaktadır.

Bu bulgulardan morfolojik olarak birbirlerine çok benzeyen *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türlerinin benzer kanat morfometrisine sahip olduğu anlaşılmıştır. *B. portchinsky* ve *B. hortorum* türlerinin de benzer kanat morfometrisine sahip olduğu gözlenmiştir.

İşçilere ait bireylerde elde edilen görece warp'lara göre en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı olan

landmarkın ise 1. landmark olduğu, varyans değerlerinde ise 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, 8. landmarkın en düşük varyans değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Türler arasında ön kanatlardaki deformasyonlarda ikili gruplarda en çok deformasyonun *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. gerstaeckeri* ve *B. portchinsky* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 6, 9, 13 ve 16 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır İşçi bireylerde gerçekleştirilen Temel Ögeler Analizi'nde PC1 ve PC2'de *B. argillaceus*, *B. portchinsky*, *B. ruderatus* ve *B. hortorum* ait bireyler daha belirgin kümeler oluşturmuşlardır (Şekil 26). Bu analizde *B. gerstaeckeri* ve *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar. PC1 ve PC3'te, PC1 ve PC2'den farklı olarak yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerinden uzaklaştığı görülmektedir. *B. gerstaeckeri* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus* türüne ait bireyler *B. ruderatus* türüne ait bireyler ile iç içe bulunmaktadırlar (Şekil 27). PC2 ve PC3'te ise diğer temel ögeler üzerinde gerçekleşen dağılımlardan farklı olarak diğer türlere göre daha uzakta bulunan *B. hortorum* türlerine ait bireylerin diğer türlere yaklaştıkları hatta birlikte birtakım kümeler oluşturdukları görülmektedir. Daha önceki analizlerde birbirlerine yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden biraz daha uzaklaşmış oldukları görülmektedir. Kanonik Varyans Analizinde ise *B. gerstaeckeri* türünün diğer türlerden uzakta yer aldığı, *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinin birbirlerine yakın bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 34). UPGMA ağacından elde edilen sonuçlar PCA ve CVA verilerini doğrular niteliktedir (Şekil 35). UPGMA verilerine göre *B. argillaceus* *B. ruderatus* ile grup oluşturmuştur ve *B. gerstaeckeri* ağaçta hepsinden ayrı olarak yer almaktadır.

Bu bulgulardan morfolojik olarak birbirlerine çok benzeyen *B. argillaceus*, *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türlerinin benzer kanat morfometrisine sahip olduğu anlaşılmıştır. *B. portchinsky* ve *B. hortorum* türlerinin ise kanat morfometrilerinin birbirlerine benzer oldukları sonucuna ulaşılabilmektedir.

Kraliçelere ait bireylerde elde edilen görece warp'lara göre en yüksek görece katkısı olan landmarkların 15. ve 16. landmarklar olduğu, en düşük görece katkısı

olan landmarkın ise 1. landmark olduğu, varyans değerlerinde ise 13. ve 1. landmarkların en yüksek varyans değerine, 8. landmarkın en düşük varyans değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Türler arasında ön kanatlardaki deformasyonlarda ikili gruplarda en çok deformasyonun *B. argillaceus* ve *B. gerstaeckeri* türlerinde, en az deformasyonun ise *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinde olduğu gözlenmiştir. *B. argillaceus* ve *B. gerstaeckeri* türlerinin yarattığı deformasyon özellikle 4, 7, 9 ve 14 numaralı landmarklardan kaynaklanmaktadır. Kraliçe bireylerde gerçekleştirilen Temel Ögeler Analizi'nde PC1 ve PC2'de *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* ait bireyler daha belirgin kümeler oluşturmuşlardır. Bu analizde *B. gerstaeckeri* ve *B. hortorum* türlerine ait bireyler diğer türlere ait bireylere göre daha uzakta yer almaktadırlar. *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türleri birbirlerine yakın bulunmaktadırlar (Şekil 38). PC1 ve PC3'te, PC1 ve PC2'den farklı olarak yakın bulunan *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türleri birbirlerinden uzaklaştığı görülmektedir. *B. argillaceus* türüne ait bireyler *B. ruderatus* türüne ait bireyler ile daha da yakın bulunmaktadırlar (Şekil 39). PC2 ve PC3'te ise diğer temel ögeler üzerinde gerçekleşen dağılımlardan farklı olarak diğer türlere göre daha uzakta bulunan *B. hortorum* türlerine ait bireylerin diğer türlere yaklaştıkları hatta birlikte birtakım kümeler oluşturdukları görülmektedir. Daha önceki analizlerde birbirlerine yakın bulunan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler ise birbirlerinden uzaklaşmış oldukları görülmektedir. *B. hortorum* ve *B. ruderatus* türlerine ait bireyler birbirleriyle çakışmaktadır. Kanonik Varyans Analizinde ise *B. gerstaeckeri* türünün diğer türlerden uzakta yer aldığı, *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türlerinin birbirlerine yakın bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 46). UPGMA ağacından elde edilen sonuçlar PCA ve CVA verilerini doğrular niteliktedir (Şekil 47). UPGMA verilerine göre *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* ile grup oluşturmuştur ve *B. gerstaeckeri* ağaçta hepsinden ayrı olarak yer almaktadır.

Bu bulgulardan morfolojik olarak birbirlerine çok benzeyen *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türlerinin benzer kanat morfometrisine sahip olduğu anlaşılmıştır. *B. hortorum* türünün de *B. argillaceus*, *B. ruderatus* ve *B. portchinsky* türlerinin kanat morfometrileri ile benzer olduğu gözlenmiştir. *B. gerstaeckeri* türlerinin diğer türlerle göre en uzakta yer alması ile kanat morfometrisinde daha az benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.

UPGMA ağaçlarından elde edilen sonuçlar Cameron et al. [32]'nin gerçekleştirdikleri *Bombus* filogenisi üzerine yapılan ve beş adet gen bölgesinin kullanıldığı nükleer ve mitokondrial DNA sekans çalışmasında oluşturulan fenogram ile ve sorunlu gruplarda morfometrik ve biyokimyasal yöntemlerin uygulandığı Aytekin [24]'in gerçekleştirdiği çalışmada oluşturulan analizler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre Cameron et al. [32]'nin çalışmasında birbirlerine oldukça yakın oldukları saptanan *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* ile *B. hortorum* ve *B. portchinsky* türleri ile ilgili bu tez çalışmasında da aynı sonuca varılmıştır (Şekil 10 ve Şekil 35). Cameron et al. [32]'de olduğu gibi *B. gerstaeckeri* türü, *B. argillaceus* ve *B. ruderatus* türlerinden farklı bir kümede yer almıştır. Ancak Cameron et al. [32]'nin aksine bu çalışmada kraliçe bireylerinde *B. ruderatus* türleri *B. portchinsky* türlerine *B. argillaceus* türlerinden daha yakın oldukları saptanmıştır. Aytekin [24]'in gerçekleştirdiği çalışmada *B. argillaceus* ve *B. hortorum*'un birbirlerine enzimleri bakımından *B. portchinsky* türüne oranla daha çok benzedikleri, filogenetik açıdan ise *B. argillaceus*'un *B. portchinsky*'ye köken bakımından yakın olduğu ve *B. hortorum*'un bu iki tür ile kardeş grup özelliği gösterdiği ile ilgili olarak bu tez çalışmasında da aynı sonuca varılmıştır (Şekil 23). Aytekin [24]'de olduğu gibi *B. portchinsky* türlerinin *B. argillaceus* ve *B. hortorum* türleri ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde Koppert firmasından alınan *Bombus terrestris* türü arılar kullanılmıştır. *Bombus terrestris* arıları domates fidelerinin çiçek açmaya başladığı dönemde Ankara Kalecik'te kurulan seraya getirilmiştir. Sekiz gün boyunca arıların koloni kovanına giriş çıkışları ve domates çiçeklerinde polen toplayarak tozlaştırma faaliyetlerini gerçekleştirmeleri takip edilmiştir. Sabah 09:00 ile 11:00 saatleri arasında, 20°C ile 32°C sıcaklık aralığında ve % 70 ve % 50 arası bağıl nemde (RH) *Bombus terrestris* arılarının kovanlarına girişleri ve çıkışları en iyi düzeyde gerçekleşmiştir (Çizelge 13-20). Ancak öğlen 12:00-15:00 saatleri arasında artan sıcaklık ve nem oranına bağlı olarak *B. terrestris* arılarının kovana giriş ve çıkış sayıları azalmış ve tozlaşma faaliyetlerini gerçekleştirememiştir (Çizelge 16). Dönemin iklim koşulları son yılların en değişken özelliklerine sahip olması nedeniyle *B. terrestris* arılarının tozlaşma faaliyetlerinin azaldığı görülmüştür. *Bombus terrestris* arıları sabah 06:00 ile 08:00 zaman aralığında en iyi uçuş aktivitesi göstermektedir. 09:00 ile 11:00 zaman

aralığında ise uygun sıcaklık ve nem değerinde en iyi tozlaştırma aktivitesini gerçekleştirmektedir. Bu tozlaştırma faaliyetleri serada bulunan dört çeşit domateste de aynı düzeyde görülmüştür. Serada Ayaş olarak da bilinen ancak Ankara ve çevresinde çok farklı çeşitler halinde yetiştirilen çeşidin hem aroma hem de raf ömrü kriter alındığında en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. Ekim ayı sonu itibari ile de 460 kg ürün hasat edilmiştir.

Bu bulgulardan *Bombus terrestris* arılarının uygun sıcaklık ve nem değerinde domates çiçeklerinde tozlaştırma aktivitelerini gerçekleştirdiği görülmektedir (Çizelge 12).

Tozlaşma çalışmasından elde edilen sonuçlar *Bombus terrestris* L.'in tozlaşma faaliyetlerine sıcaklık etkilerinin belirlendiği Kwon ve Saeed [89]'in gerçekleştirdiği çalışma ve Koppert firmasının [150] elde ettiği veriler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre Kwon ve Saeed [89]'in çalışmasında sabah saatlerinde *Bombus terrestris*'in 25.7°C derecede en iyi tozlaşma aktivitesini gösterdiği ve 32.7°C sıcaklık değerinde ise tozlaşma faaliyetlerinde azalma gösterdiği bu tez çalışmasındaki sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Kwon ve Saeed [89]'de olduğu gibi *Bombus terrestris* arılarının 20°C ile 32°C sıcaklık aralığında kovana girişleri ve çıkışları en iyi düzeyde olmakta ve en iyi tozlaştırma aktivitesini gerçekleştirmektedir. Koppert firmasının web sitelerindeki [89] bilgilerde yetiştiriciliği yapılan *Bombus terrestris* arılarının 8°C ve 32°C arasındaki sıcaklıklarda aktif olduğu ve optimum aktivite düzeyinin de 8°C ve 28°C arasındaki sıcaklıklar olduğu bu tez çalışmasındaki sonuçlar ile uyum içerisindedir. Polenin % 50 ve % 80 arasında bir bağıl nemde (RH) en iyi serbest kalacağını ve % 50 bağıl nemin altında, polenin çimlenme kapasitesinin azaldığını belirtmesi ile serada *Bombus terrestris* arılarının % 70 ve % 50 arası bağıl nemde (RH) en iyi aktivite gösterdiği sonuçlarını desteklemektedir.

Bu çalışmada sonuç olarak *Megabombus* türlerinin Türkiye'de de bulunan türleri ile birlikte taksonomik değerlendirmesi yapılarak sorunları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Türlerde gözlenen bulgular ile geometrik morfometrinin sorunları gidermede ve aydınlatmada iyi sonuçlar vermesi ileride yapılacak özellikle moleküler yöntemler ile birleştirilerek gerçekleştirilecek yeni analizlerin konunun aydınlatılmasında yardımcı olacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde sonuç olarak *Bombus terrestris* türü arılar ile seralarda yetiştirilen domates bitkilerinin daha iyi

tozlaşması için bombus arılarının etkinliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. *B.terrestris* türü bombus arıları 1999 yılından bu yana yaygın olarak kullanılmakta ve dünyanın her yerinde olduğu gibi Türkiye’de de çok başarılı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. *B.terrestris*’in örtü altı tarımda tozlaştırıcı etkinliğinde gözlenen bulgular ile bombus arılarının tozlaştırma faaliyetleri hormon kullanımına ya da elle vibrasyona gerek duyulmadan meyve miktarında ve kalitesinde iyi sonuçlar vermesi ileride yapılacak çalışmalarda umut verici olduğu ve bu nedenle her türlü seracılıkta kullanımları özellikle domates yetiştiriciliğinde son derece önemli olduğu düşüncesindeyiz.

KAYNAKLAR

- [1] Charles A. Triplehorn and Norman F. Johnson, 7th edition, Borror and Delong's *Introduction to the Study of Insects*, Brooks/Cole, Belmont, CA, **2005**.
- [2] Engel, M. S. and Schultz, T. R., Phylogeny and Behavior in Honey Bees (Hymenoptera: Apidae), *Annals of the Entomological Society of America*. Vol. 90, No: 1, 43-53, **1997**.
- [3] Dias, B. S. F.; Raw, A.; Vera L., Imperatri-Fonseca The São-Paulo Declaration On Pollinators-Report on the Recommendations of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bee, Brazilian Ministry of the Environment, **1999**.
- [4] Engel, M.S., *A monograph of the baltic amber bees and evolution of the Apoidea (Hymenoptera)*, Bulletin of the American Museum of Natural History, Number 259, New York, 192p., **2001**.
- [5] Michener, C. D., *The Bees of the World*, Sn. edition, The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 953 pp., **2007**.
- [6] Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I.,Cunnigham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., Importance of pollinators in changing landscapes for World crops, *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 274, 303–313, **2007**.
- [7] Macdonald, M., *Bumblebees*. Scottish Natural Heritage, Battleby, **2003**.
- [8] Cameron, S.A., Williams, P.H., Phylogeny of bumble bees in the New World subgenus *Fervidobombus* (Hymenoptera: Apidae): congruence of molecular and morphological data, *Molecular Phylogenetics and Evolution* 28,pp 552-563, **2003**.
- [9] Williams, P. H., and J. L. Osborne, Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie* 40, 367–387, **2009**.
- [10] Buchmann S.L., Buzz pollination in angiosperms, In Jones C.E., Little R.J. (Eds.), *Handbook of experimental pollination biology*, pp. 73–113, **1983**.
- [11] Free, J.B., *Insect Pollination of Crops*, 2nd Edition. Academic Press, London, UK, 684 pp., **1993**.
- [12] Hines, H.M., Cameron, S.A. & Williams, P.H., Molecular phylogeny of the bumble bee subgenus *Pyrobombus* (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*) with insights into gene utility for lower-level analysis. *Invertebrate Systematics*, 20, 289–303, **2006**.
- [13] Karaman, S. and Yılmaz, İ., Cam sera domates üretiminde polinasyon için bombus arısı kullanımını belirleyen faktörlerin analizi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(1), s. 99-107, **2007**.

- [14] Williams, P.H., Cameron, S.A., Hines, H.M., Cederberg, B., Rasmont, P., A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*), *Apidologie*, 39, pp 46-74, **2008**.
- [15] Aytakin, A.M., Terzo, M., Rasmont, P., Çağatay, N., Landmark based geometric morphometric analysis of wing shape in *Sibircobombus* Vogt (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latreille), *Annales de la Société Entomologique de France (Nouvelle série)*, 43 (1), 95-102, **2007**.
- [16] Rasmont, P., Aytakin, A.M., Kaftanoğlu, O. & Flagothier, D. Atlas Hymenoptera, <http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=103>, **2009** (Temmuz, **2014**).
- [17] Richards, O.W., The Subgeneric Divisions of the Genus *Bombus* Latreille (Hymenoptera: Apidae), *Bulletin of the British Museum (Natural History) (Entomology)*, 22, 210–276 , **1968**.
- [18] Özbek, H., Doğu Anadolu'nun bazı yörelerinde Bombinae (Hym.: Apoidea, Bombidae) türleri üzerinde taksonomik ve bazı biyolojik çalışmalar, *Atatürk Üniversitesi Basımevi*, 70 pp, **1983**.
- [19] Rasmont, P., Catalogue Commenté des Bourdons de la région Ouest-Paléarctique (Hymenoptera, Apoidea, Apidae), *Notes Fauniques de Gembloux*, 7, 71 pp., **1983**.
- [20] Klingenberg, C.P., Badyaev, A.V., Sowry, S.M. & Beckwith, N.J., Inferring developmental modularity from morphological integration: analysis of individual variation and asymmetry in bumblebee wings, *American Naturalists*, 157, 11–23, **2001**.
- [21] De Meulemeester, T., Aytakin, A.M., Valterova, I. & Rasmont, P., *Landmark based geometric morphometrics analysis of wing shape as a tool for Bombus s.str. taxonomy (Hymenoptera: Apidae)*, 6th Symposium National de Morphometrie et Evolution des Formes, Montpellier, May 27–28, France, 49 pp., **2009**.
- [22] Wappler, T., De Meulemeester, T., Aytakin, A.M., Michez, D., Engel, M., Geometric morphometric analysis of a new Miocene bumble bee from the Randeck Maar of southwestern Germany, *Systematic Entomology*, 37, 784–792, **2012**.
- [23] Barkan, N.P. & Aytakin A. M., Systematical studies on the species of the subgenus *Thoracobombus* (Hymenoptera: Apidae, *Bombus* Latreille) in Turkey, *Zootaxa*, 3737(2), 167-183, **2013**.
- [24] Aytakin, A.M., *İç Anadolu Bölgesi Apidae (Hymenoptera) Familyası Üzerinde Sistemik Araştırmalar ile Sorunlu Gruplarda Morfometrik ve Biyokimyasal Yöntemlerin Uygulanması*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 152 pp, **2002**.
- [25] Williams P.H. and Hernandez L., Distinguishing females of the bumble bees *Bombus ruderatus* (F.) from *Bombus hortorum* (L.) in Britain: a preliminary application of quantitative techniques, *Report to the UK Biodiversity, Action Plan Bumblebee working group*, 25 pp, **2000**.
- [26] Ellis JS, Knight ME, Goulson D., Delineating species for conservation using mitochondrial sequence data: the taxonomic status of two problematic

- Bombus* species (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Insect Conservation*, 9, 75–83, **2005**.
- [27] Ellis J.S., Knight M.E., Carvell C., Goulson D., Cryptic species identification: a simple diagnostic tool for discriminating between two problematic bumblebee species, *Molecular Ecology Notes*, 6, 540–542, **2006**.
- [28] Williams, P.H., An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini), *Bulletin of The Natural History Museum (Entomology)*, 67, 79-152, **1998**.
- [29] Scholl, A., Obrecht, E. & Zimmerman, M., Evidence of hybridation of *Bombus argillaceus* and *Bombus ruderatus* (Hymenoptera: Apidae) in a zone of contact in France: enzyme electrophoretic data, *Proceeding of the XIX international Congress of Entomology, Beijing*, 53 p, **1992**.
- [30] Williams, P.H., Natural History Museum, *Bombus, Megabombus* annotated checklist, <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/mg.html> (Temmuz, **2014**).
- [31] Williams, P.H., Phylogenetic relationships among bumble bees (*Bombus* Latr.): a reappraisal of morphological evidence, *Systematic Entomology*, 19, 327–344, **1994**.
- [32] Cameron, S.A., Hines, H.M. & Williams, P.H., A comprehensive phylogeny of the bumble bees (*Bombus*), *Biological Journal of the Linnean Society*, 91, 161–188, **2007**.
- [33] Williams, P.H., The bumble bees of the Kashmir Himalaya (Hymenoptera: Apidae, Bombini), *Bulletin of the British Museum (Natural History) (Entomology)* 60, 1-204, **1991**.
- [34] Barkan, N.P., *Türkiye Thorocobombus Altcini (Hymenoptera: Apidae, Bombus Latreille) Türleri Üzerinde Sistematik Araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, 123 pp, **2010**.
- [35] Williams, P.H., Tang, Y., Yao, J. & Cameron, S.A., The bumblebees of Sichuan (Hymenoptera: Apidae, Bombini), *Systematics and Biodiversity*, 7 (2), pp.101–190, **2009**.
- [36] AYTEKİN, A.M., *Ankara İli ve İlçeleri Apidae Familyası Üzerinde Sistematik Araştırmalar ve Bunların Ayçiçeği (Helianthus annuus L.) Bitkisindeki Polinatör Etkileri Üzerine Ön Çalışmalar*, Mastır Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 83p., **1996**.
- [37] Stephen, W.P., Bohart, G.E., Torchio P.F., *The biology and external morphology of bees*, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis, 140pp., **1969**.
- [38] Michener, C.D., *The social behaviour of the bees*, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 404p., **1974**.
- [39] Pawlikowski, T., A Field Guide to Identification of Bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) in Poland, *Wydawnictwo Uniwersytetu Mikolaja Kopernika*. Torun, 30 pp., **1999**.
- [40] Alford, D.V., *Bumblebees*. Davis-Poynter, London, 352 pp., **1975**.

- [41] Grimaldi, D. and Engel, M.S., *Evolution of the insects*, Cambridge University Press, 755 p., **2005**.
- [42] Michener, C.D., *The Bees of the World*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 913p., **2000**.
- [43] Williams, P.H., Natural History Museum, Bombus, Male Genitalia www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/genitalia.html (Temmuz, **2014**).
- [44] Michener CD., *The bees of the World*, 2nd Edition, Baltimore,MD: Johns Hopkins University Press. 992 p.,**2007**.
- [45] Sharkey, M. J., Phylogeny and classification of Hymenoptera, *Zootaxa*, 1668: 521-548, **2007**.
- [46] Melo, G.A.R., Phylogenetic relationships and classification of the major lineages of Apoidea (Hymenoptera), with emphasis on the crabronid wasps, *Scientific Papers, Natural History Museum of the University of Kansas*, Lawrence, 14: 1-55, **1999**.
- [47] Seltmann, K.C., *Building Web-Based Interactive Keys To The Hymenopteran Families And Superfamilies*, University of Kentucky Master's Thesis. 73 pp., **2004**.
- [48] Hines, H.M., Historical biogeography, divergence times, and diversification patterns of bumble bees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*), *Systematic Biology*, 57, pp. 58-75, **2008**.
- [49] Danforth, B.N., Sipes, S., Fang, J. & Brady, S.G., The history of early bee diversification based on five genes plus morphology, *Proceedings of the National Academy of Science*, 103, 15118–15123, **2006**.
- [50] Heinrich, B., *Bumblebee Economics*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 245 pp., **1979**.
- [51] Williams, P.H., A preliminary cladistic investigation of relationships among the bumblebees (Hymenoptera: Apidae), *Systematic Entomology*, 10, pp.239-255, **1985**.
- [52] Goulson, D., *Bumblebees; their behaviour, ecology and conservation*, Oxford University Press, Oxford, 317p., **2010**.
- [53] Demirsoy, A., *Genel Zoocoğrafya ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*, Meteksan Yayınevi, Ankara, 1007 s.,**2008**.
- [54] Rasmont, P. Sözlü görüşme, Université de Mons-Hainaut, Mons, Belçika, **2012**.
- [55] Richards, O. W., The subgeneric divisions of the genus *Bombus* Latreille (Hymenoptera: Apidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology*, 22, pp. 209-276, **1968**.
- [56] Rasmont, P., Terzo, M., Aytakin, M.A., Hines, H., Urbanova, K., Cahlikova, L. & Valterova, I., Pheromone analysis of the bumble bee subgenus *Sibiricobombus* Vogt suggests *Bombus niveatus* Kriechbaumer and *Bombus vorticosus* Gerstaecker are conspecific (Hymenoptera, Apidae, *Bombus*), *Apidologie*, 36, 571–584, **2005**.

- [57] Chen, X. and Wang, S., A study on phylogenetic relationships among the subgenera of bumble bees (Hymenoptera: Apidae), *Entomologia Sinica*, 4 (4), pp. 324-336, **1997**.
- [58] Ito, M., *Supraspecific classification of bumblebees based on characters of male genitalia*, Zoological Section, The Institute of Low Temperature Science Publication, Hokkaido University, Japan, 143p., **1985**.
- [59] Thorp, R. W., Horning, D. S., and Dunning, L. L., *Bumble bees and cuckoo bumble bees of California (Hymenoptera: Apidae)*. Bulletin of California Insect Survey 23:79 pp, **1983**.
- [60] Prys-Jones, O.E. and Corbet, S.A., *Bumblebees*, Cambridge University Press, Cambridge, 86p., **1987**.
- [61] Labougle, J. M., *Bombus of Mexico and Central America (Hymenoptera, Apidae)*, University of Kansas Science Bulletin, 54:35–73, **1990**.
- [62] Starr, C. K., The bumble bees (Hymenoptera: Apidae) of Taiwan, *Bulletin of National Museum of Natural Science*, 3:139–157, **1992**.
- [63] Koulianos, S., Schmid-Hempel, P., Phylogenetic relationships among bumblebees (*Bombus*, Latreille) inferred from mitochondrial Cytochrome b and Cytochrome Oxidase I sequences, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 14, 335–341, **2000**.
- [64] Radoszkowski, O., Révision des armures copulatrices des mâles du genre *Bombus*, *Byulletin' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody*, 59, 51–92, **1884**.
- [65] Vogt, O., Studien über das Artproblem. 2. Mitteilung. Über das Variieren der Hummeln. 2. Teil. (Schluss), *Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin*, 31–74, **1911**.
- [66] Pekkarinen, A., Varvio-Aho, S. & Pamilo, P., Evolutionary Relationships in Northern European *Bombus* and *Psithyrus* species (Hymenoptera, Apidae) Studied on the Basis of Allozymes, *Annales entomologici fennici*, 45 (3), 77–80, **1979**.
- [67] Pamilo, P., Pekkarinen, A. & Varvio, S., Clustering of Bumblebee Subgenera based on Interspecific Genetic Relationships (Hymenoptera, Apidae: *Bombus* and *Psithyrus*), *Annales Zoologici Fennici*, 24, 19–27, **1987**.
- [68] Owen, R. E., T. L. Whidden, and R. C. Plowright, Genetic and morphometric evidence for the conspecific status of the bumble bees, *Bombus melanopygus* and *Bombus edwardsii*, *Journal of Insect Science*, 10:1–18, **2010**.
- [69] Aytakin, A.M., Çağatay, N., Systematic Studies on the Family Apidae (Hymenoptera) in Ankara Province Part I: Bombinae, *Turkish Journal of Zoology*, Vol.(23), 231-241, **1999**.
- [70] Adams, D.C., Rohlf, F.J., Slice, D.E., Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “Revolution”, *Italian Journal of Zoology*, 71, pp. 5-16, **2004**.

- [71] MacLeod N., Phylogenetic signals in morphometric data. In: N. MacLeod & P. L. Forey (eds), *Morphology, shape and phylogeny, Systematics Association Special Volume Series 64*, Taylor and Francis, London, pp. 100-138, **2002**.
- [72] Bookstein, F.L., *Morphometric tools for landmark data*, Cambridge University Press, 435 pp., **1991**.
- [73] Zelditch M.L., Swiderski D.L., Sheets H.D., Fink W.L., *Geometric morphometrics for biologists: A primer*, Elsevier Academic Press, New-York, 443 p, **2004**.
- [74] Macleod, N., Landmarks, localization, and the use of morphometrics in phylogenetic Analysis, *In Fossils, phylogeny, and form: an analytical approach*, (editors G. Edgecombe, J. Adrain, and B. Lieberman), Kluwer Academic/Plenum, New York, pp. 197–233, **2001**.
- [75] Rohlf F. J., Marcus L. F., A revolution in morphometrics, *Trends in Ecology Evolution*, 8: 129-132, **1993**.
- [76] Pavlinov, I.Y., Geometric morphometrics, a new analytical approach to comparison of digitized images, *Information Tecnology in Biodiversity Research*, Abstracts of the 2nd. International Symposium, St. Petersburg, pp. 41-90, **2001**.
- [77] Rohlf, F.J. & Slice, D.E., Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks, *Systematic Zoology*, 39, 40–59, **1990**.
- [78] Harder, L.D., Morphology as a predictor of flower choice by bumble bees, *Ecology* 66: 198-210, **1985**.
- [79] Kunkel J.G., Wing discrimination projects, http://www.bio.umass.edu/biology/kunkel/wing_discrim.html (Temmuz, **2014**).
- [80] Ruttner F., *Biogeography and taxonomy of honeybees*, Springer, Berlin, **1988**.
- [81] Tofilski, A., Using geometric morphometrics and standard morphometry to discriminate three honeybee subspecies, *Apidologie*, 39(5), 558–563, **2008**.
- [82] Owen, R. E., Applications of Morphometrics to the Hymenoptera particularly Bumble bee (*Bombus*: Apidae), *Morphometrics*, 1-30, **2009**.
- [83] Klingenberg, C.P., Developmental instability as a research tool: Using patterns of fluctuating asymmetry to infer the developmental origins of morphological integration, in *Developmental instability, causes, and consequences* editors M. Polak, New York: Oxford University Press, 427-442p., **2003**.
- [84] De Meulemeester, T., Aytikin, A.M., Valterova, I. & Rasmont, P., Landmark based geometric morphometrics analysis of wing shape as a tool for *Bombus s.str.* taxonomy (Hymenoptera: Apidae). 6th Symposium National de Morphometrie et Evolution des Formes, Montpellier, May 27–28, France, 49 pp, Poster, **2009**.

- [85] Özenirler, Ç., *Türkiye Bombus (Hymenoptera: Apidae, Bombus Latreille) Türleri Üzerinde Geometrik Morfometrik Yöntemlerin Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, 59 pp, **2010**.
- [86] Korkmaz, A., Bal Arılarının (*Apis mellifera* L.) Polinasyondaki Yeri, <http://alikorkmaz.blogcu.com/bal-arilarinin-apis-mellifera-l-polinasyondaki-yeri/13246324> (Temmuz, **2014**).
- [87] Apiculture Research Station Directorate http://www.aricilik.gov.tr/content/aricilik_bilgileri/ari_ve_polinasyon_88.aspx, (Temmuz, **2014**).
- [88] Corbet, S.A., Williams, I.H. and Osborne, J.L., Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community, *Bee World*, 72: 47–59, **1991**.
- [89] Kwon Y.J., Saeed S., Effect of temperature on the foraging activity of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) on greenhouse hot pepper (*Capsicum annuum* L.), *Applied Entomology and Zoology*, 38, 275–280, **2003**.
- [90] Velthuis, H. and Doorn, A., A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination, *Apidologie*, 37, pp. 421-451, **2006**.
- [91] Benton, T., *The Bumblebees of Essex*, The Nature of Essex Series, No: 4, Loginga Books, Essex, p.9, **2000**.
- [92] Carvell C., Habitat use conservation of bumblebees (*Bombus* spp.) under different grassland management regimes, *Biological Conservation* 103: 33-49, **2002**.
- [93] Iserbyt, S. Durieux, E.A & Rasmont, P., The remarkable diversity of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*) in the Eyne Valley (France, Pyrénées-Orientales), *Annales de la Société Entomologique de France (n.s.)*, 44, 211-241., **2008**.
- [94] Vergara, C.H., Fonseca-Buendía, Y., Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae), *Journal of Pollination Ecology*, 7(4):27-30 pp, **2012**.
- [95] Banda, H.J. and Paxton, R.J., Pollination of greenhouse tomatoes by bees, *Acta Horticulturae*, 288: 194–198, **1991**.
- [96] Rasmont, P., Coppée, A., Michez, D. and De Meulemeester, T., An overview of the *Bombus terrestris* (L. 1758) subspecies (Hymenoptera: Apidae), *Annales de la Société Entomologique de France*, 44: 243–250, **2008**.
- [97] Özbek, Bumblebees fauna of Turkey with distribution maps (Hymenoptera: Apidae: Bombinae) Part 1: *Alpigenobombus* Skorikov, *Bombias* Robertson and *Bombus* Latreille, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 21 (1): 37-56, **1997**.
- [98] Sevgican, A., Tüzel, Y., Gül, A., Eltez, R.Z., Türkiye’de Örtüaltı Yetiştiriciliği, *Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi*, Cilt II, 679-707 pp., **2000**.

- [99] Gürel, F.; Gösterit, A.; Argun K., B, Sera Koşullarının *Bombus terrestris* L. Kolonilerinin Tozlaşma Performansına Etkileri, *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 28(1):47-55 pp., **2011**.
- [100] Koppert Biological Systems, <http://www.koppert.com/pollination/natural-pollination-bumble-bees/which-bumblebees-species-are-used/> (Temmuz, **2014**).
- [101] Sladen F.W.L., *The humble-bee, its life history and how to domesticate it, with descriptions of all the British species of Bombus and Psithyrus*, MacMillan, London, 283 p.,**1912**.
- [102] Winter, K., L. Adams, R. Thorp, D. Inouye, L. Day, J. Asher, S. Buchmann, Importation of non native bumble bees into North America: potential consequences of using *Bombus terrestris* and other non-native bumble bees for greenhouse crop pollination in Canada, Mexico, and the United States, *A White Paper of the North American Pollinator Protection Campaign (NAPPC)*,33 pp, **2006**.
- [103] Rohlf, F.J., TpsUTIL1.44., Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, **2009**, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/> (Temmuz, **2014**).
- [104] Rohlf, F.J., TpsDIG2.12., Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, **2008**, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/> (Temmuz, **2014**).
- [105] Dryden I.L. and Mardia K.V., *Statistical shape analysis*. John Wiley & Sons, London, 425 p, **1998**.
- [106] Rohlf, F.J., TpsRELW1.45. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, 2007, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>, (Temmuz, **2014**).
- [107] Slice, D.E., Morphueus, Software for morphometric Research. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, New York, 2007, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>, (Temmuz, **2014**).
- [108] Rohlf, F.J., Ntsys-Pc Version 2.1. Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Exeter Software, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>, 2000, (Temmuz, **2014**).
- [109] Skorikov, A.S., *Die Hummelfauna Turkestans und ihre Beziehungen zur zentralasiatischen Fauna (Hymenoptera, Bombidae)*, in Lindholm V.A.(Ed.), *Abhandlungen der Pamir-Expedition 1928*, Leningrad, *Academy of Sciences of The USSR*, pp. 175-247, **1931**.
- [110] Atanassov, N., Artenzusammenstzung und Verbreitung der *Bombus* Latr. und *Psithyrus* Lep. (Hymenoptera) in den Rhodopen. *Academia Bulgare des Sciences, La Faune des Rhodopes, Materiaux, Sofia*, 145-160, **1975**.
- [111] Pawlikowski, T., Keys for the Identification of Polish Insects, Bees. Apidae. Subfamily: Apinae, Turpress, *Polskie Towarzystwo Entomologiczne*, 148 Serii, 56p, **1996**.
- [112] Gogala, A., Bee fauna of Slovenia: checklist of species (Hymenoptera: Apoidea). *Scopolia*, 42: 1-79, **1999**.

- [113] Reinig, W.F., Zur Kenntnis der Hummelfaunen einiger Gebirge West-Kleinasiens (Hymenoptera, Apidae), *Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen*, 9 (10), 81–91, **1967**.
- [114] Reinig, W.F., Über die Hummeln und Schmarotzerhummeln Nordwest-Anatoliens (Hymenoptera, Apidae), *Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen*, 6, 101–112, **1968**.
- [115] Reinig, W.F., Zur Faunistik und Zoogeographie des Vorderen Orients 3. Beitrag zur Kenntnis der Hummeln und Schmarotzerhummeln Anatoliens (Hymenoptera, Apidae). *Veröffentlichungen der Zoologischen Staatssammlung München*, 15, 139–165, **1971**.
- [116] Reinig, W.F., Faunistische und Zoogeographische Studien in Kleinasien 4. Beitrag zur Kenntnis der Anatolischen Hummeln (*Bombus* Latr., 1802) und Schmarotzerhummeln (*Psithyrus* Lepeletier., 1832; Hymenoptera, Apidae), *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft*, 69, 111–133, **1973**.
- [117] Reinig, W.F., Faunistische und Zoogeographische Studien in Kleinasien 5. Auf Hummelfang im Taurus (*Bombus* Latr., 1802 et *Psithyrus* Lep., 1832; Hymenoptera, Apidae), *Sonderabdruck aus dem Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen*, 23 (4), 67–80, **1974**.
- [118] Özbek, H., On the Bumblebee Fauna of Turkey: IV. The Subgenera *Megabombus*, *Eversmannibombus*, *Laesobombus*, *Rhodobombus* and *Subterraneobombus* (Hymenoptera, Apidae, Bombini), *Zoology in the Middle East*, 25: 79-98, **2002**.
- [119] Rasmont, P., Flagothier, D., Biogeographie et choix floraux des bourdons (Hymenoptera, Apidae) de la Turquie, *NATO -OTAN TU Pollination Project Report*, 68 p, **1996**.
- [120] Hänninen, P., Bumblebee Species on Red Clover in Central Finland, *Publications of the Finnish State Agricultural Research Board*, No: 197, 19p **1962**.
- [121] Anasiewicz, A. and Warakomska, Z., Pollen Food of the Bumble-Bees (*Bombus* Latr., Hymenoptera) and Their Association with the Plant Species in the Lublin Region, *Ekologia Polska*, 25, 2, 309-322, **1977**.
- [122] Pekkarinen, A. & Teräs, I., Suomen Kimalaisista Ja Loiskimalaisista, *Luonnon Tutkija*, 81, 1–24, **1977**.
- [123] Blom, Van Der J., *De Hommels van Nederland*, Cip-Gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag. Holland, 45p, **1989**.
- [124] Pekkarinen, A. & Teräs, I., Zoogeography of *Bombus* and *Psithyrus* in Northwestern Europe (Hymenoptera, Apidae), *Annales Zoologici Fennici*, 30, 187–208, **1993**.
- [125] Rasmont, P. and Adamski, A., Les Bourdons de la Corse (Hymenoptera, Apoidea, Bombinae), *Notes Fauniques de Gembloux*, No: 31, 3-87, **1995**.
- [126] Cölln, K. and Schlüter, R., Zur Kenntnis der Hummeln und Schmarotzerhummeln von Köln (Hymenoptera, Aculeata: *Bombus* et *Psithyrus*), *Decheniana-Beihefte* 35, 305-312, **1996**.

- [127] Pittioni, B., *Die Hummelfauna des Kalsbachtals in Ost-Tirol*, Ein Beitrag zur Ökologie und Systematik der Hummeln Mitteleuropas, Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Dr. Embrik Strand, 3, 64–115, **1937**.
- [128] Delaude, A., Tasei, J. N. and Rollier, M., Pollinator Insects of Sunflower (*H. annuus* L.) in France, Pollination of Male-Sterile Lines for Hybrid Seed Production, *In Proceedings, IVth Symposium on Pollination*, 1, 29-40, **1979**.
- [129] Fussell, M. and Corbet, S. A., Forage for Bumble Bees and Honey Bees in Farmland: A Case Study, *Journal of Apicultural Research*, 30(2), 87-97, **1991**.
- [130] Verhaeghe, J. C., Francois, Chr. and Rasmont, P., Foraging Movements and Flower Distribution: The Case of *Bombus hortorum* (Scopoli) Workers Collecting on *Digitalis lutea* L., *12th Congress of the International Union for the Study of Social Insects IUSSI, Paris, Sorbonne, 21-27 August 1994*, p.34, **1994**.
- [131] Godeau, J. F., *Choix floraux des bourdons (Hymenoptera: Apidae) de l'Aveyron et de la Lozère (France, Massif Central)*, Université de Mons-Hainaut Faculté des Sciences Laboratoire de Zoologie, Mons, 53 pp, **1995**.
- [132] Alastair, W. R., Mountjoy, C., Faulkner, B. E., Roberts, M. V. and Macnair, M. R., Bumble Bee Selection of *Mimulus guttatus* Flowers: The Effect of Pollen Quality and Reward Depletion, *Ecology*, 80(8), 2594-2606, **1999**.
- [133] Rasmont P., *Monographie écologique et zoogéographique des Bourdons de France et de Belgique (Hymenoptera, Apidae, Bombinae)*, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 309 + LXII p, **1988**.
- [134] Ponchau, O., Iserbyt, S., Verhaeghe, J.-C., Rasmont, P., Is the caste-ratio of the oligolectic bumblebee *Bombus gerstaeckeri* Morawitz (Hymenoptera: Apidae) biased to queens? *Annales de la Société entomologique de France* (n.s.), 42 (2): 207-214, **2006**.
- [135] Konovalova I., The first record of the rare oligolectic bumblebee *Bombus gerstaeckeri* Morawitz (Hymenoptera: Apidae: *Bombini*) from Ukraine, *Annales de la Société entomologique de France* (n.s.), 43 (4): 441-443, **2007**.
- [136] Mahé P. G., Observations de *Bombus gerstaeckeri* Morawitz (Hymenoptera, Apidae) butinant *Delphinium dubium* (Rouy et Fouc.) Pawl. (Ranunculaceae) dans le Massif des Ecrins (Hautes-Alpes, France), *Osmia* 1: 16-19, **2007**.
- [137] Roig-Alsina, A. & Aizen, M. A., *Bombus ruderatus* Fabricius, un nuevo *Bombus* para la Argentina (Hymenoptera: Apidae), *Physis, Buenos Aires* 51 (120-121): 49-50 **1996**.
- [138] Neira, M., Palacios, J., Carrillo, R., Pessot, R., Mundaca, N., Conducta polinizadora de *Apis mellifera* L. y *Bombus ruderatus* (Hymenoptera: Apidae) sobre dos cultivares de Cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait. (Ericaceae), *Agro-Ciencia* 13(3):337-344, **1997**.
- [139] Zelditch, M.L., Swiderski, H.D., Sheets, H.D., Fink, W.L., IMP, Integrated Morphometrics Package, **2007**.

- [140] Williams, P.H., The distribution of bumblebee colour patterns world-wide: possible significance for thermoregulation, crypsis, and warning mimicry, *Biological Journal of the Linnean Society* 92, 97–118, **2007**.
- [141] Plowright, R.C. and Stephen W.P., A numerical taxonomic analysis of the evolutionary relationships of *Bombus* and *Psithyrus* (Apidae: Hymenoptera), *Canadian Entomologist*, 105, pp. 733-743, **1973**.
- [142] Pedersen, B. V., A phylogenetic analysis of cuckoo bumblebees (*Psithyrus*, Lepeletier) and bumblebees (*Bombus*, Latreille) inferred from sequences of the mitochondrial gene cytochrome oxidase I, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 5:289–297, **1996**.
- [143] Pedersen, B. V., European bumblebees (Hymenoptera: *Bombini*)–phylogenetic relationships inferred from DNA sequences, *Insect Systematics and Evolution*, 33: 361–386, **2002**.
- [144] Aytikin, A.M. & Çağatay, N., Systematical Studies on Megabombus (Apidae: Hymenoptera) Species in Central Anatolia, *Turkish Journal of Zoology*, 27, 195–204, **2003**.
- [145] Kawakita, A., Sota, T., Ascher, J.S., Ito, M., Tanaka, H. & Kato, M., Evolution and phylogenetic utility of alignment gaps within intron sequences of three nuclear genes in bumble bees (*Bombus*), *Molecular Biology and Evolution*, 20, 87–92, **2003**.
- [146] Kawakita, A., Sota, T., Ito, M., Ascher, J.S., Tanaka, H., Kato, M. & Roubik, D.W., Phylogeny, historical biogeography, and character evolution in bumble bees (*Bombus*: Apidae) based on simultaneous analysis of three nuclear gene sequences, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 31, 799–804, **2004**.
- [147] Brodie, L., *Bumblebee foraging preferences: differences between species and individuals*, BSc thesis, Aberdeen, UK: University of Aberdeen, 36 pp, **1996**.
- [148] Bučánková, A., Ptáček, V., A test of *Bombus terrestris* cocoon and other common methods for nest initiation in *B. lapidarius* and *B. hortorum*, *Journal of apicultural science*, vol. 56 no. 2, 37-48, **2012**.
- [149] Pittioni, B. & R. Schmidt, *Die Bienen des südöstlichen Niederdonau. I: Apidae, Podaliriidae, Xylocopidae und Ceratinidae*, Niederdonau, Natur und Kultur, 19: 1-69, **1942**.
- [150] Koppert Biological Systems
<http://www.koppert.com/pollination/manuals/pollination-checklist-tomato/>
 (Temmuz, **2014**).

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik bilgileri

Adı Soyadı : Seçil Büyükkafadar

Doğum Yeri : Keçiören

Medeni Hali : Bekar

E-posta : secil.buy@gmail.com

Adresi : Ertuğrul Gazi Mh. Sonbahar Sk. Mülazım Sitesi A-Blok 25/12
Ankara

Eğitim

Lise : 1999-2004 Etimesgut Mehmetçik Lisesi

Lisans : Hacettepe Üniversitesi

Yabancı Dil ve Düzeyi İngilizce-İyi

İş Deneyimi 2013-Halen Omega Pro Proje Araştırma Geliştirme ve
Danışmanlık Ltd.Şti.

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-