

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNGÖL POLİFLORAL ARI POLENİ EKSTRAKTININ İN VİTRO
VE İN VİVO ŞARTLARDA BAL ARILARININ GELİŞİMİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

ÖNCELİKLİ ALAN (100/2000) DOKTORA TEZİ

ABDURRAHMAN ŞİMŞEK

**ARI VE ARI ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI
ZOOTEKNİ VE HAYVAN BESLEME TEMATİK ALANI**

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi VEYSEL SÜZERER**

**İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. DEVRİM OSKAY**

BİNGÖL-2025

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi, deneyim ve rehberliğiyle yanımda olan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Veysel SÜZERER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bilgi ve katkılarıyla sürece destek veren ikinci danışmanım Doç. Dr. Devrim OSKAY'a da şükranlarımı ifade ederim. Mali desteklerinden ötürü Yükseköğretim Kurulu (YÖK 100/2000) ve Bingöl Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne (BAP-SHMYO.2023.002) teşekkür ederim.

Çalışmalar sırasında sağladıkları katkılardan dolayı Bingöl Üniversitesi Arıcılık Araştırma, Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü'ne; tez izleme komitesindeki Doç. Dr. Duygu Nur ÇOBANOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Şeyma GÜNYAKTI KILINÇ'a teşekkür ederim.

Saha çalışmalarında bilgi ve tecrübeleriyle rehberlik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, arıcılığa olan ilgimizi artıran Öğr. Gör. Nevzat ÇAĞLAYAN'a içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez materyali temininde yardımcı olan Piroz DÜZDABAN'a da teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca her zaman yanımda olan, sevgisini, desteğini ve dualarını hiçbir zaman esirgemeyen, her türlü fedakârlığı göstererek bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan kıymetli ailem en derin teşekkürlerimi sunarım. Maddi ve manevi her koşulda yanımda olan babam Ali ŞİMŞEK'e, annem Şadiye ŞİMŞEK'e, ablam Merve ŞİMŞEK'e, abim Abdil ŞİMŞEK'e ve kardeşim Aydın ŞİMŞEK'e, bu zorlu süreçte gösterdikleri sabır, anlayış, destek ve inanç için minnettarım. Bu çalışmanın, alana katkı sağlaması ve bundan sonra yapılacak araştırmalar için bir kaynak olması en büyük temennimdir.

Abdurrahman ŞİMŞEK

BİNGÖL 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Bal Arısı Tarihsel Gelişimi	2
1.2. Bal Arısı Taksonomisi	5
1.3. Dünya’da ve Türkiye’de Arıcılık	8
1.4. Bal Arısı Kolonisindeki Bireyleri ve Özellikleri	11
1.5. Bal Arısı Metabolizması ve Beslenme Şekilleri	13
1.6. Bal Arısı Beslenmesinde Arı Polenin Önemi	17
2. KAYNAK ÖZETLERİ	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1. Materyal	49
3.1.1. Arı Polenini	49
3.1.2. Kafesler	49
3.1.3. Kovan	50
3.1.4. Arı Irkı	50
3.1.5. <i>In vivo</i> Çalışma Alanının İklim Özellikleri	50

3.2. Yöntem	53
3.2.1. Tez Çalışması Kapsamında Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar	53
3.2.2. Deneysel Çalışmalar	54
3.2.2.1. Bal Arısı Polenlerin Hazırlanması	54
3.2.2.2. Bal Arısı Polenlerinin Ekstraksiyon Çalışması	54
3.2.2.3. Arı Polenini ve Ekstraktının Protein Analizi	57
3.2.2.4. Arı Polenlerinin Aminoasit Analizi	58
3.2.2.4.1. LC-HRMS Analiz Yöntemi	58
3.2.2.4.2. Kromatografik ve Kütle Spektrometrik Koşullar	58
3.2.2.4.3. Numune Hazırlama Prosedürü	58
3.2.2.5. Arı Polenlerinin Palinolojik Analizi	59
3.2.2.6. Bal Numunelerinin Hazırlanması	60
3.2.2.6.1. Nem İçeriği Tayini	60
3.2.2.6.2. Elektriksel İletkenlik Analizi	60
3.2.2.6.3. Prolin Analizi	60
3.2.2.6.4. Diastaz Analizi	61
3.2.2.6.5. Serbest Asitlik Analizi	62
3.2.2.6.6. Suda Çözünmeyen Madde Analizi	62
3.2.2.6.7. HMF Analizi	62
3.2.2.6.8. Balda Bitki Şekerleri (C4) Analizi	63
3.2.2.6.9. Şeker Analizi	63
3.2.2.6.10. Balda Polen Analizi	63
3.2.2.6.11. Balda Toplam Polen Sayısı (TPS)	64
3.2.3. <i>In vitro</i> Çalışmalar	64
3.2.3.1. Kafeslerin Hazırlanması	64
3.2.3.2. Arılı Kafeslerin Oluşturulması	66

3.2.3.3. Deneme Deseni	67
3.2.3.4. Performans Testleri	69
3.2.3.4.1. Yaşam Süresi.....	69
3.2.3.4.2. Besin Tüketimi	69
3.2.3.4.3. Canlı Ağırlık Artışı.....	70
3.2.4. <i>In vivo</i> Çalışmalar	71
3.2.4.1. Denemenin Kurulumu.....	71
3.2.4.2. Deneme Deseni	72
3.2.4.3. Besleme İşlemleri.....	73
3.2.4.4. Performans Testleri	75
3.2.4.4.1. Yaşama Gücü	75
3.2.4.4.2. Arılı Çerçeve Sayısı	75
3.2.4.4.3. Yavrulu Alan.....	76
3.2.4.4.4. Koloni Ağırlığındaki Değişimler	77
3.2.4.4.5. Bal Verimi	78
3.2.5. Verilerin İstatistiksel Analizleri.....	78
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	79
4.1. Farklı Çözücülerle Ekstrakte Edilen Polenlerin Verim ve Protein Değerleri	79
4.2. Arı Polen Ekstraktı Protein ve Verim Miktarı	81
4.3. Arı Polen Melissopalinojik Analizi	83
4.4. Polen Ekstraktı Aminoasit Analizi.....	86
4.5. <i>In Vitro</i> Çalışmanın Performans Testleri Sonuçları	91
4.5.1. Yaşam Süresi.....	91
4.5.2. Besin Tüketimi	96
4.5.3. Su Tüketimi.....	99
4.5.4. Canlı Ağırlık Artışı	102

4.6. <i>In Vivo</i> Çalışmanın Performans Testleri Sonuçları	106
4.6.1. Yaşama Gücü	106
4.6.2. Arılı Çerçeve Sayısı (AÇS).....	107
4.6.3. Yavrulu Alan (YA)	112
4.6.4. Koloni Ağırlığındaki Değişimler (KAD)	117
4.6.5. Bal Verimi	123
4.7. Renk Analizi Sonuçları	127
4.8. Fizikokimyasal (Kodeks ve Şeker Kompozisyonu) Analiz Sonuçları	128
4.9. Melissopalnolojik Analiz Sonuçları.....	133
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139
KAYNAKLAR	142
EKLER.....	159

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

mg	:Miligram
g	:Gram
kg	:Kilogram
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
cm	:Santimetre
cm ²	:Santimetre kare
mbar	:Milibar
rpm	:Devir/dakika
°C	:Santigrat
%	:Yüzde
dk	:Dakika
ETOH	:Ethanol
MEOH	:Methanol
UDE	:Ultrasonik destekli ekstraksiyon
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Eski çağlara taşlara işlenmiş arı motifleri (Hammad, 2018).....	3
Şekil 1.2. Türkiye arı ırkları haritası(Kandemir, 2005)	8
Şekil 1.3. Koloni bireyleri(Anonim b)	11
Şekil 1.4. Nektardan bala dönüşüm süreci (Anonim a)	15
Şekil 1.5. Arı polenin elde edilmesi (Thakur and Nanda 2020).	16
Şekil 1.6. Arı ekmeğinin oluşturulması (Bakour et al., 2022).	17
Şekil 3.1. In vitro çalışmada kullanılan kafeslerin görseli	49
Şekil 3.2. In vivo çalışmada kullanılan kovan görseli	50
Şekil 3.3. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Erth)	51
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan UDE yöntemi (Düzdaban, 2022).....	56
Şekil 3.5. In vitro çalışmada kullanılan kafeslerin hazırlanması	65
Şekil 3.6. Bir gece inkübatörde beklemiş genç işçi arıların görüntüsü	66
Şekil 3.7. In vitro çalışmanın kurulum aşamaları	67
Şekil 3.8. In vitro çalışmanın deneme deseni.....	68
Şekil 3.9. In vitro çalışmada ölen arı görseli.....	69
Şekil 3.10. In vitro çalışmada besinlerin hazırlanması	70
Şekil 3.11. In vitro çalışmada canlı ağırlık artışı ölçümü yapılan falkon tüpler	71
Şekil 3.12. In vivo çalışmada deneme kovanlarının hazırlanması	72
Şekil 3.13. In vivo çalışmada kovanların çerçeve sayılarının hazırlanması.....	72
Şekil 3.14. In vivo çalışmanın deneme deseni (www.biorender.com).....	73
Şekil 3.15. In vivo çalışmada yemleme işlemi.....	74
Şekil 3.16. In vivo çalışmada yemleme şekli	75
Şekil 3.17. Arılı çerçeve sayısı ölçümü.....	76
Şekil 3.18. Yavrulu alan ölçümü.....	77
Şekil 3.19. Koloni ağırlığı ölçümleri.....	77
Şekil 3.20. Bal verimi ölçümü görseli.....	78
Şekil 4.1. In vitro çalışmada kullanılan ekstraktın aminoasit ölçüm kromatogramı.....	88
Şekil 4.2. In vivo çalışmada kullanılan ekstraktın aminoasit ölçüm kromatogramı	89

Şekil 4.3. Yaşam süresi sağkalım grafiği	92
Şekil 4.4. Besin tüketim grafiği.....	96
Şekil 4.5. Su tüketim grafiği	100
Şekil 4.6. Canlı ağırlık artışı grafiği.....	103
Şekil 4.7. Yaşama gücü grafiği	106
Şekil 4.8. Arılı çerçeve sayısı grafiği.	108
Şekil 4.9. Yavrulu alan grafiği	113
Şekil 4.10. Koloni ağırlığındaki değişimler grafiği	118
Şekil 4.11. Bal verimi grafiği.....	123

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya koloni ve arı ürünleri verileri(FAO 2025).....	9
Tablo 1.2. Ülkelere göre kovan ve arı ürünleri verileri (FAO 2025).....	9
Tablo 1.3. Türkiye'de yıllara göre arı ve arı ürünleri verileri(TÜİK 2025)	11
Tablo 3.1. Bingöl Merkez 2024 yılı iklim verileri (MGM)	52
Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan kimyasallar	53
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan cihazlar	53
Tablo 3.4. In vivo çalışmanın yemleme zamanı ve miktarı	74
Tablo 4.1. Çözücü türleri ve konsantrasyonlarının ekstraksiyon verimi	80
Tablo 4.2. Farklı çözücülerden elde edilmiş ekstraktlardaki yüzde protein miktarı.....	81
Tablo 4.3. Arı poleni ekstraksiyon verimi ve protein miktarları.....	81
Tablo 4.4. Polen analiz sonuçları	84
Tablo 4.5. Polen analiz sonuçları (Düzdaban, 2022)	85
Tablo 4.6. In vitro çalışmada kullanılan polen ekstraktı aminoasit sonucu.....	87
Tablo 4.7. In vivo çalışmada kullanılan polen ekstraktı aminoasit sonucu.....	88
Tablo 4.8. Yaşam süresi Kaplan-Meier istatistik sonuçları	93
Tablo 4.9. Besin tüketim verileri.....	96
Tablo 4.10. Su tüketim tablosu	99
Tablo 4.11. Arılı çerçeve sayısı istatistik sonuçları.....	109
Tablo 4.12. Yavrulu alan istatistik sonuçları	114
Tablo 4.13. Koloni ağırlığındaki değişimler istatistik sonuçları.....	119
Tablo 4.14.(devam) Koloni ağırlığındaki değişimler istatistik sonuçları.....	120
Tablo 4.15. Bal verimi istatistik sonuçları	124
Tablo 4.16. Bal örnekleri renk analiz sonuçları	127
Tablo 4.17. Bal örnekleri kodeks analiz sonuçları	129
Tablo 4.18. Bal örnekleri melissapalinolojik analizi sonuçları.....	133
Tablo 4.19. (devam) Bal örnekleri melissapalinolojik analizi sonuçları	134
Tablo 4.20. Arı Poleni ile bal örnekleri arasındaki karşılaştırmalı değerlendirme	138

BİNGÖL POLİFLORAL ARI POLENİ EKSTRAKTININ İN VİTRO VE İN VİVO ŞARTLARDA BAL ARILARININ (*Apis Mellifera*) GELİŞİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, Bingöl ilinden toplanan arı poleni ekstraktının *in vitro* ve *in vivo* koşullarda bal arılarının gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Zengin bitki örtüsüne sahip Bingöl bölgesinden elde edilen arı polenlerin, polen analizleri ve protein miktarı belirlenip, arı polenlerin su bazlı ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktı, protein içeriği, aminoasit kompozisyonu yönünden değerlendirilmiştir. *In vitro* çalışmada kullanılan ekstraktın verimi %52,7 ve protein oranı %9,80 olarak saptanmış; aminoasit analizlerinde prolin (764,83 µg/g) en baskın aminoasit olarak tespit edilmiş; bunu sırasıyla asparagin (121,52 µg/g), glisin (61,83 µg/g) ve alanin (36,36 µg/g) takip etmiştir, *in vivo* çalışmada kullanılan polen ekstraktında da benzer oranlar gözlemlenmiştir.

In vitro çalışmada, bal arılarının yaşam süresi, canlı ağırlık artışı, su ve besin tüketimi parametreleri değerlendirilmiştir. En iyi sonuçlar, bal-polen karışımı ve %5'lik Ekstrakt grubunda elde edilmiş; yüksek dozlarda ise olumsuz etkiler gözlemlenmiştir.

In vivo çalışmada, %5 ekstrakt grubunda arılı çerçeve sayısı, sezon sonunda ortalama 16 adet, kontrol grubunda ise 12 adet olarak kaydedilmiştir. Benzer şekilde, yavrulu alan ekstrakt grubunda 14929,08 cm², kontrol grubunda ise 9870,59 cm² olarak belirlenmiştir. Ayrıca bal verimi, ekstrakt grubunda 16,904 kg/koloni, kontrol grubunda 11,164 kg/koloni olarak ölçülmüştür. Tüm bu veriler, ekstrakt uygulamasının kolonideki işçi arı popülasyonunu, ana arı yumurtlama aktivitesini ve bal üretim kapasitesini anlamlı şekilde artırdığını ortaya koymuştur (p<0,01).

Ayrıca *in vivo* çalışmadan elde edilen bal örneklerinde renk, fizikokimyasal ve melissopalinolojik özellikleri karşılaştırılmıştır. Renk analizinde ekstrakt örneği için L: 66,26, a: 10,96 ve b: 50,71; şeker şurubu için ise L: 77,64, a: 2,72 ve b: 39,48 olarak ölçülmüş, ekstrakt örneğinin daha koyu ve doymuş renge sahip olduğu belirlenmiştir. Fizikokimyasal analizlerde ekstrakt örneğinde nem oranı %15,20±0,35, prolin içeriği 929,78±27,89 mg/kg, diastaz sayısı 43,5±5,3 DN, toplam polen sayısı (TPS) 64.075 adet olarak tespit edilmiştir; şeker şurubu örneğinde ise bu değerler sırasıyla %15,40±0,36, 912,00±27,36 mg/kg, 39,1±4,7 DN ve 35,723 adet olarak bulunmuştur. Melissopalinolojik analizde ekstrakt örneğinde *Salix* sp. (%28,00), *Astragalus* sp. (%25,20) ve *Trifolium* sp. (%13,10); şeker şurubunda ise *Centaurea* sp. (%46,00), *Astragalus* sp. (%35,60) ve *Trifolium* sp. (%10,00) gibi polenlerin baskın olduğu belirlenmiş, ekstrakt örneğinin daha zengin bir floral kaynağa sahip olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arı poleni, Su bazlı ekstraksiyon, Koloni gelişimi, Bal verimi.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BİNGÖL POLYFLORAL BEE POLLEN EXTRACT ON THE DEVELOPMENT OF HONEY BEES (*Apis Mellifera*) UNDER IN VITRO AND IN VIVO CONDITIONS

ABSTRACT

In this study, the effects of bee pollen extract collected from Bingöl province on the development of honey bees were evaluated under both *in vitro* and *in vivo* conditions. The bee pollens obtained from the Bingöl region, which possesses a rich vegetation cover, were subjected to palynological analysis and protein quantification. The ultrasonic assisted water-based extraction method was applied to obtain the pollen extract, which was then analyzed in terms of protein content and amino acid composition. The extraction yield of the sample used in the *in vitro* trial was determined as 52.7%, with a protein content of 9.80%. Amino acid analysis revealed that proline (764.83 µg/g) was the most abundant amino acid, followed by asparagine (121.52 µg/g), glycine (61.83 µg/g), and alanine (36.36 µg/g); similar proportions were observed in the extract used for the *in vivo* trial. The *in vitro* study assessed parameters including honey bee longevity, body weight gain, and water and feed consumption. The most favorable results were obtained in the honeypollen mixture and 5% extract groups, while higher doses exhibited adverse effects. In the *in vivo* experiment, the number of brood frames in the 5% extract group was recorded as an average of 16 by the end of the season, compared to 12 in the control group. Similarly, the brood area was 14 929.08 cm² in the extract group and 9 870.59 cm² in the control group. Honey yield was significantly higher in the extract group, with 16.904 kg/colony versus 11.164 kg/colony in the control group. These findings indicate that the application of the extract significantly enhanced worker bee population, queen reproductive performance, and honey production capacity ($p<0.01$).

Furthermore, the honey samples obtained from the *in vivo* study were evaluated in terms of color, physicochemical, and melissopalynological characteristics. According to color measurements, the extract sample exhibited L: 66.26, a: 10.96, and b: 50.71 values, while the sugar syrup sample displayed L: 77.64, a: 2.72, and b: 39.48, indicating that the extract-derived honey had a darker and more saturated color. Physicochemical analysis revealed that the extract sample had a moisture content of 15.20±0.35%, proline content of 929.78±27.89 mg/kg, diastase activity of 43.5±5.3 DN, and total pollen count (TPS) of 64.075. In contrast, the sugar syrup sample showed values of 15.40±0.36%, 912.00±27.36 mg/kg, 39.1±4.7 DN, and 35.723 TPS, respectively. Melissopalynological analysis demonstrated that *Salix* sp. (28.00%), *Astragalus* sp. (25.20%), and *Trifolium* sp. (13.10%) were dominant in the extract sample, whereas *Centaurea* sp. (46.00%), *Astragalus* sp. (35.60%), and *Trifolium* sp. (10.00%) were predominant in the sugar syrup sample, confirming a more diverse floral origin in the extract group.

Keywords: Bee pollen, Water-based extraction, Colony development, Honey yield.

1. GİRİŞ

Bal arısı (*Apis mellifera*), arı familyasına ait, Dünya çapında yaygın olarak bulunan ve özellikle polinasyon ile bal üretimiyle bilinen önemli bir böcek türüdür. Bu tür, hem ekosistem hem de tarım açısından büyük bir öneme sahiptir. Bal arıları, bitkilerin döllenmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda globalde tarım ürünlerinin verimliliğini artıran polinatörler olarak da görev yaparlar (Çakmak, 2004). Ayrıca, ürettikleri bal, polen, arı sütü ve propolis gibi maddeler, hem gıda hem de sağlık alanında değerli ürünler olarak kullanılmaktadır (Koch et al., 2012).

Bal arıları (*A. mellifera*), yaklaşık 150 milyon yıl önce ortaya çıkmış olup, hem doğal ekosistemlerde hem de tarımsal üretimde kritik bir rol oynayan önemli bir polinatördür (Winston, 1991). Polinasyon kapasiteleri sayesinde, sadece biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine değil, aynı zamanda gıda güvenliği ve tarımsal sürdürülebilirliğe de büyük katkı sağlarlar. Bal arılarının sağladığı polinasyon, küresel ölçekte yıllık yaklaşık 200 milyar dolarlık ekonomik bir değer yaratmakta olup, özellikle meyve, sebze ve kuruyemiş üretiminde verimliliği artırır (Klein et al., 2007). Arıların yokluğu ya da popülasyonlarındaki azalma, hem gıda üretimini ciddi şekilde tehdit edebilir hem de birçok bitki türünün üreme sürecini aksatarak ekosistem dengesini bozabilir (Ollerton, 2017). Dolayısıyla, bal arıları yalnızca ekonomik açıdan değil, ekosistemlerin sağlıklı işleyişi ve biyoçeşitliliğin korunması açısından da vazgeçilmezdir (Cappa et al., 2022).

Son yıllarda bal arılarının popülasyonlarında görülen hızlı düşüş, özellikle tarımsal üretim ve ekosistem sağlığı açısından büyük endişelere yol açmıştır. Arıların bu olumsuz durumunun başlıca nedenleri arasında pestisitlerin aşırı kullanımı, habitat kaybı, hastalıklar ve iklim değişiklikleri bulunmaktadır (VanEngelsdorp et al., 2009). Bu tehditler, arıların hayatta kalmasını zorlaştırmakta ve dolaylı olarak polinasyon hizmetlerini tehdit etmektedir. Bu durum, yalnızca arıların yaşamını değil, aynı zamanda tarımsal ürünlerin üretim kapasitesini ve ekosistem hizmetlerini de riske atmaktadır. Bu bağlamda, bal arıları

üzerine yapılan araştırmalar, bu türün korunması ve sürdürülebilirliğine yönelik stratejilerin geliştirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

Bal arısının biyolojisi, sosyal yapısı ve davranışları üzerine yapılan araştırmalar, bu türün son derece organize bir yaşam biçimi sürdüğünü göstermektedir. Koloniler halinde yaşayan bal arıları, her bir birey farklı görevler üstlenerek koloninin sürdürülebilirliğine katkı sağlar. Bir koloni, bir kraliçe arı, işçi arılar ve erkek arılardan oluşur. Kraliçe arı üreme işlevini yerine getirirken, işçi arılar polinasyon yapar ve yavrulara bakar, erkek arılar ise yalnızca üreme için mevcuttur (Seeley, 1995).

Bal arılarının evrimsel gelişimi, insanlık tarihiyle paralel bir seyir izlemiştir. Antik çağlardan günümüze kadar bal arıları, insanlar tarafından hem gıda kaynağı hem de kültürel sembol olarak değer görmüştür. Modern arıcılık uygulamaları, bal arılarının üretkenliğini artırmayı hedeflerken, aynı zamanda bu türün sürdürülebilirliğini sağlamak için çeşitli yönetim stratejileri geliştirilmiştir (Crane, 1999).

1.1. Bal Arısı Tarihsel Gelişimi

A. mellifera, insanlık tarihiyle derin bir bağlantıya sahiptir ve evcilleştirilmiş en eski böceklerinden biridir. Bu türün evcilleştirilmesi, yaklaşık 5.000 yıl öncesine, Mısır ve Mezopotamya'ya dayanmaktadır (Seeley, 2007). Arıcılık faaliyetleri, Eski Mısır'dan Roma İmparatorluğu'na kadar devam etmiş ve bal arısı, bu süreçte hem besin kaynağı olarak hem de polinasyon hizmeti sunan önemli bir organizma olmuştur. 18. yüzyılda modern arıcılığın temelleri atılmış ve Avrupa'dan dünyanın diğer bölgelerine yayılmaya başlamıştır (Ruttner, 1988).

Bal arısı, Eski Mısır ve Mezopotamya'da çok erken bir dönemde M.Ö. 3000 yılında bal üretimi için evcilleştirilmiştir (Şekil 1.1). Eski Mısır'da, bal sadece gıda değil, aynı zamanda tıbbi amaçlarla da kullanılmaktadır. Eski Mısır'da bal ve balmumu, özellikle antiseptik özellikleri nedeniyle yara tedavisinde kullanılırdı. Ayrıca, bal arısı ve arıcılık simgeleri, Eski Mısır'daki birçok mezar ve tapınakta yer almaktadır. Bu durum ise bal arısının kültürel olarak ne denli önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir (Hammad, 2018).



Şekil 1.1. Eski çağlara taşlara işlenmiş arı motifleri (Hammad, 2018)

Mezopotamya'da da bal ve arıcılık faaliyetleri, tıpkı Antik Mısır'daki gibi önemli bir konumdaydı. Babil ve Asur kültürlerinde bal, hem gıda hem de dini ritüellerde kullanılıyordu. Mezopotamya'da bal arısı ve arıcılıkla ilgili ilk yazılı belgeler, M.Ö. 2000 yılında ortaya çıkmıştır (de Jesus, 2023).

Antik Yunan'da, bal arısı sadece ekonomik bir kaynak olarak değil, aynı zamanda tanrılarla ilişkilendirilen sembolik bir varlık olarak da kabul edilmiştir. Yunanlılar, balı ve arıları kutsal kabul etmiş ve bazı filozoflar, bal arılarının toplumsal yapısını inceleyerek bu yapıyı insan topluluklarına benzetmişlerdir. Aristoteles, *Historia Animalium* adlı eserinde bal arısının biyolojik özelliklerini ve davranışlarını detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu inceleme, arıcılıkla ilgili bilimsel ilk adımların atılmasına neden olmuştur (Crane, 1999). Roma İmparatorluğu'nda bal üretimi büyük bir endüstri haline gelmiş ve arıcılık faaliyetleri Roma İmparatorluğu'nun geneline yayılmıştır. Roma'da bal, tatlandırıcı olarak kullanıldığı gibi diğer arıcılık ürünleri, özellikle balmumu, çeşitli sanatsal ve ticari amaçlarla değerlendirilmiştir. Roma'da bal arısı, halk arasında bir sembol haline gelmiş ve çoğu zaman aşk, güzellik ve ölümsüzlük ile ilişkilendirilmiştir (Crane, 1999).

Ortaçağ döneminde Batı Avrupa'da arıcılıkla ilgili bilgiler kaybolmaya yüz tutmuş, ancak o dönemde Arap-İslam dünyasında bu alanda önemli bir bilimsel gelişim yaşanmıştır. 9. yüzyılda Arap bilim insanı al-Dinawari, bal arısının biyolojisi ve sosyal yapısı üzerine önemli çalışmalar yapmış ve bu dönemde arıcılıkla ilgili birçok yenilik ve teknik geliştirilmiştir. Arap dünyasında, bal arısı ve bal, hem tıbbi tedavi hem de gıda olarak büyük bir öneme sahiptir ve bu kültürel miras, Batı Avrupa'ya da yansımıştır (Hatjina et al., 2018).

Rönesans dönemiyle birlikte, batı dünyasında bal arısı ve arıcılık faaliyetleri üzerine bilimsel çalışmalar yeniden hız kazanmıştır. 17. yüzyılda, Hollandalı bilim insanı Jan Swammerdam, bal arısının anatomisini detaylı bir şekilde inceleyerek, bal arısının toplumsal yapısını ve yaşam döngüsünü anlamaya yönelik önemli adımlar atmıştır. Swammerdam'ın bu çalışmaları, bal arısı biyolojisinin modern bilimsel temellerinin atılmasına katkı sağlamıştır (Crane, 1999).

18. yüzyılda, özellikle Avrupa'da, bal arısının daha verimli bal üretimi sağlamak amacıyla evcilleştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu dönemdeki büyük gelişmelerden birisi de arıcılık faaliyetinde kullanılan kovandaki yenilikler olmuştur. Langstroth kovan (1851) gibi modern kovan tasarımları, bal arısının yönetimini ve verimliliğini artırmış, arıcılığın endüstriyel bir boyuta ulaşmasını sağlamış ve bu yenilikler, günümüz arıcılığın temelini oluşturmuştur. 20. yüzyılda, bal arısının biyolojisi ve arıcılık üzerine yapılan araştırmalar daha da derinleşmiş, genetik araştırmalar ve hastalıklar üzerine önemli bulgular elde edilmiştir. Bal arısı hastalıkları ve zararlıları, arıcılıkla uğraşan topluluklar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. *Varroa destructor* gibi parazitler ve Nosema gibi mikroorganizmalar, bal arısı kolonilerinin sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle, bal arısının korunması amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmakta, biyoteknolojik çözümler geliştirilmekte ve arıcılıkla ilgili sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar sürdürülmektedir (Bartlett, 2022).

1.2. Bal Arısı Taksonomisi

A. mellifera, arıcılığın temel türlerinden biri olup, polinasyon, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem işlevleri açısından büyük öneme sahiptir. Bal arısı, Hymenoptera takımına dahil, Apidae familyası üyesi karmaşık sosyal yapılarıyla tanınan bir böcek türüdür.

1. Alem: *Animalia* (Hayvanlar)

A. mellifera, *Animalia* alemine ait bir organizmadır. Bu alem, çoğunluğu çok hücreli olan, heterotrof (besinlerini dışarıdan sağlayan) beslenme biçimine sahip canlıları kapsar. Hayvanlar, hareket edebilme yeteneğine sahip, sinir sistemi bulunan ve dış iskelet taşıyan (ekzoskelet) canlılardır. Eklembacaklılar, hayvanlar arasında en büyük filumdur ve bal arısı bu filumun önemli bir örneğidir.

2. Şube: *Arthropoda* (Eklembacaklılar)

A. mellifera, *Arthropoda* şubesine aittir. Eklembacaklılar, segmentli vücut yapıları, eklemli bacakları ve dış iskeletleriyle tanınan bir hayvan grubudur. Bu şubede, böcekler, örümcekler, krustasealar (kabuklular) ve diğer gruplar yer alır. Eklembacaklılar, Dünya üzerindeki hayvan türlerinin büyük bir kısmını oluşturur ve ekosistemler için önemli rol oynayan organizmalardır. Bal arısı, segmentli vücut yapısı, altı bacağı ve kanatlarıyla bu şubenin özelliklerini taşır (Engel et al., 2020).

3. Sınıf: *Insecta* (Böcekler)

A. mellifera, *Insecta* sınıfına aittir. Böcekler, baş, göğüs ve karın olmak üzere üç ana vücut bölümünden oluşur. Bu sınıfın üyeleri genellikle üç çift bacak ve kanatlara sahiptir. Böcekler, ekosistemlerdeki önemli polinatörler olup, gıda zincirinin önemli bir parçasıdır. Bal arısı, sosyal yaşam biçimi ve polinasyon hizmetleriyle böcekler arasında özel bir yer tutar (Michener, 2007).

4. Takım: *Hymenoptera* (Eşeyli Böcekler)

A. mellifera, *Hymenoptera* takımına aittir. *Hymenoptera*, arılar, eşekarısı ve karıncaları içeren büyük bir böcek takımını oluşturur. Bu grup, genellikle kanatlı böceklerden oluşur ve topluluklar halinde yaşama eğilimindedir. *Hymenoptera* üyeleri, aynı zamanda karmaşık sosyal yapılar geliştirmiş ve bu yapılar aracılığıyla birçok ekosistem işlevine katkıda

bulunmuşlardır. Polinasyon bu işlevlerden biridir ve bal arısı, polinasyonun başlıca temsilcisidir. Takımın üyeleri genellikle önemli ekonomik ve çevresel roller üstlenirler (Danforth et al., 2013).

5. Aile: *Apidae* (Arı Ailesi)

A. mellifera, *Apidae* ailesine aittir. Bu aile, yaklaşık 5.000 farklı türü kapsayan ve genellikle polinasyonla ilişkili arı türlerini içeren büyük bir gruptur. *Apidae* ailesindeki arılar, sosyal ve yerleşik yaşam biçimleri ile tanınır. Bu ailedeki türlerin çoğu, bal üretme, polinasyon yapma veya hem bal üretme hem de polinasyon sağlama gibi farklı ekolojik rollere sahiptir. *Apis* cinsi, *Apidae* ailesinin bir alt grubunu oluşturur ve bal arısı bu cinsin en bilinen türüdür (Moritz, 2005).

6. Cins: *Apis* (Bal Arıları)

Apis cinsi, *Apidae* ailesinin en önemli ve bilinen cinslerinden biridir. *Apis* cinsi, bal üretimi ve polinasyon hizmetleri ile tanınır. *Apis* cinsinin üyeleri, sosyal yapılarıyla karakterizedir ve koloniler halinde yaşarlar. Cinsin üyeleri, dünya çapında yaygın olup, çok sayıda alt tür ve ırka sahiptir. Bu cinsin içinde yer alan en bilinen tür, *A. mellifera*, bal arısı olup, günümüzde tarımsal üretim ve ekosistem işlevlerinde kritik bir rol oynamaktadır (Ruttner, 1988).

7. Tür: *A. mellifera* (Bal Arısı)

A. mellifera, bal arısı cinsinin en yaygın türüdür. *A. mellifera*, sosyal bir yaşam biçimi gösterir ve bir koloni içinde bir ana arı (kraliçe), işçi arılar ve erkek arılardan (dron) oluşur. Koloninin temel işlevi bal üretimi ve polinasyon yapmaktır. Bal arısı, ekosistemlerdeki bitkiler için önemli bir polinatördür ve bu polinasyon hizmetleri sayesinde tarımda da büyük ekonomik faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, bal üretimi ve balmumu elde edilmesi gibi pratik yararları vardır. *Apis mellifera*, dünya genelinde birçok farklı alt tür ve ırk ile çeşitli coğrafi bölgelerde farklı adaptasyonlar geliştirmiştir (Free, 1993).

Bal Arısı Taksonomik Hiyerarşisi

Bal arısının taksonomik sınıflandırmasını daha net bir şekilde görselleştirmek için aşağıda hiyerarşik düzeyde sıralanmıştır:

Alem: *Animalia* (Hayvanlar)
Şube: *Arthropoda* (Eklembacaklılar)
Sınıf: *Insecta* (Böcekler)
Takım: *Hymenoptera* (Eşeyli Böcekler)
Aile: *Apidae* (Arı Ailesi)
Cins: *Apis* (Bal Arıları)
Tür: *Apis mellifera*. (Bal Arısı)

Alt Türler ve Irklar

A. mellifera türü, farklı ekolojik koşullara adapte olmuş bir dizi alt tür ve ırk geliştirmiştir. Bunlar genellikle bal arısının bal üretimi, hastalıklara karşı dayanıklılığı ve sıcaklık toleransı gibi özelliklerine göre farklılık gösterir. Öne çıkan alt türler şunlardır:

A. mellifera mellifera (Kuzey Avrupa Bal Arısı): Bu bal arısı türü Linnaeus tarafından, 1758 yılında tanımlanmıştır. Soğuk iklimlere dayanıklı, kışa adapte olmuş bir alt türdür. Kuzey Avrupa'da yaygındır ve soğuk havalarda daha verimli bal üretimi yapabilir (Ruthers, 1988).

A. mellifera ligustica (İtalyan Bal Arısı): Bu bal arısı alt türü Spinola tarafından 1806 yılında İtalyan Arısı olarak tanımlanmıştır. Sıcak iklimlere adapte olmuş ve genellikle sakın bir yapıya sahip olan bu tür, Akdeniz bölgesinde yaygındır. Bal verimi yüksek ve verimli polinasyon sağlar (Michener, 2007).

A. mellifera carnica (Karniyol Bal Arısı): Bu bal arısı türü Polmann tarafından 1879 yılında tanımlanmıştır. Orta Avrupa ve Balkanlar'a özgü olan bu alt tür, kışa dayanıklı ve iyi polinatördür. Bunun yanı sıra, sakın ve verimli bal üretimiyle tanınır (Danforth et al., 2013).

A. mellifera anatoliaca (Anadolu Bal Arısı): Bu bal arısı alt türü Maa tarafından 1953 yılında tanımlanmıştır. Türkiye'nin ve çevresindeki bölgelerin yerel bal arısı türüdür. Yerel iklim koşullarına uyumlu olup, verimli bir şekilde bal üretir ve hastalıklara karşı dayanıklıdır.

A. mellifera caucasica (Kafkasya Bal Arısı): Bu bal arısı alt türü Polmann tarafından 1889 yılında tanımlanmıştır. *A. mellifera Caucasica* ismi Gorbachev tarafından 1916 yılında yapılmıştır. Kafkasya bölgesine özgü olan bu alt tür, sakin, huzurlu davranışları ile bilinir ve iyi bir polinatör olarak tanınır. Ülkemize ait arı ırkları Şekil 1.2 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Türkiye’de *Apis mellifera anatoliaca*, *A. m. caucasica*, *A. m. carnica*, *A. m. syriaca* ve *A. m. meda* gibi temel bal arısı ırklarının yanı sıra, farklı bölgelerde adaptasyon sonucu ortaya çıkan yerel ekotipler de bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye arı ırkları haritası(Kandemir, 2005)

1.3. Dünya’da ve Türkiye’de Arıcılık

Arıcılık, Dünya genelinde tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından stratejik öneme sahiptir. Bal arıları yalnızca bal ve balmumu gibi ürünlerin temininde değil, aynı zamanda tarımsal bitkilerin tozlanmasında ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında kilit rol oynamaktadır. Son yıllarda artan çevresel tehditlere rağmen dünya genelinde arıcılık faaliyetleri artış göstermektedir.

FAO (2025) verilerine göre, 2016 yılında 90.183.346 olan koloni sayısı, 2023 yılına gelindiğinde %13 artışla 102 058 674’e ulaşmıştır. Aynı dönemde yıllık bal üretimi yaklaşık 1,87 milyon ton seviyesinden 1,89 milyon tona çıkmıştır. Bununla birlikte, kovan başına bal verimi 2016 yılında 20,75 kg iken 2023 yılında 18,56 kg’a gerilemiş; bu da

verimlilikte düşüş yaşandığını göstermektedir. Verimlilikteki bu dalgalanmanın olası nedenleri arasında iklim değişikliği, habitat kayıpları, pestisit kullanımı ve arı hastalıkları yer almaktadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Dünya koloni ve arı ürünleri verileri(FAO 2025)

Yıl	Koloni Sayısı (Adet)	Bal Üretimi (Ton)	Balmumu Üretimi (Ton)	Bal Verimi (Kg/Koloni)
2023	102 058 674	1 893 805	65 036	18,56
2022	100 996 303	1 830 768	65 063	18,13
2021	101 624 052	1 771 944	65 046	17,44
2020	93 999 656	1 770 119	62 166	18,83
2019	93 495 376	1 766 420	62 621	18,89
2018	93 676 742	1 851 292	62 229	19,76
2017	91 827 594	1 882 479	66 493	20,50
2016	90 183 346	1 871 398	67 363	20,75

Ülkelere göre dağılım incelendiğinde, 2023 yılı itibarıyla en fazla kovan sayısına sahip ülke Hindistan (12 614 760) olup, bunu Çin (9 416 856) ve Türkiye (8 984 676) takip etmektedir. Aynı yıl en fazla bal üretimi gerçekleştiren ülke 474 107 ton ile Çin olmuştur. Türkiye 114 296 ton üretimle ikinci sırada, İran ise 79 535 tonla üçüncü sırada yer almıştır (FAO, 2025). Ancak verimlilik açısından Çin kovan başına 50,3 kg ile birinci sırada yer alırken, Türkiye'nin verimi 12,7 kg/kovan düzeyindedir. Hindistan ise 5,9 kg/kovan ile üretim verimliliği en düşük ülkelerden biri olarak dikkat çekmektedir (Tablo 1.2).

Tablo 1.2. Ülkelere göre kovan ve arı ürünleri verileri (FAO 2025)

Sıra	Ülke	Kovan Sayısı	Bal Üretimi (Ton)	Kovan Başına Verim (kg/kovan)
1	Çin	9 416 856	474 107	50,3
2	Türkiye	8 984 676	114 296	12,7
3	İran	7 575 395	79 535	10,5
4	Hindistan	12 614 760	74 204	5,9
5	Arjantin	2 975 530	70 437	23,7
6	Rusya	2 789 983	67 014	24,0
7	Meksika	2 319 393	64 320	27,7
8	ABD	2 667 000	56 849	21,3

Bu veriler, Dünya genelinde arıcılık faaliyetlerinin yaygınlaştığını ve üretimin arttığını gösterse de, verimlilik açısından ülkeler arasında ciddi farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu farklılıklar, ülkelerin iklimsel koşulları, flora yapısı, arıcılık teknolojisi kullanımı ve uygulanan tarımsal politikalarla yakından ilişkilidir.

Türkiye, coğrafi konumu, iklimsel çeşitliliği ve zengin bitki örtüsü sayesinde arıcılık açısından Dünya’da ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Anadolu coğrafyası, yaklaşık 12.000’den fazla bitki türüne ev sahipliği yapması nedeniyle, arıcılık faaliyetleri için doğal bir avantaj sunmaktadır. Bu potansiyel, Türkiye’yi hem koloni sayısı hem de bal üretimi bakımından dünyanın önde gelen arıcılık ülkelerinden biri konumuna taşımaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu 2025 yılı verilerine göre 2016 yılında 7 900 364 olan toplam kovan sayısı, 2023 yılına gelindiğinde 9 224 881’e ulaşmıştır. Aynı dönemde bal üretimi 105 727 tondan 114 886 tona çıkarken, balmumu üretimi 4 440 tondan 3 971 tona düşmüştür. 2024 yılında ise kovan sayısında 8 961 975’e, bal üretiminde ise 95 492 tona gerileme kaydedilmiştir (TÜİK, 2025). Bu dalgalanma, sektörün iklimsel koşullardan, üretim girdilerindeki artıştan ve arı sağlığıyla ilgili sorunlardan etkilenebileceğini göstermektedir (Tablo 1.3).

İşletme sayısındaki artış da sektördeki genişlemeyi desteklemektedir. 2016 yılında 84 047 olan arıcılık işletmesi sayısı, 2023 itibarıyla 100 399’a yükselmiş, 2024 yılında ise 97.984’e düşmüştür. Bu artış, arıcılığın kırsal kalkınmadaki rolünün güçlendiğine işaret etmektedir (TÜİK, 2025). Her ne kadar Türkiye, koloni sayısı ve bal üretiminde üst sıralarda yer alsada, kovan başına verim açısından uluslararası ortalamanın gerisindedir. FAO (2025) verilerine göre 2023 yılında Türkiye’nin kovan başına bal verimi 12,7 kg iken, aynı yıl Çin’de bu değer 50,3 kg, Arjantin’de 23,7 kg ve Meksika’da 27,7 kg olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, Türkiye’de verimlilik artırıcı politikaların geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

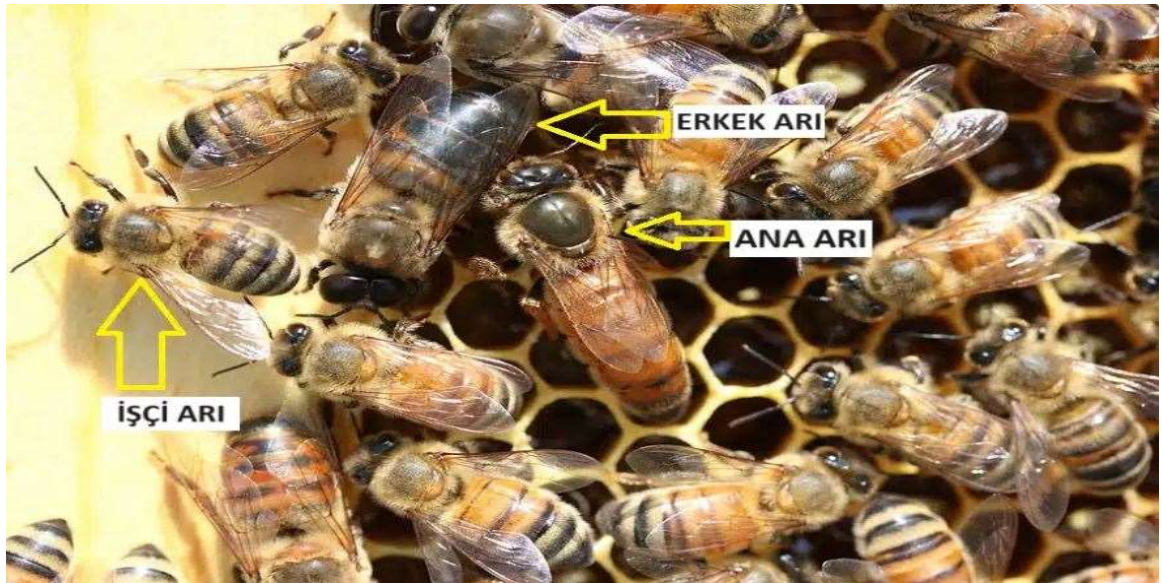
Türkiye’nin arıcılık potansiyelinden tam anlamıyla yararlanabilmesi, modern üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması, üretici eğitimlerinin artırılması, iklim değişikliğine karşı adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi ve destekleme politikalarının etkin şekilde uygulanmasına bağlıdır.

Tablo 1.3. Türkiye'de yıllara göre arı ve arı ürünleri verileri(TÜİK 2025)

Yıl	İşletme Sayısı (adet)	Toplam Kovan Sayısı (adet)	Bal Üretimi (ton)	Balmumu Üretimi (ton)
2016	84 047	7 900 364	105 727	4 440
2017	83 210	7 991 072	114 471	4 488
2018	81 830	8 108 424	107 920	3 987
2019	80 675	8 128 360	109 330	3 971
2020	82 862	8 179 085	104 077	3 765
2021	89 361	8 733 394	96 344	3 766
2022	95 386	8 984 676	118 297	4 165
2023	100 399	9 224 881	114 886	3 971
2024	97 984	8 961 975	95 492	3 315

1.4. Bal Arısı Kolonisindeki Bireyleri ve Özellikleri

A. mellifera L, sosyal bir böcek olup, kolonisi oldukça organize ve iş bölümünü içeren bir yapıya sahiptir. Her bir birey, koloninin hayatta kalabilmesi ve başarılı bir şekilde faaliyet göstermesi için belirli bir görev üstlenir. Kolonide üç ana birey grubu bulunur: ana arı (kraliçe), işçi arılar ve erkek arılar (dronlar) (Şekil 1.3). Her birey grubunun biyolojik özellikleri ve işlevleri, koloninin yapısal ve işlevsel bütünlüğünü korumada kritik rol oynamaktadır.



Şekil 1.3. Koloni bireyleri(Anonim b)

Ana arı, bal arısı kolonilerindeki tek üreme bireyidir. Koloninin devamlılığı ve büyümesi, ana arının verimli bir şekilde yumurtlamasına bağlıdır. Koloninin yönetici ve üreme merkezi olan ana arı, belirli biyolojik özelliklere sahip olup, yalnızca üreme amacıyla görev yapar. Ana arı, işçi arılara kıyasla daha büyük bir vücuda sahiptir. Ortalama uzunluğu 2-3 cm arasında değişir ve vücut yapısı, yumurtlama fonksiyonuna hizmet edecek şekilde özelleşmiştir. Ana arı, geniş bir karın bölgesine ve büyük bir yumurtalık sistemine sahiptir. Yaşam süresi, genellikle 3 ila 5 yıl arasında değişir ve bu süre, işçi arıların ömründen çok daha uzun bir dönemdir (Michener, 2007). Ana arı, koloninin tek üreyen bireyi olup, yaşamı boyunca milyonlarca yumurta bırakabilir. Yumurta bırakma kapasitesi, koloninin büyüklüğüne ve sağlığına doğrudan etki eder. Ana arı, feromonlar üreterek koloninin düzenini sağlar ve diğer arılara koloninin sağlığı hakkında bilgi verir. Ayrıca, ana arının koloniye yöneten "yönetici" görevini üstlenir (Moritz, 2005). Ana arı, işçi arıları ve erkek arıları yönlendiren ve koloninin işlevini düzenleyen feromonlar salgılar. Bu kimyasal maddeler, işçi arıların görevlerini yerine getirmelerini sağlar ve koloninin dengesini korur (Free, 1993).

İşçi arılar, bal arısı kolonilerinin çoğunluğunu oluşturur ve koloninin günlük faaliyetlerini yerine getirirler. Bunlar dişi bireyler olup, üreme yeteneklerine sahip değildirler. Çeşitli görevler üstlenen işçi arılar, yaşamının belirli bir döneminde farklı işlevleri yerine getirir. İşçi arılar, koloni içindeki en fazla birey sayısına sahip olan gruptur ve görev dağılımı oldukça çeşitlidir. İşçi arıların yaşam ömürleri; yaz döneminde yaklaşık 35, kış döneminde ise yaklaşık 180 gündür. İşçi arı petek gözünden çıktıktan sonraki 0-3 günlük zaman diliminde kendini ve petek gözlerini temizler, 3-6 günlük zaman diliminde yaşlı larvaları nektar ve polenle besler, 6-12 günlük zaman diliminde arı sütü üretir ve genç larvaları besler, 12-18 günlük zaman diliminde bal mumu salgılar ve petek örür, 18-21 günlük zaman diliminde koloni içinde görev alır, 21+ günlük zaman diliminde tarlacılık (nektar toplama, polen toplama, su toplama) faaliyetini sürdürür ve sonrasında yaşamı sonlanır (Akkaya, 2002). İşçi arılar, koloninin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik rol oynar. Ayrıca, işçi arıların üretkenliği ve sağlık durumu, koloninin verimliliğini doğrudan etkiler. İşçi arıların, vücut yapıları ve sindirim sistemleri, belirli görevler yerine getirmek için özelleşmiştir. Örneğin, polen toplayan işçi arılar, özel polen torbaları (korküküler) kullanarak polen toplar, bu poleni yuva içindeki diğer arılara taşır ve larvalara besin olarak sunar. Nektar

toplayıcı işçi arılar ise, yutaklarındaki özel enzimlerle, nektarı bal haline getirir ve bunu peteğe depolar (Brodschneider and Crailsheim, 2010).

Erkek arılar, koloninin erkek bireyleridir ve tek başlarına üreme amacı taşırlar. Erkek arıların sayısı, ana arının yumurtlama stratejisine ve koloninin ihtiyaçlarına göre değişiklik gösterebilir. Erkek arılar, işçi arılardan daha büyük bir vücuda sahip olup, genellikle 1,5-2 cm uzunluğundadırlar. Erkek arılar, üreme dışındaki koloninin diğer işlevlerine katılmazlar. Yaşam süreleri çok kısadır; çoğunlukla çiftleşme dönemi sona erdiğinde ölürlür (Danforth et al., 2013). Erkek arıların (dronların) biyolojik işlevi, yalnızca ana arı (kraliçe) ile çiftleşmektir. Çiftleşme döneminde, erkek arılar belirli yüksekliklerde oluşturdukları "erkek arı toplanma bölgeleri"nde (drone congregation areas) bir araya gelir ve bu bölgelerde uçan çiftleşme yetisine sahip ana arılarla çiftleşmeye çalışırlar. Çiftleşme genellikle uçuş sırasında gerçekleşir ve başarılı bir kopulasyonun ardından erkek arının genital organı ana arı içinde koparak kalır; bu durum erkek arının kısa süre içinde ölümüne neden olur. Çiftleşme sonrası spermatheksine yeterli miktarda sperm transfer edilen ana arı, döllenmiş yumurtalar bırakarak koloninin işçi arı bireylerini üretmeye devam eder (Ruttner, 1988). Bal arıları, kolonilerinde etkin bir işbirliği içinde çalışır ve bu işbirliğini sağlamak için etkili iletişim mekanizmaları kullanırlar. İşçi arıları, polinasyon alanlarının yerini diğer arılara bildirmek için "yönsel dans" yaparlar. Bu dans, diğer işçi arılara nektarın yerini, mesafesini ve yönünü gösterir (Ulutaş ve Özkırım, 2018). Ayrıca, feromonlar koloninin sağlığı ve düzeni hakkında arılara bilgi iletir, böylece koloninin işleyişi düzenlenir ve görevler koordine edilir (Free, 1993).

1.5. Bal Arısı Metabolizması ve Beslenme Şekilleri

A. mellifera, oldukça özel ve verimli bir metabolizmaya sahip sosyal böceklerdir. Beslenme, bal arılarının enerji üretimi, üremesi, gelişimi ve kolonilerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bal arılarının metabolizması, besin alımı, işleme, enerji kullanımı ve atık yönetimi gibi temel süreçleri içerir. Bal arıları, enerji ve besin gereksinimlerini çeşitli kaynaklardan temin ederler. Ana enerji kaynağı olarak nektar, bal arılarının günlük enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Ayrıca polen, protein, yağ asitleri ve vitaminler açısından zengin bir besin kaynağıdır ve koloni üyelerinin gelişimi için önemlidir (Di Pasquale et al., 2013).

Nektar: Nektar, çiçeklerden toplanan, yüksek şeker içeriğine sahip bir sıvıdır. Bal arıları, bu şekerleri enerjiye dönüştürmek için kullanırlar. Nektar, genellikle sukroz, glukoz ve fruktozdan oluşur. Bal arıları bu şekerleri vücutlarında enerji üretmek için metabolize ederler. Nektarın ana bileşeni olan şekerler, bal arılarının vücutlarında hızlı bir şekilde enerjiye dönüştürülür ve koloni için gerekli olan enerji sağlanmış olur (Brodtschneider and Crailsheim, 2010).

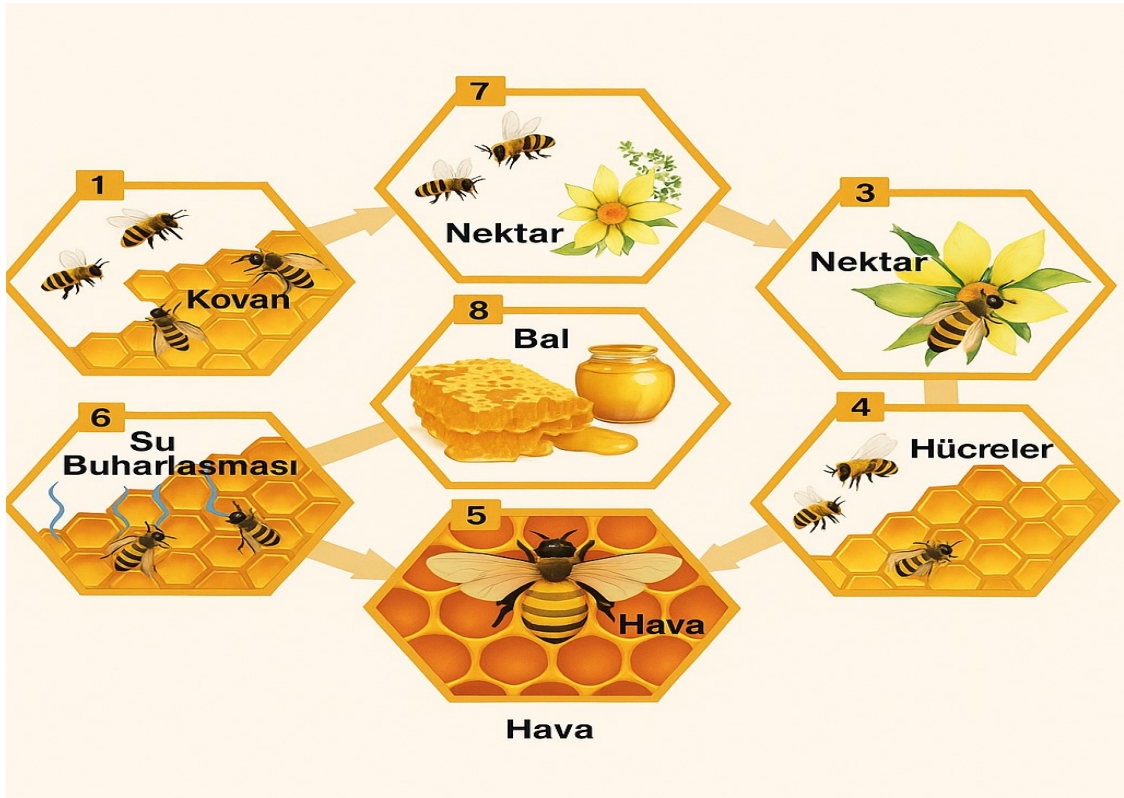
Polen: Polen, bal arılarının protein, yağ ve vitamin ihtiyaçlarını karşılayan bir başka önemli besin kaynağıdır. Polen, arıların larvalarının büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan amino asitleri sağlar. Ayrıca, işçi arıların kaslarını güçlendiren ve enerji üreten yağ asitlerini içerir (Till-Bottraud and Dafni, 1993). Polen, bal arısının gelişimi ve dayanıklılığı için kritik bir bileşendir. Bal arılarının metabolizması, temel olarak karbonhidratların ve yağların enerjiye dönüştürülmesi üzerine kuruludur. Nektar ve polen, karbonhidrat açısından zengindir ve bu şekerler, arıların kısa süreli enerji gereksinimlerini karşılamak için kullanılır. Polenin içinde bulunan proteinler ve yağlar, uzun süreli enerji sağlamak için önemli kaynaklardır.

Karbonhidrat Metabolizması: Nektar ve baldaki şekerler, bal arıları tarafından metabolize edilerek enerjiye dönüştürülür. Bal arılarının vücutlarında bu şekerler, glikozun ATP üretiminde kullanılması için glikoliz yoluyla işlenir. Bu süreç, arıların uçuş için gereken enerjiyi üretmelerini sağlar. Ayrıca, bal arıları, fazla enerjiyi depolamak için bu şekerleri vücutlarında glikojen formunda depolarlar (Kong et al., 2023).

Yağ Metabolizması: Bal arıları, metabolizmalarında yağı da kullanarak enerji üretirler. Yağ asitleri, uzun süreli enerji sağlamak için kullanılabilir. Özellikle soğuk kış aylarında, bal arıları yağ depolarını kullanarak hayatta kalırlar. Bu süreçte, yağlar, enerji üretiminin birincil kaynağı haline gelir (Jones et al., 2005).

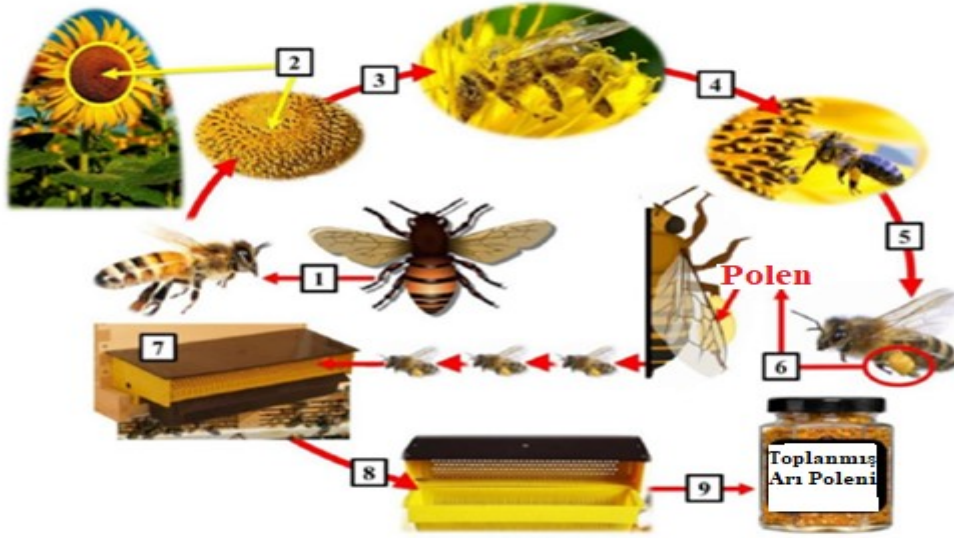
Protein Metabolizması: Polenden elde edilen protein, bal arılarının vücut dokularının yenilenmesi ve büyümesi için gereklidir. Bu proteinler, amino asitlere dönüşerek, hücre yapısını inşa etmek için kullanılır. Larvalar için yeterli protein sağlanması, koloninin sağlıklı bir şekilde büyümesini sağlar (Di Pasquale et al., 2013).

Nektar Toplama ve İşleme: Bal arıları, çiçeklerden nektar toplarken, özel boru şeklinde ağız parçaları (proboscis) kullanırlar. Nektar toplandıktan sonra, nektar arıların midelerinde bulunan enzimlerle işlenir. İşlem sırasında, nektarın içindeki sukroz, glikoz ve fruktoza dönüştürülür. Bu dönüşüm, bal oluşumunun ilk aşamasıdır (Brodschneider and Crailsheim 2010). Nektar toplama ve işleme, arıların enerji sağlama ve kolonilerine yiyecek temin etme yöntemi olarak kabul edilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Nektardan bala dönüşüm süreci (Anonim a)

Polen Toplama: İşçi arılar, polen toplarken, vücut tüyleri aracılığıyla polenleri çiçeklerden alır ve polen sepetlerin taşırlar (Şekil 1.5). Polen, işçi arıların kas yapısının gelişmesini sağlarken, aynı zamanda kolonideki yavruların gelişmesi için gereklidir (Simone-Finstrom et al., 2022).

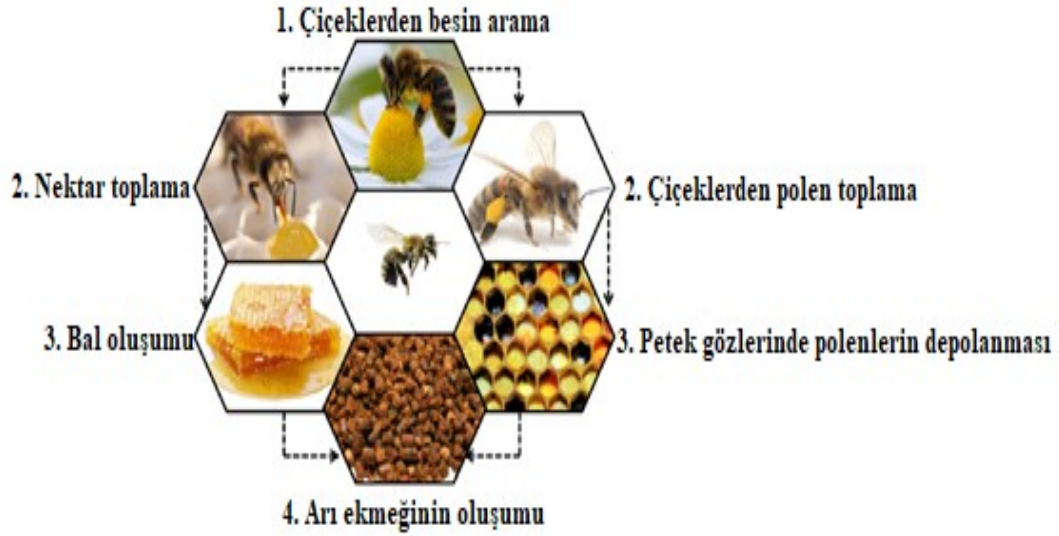


(1. Bal Arısı, 2. Çiçek poleni, 3. Polen ile kaplanmış bal arısı, 4. Bal arısının pelet haline getirdiği arı polenini taşıması, 5. Arı poleni peletini taşıyan bal arısı, 6. Arka bacaklarda taşınan arı poleni peleti, 7. Kovan girişindeki arı poleni tuzağı, 8. Arı poleni peletlerini toplamak için tuzak tepsisi, 9. Toplanmış arı polenleri)

Şekil 1.5. Arı polenin elde edilmesi (Thakur and Nanda 2020).

Polenin Arı Ekmeği (perga) Dönüştürülmesi: *A. mellifera*, yani bal arıları, kolonilerinin özellikle larva gelişimi ve genel koloni sağlığı için gerekli olan protein ihtiyacını karşılamak amacıyla çiçeklerden polen toplar ve bu polenleri enzimlerle zenginleştirip petek gözlerinde fermente ederek "arı ekmeği" (perga) adı verilen besin kaynağını üretirler. Arılar, kovana taşıdıkları polenleri arı ekmeğine dönüştürerek hem besin değerini artırmakta hem de bozulmasını önlemektedirler. Bu biyolojik dönüşüm, kovadaki sıcaklık, nem ve mikrobiyal ortam gibi faktörlerin polenin ömrünü kısaltması nedeniyle gereklidir. Arılar, poleni petek gözlerine yerleştirip üzerine kendi salgıladıkları enzimlerle birlikte bal ekleyerek laktik asit fermantasyonu başlatır. Bu süreç, hem zararlı mikroorganizmaların gelişimini engeller hem de polenin biyoyararlanımını artırır. Arılar tarafından kovana taşınan polen, petek gözlerine yerleştirildikten sonra üzeri bal ve enzimlerle kaplanarak laktik asit fermantasyonuna uğrar. Bu biyolojik süreç sonucunda ortaya çıkan arı ekmeği, polene kıyasla daha sindirilebilir olmakla birlikte besin içeriği açısından daha zengindir (Şekil 1.6). Protein, amino asitler, vitaminler ve mikrobiyal kararlılık bakımından üstün özellikler taşır (Herbert and Shimanuki, 1978; Roulston and

Cane, 2000). Arı ekmeği, larva gelişimi ve arıların bağışıklık sisteminin desteklenmesi açısından hayati öneme sahiptir ve arıcılıkta doğal bir besin katkısı olarak değerlendirilir.



Şekil 1.6. Arı ekmeğinin oluşturulması (Bakour et al., 2022).

Bal Üretimi: Toplanan nektar, kovan içindeki diğer işçi arılar tarafından işlenir ve bal haline getirilir. Bu işlem sırasında, arılar nektarın su içeriğini azaltarak daha konsantre bir hale getirirler. Ardında, bu sıvı bal peteğine depolanır ve kurur (Brodschneider and Crailsheim, 2010). Bal arılarının beslenme alışkanlıkları, koloninin sağlığını doğrudan etkiler.

1.6. Bal Arısı Beslenmesinde Arı Polenin Önemi

A. mellifera beslenmesinde polen, koloninin sağlığı ve verimliliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Polen, arılar için temel protein kaynağı olup, aynı zamanda vitaminler, mineraller, esansiyel amino asitler ve diğer mikronutrientleri de içerir. Arılar, bu besin öğelerini larvaların gelişimi, koloninin genel büyümesi ve savunma mekanizmalarının güçlendirilmesi için kullanırlar. Polen, arıların protein ihtiyacını karşılayan en önemli kaynaktır. Arılar, polenleri topladıktan sonra vücutlarında sindirir ve sindirim sonrası proteinler, larvaların gelişimi için temel yapı taşları olan amino asitlere dönüştürülür.

Polen, arıların bağışıklık sistemi fonksiyonlarını destekleyen vitaminler (örneğin, B grubu vitaminleri) ve mineraller (örneğin, kalsiyum, magnezyum, demir) açısından da zengindir.

Polen, aynı zamanda arıların gelişim süreçlerinde kritik olan esansiyel yağ asitlerini de içerir, bu da bal arısının metabolizmasında enerji üretimi ve hücresel onarım için gerekli bileşenleri sağlar (Alaux et al., 2010). Polenin önemi, sadece arıların bireysel sağlığı için değil, aynı zamanda koloni sağlığı ve verimliliği için de büyüktür. Kolonideki işçi arılar, larvaları beslerken, polenle zenginleştirilmiş bir karışım olan "royal jelly" (kraliçe jeli-arı sütü) üretirler. Bu jel, özellikle kraliçe arının üreme kapasitesini artırır ve larvaların sağlıklı bir şekilde gelişmesini sağlar (Gregorc and Šiško, 2007). Yetersiz polen alımı, kolonideki işçi arıların sayısının azalmasına ve kraliçenin üreme verimliliğinin düşmesine yol açabilir, bu durum koloninin sürdürülebilirliğini tehdit eder. Aynı şekilde, polenin azlığı, işçi arıların bağışıklık sistemini zayıflatabilir, yine bu durumda koloninin hastalıklara ve parazitlere karşı daha hassas hale gelmesine neden olabilir (Alaux et al., 2010). Yetersiz beslenme, özellikle protein ve polen eksiklikleri, larvaların ve işçi arıların gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Beslenme eksiklikleri, koloninin büyümesini engelleyebilir ve arıların bağışıklık sistemini zayıflatabilir. Örneğin, polen eksikliği, bal arılarının bağışıklık yanıtlarını zayıflatabilir ve hastalıklara karşı daha duyarlı hale gelmelerine yol açabilir (Ulutaş ve Özkırım, 2018). Polen, bal arılarının bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Arılar, polende bulunan mikrobeyinleri kullanarak bağışıklık sistemlerini destekler ve patojenlere karşı direnç kazanırlar. Polenin içerdiği besin öğeleri, arıların antimikrobiyal savunma mekanizmalarını güçlendirir. Yapılan araştırmalar, polenin eksikliğinin arıların bağışıklık sistemini zayıflattığını ve bu durumun koloni hastalıklarının yayılmasına neden olabileceğini ortaya koymuştur (Goulson et al., 2015).

Arıların polenle beslenmesi, özellikle bağışıklık sisteminin temel bileşenlerinden olan hemolenfteki savunma hücrelerinin etkinliğini artırır ve koloni içindeki patojen yükünü kontrol altında tutar. Polen toplama, bal arılarının günlük beslenme alışkanlıklarının temel bir parçasıdır. Arılar, polen toplarken çiçekler arasında gezerek hem besin ihtiyaçlarını karşılar hem de ekosistem için önemli bir polinasyon işlevi görür. Ancak, ekosistemlerdeki değişiklikler, tarımsal uygulamalar ve habitat kaybı, polen kaynaklarını tehdit edebilir. Pestisitler, özellikle arıların polen toplama becerilerini olumsuz yönde etkileyebilir ve

polenin kalite ve miktarını azaltabilir (Gill et al., 2012). Bu durum, bal arılarının beslenme eksiklikleri yaşamasına ve dolayısıyla koloni sağlığının bozulmasına yol açar. Ayrıca, tek tip tarım alanlarının yaygınlaşması, arıların polen çeşitliliğinden yoksun kalmalarına neden olabilir. Çeşitli bitkilerden polen toplanması, arıların genetik çeşitliliğini ve bağışıklık sistemini güçlendirirken, tek tip polen kaynakları, koloniyi sağlık açısından daha savunmasız hale getirebilir. Polen çeşitliliği, arıların farklı amino asitleri, vitaminleri ve mineralleri almasını sağlayarak koloninin sağlıklı bir şekilde gelişmesini destekler (Fairbrother et al., 2014).

Polenin yetersizliği, bal arısı kolonilerinin sağlığını ciddi şekilde etkileyebilir. Yetersiz polen alımı, özellikle kış aylarında, işçi arıların hayatta kalma oranlarını düşürebilir ve bu durum koloninin kıştan çıkma kapasitesini azaltabilir. Çalışmalar, polenin eksikliğinin koloni büyüklüğünü ve işçi arı üretimini azalttığını göstermektedir. Bunun sonucunda, koloniler daha az sayıda işçi arı ile faaliyet gösterebilir ve bu da polinasyon hizmetlerinin ve bal üretiminin verimliliğini olumsuz etkiler (Brodschneider and Crailsheim, 2010). Ayrıca, polen eksikliği, işçi arıların yeterli protein ve mikronutrientlere sahip olmamalarından dolayı bağışıklık sistemlerinin zayıflamasına yol açar, bu da koloniyi çeşitli patojenlere ve zararlılara karşı daha savunmasız hale getirir. Özellikle, Nosema gibi mikroparazitler, polen eksikliği ile daha yaygın hale gelebilir, bu da koloni ölümlerine neden olabilir (Pettis et al., 2013).

Polenin kalitesi, arıların sağlığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Farklı bitkilerden elde edilen polenlerin besin içerikleri değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, polenin kalitesi, arıların genel sağlık durumu ve koloninin büyüklüğü üzerinde önemli bir rol oynar. Polen çeşitliliği, arıların farklı esansiyel amino asitler, yağ asitleri ve vitaminler almasını sağlar, bu da bağışıklık sistemlerinin güçlenmesine ve koloninin daha sağlıklı bir şekilde gelişmesine katkıda bulunur (Fairbrother et al., 2014). Polen kaynaklarının çeşitliliği, arıların yalnızca biyolojik çeşitlilik açısından değil, aynı zamanda genetik çeşitlilik açısından da fayda sağlamasına olanak tanır. Polenin çeşitliliği, koloninin daha dayanıklı olmasına yardımcı olabilir çünkü belirli bitkilerin polenleri, belirli hastalıklar ve zararlılarla başa çıkabilme kapasitesini artırabilir. Bu bağlamda, polen çeşitliliği, arıların beslenme ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra, kolonilerin patojenlere karşı daha dirençli hale gelmesine yardımcı olabilir (Goulson et al., 2015). Polen, sadece besin

kaynağı olarak değil, aynı zamanda arıların çevrelerini algılama ve etkileşimde bulunma şekilleri üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir.

Arılar, polenleri toplamak için çeşitli duyuşsal algılarını kullanır. Örneğin, arılar, polenin kokusunu, rengini ve dokusunu algılayarak uygun bitkileri hedef alırlar. Bu duyuşsal algılar, arıların beslenme tercihlerini yönlendirirken aynı zamanda ekosistemdeki polinasyon sürecinin etkinliğini artırır (Guzman-Novoa, 2011). Ayrıca, arıların topladıkları polen, koloninin diğer üyeleriyle iletişimini sağlamak için kullanılır. Arılar, polenleri taşıdıklarında, diğer işçi arılara hangi çiçekten geldiğine dair bilgi verir ve bu da koloninin polen kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmasına olanak tanır. Bu tür duyuşsal ve sosyal etkileşimler, koloninin organizasyonunu ve işbirliğini güçlendirir. Bal arıları, polen toplama davranışları sırasında genetik olarak belirli polenleri tercih etme eğilimindedir.

Çeşitli polen türlerinin kimyasal olarak farklı içeriklere sahip olduğu bilindiğinden, arılar bu içerik farklılıklarını sezgisel olarak belirleyebilir ve genetik olarak uygun olan polenleri tercih edebilirler. Arıların biyolojik çeşitliliğini ve sağlığını sürdürebilmeleri için evrimsel bir adaptasyon olabilir. Arılar, daha sağlıklı ve güçlü koloniler oluşturmak için, çevrelerinden aldıkları besinleri seçici bir şekilde alabilirler (Dainat et al., 2012). Polenin biyolojik ve kimyasal çeşitliliğinin arı kolonilerinin sağlığı üzerinde doğrudan etkili olduğunu gösterir. Çalışmalar, arıların seçici beslenme davranışlarının, kolonilerinin genel genetik sağlığını artırmaya yardımcı olduğunu göstermektedir. Bu tür seçici beslenme, polen çeşitliliği üzerinden arıların bağışıklık sistemlerini güçlendirerek, kolonilerin daha dirençli hale gelmesini sağlayabilir. Özellikle, polenin içerdği spesifik besin öğelerinin, arıların genetik çeşitliliği ve biyolojik özelliklerine uygun olarak farklılık göstermesi, koloninin sağlıklı bir şekilde gelişmesini sağlayabilir (Tautz, 2008).

Dünya’ da nüfus artışı ve sanayileşme sonucu meydana gelen küresel iklim değişikliği, tabiatı var olan canlı türlerini etkilemekte olup, bu etkilenmeden çiçekli bitkilerin polinasyonunda etkili olan ve karşılıklı fayda sağlayan bal arılarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Küresel iklim değişikliğinin sıcaklık ve nemde meydana getirdiği geniş dalgalanmalar, mevsim dışı düzensiz ve aşırı yağışlara, bazı bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına, bitkilerin yetiştirme süresine, çiçeklenme hızına ve polen üretmesine, nektar salgılama faaliyetlerinin değişimine neden olmaktadır (Winston 1987; Thuiller et al. 2005).

Arıcılık faaliyetlerinde; arı kolonisinden kaliteli ve yüksek miktarda ürün alabilmesi, ilkbahar döneminde popülasyonun artırılabilmesi, bölmelerin oluşturulabilmesi, sağıım sonrası kışa genç işçi arı popülasyonu ile girilebilmesi, kışlamadan yeterli bir popülasyonla çıkılabilmesi için arının bal ve arı polen ile beslenmesi veya polen destekli ürünlerle beslenmesi gerekmektedir. Bal arısı kolonisinde yaşayan bireylerin sağlığı, gelişimi ve koloninin devamlılığı kovan içerisinde stoklanmış halde bulunan ve tarlacı arıların getirdiği nektar, arı poleni ve su gibi maddelere bağlıdır.

Mevcut floranın yetersiz kaldığı dönemlerde veya arıların doğadan yeterince beslenememesi durumunda karbonhidrat kaynağı olarak bal yerine sakkaroz şurubu tercih edilebilirken, protein kaynağı olarak arı polenine benzer bir ürün bulunmamaktadır (Huang, 2012; Shumkova et al., 2017). Ayrıca iklim değişimlerinin etkisi bitki florasının etkilenmesine sebep olmakta ve arıların gelişimi için koloniler ya farklı alanlara taşınmakta veya ek besleme ile çözülebilmektedir (Mata, 2018). Ülkemizde hayvan yemleri kapsamında, bal arısı kolonilerinin beslenmesinde kullanılan arı keklerinin hijyenik ve uygun koşullarda üretilmesi için, “Bal Arısı Keki Standardı” 1996 yılında hazırlanmış ve bu standart, TS 12064 numarası ile aynı yıl Türk Standartları Enstitüsü tarafından kabul edilmiş ve yayınlanmıştır (TS 12064, 1996). Hazırlanan TS 12064 numaralı standart incelendiğinde arı kekleri zayıf kolonilerinin beslenmesinde, hamur kıvamında ve kendine özgü koku ve tada sahip olan, ham madde olarak bal, polen, pudra şekeri, soya unu(yağsız), süt tozu(yağsız), kuru bira mayası, vitamin (A, B kompleksi, C, E ve K3) ve mineral (K, Ca, Mg, P) maddelerden oluşan ve “Sade, Polenli, Proteinli, Vitaminli ve Kompoze” olarak 5 grupta toplandığı bilinmektedir.

Bununla birlikte, koloninin besin maddesi yetersizliğinden doğacak olumsuzluklardan etkilenmemesi için, doğadan faydalanamadığı dönemlerde farklı yöntem ve ham maddelerle hazırlanmış ekonomik arı şurubu ve kekler gibi alternatif kaynaklardan arı kolonisinin besleme çalışmaları önem arz etmektedir.

Bal arısı kolonisinde protein, ana arının yumurtlamasını teşvik ederek yavrulu alanın artmasını ve larvaların gelişimi üzerine rol oynamaktadır. Protein yetersizliğinde koloninin kuluçka gelişimi, bağışıklık sistemi olumsuz yönde etkilenmekte, örneğin ana arı yumurtlamayı kesmekte ve kanibalizm (yavru yeme) davranışı görülmektedir.

Rapor edilen çalışmalarda bal arısı kolonilerinin polen ve nektarın kısıtlı olduğu zamanlarda veya aşırı iklim koşullarının yol açacağı olumsuz sonuçlar nedeniyle. kolonilerin uygun alternatif besinlerle beslenmemesi durumunda ana arının yumurtlama etkinliğinde ve erkek arıların üreme etkinliğinde azalmalar, kolonideki işçi arılarda ise yaşam süresinde kısalma ve toplu bağışıklığın düşmesiyle hastalıklara karşı direncin azalması bunların sonucunda ise kolonide zayıflama, ürün verimliliğinde azalma ve hatta koloni sönmesine sebep olduğu görülmektedir (Kösoğlu, 2019). Bu olumsuz durumların yaşanmasını engellemek için bal arılarının isteklerini karşılayacak şekilde alternatif besinlerin araştırılması önem arz etmektedir. Sonuç olarak arı beslemesi arı sağlığı, koloni popülasyonunun gelişimi ve buna bağlı olarak arı ürünlerinin nitelik ve niceliğinde önemli bir parametre olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda tez kapsamında; bal arısının beslenmesinde doğal protein kaynağı olarak kullandığı arı poleninin ultrasonik destekli su-bazlı elde edilen ekstraktlarının, farklı oranlarda sakkaroz şuruplarına homojen çözülüp elde edilen şurup-ekstrakt karışımlarının arılara yedirilerek *in vitro* koşullarında işçi arıların gelişimi incelenmiş, ilkbahar döneminde *in vitro* koşullarında en başarılı sonuçların elde edildiği ekstrakt miktarı *in vivo* olarak arı kolonilerine uygulanarak olarak kolonilerin gelişimine etkisi, performans ölçümleri ile belirlenerek polen ekstraktlarının bal arısı gelişimine etkisi araştırılmıştır.

İlgili tez çalışması aynı zamanda destek alınan YÖK 100/2000 (Zootečni ve Hayvan Besleme Tematik Alanı) alanı ve Bingöl Üniversitesinin Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşması Programı “Arı ve Arı Ürünleri” destek teması altında yer alan “Alternatif Arı Besleme Ürünlerinin Geliştirilmesine Yönelik Ar-Ge Çalışmaları” çalışma başlığıyla uyumludur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bal arılarında (*A. mellifera*) beslenmesinde kullanılan alternatif protein kaynaklarının koloni gelişimi ve performansına etkileri üzerine birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Bu çalışmalar, doğal polen kaynağının yeterli olmadığı veya temin edilemediği durumlarda, alternatif besleme stratejilerinin koloni sağlığı ve verimliliği açısından önemini ortaya koymaktadır.

Schmidt et al. (1995) rapor ettiği çalışmada, polen orijini ve içerik bileşiminin, bal arılarının protein ihtiyacını karşılamada kritik rol oynadığı vurgulanmıştır. Çalışmada kolza, susam ve ayçiçeği polenlerinin koloni beslenmesinde kullanılması sonucunda, kontrol grubuna (sadece şekerle beslenen) kıyasla işçi arıların yaşam süresinin sırasıyla 2,5 kat, 1,7 kat ve 1,6 kat arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tek kaynaklı polen ile beslemenin yetersiz protein alımı nedeniyle yetersiz beslenmeye neden olabileceği bildirilmiştir.

Şahinler ve Kaya (2001), kek+şeker şurubu, yalnızca şeker şurubu, yalnızca kek ve kontrol (besleme ürünü verilmemiş) gruplarını karşılaştırdıkları çalışmalarında; kek+şeker şurubu ile beslenen kolonilerin yavrulu alan miktarı, koloni ağırlığı ve arılı çerçeve sayısının diğer gruplara kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sonuç, kombine besleme stratejilerinin koloni performansı üzerinde olumlu etkisini göstermektedir.

Şahinler ve Kaya (2001), Irandoust and Ebadi (2013), Mirjanić et al. (2013), Gameda (2014) ve El-Wahab et al. (2016) gibi farklı araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalar, doğal polen takviyesinin mümkün olmadığı koşullarda, koloni gelişimi, kışlama başarısı, dayanıklılık ve bal üretiminin sürdürülebilirliği açısından alternatif protein kaynaklarının kullanımının elzem olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, mercimek unu, soya unu, bezelye unu, ekmek mayası, bira mayası, buğday glütenu, yağsız süt tozu ve balık unu gibi

bitkisel ve hayvansal kökenli protein kaynaklarının arı beslenmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Mattila and Otis (2006) rapor ettikleri çalışmada, polen arzı yönünden farklı koşullara sahip koloniler üzerinde yaptıkları çalışmada; yeterli polen kaynağına sahip kolonilerde işçi arıların yaşam süresinin daha uzun ve protein profillerinin daha zengin olduğunu belirlemişlerdir. Bu bulgu, polen kaynaklarının arı fizyolojisi ve koloni dayanıklılığı üzerindeki kritik rolünü desteklemektedir.

Huang (2012) rapor ettiği çalışmada, polifloral polen ile yapılan beslemenin, bal arılarında bağışıklık sistemiyle ilişkili enzimatik aktiviteleri artırdığı ve stres faktörlerine karşı direnci yükselttiği gösterilmiştir. Ayrıca, *Nosema ceranae* enfeksiyonu ve ektoparazitik akar *Varroa destructor* gibi önemli patojen ve parazitlere karşı koloni direncinin, kaliteli ve yeterli polen alımıyla güçlendiği tespit edilmiştir.

Farjan et al. (2012) rapor ettikleri çalışmada; Polonya’da yumurtadan yeni çıkmış larvalardan yetişkin işçi arılara kadar bal arısı gelişiminin on iki aşaması incelenmiş ve ilk kez kuluçka gelişimi sırasında antioksidan profilindeki değişiklikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bal arısı diyetine C vitamini (askorbik asit) takviyesinin toplam antioksidan durumu (TAS), glutatyon içeriği ve 4 antioksidan enzimin aktivitesi üzerine etkisi: süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT) ve ilkbaharda gelişen bal arısı kuluçkalarının glutatyon transferazı (GST) ölçülmüştür. Sonuç olarak arıların petek gözünden çıkıştan sonra oksidatif strese daha fazla maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Diyetlere C vitamini takviyesi sonrası kolonilerde ortaya çıkan işçilerde daha yüksek protein ve glutatyon içeriği ve daha yüksek peroksidaz, katalaz ve glutatyon transferaz aktiviteleri gözlenmiştir. C vitaminin kuluçka ağırlığı artışı değiştirmediği ve ortaya çıkan işçilerde protein seviyesi kontrol grubundan daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Kış boyunca arı kayıplarının ortalaması, C vitamini alan kolonilerde kontrol grubuna göre yaklaşık %33 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Gemada (2014) rapor ettiği çalışmada; Etiyopya’da bezelye unu ve şeker şurubu ile koloniler besleme yapılmıştır. Sonuç olarak bezelye unu ile beslenen kolonilerin yavrulu alan ve ergin işçi arı sayısı şeker şurubu ile beslenen kolonilere kıyasla önemli fark

bulunmuştur. Bununla birlikte bezelye unu ile beslenen kolonilerinin bal verimi şeker şurubu ile beslenen kolonilerden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bezelye ununun bal arısı beslenmesinde tüketiminin doğadan polen arzı artıkça azalmış ve polen yeterli seviyeye geldiğinde tamamen durduğunu ifade etmiştir.

Radev et al. (2014) ve Frias et al. (2016), rapor ettikleri çalışmada; bal arılarının bir sezon boyunca topladıkları polenlerin protein içeriğinin %13,88-%25,02 arasında değiştiği bildirilmiştir. İlkbaharda toplanan polenlerin içeriği ortalama %24,35 ve bal arılarında yüksek bir üreme ve gelişme düzeyinin devam ettiğini, ancak sonbaharda toplanan polenlerin protein içeriği ortalama %15,57 olduğu ve bal arısı kolonisinin gelişiminin yavaşladığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak kolonilerde arı polenin protein değeri ile arı kolonilerinin gelişimi ve sağlığı arasında önemli düzeyde ilişki bulunduğunu tespit edilmişlerdir.

Jack et al. (2015) rapor ettikleri çalışmada, polen ile beslenen bal arısı kolonisinde *Nosema* sp. hastalığı görülmesine rağmen kış kaybının gerçekleşmediği bildirilmiştir. *Nosema* sp. yetişkin arılarda oldukça yaygın bulunmakta ve kışlama performansını etkilemediğini belirtmişlerdir. Özellikle protein yetersizliği *Nosema* spp. hastalığının düzeyinin artmasının en önemli sebebi olduğunu tespit etmişlerdir.

DeGrandi-Hoffman and Chen (2015) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı beslenmesinde kullanılan proteinli arı kekleriyle besleme yapılan bal arısı kolonisinde virüs düzeylerinin hiç beslenme yapılmayan kolonilere göre daha düşük düzeyde olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, koloninin beslenmesinde kullanılan arı keklerindeki proteinlerin bağışıklık sisteminde aktif rol oynadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, arıların hemolenfinde bulunan ve arıların patojenlere karşı geliştirdikleri antimikrobiyal peptitlerin, proteince zengin beslenmeyle ilişkili olarak ortaya çıktığını tespit etmişlerdir.

Oskay ve Oskay (2017) rapor ettikleri çalışmada, bal arıların beslenmesinde kullanılan ikame yemlerin içeriğinin ve kullanılan hammaddelerin bal arılarında olumsuzluklar yaratmamasına dikkat edilmesi gerekli olduğu ifade etmişlerdir. Bal arısı beslenmesinde kullanılan keklerin protein kaynaklarının bitkisel kökenli olmasına, bal ve polen kullanılıyorsa sterilize edilmesine, nişasta içermemesine, kek yapımında kullanılan şekerin

mısır nişastasından elde edilen şuruplardan üretilmemesine dikkat edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Bal arılarında beslenmesinde Ar-Ge çalışmalarıyla ikame yemlerin besin içeriklerinin arıların isteklerini karşılaması doğrultusunda arttırılmasına devam edilmesini bildirmişlerdir.

Kösoğlu ve ark. (2019) rapor ettiği çalışmada, bal arılarının kışlama öncesi dönemde farklı besleme yöntemlerine verdikleri tepkiler araştırılmıştır. Araştırma, tesadüf parselleri deneme desenine göre düzenlenmiş olup, her biri altı koloni içeren dört farklı besleme grubundan (karışık bahar poleni, ticari arı keki, bal ve şeker şurubu) oluşan toplam 24 koloni kullanılmıştır. Kolonilerde arılı çerçeve sayısı, yavrulu alan miktarı, polen depolama kapasitesi, kışlama yeteneği ve *Nosema* sp. enfeksiyon düzeyleri değerlendirilmiştir. Bulgular, polenle beslenen grupların arılı çerçeve sayısı, yavrulu alan ve polen depolama bakımından istatistiksel olarak anlamlı üstünlük sağladığını ($p<0,05$) ortaya koymuştur. Kışlama yeteneği bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. *Nosema* sp. yükü bakımından ise en yüksek düzey, ticari arı keki ile beslenen grupta gözlenmiştir. Çalışma, polenin bal arısı beslenmesinde vazgeçilmez bir kaynak olduğunu ve doğal polen kaynaklarının yetersiz olduğu dönemlerde ek polen beslemesinin koloni gelişimi ve sağlığı üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur.

Ricigliano and Anderson (2020) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarında diyet, bağırsak mikrobiyotası ve konak fizyolojisi arasındaki etkileşimleri inceleyerek, bu üçlü eksenindeki mekanizmaları aydınlatmayı amaçlamışlardır. Bal arısı, basit ve iyi tanımlanmış bir bağırsak mikrobiyotasına sahip olması ve bu mikrobiyotanın nektar ve polen fermentasyonu yoluyla organik asitler üretmesi nedeniyle model organizma olarak kullanılmıştır. Çalışmada, polen kısıtlaması ve organik asit takviyesi kullanılarak, sindirilmemiş polenin mikrobiyota gelişimi üzerindeki etkisi ve bakteri fermentasyon ürünlerinin arıların enteroendokrin (bağırsak hormon) sinyalleme üzerindeki rolü araştırılmıştır. Polen kısıtlaması, özellikle anterior rektum bölgesinde toplam ve spesifik bakteriyel 16S rRNA bolluğunu azaltırken, ileumda bu etki görülmemiştir. Ayrıca, fermentatif enzim genlerinin (asetat kinaz, laktat dehidrogenaz ve hidroksibutiril-CoA dehidrogenaz) ekspresyonu da azalmıştır. Polen kısıtlanan arılara, beş farklı organik asidin (asetat, laktat, bütirat, format ve süksinat) sodyum tuzları eşit oranlarda verilmiştir. Bu takviye, arıların hindgut (arka bağırsak) bölgesindeki enteroendokrin gen ekspresyonlarını

belirgin şekilde etkilemiş ve polen kısıtlamasının bazı olumsuz etkilerini dengelemiştir. Özellikle enerji metabolizması ve beslenme davranışlarıyla ilişkili olan nöropeptid F ve allatostatin sinyal yollarında dokuya özgü değişiklikler gözlenmiştir. Bu çalışma, bal arılarında diyetle şekillenen mikrobiyota ve konak fizyolojisi arasındaki karmaşık ilişkilere ışık tutmakta ve diyet tabanlı mikrobiyota düzenlemelerinin arı sağlığı üzerindeki potansiyel faydalarını ortaya koymaktadır.

Ricigliano et al. (2020) rapor ettikleri çalışmada, *A. mellifera*'da yapay polen ikame diyetlerinin moleküler etkilerini anlamaya yönelik gerçekleştirdikleri çalışmada, arıların yağ dokusundaki proteomik tepkiler incelemiştir. Araştırmada, doğal polen, ticari bitkisel bazlı bir diyet (Ultra Bee), iki farklı siyanobakteri (*Spirulina/Arthrospira platensis*) diyeti (kuru ve taze), ve proteinsiz kontrol diyeti karşılaştırılmıştır. Protein içeren diyetlerle beslenen arılarda, aminoasit, karbonhidrat ve lipid metabolizmasıyla ilişkili süreçlerde yukarı yönlü regülasyon gözlemlenmiştir. Bitkisel ve siyanobakteri katkılı diyetler, benzer besinsel emilim ve proteom ekspresyon örüntüleri sergilemiş, bu da benzer metabolik etkiler gösterdiklerini ortaya koymuştur. Ayrıca, tüm proteinli diyetler, vitellogenin gibi depo lipoproteinleri ve süperoksit dismutaz, katalaz, glutathione S-transferaz 1 ve HSP90 gibi stresle ilişkili protein düzeylerinde artış sağlamıştır. Bu bulgular, yapay diyetlerin doğal polenin proteomik etkilerini taklit edebildiğini ve arıların beslenme durumu ile stres direncini artırabildiğini göstermektedir. Çalışma, özellikle sürdürülebilir ve besleyici bir alternatif olan siyanobakteriyel biyokütlenin, arı sağlığını desteklemede potansiyel taşıdığını vurgulamaktadır.

Quinlan et al. (2021) rapor ettiği çalışmada, bal arılarının topladığı polenin protein içeriğinde zaman içinde meydana gelen değişimleri ve arıların çiçek tercihlerini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Araştırma, 2015–2017 yılları arasında Michigan'daki 12 arılıkta yürütülmüş ve aynı dönemde çevredeki çiçekli habitatlarda (doğal alanlar ve koruma programı arazileri) bitki örtüsü gözlemlenmiştir. Bu veriler, literatürdeki bitki poleni protein içerikleriyle birlikte kullanılarak, arıların yüksek miktarda bulunan bitkilerden mi yoksa daha yüksek proteinli bitkilerden mi polen topladığı değerlendirilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde, her yıl Temmuz'dan Eylül'e doğru polen protein içeriğinin azaldığını ve yıllar arasında da farklılıklar olduğunu göstermiştir. Mekânsal olarak ise polen protein içeriği büyük ölçüde tutarlı bulunmuş, genel arazi kullanım kategorileri ile bir ilişki tespit

edilmemiştir. Bu durum, farklı arazi tiplerinde bulunan çiçekli habitatların arıların beslenmesine destek sağladığını ve bu nedenle arazi kullanımının etkisinin maskeleyeceğini düşündürmektedir. Erken Temmuz ve Eylül başında arılar, daha yaygın olarak bulunan bitkilerden polen toplarken, Temmuz sonu ve Ağustos boyunca yüksek proteinli bitkilere yönelmişlerdir. Bu da, sezon boyunca koloni ihtiyaçları ve mevcut bitki topluluklarına bağlı olarak polen toplayıcılarının kararlarını etkileyen faktörlerin değiştiğini göstermektedir. Bu bulgular, bal arılarının beslenme davranışlarını daha iyi anlamak ve arı beslenmesini destekleyen habitat iyileştirme çalışmalarına yön vermek açısından önemlidir.

Oskay (2021) rapor ettiği çalışmada, iklim değişikliği, hastalıklar ve tarımsal kimyasallar nedeniyle bal arılarının doğal kaynaklardan yeterli ve temiz nektar ile polen temin edememesi sonucu arıcılıkta kullanılan bal ve polen ikamelerinin etkinliği laboratuvar koşullarında değerlendirmiştir. Çalışmada, arıların tüketim miktarı, canlı vücut ağırlıkları ve yaşam süreleri ölçülerek, “doğala yakın” diyet kontrol grubu olmak üzere, %0,4 ila %10 protein içeren katı diyetler, enzimatik olarak hazırlanan sıvı diyetler, kafein eklenmiş enzimatik sıvılar ve renklendirilmiş enzimatik olmayan sıvı diyetler test edilmiştir. Sonuçlara göre, düşük proteinli (%0,4) katı diyetler arılar tarafından daha az tüketilirken, bu grupta ortalama canlı ağırlık ve yaşam süresi önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Yüksek proteinli (%10) katı diyet ile beslenen arılarda ortalama yaşam süresi 28 güne kadar çıkarken, düşük proteinli diyetle bu süre 15 gün civarında kalmıştır. Enzimatik olarak hazırlanan sıvı diyetler genel olarak iyi kabul görmüş, kafein eklenen sıvı diyetle beslenen arılar daha fazla aktivite göstermiş ancak yaşam süresi açısından yalnızca enzimatik sıvı ile beslenen gruba göre anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu bulgular, protein içeriği ve besin hazırlama yöntemlerinin bal arılarının sağlığı ve koloninin sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Ricigliano et al. (2021) rapor ettikleri çalışmada, bal arısında *varroa* akarına dayanıklı iki arı genotipinde 144 arı kolonisinde, polen, şeker şurubu ve mavi-yeşil alg ile besleme yapılmış, bal arılarında şeker alımı, vücut ağırlığı, yağ vücut lipid içeriği incelenmiştir. Mavi-yeşil alg tüketimi polenin yaklaşık yarısı kadar olmasına rağmen daha yüksek kafa ağırlıklarına, eşdeğer toraks ağırlıklarına ve marjinal olarak azaltılmış vücut lipidlerine sahip oldukları tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, bal arılarında genotipe bağlı beslenme

tepkilerinin mevcut olduğunu ve değişen küresel iklimde beslenme ve sağlığa yönelik olarak mavi-yeşil alglerin kullanılabileceği ifade etmişlerdir.

Khan et al. (2021) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarının yaz ve kış mevsimlerinde mikrobesein tercihleri incelenmiştir. Ayrıca, farklı bal arısı kolonilerinde mikrobeseinlerin yiyecek arama davranışı ve kuluçka artışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, bal arılarının yaz ve kış mevsimlerinde saf suya kıyasla tuz çözeltisini daha güçlü bir şekilde tercih ettiğini ifade etmişlerdir. Ancak mevsimler arasında tuz tercihinde dikkate değer bir değişiklik olduğunu, genel olarak bal arılarının yaz mevsiminde diğer minerallere kıyasla sodyum tüketiminden sonra önemli ölçüde daha fazla yiyecek arama aktivitesi, daha fazla polen toplama ve artan kuluçka alanı gösterdiği tespit etmişlerdir.

Al-Ghamdi et al. (2021) rapor ettikleri çalışmada, Mısır'da bal arısı parazitlerini (örneğin *Varroa* akarları) kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan nane, tarçın ve papatya bitkilerinin şeker şurubuna ilavesinin arı kolonilerinin gelişimi ve sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arı kolonileri bu besleme türleri ile haftalık olarak beslenmiş daha sonra bazı parametreler değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, beslemede kullanılan bitki türlerinin arı kolonilerine uygulanabilir olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte tarçının kullanıldığı besleme grubunda bal mumu üretimi fazla olurken, *Varroa* akarı ile en düşük seviyede istilaya uğradığını ve *Varroa* kontrolünde tarçının özel bir rolü olduğunu tespit etmişlerdir. Ek olarak koloni gelişiminin, papatyanın kullanıldığı besleme grubuna kıyasla diğer besleme gruplarına göre anlamlı derecede daha iyi olduğunu, nanenin kullanıldığı beslenme grubunda ise çoğu parametrede kontrol grubuna kıyasla farklılık göstermediğini ifade etmişlerdir. Tüm besleme ürünlerinin, morfolojik özellikler ve arıların hayatta kalma sonuçlarına göre arılara güvenli olduğunu tespit etmişlerdir.

Bay ve ark. (2021) rapor ettikleri çalışmada, arı ürünlerinin son yıllarda besin, diyet takviyesi ve yardımcı ürünler olarak artan popülaritesine dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada, farklı bölgelerden toplanan bal arısı polenlerinin palinolojik tanımlaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda, bal arısı polenlerinin kuru madde içeriğinin %71,47-81,38, protein oranının %17,5-26,0, yağ içeriğinin %5,84-10,95 ve kül oranının %2,02-2,44 arasında değiştiği belirlenmiştir. Polenlerde en yaygın bulunan mineral elementler ise kalsiyum, potasyum, magnezyum, silisyum, sodyum ve demir olmuştur. Ayrıca, çevresel

kirliliğin artışı nedeniyle polen örneklerinde arsenik, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin varlığı tespit edilmiştir. Bu ağır metallerin sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, bal arısı poleni üretiminde, polenin besinsel kalitesinin belirlenmesi, tanımlanması ve standartlaştırılması üreticiler ve tüketiciler için büyük önem taşımaktadır.

Ricigliano et al. (2022) rapor ettikleri çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nde 144 bal arısı kolonisi, üç arılık alanda ve 8 besleme grubuna ayrılmıştır. Ülkede farklı protein içeriğine sahip ve ticari olarak kullanılan Ultra bee (% 22,0), Mega Bee (% 21,6), Homebrew (% 20,9), Global (% 16,6), Bulk Soft (% 16,1), Healthy Bees (% 15,3), AP23 (% 14,7) isimli arı besleme ürünlerinin makrobesin ve amino asit içeriği analiz edilmiş ve bal arısı kolonilerinde, popülasyon büyüklüğü, ortalama arı ağırlığı, beslenme ile ilgili gen ekspresyonu, bağırsak mikrobiyota bolluğu ve patojen seviyeleri açısından değerlendirilmiştir. Üç arılık alanında tekrarlanan iki polen içeren diyet (Global ve Homebrew) koloni başına en büyük kolonileri ve en ağır arıları üretmiştir. Polen içermeyen iki diyet (Bulk Soft ve AP23), şeker şurubu kontrol diyetinden önemli ölçüde daha büyük koloniler oluşturmuştur. Ayrıca diyetlerin makro besin içeriği, koloni boyutu veya sağlık biyobelirteçleri ile ilişkisi bulunmamıştır. Lösin içeriğine göre diyetlerin esansiyel aminoasit eksikliklerinin toplamı, kasımda ortalama arı ağırlığı ve şubatda badem bitkisinin tozlaşması için kullanılan koloni boyutu ile ilişkilendirilmiştir. Mikrobiyota ile ilgili çalışmalarda, diyetin *Bifidobacterium* ve *Gilliamella* türlerinin bağırsaklardaki yoğunluğu üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu ve bunun yanı sıra arı bağırsağında baskın olarak bulunan diğer mikrobiyal taksonlar üzerinde de etkili olabileceği gösterilmiştir. Sonuç olarak bal arısı diyetlerinin optimizasyonu, daha büyük, daha sağlıklı bal arısı kolonilerini destekleyerek yem sürdürülebilirliğini ve tarımsal tozlaşma verimliliğini iyileştirebileceğini tespit etmişlerdir.

Hoover et al. (2022) rapor ettikleri çalışmada, Kanada'da ticari olarak temin edilebilen protein yemlerinin etkilerini araştırmak amacıyla üç yıllık çalışmada şu kek türleri çalışılmıştır: Global (%15 polen), (Global %0 polen), Bee Polen-Ate, FeedBee ve Healthy Bees. tüketilen yem miktarı koloniler, uygulamalar, tarih ve yıl arasında değişiklik göstermiştir. Tüm protein yemi tedavileri, bal arıları için gerekli olan on aminoasidin tamamını içerdiğini, ancak lizin ve arginin, FeedBee arı keki hariç tüm keklerde büyüme

için gereken optimal oranın altında olduğunu ifade etmişlerdir. Ürünlerdeki protein, şeker ve yağ miktarı ve türleri de ürün tipine ve partiye göre değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte, yaz tozlaşması öncesi bal arısı koloni popülasyonlarını artırmak için ek bahar proteini beslemesinin faydasını tespit etmişlerdir.

Radev (2022) rapor ettiği çalışmada, farklı bitki türlerinden elde edilen polenlerin protein içeriği ile bu polenlerle beslenen işçi bal arıların yaşam süresi arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırmada dokuz farklı floral kaynağa ait polenlerin protein oranları %11,5 (*Chondrilla juncea*) ile %25,1 (*Brassica napus*) arasında değişmiş, ortalama protein içeriği %18,5 olarak bulunmuştur. Entomofil ve anemofil bitkiler arasında protein içeriği açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Yüksek protein içeriğine sahip polenlerle beslenen arıların yaşam süresinin daha uzun olduğu tespit edilmiş; örneğin, *Brassica napus* poleniyle beslenen arılar ortalama 25 gün yaşarken, *Zea mays* poleniyle beslenenler ortalama 14,3 gün yaşamıştır. Ancak bazı düşük proteinli polenler (örneğin *Cirsium* sp., *Helianthus annuus* ve *Chondrilla juncea*), *Zea mays*'e kıyasla arıların ömrünü daha fazla uzatmıştır. Bu durum, polenin sadece protein içeriğinin değil, diğer besin bileşenlerinin ve biyoyararlanım özelliklerinin de arı sağlığı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Topal ve ark. (2022) rapor ettikleri çalışmada, sonbaharda çam balı ile beslenme sonrası zayıflayan ya da kış dönemine girmesi gereken kolonilerde, farklı protein içeriklerine sahip polen kaynakları ile yapılan takviye beslemenin koloni performansı, kışlama başarısı ve *in vitro* yaşam süresi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma 48 koloni üzerinde gerçekleştirilmiş olup, koloniler altı gruba ayrılmıştır: kontrol, şurup, karışık polen, *Cistus creticus* poleni (laden gülü), *Papaver somniferum* poleni (haşhaş) ve ticari arı keki grupları. Bulgular, özellikle *P. somniferum* grubunun, koloni performansı açısından diğer gruplardan anlamlı düzeyde ($p < 0,01$) farklılaştığını göstermiştir. Bu grupta arılı çerçeve sayısı 3,44, yavrulu alan 1184,14 cm² ve kışlama başarısı %92.19 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, besleme farklılıklarının *in vitro* sağkalım üzerine etkisi istatistiksel olarak oldukça anlamlı bulunmuş ($p < 0,001$) ve bu durum doğal koşullarda elde edilen koloni sonuçlarını desteklemiştir. *İn vitro* koşullarda en uzun yaşam süresi yine *P. somniferum* grubunda 23 gün olarak belirlenmiştir. Çalışmada, arıların polen tercihlerinin sırasıyla *P. somniferum*, *C. creticus* ve karışık polen yönünde olduğu ortaya konmuştur.

Topal ve ark. (2022) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarının bağırsak mikroflorası ve Nosema varlığının farklı besleme stratejilerinden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Çalışma, 48 koloni üzerinde gerçekleştirilmiş olup, koloniler altı gruba ayrılmıştır (bir kontrol grubu ve beş besleme grubu). Deneyde, farklı besleme stratejilerinin bağırsak florası ve Nosema varlığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bal arısı örneklerinde yapılan morfolojik ve fenotipik tanımlama ile, *Pantoea agglomerans*, *Pseudomonas luteola*, *Burkholderia cepacia*, *Brevibacillus nitrificans*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Aeromonas hydrophila*, ve *P. alcalidimonas* bağırsak mikroflorasında tespit edilmiştir. Fenotipik tanımlamanın sonuçları, *P. agglomerans* ve *B. nitrificans* suşları için 16S rRNA dizisi analizi ile doğrulanmıştır. Ayrıca, tüm gruplarda Nosema varlığı da incelenmiş ve yalnızca *Nosema ceranae* türüne ait DNA analizi ile pozitif sporlara rastlanmıştır. Çalışma, besleme stratejilerinin, bal arılarının bağırsak mikroflorasını ve Nosema enfeksiyonunu nasıl etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Ewert et al., (2023) rapor ettikleri çalışmada, *A. mellifera*' da yaygın olarak kullanılan bitkisel doğal ürünlerin (PNP'ler) arı sağlığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, Brezilya ve Louisiana propolis özütleri ile limon otu, nane ve kekik yağlarının arıların yaşam süresi, detoksifikasyon ilişkili gen ekspresyonu, besin asimilasyonu ve bağırsak mikrobiyota bileşimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Brezilya propolisi, işçi arıların yaşam süresini uzatırken; diğer ürünler doza bağlı olarak değişken etkiler göstermiştir. Yüksek doz Brezilya propolisi, vitellogenin (vg) gen ekspresyonunu azaltmış; düşük doz kekik yağı ise detoksifikasyonla ilişkili CYP6AS1 geninin ifadesini düşürmüştür. Test edilen PNP'lerin, arıların çekirdek bağırsak mikrobiyota taksonları üzerinde genel olarak belirgin bir etkisi görülmemiştir. Sonuçlar, propolisin yapısal ve bağışıklık düzenleyici rollerinin yanı sıra sindirim yoluyla da sağlık açısından faydalı etkiler gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak kekik yağının saha koşullarında kullanılan dozlarda toksik olduğu belirlenmiş ve bu ürünün yem katkısı olarak kullanımında temkinli olunması gerektiği vurgulanmıştır. Genel olarak, propolis özütleri, limon otu yağı ve nane yağının bal arıları tarafından tüketilmesinin güvenli olduğu ve bazı olumlu sağlık etkileri sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Xue and Li (2023) rapor ettikleri çalışmada, *Camellia* türü arı poleninden protein izolasyonu amacıyla hücre duvarı parçalama yöntemleri kullanılarak elde edilen

proteinlerin verimi, yapısal ve fonksiyonel özellikleri incelenmiştir. Kullanılan yöntemler arasında ultrasonikasyon, dondurma-çözme, enzimatik hidroliz ve bunların kombinasyonları yer almıştır. Çalışma, bu işlemlerin hücre duvarının mikroyapısı, protein salımı, protein verimi ve proteinlerin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Fiziksel işlemlerle (ultrasonikasyon, dondurma-çözme ve bunların birleşimi) karşılaştırıldığında, enzimatik hidroliz yönteminin protein verimini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Bu artış, yalnızca polen içindeki proteinlerin serbest kalmasını değil, aynı zamanda polen duvarındaki proteinlerin de serbestleştirilmesini sağlamasından kaynaklanmaktadır. Enzimatik hidrolizle elde edilen proteinler, proteazın kısmi hidroliz etkisiyle daha iyi çözünürlük, emülsifiye etme ve jel oluşturma özellikleri sergilemiştir. Ayrıca, ultrasonikasyonun dondurma-çözme veya enzimatik hidroliz ile birlikte kullanılması, ultrasonun kavitasyon etkisiyle protein yapısında meydana gelen değişiklikler sayesinde, protein verimi ve fonksiyonel özelliklerde ek iyileşmeler sağlamıştır. Bu çalışma, *Camellia* arı poleni protein izolasyonunda çeşitli hücre duvarı parçalama tekniklerinin etkili biçimde uygulanabileceğini ve özellikle enzimatik yöntemlerin fonksiyonel protein kalitesini artırmada üstün olduğunu göstermektedir.

Pşidal et al. (2023) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı kolonilerinin kışlatılmasında kullanılan farklı şeker takviyelerinin koloni sağlığı ve bal verimi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada geleneksel olarak kullanılan sakkaroz (şeker pancarı veya kamış şekerinden elde edilen) ile daha pahalı olan ve nişasta veya sakkarozdan üretilen invert şeker şurupları karşılaştırılmıştır. İnvert şurupların, arılar tarafından sindirimi daha kolay olduğu ve bu nedenle koloni sağlığına katkı sağlayabileceği iddiaları araştırılmıştır. Dört ayrı arılıktaki toplam 70 koloni üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, kışlatmada kullanılan sakkaroz ve invert şuruplar arasında koloni durumu, ilkbahar gelişimi ve bal üretimi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. İnvert şurupların daha pahalı olması nedeniyle, ekonomik açıdan daha az uygun oldukları sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, invert şurupların varsayılan avantajlarının pratikte doğrulanmadığını ve kış beslemesi için geleneksel sakkaroz kullanımının daha rasyonel bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Yazlovytska et al. (2023) rapor ettikleri çalışmada, Dünya genelinde gözlenen önemli bal arısı kolonisi kayıplarının beslenme yetersizliğinden kaynaklanabileceği düşüncesiyle,

farklı besin kompozisyonlarının işçi arıların hayatta kalması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyde kafeslerde tutulan arılara altı farklı diyet uygulanmış ve 17 gün sonra hayatta kalma oranları ile oksidatif stres belirteçleri (tiobarbitürik asit reaktif maddeler, protein karbonil grupları), katalaz ve lizozim aktiviteleri ölçülmüştür. Sukroz çözeltisine söğüt poleni, yapay kolza, yapay söğüt arı ekmeği eklenen gruplarda (diyet 4-6) en düşük ölüm oranı görülürken, sadece sukroz veya sukroz+amino asit karışımı verilen gruplarda (diyet 1-2) ölüm oranı en yüksek bulunmuştur. Kanola poleni verilen grup (diyet 3) ise ara düzeyde ölüm göstermiştir. Polen ve yapay arı ekmeği tüketiminin protein karbonilasyonu artırdığı, ayrıca yapay arı ekmeği grubunda lipid peroksidasyonu ve katalaz aktivitesinin yükseldiği saptanmıştır; bu durum balda bulunan hidrojen peroksidin etkisine bağlanmıştır. İlginç olarak, oksidatif stres belirteçlerindeki artışın arıların sağkalımı üzerinde olumsuz değil, pozitif etkileri olduğu bulunmuştur. Protein ve aminoasit yoksunluğu ise oksidatif stres yaratmamakla beraber hemolenfte bağışıklık durumu göstergesi olan lizozim aktivitesinin artmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, araştırmacılar beslenme ile ortaya çıkan oksidatif stres belirteci artışlarının oksidatif hasar değil, redoks dengesindeki değişiklikleri yansıttığını belirtmişlerdir.

Oskay et al. (2023) rapor ettikleri çalışmada, küresel ısınmanın neden olduğu ısı stresinin biyolojik etkileri kapsamında bal arıları (*Apis mellifera*) model organizma olarak kullanılarak, kestane balı ve kurkuminin yaşam süresi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Arılar, 35°C sıcaklık ve %60 bağıl nemde 10 gün boyunca şeker şurubu içeren bazal diyet ya da kestane balı, kurkumin ve bu iki maddenin kombinasyonlarını içeren diyetlerle beslenmiş, ardından 3 saat süreyle 45°C sıcaklığa maruz bırakılarak ısı stresi uygulanmıştır. Deney boyunca günlük ölümler ve besin tüketimi kaydedilmiştir. Bulgular, kestane balı ve kurkumin kombinasyonunun yaşam süresini anlamlı düzeyde uzattığını (ortalama 18 gün), yalnızca kestane balının orta düzeyde etkili olduğunu (15 gün) ve kurkuminin ise tek başına bir etkisinin bulunmadığını (12 gün) göstermiştir. Ayrıca, gruplar arasında besin tüketiminde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu çalışma, kestane balı ve kurkumin kombinasyonunun ısı stresine karşı koruyucu potansiyelini ortaya koymakta ve bu doğal ürünlerin yalnızca bal arılarında değil, diğer hayvanlar ve insanlar için de yaşlanmayı geciktirici takviye olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Kim et al. (2024a) rapor ettikleri çalışmada, *A. mellifera l.* sağlığının temel belirleyicilerinden biri olan bağırsak mikrobiyotasının, farklı beslenme rejimlerine verilen

tepkileri incelenmiştir. Çalışmada, yedi farklı diyetin bal arılarının bağırsak mikrobiyotasına etkisi 5 günlük bir süre boyunca yüksek verimli 16S rRNA gen dizileme yöntemiyle analiz edilmiştir. Tüm diyet gruplarında mikrobiyotanın baskın türü olarak *Lactobacillus* tespit edilmiştir. Diyetlerin etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan kafes deneylerinde, diyet tüketimi, protein içeriği ve vitellogenin gen ekspresyon seviyesi ölçülmüştür. Sonuçlar, probiyotik takviyeli Diet2 grubunun, doğal beslenmeye en yakın olan polen ekmeği ve bal grubu ile aynı kümeye yerleştiğini göstermiştir. Bu grup, yüksek tüketim ($177,50 \pm 26,16$ mg/arı), orta düzeyde uzun yaşam süresi ($29,00 \pm 2,83$ gün), baş bölgesinde yüksek protein içeriği ($312,62 \pm 28,71$ µg/mL) ve yüksek diyet sindirilebilirliği ($48,41 \pm 1,90\%$) ile dikkat çekmiştir. Ayrıca her diyet grubunda bağırsak mikrobiyotası ile sağlık göstergeleri arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Genel olarak elde edilen veriler, probiyotik katkılı polen ikamelerinin bağırsak mikrobiyota çeşitliliğini artırarak bireysel arı sağlığı üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymuştur.

Danmek et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, doğal polen kaynaklarının yetersiz olduğu durumlarda bal arılarının beslenmesinde alternatif protein kaynaklarının önemi araştırılmıştır. Çalışma, dut yaprağı protein konsantresinin (LPC) bal arılarının beslenmesine eklenmesinin sağlık ve ömür üzerindeki etkilerini incelemiştir. Dut yaprağı LPC, yüksek protein içeriği ($\%28,60 \pm 3,22$) ve düşük lif ($\%3,16 \pm 0,25$) ile kül ($\%0,71 \pm 0,10$) oranları ile dikkat çekmiştir. Ayrıca, dut yaprağı LPC’de bal arılarının gelişimi için önemli olan lösin ve lizin gibi temel amino asitler yüksek düzeyde bulunmuştur. Pollen patty’ye $\%2,5$ - $\%5,0$ oranında dut yaprağı LPC ilavesi, bal arılarının fizyolojisinde belirgin iyileşmeler göstermiş; özellikle hipofranjiel asin boyutlarında anlamlı artışlar ve kontrol grubuna (sadece sakkaroz şurubu ile beslenen) kıyasla ömür süresinde uzama kaydedilmiştir ($p < 0,05$). Çalışma, dut yaprağı LPC’nin bal arısı beslenmesinde yenilikçi ve etkili bir takviye olarak kullanılabileceğini ortaya koymakta olup, bal arılarının sağlığını ve yaşam süresini artırma potansiyelini vurgulamaktadır. Bu bulgular, arıcılık uygulamalarının geliştirilmesi ve bal arısı popülasyonlarının sürdürülebilirliğinin sağlanması için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Lazarov et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı kolonilerinin ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde farklı karbonhidrat ikame yemlerle beslenmesinin işçi arıların hipofaringeal bez gelişimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada “Şeker şurubu”, “Bal şurubu”,

“İnvert şeker şurubu” ve “Isosweet” gibi çeşitli besinlerin etkileri incelenmiş ve kışlamadan sonra (beslemeden önce) işçi arıların % en yüksek oranla ikinci gelişim evresinde hipofaringeal bezlere sahip olduğu belirlenmiştir. İlkbaharda bal çözeltisi ile beslenen kolonilerde ise besleme sonunda %48 oranında işçi arının hipofaringeal bezlerinin en ileri, yani dördüncü evrede olduğu tespit edilmiştir. Sonbahar dönemi başlangıcında ise işçi arıların %54’ü birinci, %48’i ise ikinci gelişim evresinde iken, sonbahar besleme dönemi sonunda ise %60’ı Apiinvert, %56’sı 2:1 oranında şeker şurubu ve %56’sı bal şurubu ile beslenen arıların hipofaringeal bezleri dördüncü gelişim evresinde bulunmuştur. Ayrıca, farklı şuruplarla beslenen koloniler ile kontrol grupları arasında, hem ilkbahar hem sonbahar beslemelerinde işçi arıların hipofaringeal bez gelişim evreleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar ($p < 0,05$) gözlenmiştir. Bu sonuçlar, karbonhidrat kaynaklı besinlerin arı bez gelişimini uyarak arı sağlığı ve kolonilerin gelişimi için önemli olduğunu göstermektedir.

Hassan and Elenany (2024) rapor ettikleri çalışmada, modern arıcılıkta bal arısı sağlığını ve verimliliğini artırmak amacıyla bal arısına özgü probiyotik bakterilerle ilgili daha fazla bilimsel çalışma ve yöntem geliştirilmesi gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bal arısının bağırsak sisteminden izole edilen probiyotikler ve soya bazlı petek hamuru (soya patty) ile beslemenin, işçi arıların hemşirelik döneminde önemli bir rol oynayan hipofarengeal bez (HPG) gelişimine olası etkilerini araştırmaktır. Denemeler, farklı oranlarda probiyotik ve soya patty içeren dört uygulama grubu ve bir kontrol grubuyla yürütülmüştür. Sonuçlar, tüm deney gruplarında HPG morfometrik parametrelerinde anlamlı artış olduğunu göstermiştir. Sadece şeker şurubu ile beslenen kontrol grubundaki arılar en küçük HPG ölçümlerine sahipken, probiyotik ve soya patty ile beslenen grupta en yüksek HPG çapı ($14,89 \pm 0,097 \mu\text{m}$) ve yüzey alanı ($0,065 \pm 0,001 \mu\text{m}^2$) ölçülmüştür. Tüm morfometrik parametrelerde benzer artış eğilimi gözlenmiş, bu da daha büyük HPG'lerin daha fazla arı sütü üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, probiyotik takviyesi, hemşire arıların bez gelişimini artırarak arı sütü verimini yükseltmekte ve dolayısıyla arıcılık ekonomisine olumlu katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, probiyotiklerin bal arıları için etkili ve doğal bir yem katkı maddesi olduğunu ortaya koymuştur.

Migdal et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, arıların sağlıklı ve düzgün çalışabilmesi için gerekli olan besin maddelerinin eksikliğinin, bal arılarının sağlığını olumsuz etkilediği ve yaşam süresini kısalttığı vurgulanmıştır. Özellikle protein eksikliğinin, ana arı verimliliğini düşürdüğü ve kolonilerde saldırganlığı artırdığı belirtilmiş; bu durumun arıcılık üretiminin verimliliği ve ekonomik boyutu üzerinde doğrudan etkili olduğu ifade edilmiştir. Mevsim boyunca arı kolonileri için sürdürülebilir yem kaynaklarına erişimin sınırlı olması, arıcıları özellikle protein açısından zengin alternatif besin kaynakları aramaya yöneltmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmanın amacı, bira üretimi yan ürünü olan mayşeden arta kalan malt posasının (brewers' spent grain) bal arısı beslenmesinde protein katkı maddesi olarak potansiyelini araştırmaktır. Araştırmada, açık renkli bira ve koyu renkli bira üretiminden elde edilen iki farklı malt posası türü değerlendirilmiştir. Özellikle malt posası ile beslenen arılarda, yalnızca şeker kekiyle beslenen arılara kıyasla hemolenf protein içeriğinde artış gözlenmiştir. Bu artış, polen katkılı kekle beslenen arılarda görülen protein seviyelerine tam olarak ulaşmasa da, malt posasının protein kaynağı olarak potansiyel bir alternatif oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma genelinde, bira üretim atığı olan malt posasının, bal arısı yemlerinde alternatif bir bitkisel protein bileşeni olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Kim et al. (2024b) rapor ettikleri çalışmada, son yıllarda habitat kaybı, hastalıklar, patojen enfeksiyonları, kimyasal maruziyetler ve iklim değişiklikleri gibi çeşitli etkenler nedeniyle bal arısı kolonilerinde ciddi azalmalar yaşandığı, bu faktörler arasında yetersiz beslenmeden kaynaklanan stresin koloni çöküşünde önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Çalışmada, erken ilkbaharda bal arısı kolonilerinin bakım ve gelişimini desteklemek amacıyla geliştirilmiş polen ikame yemlerin etkileri araştırılmıştır. Kore Cumhuriyeti'nde yürütülen çalışmada, ticari bir ürün olan Megabee (pozitif kontrol), araştırmacılar tarafından geliştirilen Test A ve bu yem formülasyonunun dört geliştirilmiş versiyonu (Diyet 1–4) deney gruplarına sunulmuş, negatif kontrol grubuna ise ek yem verilmemiştir. Toplam 63 gün süren gözlem süresince 24 koloni üzerinde yapılan değerlendirmelerde, koloni büyüklüğü, kapalı yavru alanı, koloni ağırlığı, arı ağırlığı (kurutulmuş baş ve göğüs) ve vitellogenin seviyesi gibi parametreler izlenmiştir. Elde edilen bulgular, Diyet 2'nin en yüksek tüketim oranına sahip olduğunu ve diğer yemlere kıyasla koloni gelişimi üzerinde en olumlu etkiyi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu yemle beslenen kolonilerde, erken ilkbahar döneminde popülasyon artışı, yavru gelişimi ve

bireysel arı sağlığında belirgin iyileşmeler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, Diyet 2'nin bal arıları tarafından daha fazla tercih edildiği ve koloni bakımını desteklemede yüksek potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Bu alışma, erken ilkbahar döneminde koloni sağlığını ve verimliliğini artırmaya yönelik polen ikamesi yemlerin önemini vurgulamaktadır.

Brown et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarında hasat sonrası koloni beslemesinde yaygın olarak kullanılan şekerli suyun, potansiyel olarak yetersiz beslenmeye yol açabileceği ve bu durumun arı sağlığı açısından risk oluşturabileceği vurgulanmıştır. Bu kapsamda, öğütülmüş bitkilerle zenginleştirilmiş takviye gıdaların arı sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Yeni çıkan işçi arılar (toplam 2028 birey), 69 gün boyunca kafeslerde tutulmuş ve %50'lik sukroz çözeltisine ilave edilen öğütülmüş bitkilerle (*Laurus nobilis*, *Quercus* sp., *Curcuma longa*, *Hypericum* sp., *Spirulina platensis*, *Calendula officinalis*, *Chlorella vulgaris*, *Melissa officinalis*, *Moringa oleifera*, *Rosa canina*, *Trigonella foenum-graecum*, *Urtica dioica*) takviyeli gıdalar ve sadece şeker şurubu içeren besleme ürünü ile beslenmiştir. Sonuçlar, *Quercus* spp., *Hypericum* sp., *Spirulina platensis*, *Melissa officinalis*, *Moringa oleifera* ve *Trigonella foenum-graecum* ile beslenen arıların kuru vücut ağırlıklarında anlamlı artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, *Quercus* sp., *Curcuma longa*, *Calendula officinalis*, *Chlorella vulgaris*, *Melissa officinalis*, *Rosa canina*, *Trigonella foenum-graecum* ve *Urtica dioica* uygulamaları, işçi arıların ömrünü anlamlı şekilde uzatmıştır. Bu bulgular, bitkiler yalnızca fenolik ve flavonoid gibi faydalı bileşenler değil, aynı zamanda protein, lipid, peptid, mineral ve vitamin gibi makro ve mikro besin öğeleri sağlayarak besin biyoyararlanımını artırabileceğini göstermektedir. Ancak, bu olumlu etkilere yönelik mekanizmalarının daha ayrıntılı olarak anlaşılabilmesi ve gerçek kovan koşullarında da test edilerek doğerulanması gerektiği belirtilmiştir.

Jilo et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, *Guizotia abyssinica* (L.f) bitkisinin tozlaşma verimliliği üzerinde bal arısı kolonilerinin beslenmeye dayalı yönetiminin etkisi araştırılmıştır. *G. abyssinica*, özellikle Etiyopya ve Hindistan'da yetiştirilen önemli bir yağlı tohum bitkisi olup, kendine kısmen kısır (self-incompatible) bir türdür ve başarılı tohum bağlaması büyük lde böcek tozlaşmasına bağlıdır. Etiyopya'nın Oromia bölgesindeki Dandi ilçesinde yürütülen çalışmada, koloniye şeker şurubu ile besleme yapılıp yapılmamasının polen toplama davranışı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Şeker şurubu ile beslenen kolonilerin, beslenmeyen kolonilere göre anlamlı derecede daha fazla polen topladığı belirlenmiştir. *Guizotia abyssinica* polenin toplanma oranı, şeker şurubu ile beslenen kolonilerde %62,2 iken, beslenmeyenlerde %37,8 olarak kaydedilmiştir. Bu durum, şeker şurubu ile beslemenin arıların protein ihtiyacını karşılamak amacıyla daha sık çiçek ziyaretinde bulunmalarına neden olduğunu ve dolayısıyla tozlaşma verimliliğini artırdığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, *G. abyssinica* gibi tozlaşmaya bağımlı bitkilerde, bal arısı tozlaşma hizmetlerinin bir tarımsal girdi olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve koloniye şeker şurubu ile destek verilmesinin ürün verimini artırabilecek etkili bir yönetim stratejisi olabileceğini ortaya koymuştur.

Abdella et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarının diyetlerinde kullanılan farklı şeker türlerinin (sukroz, fruktoz, glukoz ve fruktoz-glukoz karışımı) arıların yaşam süresi, beslenme tercihleri ve polen sindirimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Laboratuvar ve kovan ortamında yapılan deneylerde, sukroz ve glukozun arıların yaşam süresini uzattığı gözlenmiştir. Arılar, %50 konsantrasyondaki sukroz çözeltisini tercih etmiş ve bu grupta polen tüketimi en yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Buna karşın, fruktoz verilen arılar en az polen tüketimini göstermiş ve vücut yağ oranlarında artış saptanmıştır; bu durum sindirim sorunlarına işaret etmektedir. Genel olarak, şeker türünün arıların beslenme verimliliği üzerinde önemli etkileri olduğu ve sukrozun nektar yerine ideal bir takviye olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Vidkjær, Laursen and Kryger (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arıları ve larvalarının tükettikleri polendeki bitkisel ikincil metabolitlerin (PSM) metabolizma sonucu dağılımı incelenmiştir. HPLC-MS/MS yöntemi kullanılarak 47 farklı metabolitin yetişkin arılar ve larvalardaki profilleri belirlenmiştir. Bulgular, arılar ve larvaların PSM profillerinin beslenme kaynaklarından farklı olduğunu göstermiştir; bu farkın, sindirim sonrası kimyasal dönüşümler ve bakım arılarının salgıladığı süt yoluyla larvalara PSM aktarımındaki bileşen bağımlı değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fenolik asitler ve flavonoid aglikonlar arılar ve larvalarda en bol bulunan bileşikler iken, alkaloidler, sianojenik glikozitler ve diterpenoidler daha yüksek tüketimlerine rağmen düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Çalışma, larvaların çeşitli PSM'lere maruz kaldığını ve bu konsantrasyonların larva gelişim evrelerinde arttığını ilk kez belgeleyerek,

PSM'lerin arı sağılığı üzerindeki etkilerinin anlaşılması için biyotransformasyon yollarının araştırılmasına temel oluşturmıştır.

Ghosh and Jung (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı kolonilerinin farklı besin kalitesine sahip polen keklerine (meşe ve kolza poleni) bağlı olarak arı sütü (royal jelly) bileşimini ayarlayıp ayarlamadığı incelenmiştir. Genç işçi arılara bu polen pastaları verilmiş ve elde edilen arı sütü kimyasal bileşimi; besin öğeleri, amino asitler, proteinler, yağ asitleri ve mineraller açısından analiz edilmiştir. Sonuçlar, polen pastası farklılıklarının arı sütü bileşimini genel olarak etkilemediğini göstermiştir; ancak ham yağ içeriğinde meşe poleni grubunda 1,9 g/100 g, kolza poleni grubunda ise 2,1 g/100 g olmak üzere fark saptanmıştır. Arı sütü kalitesinin önemli göstergesi olan 10-HDA içeriği her iki grupta da benzer seviyelerde bulunmuştur (meşe 1,9 g/100 g, kolza 2,1 g/100 g). Protein yoğunluğunda ise MRJP3 öncüsü, MRJP3-benzeri ve glukoz oksidaz proteinlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Çalışma, bal arılarının polen kalitesindeki değişikliklere rağmen larva ve kraliçenin besinsel ihtiyaçlarını karşılamak üzere arı sütü bileşimini dengeleyen mekanizmalara sahip olduğunu göstermektedir.

Falcão et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı kolonilerinin beslenme durumunun koloni sağılığı için kritik olduğu vurgulanmıştır. Yetersiz nektar ve polen akışının koloni gelişimini olumsuz etkileyerek patojenlerin yayılımına ve koloni faaliyetlerinin azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, arıcıların koloni beslenme dengesizliklerini gidermek için besin takviyeleri veya ikame ürünler kullanmaları önerilmektedir. Çalışmada, özellikle Avrupa pazarında bulunan ticari arı besin ürünlerinden olan candy board kullanılmıştır. Besleme ürününün su, kül içeriği, pH, asitlik, 5-hidroksimetilfurfural, şekerler ve dokusuna ilişkin fiziko-kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ürün etiketlerinde belirtilen değerlerle analiz sonuçları arasında farklılık gözlemlenmiş ve bu durum arı besin ürünlerinin kalitesinin düzenlenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Araştırma, bal arısı besin ürünleri kalitesinin izlenmesi ve kontrolü için standartların oluşturulmasının önemine dikkat çekmiştir.

Sultana et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarının kolonilerinin çiçeklenmenin az olduğu dönemlerde yaşadığı beslenme zorluklarını azaltmak amacıyla düşük maliyetli tamamlayıcı besinlerin etkinliği değerlendirilmiştir. Denemede her koloniye günlük 300

ml hacminde, 100 g esmer şeker ve 20 g bal içeren, farklı besin materyalleri (şeker, muz, balkabağı, mısır unu ve pirinç unu şurupları) ile hazırlanan tamamlayıcı şuruplar verilmiş ve ikinci gün tüketim miktarları ölçülmüştür. Tüm besin türleri %78'in üzerinde tüketim oranı göstererek kolonilerin beslenmesini olumlu yönde etkilemiştir. Özellikle balkabağı şurubu, düşük maliyetli olması ve kolonide yavru (%71,36), bal (%108,36) ve polen hücresi (%58,73) üretimini artırması bakımından en etkili takviye olarak öne çıkmıştır. Ekonomik analiz sonuçlarına göre en yüksek maliyetli takviye \$1,89 ile şeker şurubu olurken, onu muz (\$0,91), balkabağı (\$0,83), mısır ve pirinç (\$0,53) şurupları izlemiştir. Çalışma, düşük maliyetli tamamlayıcı besinlerin çiçeklenme kıtlığı dönemlerinde koloni gelişimini ve gücünü destekleyerek arıcılara geleneksel şeker şurubuna ekonomik bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Amera et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, nektar üreten çiçeklerin kıtlığı dönemlerinde farklı takviye yemlerin bal arısı kolonilerinin verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Güney Wollo Bölgesi'nde gerçekleştirilen araştırmada 30 koloni beş gruba ayrılmış (dört uygulama ve bir kontrol grubu) ve her grupta zayıf, güçlü ve çok güçlü olmak üzere üç alt grup oluşturulmuştur. Kontrol grubuna takviye verilmezken, T1, T2, T3 ve T4 olarak adlandırılan gruplara farklı içeriklerde yemler uygulanmıştır. En yüksek protein (%18,15) ve karbonhidrat (%92,15) içeriği T4 grubunda gözlemlenmiş, bu grup aynı zamanda en yüksek yem tüketimi (%98,3), nektar alanı (54,3 cm²), polen alanı (68,7 cm²), bal alanı (311,2 cm²) ve bal verimi (7 kg) ile en yüksek net kârı (51,54 USD) sağlamıştır. En düşük performans ise T1 grubunda görülmüş olup yem tüketimi %54,7, nektar alanı 37,6 cm², polen alanı 48,8 cm², bal alanı 254,3 cm², bal verimi 2,8 kg ve net kazanç 18,81 USD olarak kaydedilmiştir. Sonuçlar, arıcılara besin takviyesinin koloni verimliliği ve kârlılığı üzerindeki önemini göstermekte ve özellikle T4 formülasyonunun ekonomik ve biyolojik olarak en avantajlı seçenek olduğunu ortaya koymaktadır.

Abou-Shaara (2024) rapor ettiği çalışmada, çiçeklenme kıtlığı dönemlerinde doğal polen yerine kullanılabilecek basit malzemelerle hazırlanmış üç polen ikamesinin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada protein kaynağı olarak maya içeren yem (yeast), mısır unu içeren yem (corn flour) ve mısır unu ile zerdeçal içeren yem (turmeric) karşılaştırılmış; kontrol grubuna ise sadece protein içermeyen sadece süktroz ve su ile oluşturulan şekerleme verilmiştir. Tüm yem türlerinin arılar tarafından ilgi gördüğü, ancak maya ve şekerlemenin

ilk 72 saatte daha fazla tüketildiği bulunmuştur. Yavru gelişimini değerlendirildiğinde, en yüksek kapalı yavru alanı ve işçi arı sayısının maya grubunda olduğu, bunu şekerleme ve mısır ununun takip ettiği tespit edilmiştir. Mısır unu ve zerdeçal, işçi arıların yaşam süresini olumsuz etkilerken, maya ve şekerleme daha olumlu sonuçlar vermiştir. Soğuk toleransı açısından gruplar arasında belirgin bir fark görülmezken, vücut gelişimi ve bez gelişimi göstergesi olarak değerlendirilen baş genişliği, ön kanat uzunluğu ve genişliği, balmumu aynası uzunluk ve genişliği gibi morfolojik özelliklerin en yüksek maya grubunda olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, araştırılan basit polen ikameleri arasında maya içeren yem, yavru büyütme ve işçi arı gelişimi açısından en etkili ve önerilebilir ikame olarak öne çıkarken, zerdeçal içeren yem besleme ürünü olarak kullanılması önerilmemektedir.

Motta and Moran (2024) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı mikrobiyotasının sağlık ve hastalık üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde incelenmiştir. Araştırmada, ergin işçi arıların arka bağırsaklarında sınırlı, korunmuş bir bakteri topluluğunun bulunduğu ve bu türlerin her birinin geniş suş varyasyonları gösterdiği belirtilmiştir. Bu bakterilerin kültürde saf halde üretilbildiği, steril (gnotobiyotik) konakçılara tanıtılabildiği ve bazılarının genetik araçlara sahip olduğu vurgulanmıştır. İncelemeye göre, mikrobiyota üyeleri bağırsakta belirli nişlerde yerleşmekte ve hem birbirleriyle hem de konakla çapraz beslenme veya antagonistik etkileşimlerde bulunmaktadır. Bu etkileşimlerin topluluğun istikrarını sağladığı ve patojen istilasını önlediği düşünülmektedir. Ayrıca, sağlam bir bağırsak mikrobiyotasının çeşitli patojen ve parazitlere karşı koruma sağladığı, polen kabuğunun zor sindirilen bileşenlerinin ve besinsel toksinlerin işlenmesine katkı sunduğu ortaya konmuştur. Mikrobiyotanın yokluğu veya bozulması durumunda bağışıklık, metabolizma, davranış ve gelişimle ilişkili genlerin ifade düzeylerinin değiştiği bildirilmiştir. Tarla koşullarında, bu mikrobiyota yapısının tarımsal kimyasallar nedeniyle bozulmasının arı sağlığına olumsuz etkiler yaratabileceği belirtilmiştir. Bu bulgular, bal arısı mikrobiyotasının gelişimsel ve koruyucu rolünü ortaya koymakta ve arı sağlığı açısından mikrobiyal dengenin kritik önemine dikkat çekmektedir.

Hu et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, *Apis cerana* kolonilerine verilen farklı yapay şeker takviyelerinin hem koloni performansı hem de elde edilen balın kimyasal bileşimi, antioksidan kapasitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üç farklı bal türü karşılaştırılmıştır: şeker şurubu ile beslenen kolonilerden elde edilen bal (şeker bazlı ürün,

SP), bal-su çözeltisi ile beslenen kolonilerden elde edilen bal (bal kaynaklı bal, HH) ve doğal floral kaynaklardan elde edilen bal (çiçek kaynaklı bal, FH – kontrol). Sonuçlar, FH balının toplam asitlik, şeker içeriği, toplam protein miktarı ve antioksidan kapasite açısından hem HH hem de SP'ye kıyasla üstün olduğunu gösterirken, HH ise SP'ye göre daha yüksek içerik göstermiştir. Arıların yaşam süresi ile öğrenme ve hafıza kapasiteleri gibi beslenme etkinliği ölçütlerinde ise FH en iyi sonuçları verirken, HH ve SP arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu çalışma, yapay şeker kaynaklarının bal kalitesini doğrudan etkileyebileceğini ve geleneksel arıcılık uygulamalarında şeker şurubu kullanımının potansiyel olumsuz sonuçlarını vurgulamaktadır.

Tafi et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, yapay diyetlere eklenen amino asitlerin (β -alanin, GABA ve prolin) bal arılarının beslenme alışkanlıkları, hayatta kalma oranları ve hemolenfteki aminoasit bileşimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, farklı metabolizmaya sahip iki yaş grubundaki arılar (yeni çıkmış işçi arılar ve toplayıcılar) kullanılmıştır. Besin tüketiminde diyetler arasında anlamlı bir fark gözlenmezken, β -alanin içeren diyet yeni çıkmış arıların hayatta kalma oranını kontrol grubuna göre artırmıştır. Hemolenf aminoasit konsantrasyonundaki değişiklikler sadece yeni çıkmış arılarda diyet ve hemolenf örnekleme zamanına bağlı olarak belirgin olmuştur. Genç arıların zenginleştirilmiş diyetlere daha duyarlı olduğu ve bu aminoasitlerin hem diyet kaynaklı birikimi hem de metabolik dönüşüm yoluyla farklı aminoasitlere çevrilebildiği öne sürülmüştür. Bu çalışma, hemolenf aminoasit kompozisyonunun karmaşık dinamiklerini ve bunun bal arısı fizyolojisi üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli bir ilk adım olarak değerlendirilebilir.

Kim et al. (2024c) rapor ettikleri çalışmada, bal arılarının karşılaştığı önemli tehditlerden biri olan malnutrisyon sorununa odaklanarak, polen yokluğunda kullanılan polen ikame diyetlerinin bal arısı sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada dört farklı polen ikame diyeti (Diet 1, Diet 2, Diet 3 ve Kontrol) saha ve kafes deneyleriyle değerlendirilmiş, 11 parametre ve 21 amino asit analizi yapılmıştır. Sonuçlar, Diet 1'in diğer diyetlere kıyasla bal arısı popülasyonu, yavru alanı, tüketim miktarı, tercih oranı, koloninin ağırlığı, bal üretimi, bal arısı baş ve toraks ağırlığı ile vitellogenin (vg) gen ekspresyon seviyelerinde anlamlı derecede üstün olduğunu göstermiştir. Aminoasit analizi, özellikle arginin, histidin ve izolösinin bal arısı sağlığı ile güçlü korelasyonlar sergilediğini ortaya

koymuştur. Diet 1'in formülasyonunda bulunan elma suyu, soytide (soya unu) ve *Chlorella* (alg) gibi katkı maddelerinin, bu üstün performansta rol oynadığı düşünülmektedir. Elde edilen bulgular, polen ikame diyetlerinin bal arısı sağlığını iyileştirme ve koloni çöküşünü önleme potansiyeline sahip olduğunu göstermekte ve arıcılık uygulamaları için geliştirilen beslenme stratejilerine katkı sağlamaktadır.

Kratz et al. (2024) rapor ettikleri çalışmada, Batı Avustralya arıcılık endüstrisi için önemli dört doğal polen kaynağının (marri, jarrah, yonca ve kanola) bal arısı larva gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyde, her biri 800 gram arı ve eşleşmiş kraliçe içeren arı paketleri 40 çekirdek kovana yerleştirilmiş ve dört farklı polen türünden biriyle beslenmiştir. Larvalardan gelişen işçi arılar toplandıktan sonra, bireysel ağırlıkları ve grup bazında vücut bileşimleri ölçülmüştür. Ayrıca, besin tüketimi deney süresince takip edilmiştir. Sonuçlar, farklı polen türleriyle beslenen arıların gelişen larvalarında vücut ağırlığı ve bileşim açısından anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. Ancak, arıların vücut ağırlığında zamanla artış gözlenmiş, bunun koloninin büyüklüğü ve yapısıyla ilişkili olduğu düşünülmüştür. Çalışmanın temel bulgusu, larva gelişimi üzerine polen türünün besin kalitesinden ziyade polen bulunabilirliğinin daha kritik olduğudur; yani arıların temel besin ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri herhangi bir polen kaynağı larva gelişimini destekleyebilmektedir. Bu sonuçlar, arıların beslenmesinde çeşitlilik kadar polen erişiminin önemine dikkat çekmektedir.

Elwakeil et al. (2025) rapor edilen çalışmada, kış ve ilkbahar dönemlerinde bal arısı kolonilerinin gücünü korumak ve performansını artırmak amacıyla üç farklı polen ikamesinin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan diyetler; Diyet 1: 30 g soyulmuş beyaz acı bakla unu + 20 g bira mayası + 20 g kazein süt tozu + 20 g bal + 10 g pudra şekeri; Diyet 2: 30 g çemen unu + 20 g bira mayası + 20 g kazein süt tozu + 20 g bal + 10 g pudra şekeri; Diyet 3: 30 g yağsız soya unu + 20 g bira mayası + 20 g kazein süt tozu + 20 g bal + 10 g pudra şekeri şeklindedir. Bu diyetler macun formunda koloniye uygulanmış ve besleme uygulaması yapılmayan kolonilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Diyet 1'in işçi arılar tarafından en çok tercih edilen ve tüketilen diyet olduğunu ortaya koymuştur. Diyet 1 ile beslenen kolonilerin polen depoladığı, işçi yavrusu ürettiği ve diyet 2, diyet 3 ve kontrol grubu kolonilere kıyasla daha büyük erişkin birey popülasyonlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Diyet 1, Diyet 2 ve Diyet 3 ile beslenen koloniler

sırasıyla %125, %95 ve %70 oranında daha fazla bal üretmişlerdir. Bu bulgular, Diyet 1'in kış ve ilkbahar dönemlerinde bal arısı kolonilerinin gücünü sürdürmek ve verimliliğini artırmak için önerilebileceğini göstermektedir.

Pavlović et al. (2025) rapor edilen çalışmada, nektar yerine karbonhidratla beslemenin modern arıcılıkta vazgeçilmez hale gelmesi üzerine, %65 sakkaroz (SS) ve %65 invert şeker (IS) şuruplarının kafeslenmiş bal arılarının hayatta kalma süresi ve enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Arıların baş ve orta bağırsak bölgelerindeki glikozidaz aktivitesi analiz edilmiş, ayrıca sakkaroz bazlı (SH) ve invert şeker bazlı (IH) "arı balı"nın bileşimi incelenmiştir. Glikozidaz aktivitesi baş bölgesinde benzerlik gösterirken, orta bağırsakta IS ile beslenen arılarda daha yüksek bulunmuştur; bu durum, mayaya ait artık β -fruktofuranozidaz aktivitesi olarak yorumlanmıştır. SH örneklerinde fruktoz/glikoz oranı %60,84/%39,16 iken, IH örneklerinde bu oran %48,49/%51,51 olarak tespit edilmiştir; bu oranlar, arılara verilen IS şurubunun oranlarıyla neredeyse örtüşmektedir (%48,57/%51,43). Ayrıca, zimogram analizinde SH örneklerinde α -amilaz bandı tespit edilirken, IH örneklerinde bu enzime rastlanmamıştır; bu da arıların IH şurubuna amilaz ekmediğini göstermektedir. SH örneklerinde kristalleşme görülmesine rağmen, IH örneklerinde kristalleşme oluşmamıştır. SS ve IS şuruplarının yoğunlukları sırasıyla 1,23 ve 1,24 g/mL iken, işlenmiş SH ve IH örneklerinde bu değerler sırasıyla 1,35 ve 1,28 g/mL'ye yükselmiştir. IS'nin daha yüksek nem içermesi ve arıların sınırlı dışkılama uçuşları nedeniyle fazla suyu uzaklaştırmalarının zorlaşması, IH ile beslenen arıların orta ve arka bağırsak ağırlıklarının artmasına ve üçüncü haftada daha yüksek ölüm oranlarına neden olmuştur; bu durum SS grubunda ise dördüncü haftada gözlemlenmiştir. Bu bulgular, farklı şeker türlerinin arılar tarafından metabolize edilme biçimlerinin koloni sağlığı ve yaşam süresi üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermektedir.

Taha et al. (2025) rapor edilen çalışmada, sert kış koşullarının bal arısı kolonileri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla, geç kış döneminde yetiştirilen ana arıların morfometrik ve üreme özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmada, yüksek proteinli bir diyetle beslenen koloni ortamlarında yetiştirilen ana arılar ile beslenmeyen kolonilerde yetiştirilen ana arılar karşılaştırılmıştır. Yüksek proteinli diyet (Diyet 1), %30 bira mayası, %30 yağsız soya unu, %10 yağsız süt, %20 pamuk balı ve %10 pudra şekerinden oluşmuştur. Kış boyunca değerlendirilen dört farklı polen ikamesi arasında koloni performansı açısından Diyet 1'in belirgin üstünlük gösterdiği tespit edilmiş

ve ana arı yetiştiriciliğinde bu diyet tercih edilmiştir. Diyetle beslenen kolonilerden elde edilen işçi arılar, vücut ağırlığı, ikinci balmumu aynası alanı, milimetre başına asinus sayısı, asinus alanı ve mandibular bez alanı gibi özellikler açısından beslenmeyen kolonilerdekilere göre anlamlı düzeyde üstün bulunmuştur. Ayrıca, diyetle beslenen kolonilerde ana arı kabul oranı, çıkan ana arı sayısı, ana arı gözü başına üretilen arı sütü miktarı, ana arı gözü büyüklüğü ve ana arıların morfometrik ve üreme özelliklerinde anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, geç kış döneminde protein açısından zengin diyetle beslenen kolonilerde yetiştirilen ana arıların hem fiziksel hem de üreme yönünden daha gelişmiş olduğu ve bu uygulamanın koloni verimliliğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

Sharma et al. (2025) rapor ettikleri çalışmada, arı poleninden protein izolasyonu amacıyla hücre duvarını parçalayarak protein ekstraksiyonunu standardize eden bir protokol geliştirilmiştir. Çalışmada üç farklı ön işlem yöntemi kullanılmıştır: ultrasonikasyon (US-BPPI), pektinaz uygulaması (PE-BPPI) ve her iki yöntemin kombinasyonu (US-PE-BPPI). Ekstraksiyon verimliliğini artırmak amacıyla, ekstraksiyon ve presipitasyon pH değerleri optimize edilmiş ve ideal değerler sırasıyla 10,5 ve 4,5 olarak belirlenmiştir. US-PE-BPPI grubu, işlem görmemiş örneklerle kıyaslandığında protein veriminde %70, saflıkta %20, çözünürlükte %88, su ve yağ tutma kapasitesinde sırasıyla %286 ve %225 artış göstermiştir. Emülsifiye etme aktivite indeksi de 223 m²/g olarak belirlenmiştir. Ultrasonikasyonun hücre duvarına kesme kuvveti uygulaması ve pektinazın polisakkaritleri parçalayarak bu etkiyi desteklemesi, proteinlerin ikincil yapılarında moleküler düzeyde değişikliklere neden olmuş; bu da kristallikte azalma ve daha gevşek sarmal yapılarla sonuçlanarak fonksiyonel özelliklerin gelişmesine katkı sağlamıştır. Besin değeri analizlerinde de US-PE-BPPI örneklerinde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir: esansiyel ve esansiyel olmayan amino asit miktarlarında 1,2 kat, esansiyel amino asit indeksinde 1,27 kat, biyolojik değerde 1,31 kat ve beslenme indeksinde 1,5 kat artış gözlenmiştir. Bu çalışma, ultrasonikasyon ve pektinazın sinerjik etkisiyle arı poleninde protein izolasyonunun hem besinsel hem de fonksiyonel kalitesinin nasıl artırılabileceğini ortaya koyan ilk çalışmadır.

Narantuya and Norovsambuu (2025) rapor ettikleri çalışmada, bal arısı çekirdek kolonilerinde vitamin takviyeli polen ikamesinin kolonilerin performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, mısır gluteni, şeker ve bira mayası kalıntılarından oluşan

temel diyet (%21,0 ham protein, %7,1 ham yağ, %2,6 ham kül içeriği) 1, 2 ve 3 gramlık vitamin karışımı dozlarıyla zenginleştirilmiş ve Langstroth-Ruth kovanlarında rastgele seçilen yirmi çekirdek koloniye uygulanmıştır. Kontrol grubunda ise birinci grup şeker-su şurubu (1:1, w/v), ikinci grup ise vitamin takviyesi olmayan temel diyeti almıştır. Deneysel gruplarda ise vitamin karışımı farklı dozlarda verilmiştir. Sonuçlar, deneysel grup II'nin koloni gücü açısından deneysel grup I ile benzer performans sergilediğini, ancak kontrol gruplarına göre %14,6-49,4, deneysel grup III'e göre %34,3 daha yüksek koloniyel güç gösterdiğini ortaya koymuştur ($p<0.05$). Kraliçe arının yumurta verimi 28 Temmuz'da kontrol grup II'de %27,5, deneysel grup I'de %52,1, deneysel grup II'de %67,6 ve deneysel grup III'te %28,5 oranında artış göstermiştir. 28 Ağustos'ta da benzer bir şekilde sırasıyla %30,2, %32,5, %37,4 ve %14,7 oranlarında artışlar kaydedilmiştir. Ayrıca, deneysel grup II'nin bal verimi, kontrol gruplarına göre %25,8-57,9, deneysel grup III'e göre %46,8 daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Elde edilen bulgular, vitamin takviyeli polen ikamelerinin bal arısı kolonilerinin gücünü, kraliçe yumurta üretimini ve bal verimini artırarak modern arıcılık uygulamalarında önemli faydalar sağlayabileceğini göstermektedir.

Lazarov et al. (2025) rapor ettikleri çalışmada, küresel iklim değişikliği, yoğun tarım uygulamaları ve insan kaynaklı kirliliğin çiçekli bitkiler ve arı kolonilerinin canlılığı üzerindeki olumsuz etkileri ele alınmıştır. Besinsel stres koşullarında, bal arılarının (*Apis mellifera macedonica*) koloni yaşamını sürdürebilmek için yağ vücut (fat body) rezervlerini tükettiği belirtilmiştir. Araştırmada, farklı şeker şuruplarının işçi arıların yağ vücut gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel koloniler kontrol grubu ve beş farklı şurup grubuna ayrılmıştır: 1:1 şeker/su şurubu, 2:1 şeker/su şurubu, invert şurup (Apiinvert), yüksek-fruktozlu mısır şurubu (Isosweet) ve 1:1 bal/su şurubu. Yağ vücut gelişimi dikkatli disseksiyonlar ve dijital mikroskopla incelenmiştir. Sonuçlar, mevsimsel farklılıklar göstererek kışın yağ vücut rezervlerinin azaldığını ve takviye beslemeyle toparlandığını ortaya koymuştur. Apiinvert ve bal/su şurubu ile beslenen arılarda daha yüksek yağ vücut gelişim evreleri gözlenirken, Isosweet grubunda beşinci derece yağ vücut gelişimi yüksek olmasına rağmen, yanlış depolanan şuruplarda oluşan hidroksimetilfurfural (HMF) nedeniyle potansiyel toksisite riski bulunmuştur. Çalışma, kolay sindirilebilir şekerlerle yapılan takviye beslemenin yağ vücut gelişimini destekleyerek kış hayatta kalmasını artırdığını ve kolonilerin genel sağlığını iyileştirdiğini

vurgulamaktadır. Elde edilen bulgular, arıcıların besleme stratejilerini optimize etmeleri ve dayanıklı arı kolonileri oluşturmaları için pratik öneriler sunmaktadır.

Bal arılarının (*Apis mellifera*) sağlıklı bir şekilde gelişmeleri, koloni devamlılığı ve verimli bal üretimi için uygun beslenme koşullarının sağlanması büyük önem taşımaktadır. Literatürde, özellikle doğal nektar ve polen kaynaklarının yetersiz olduğu dönemlerde yapılan takviye beslemelerin arı sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir. Geleneksel olarak kullanılan şeker şurubu ve kek gibi ürünlerin yanı sıra, son yıllarda polen ikameleri, bitkisel özütler (kekik, sarımsak, nane vb.), probiyotik ve prebiyotik katkıları, protein hidrolizatları, mikroalgler (*Spirulina*, *Chlorella*) ve enzim takviyeleri gibi alternatif besleme ürünleri ön plana çıkmıştır. Bu ürünlerin, koloni gelişimini, bağışıklık sistemini ve bal verimini artırdığı birçok çalışmada rapor edilmiştir. Bu çalışma, alternatif arı besleme ürünlerini literatür temelinde özetleyerek, arıcılık uygulamalarına yenilikçi ve bilimsel bir bakış sunması açısından literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Arı Polen

Danışmanlığını Dr. Öğr. Üyesi Veysel SÜZERER'in yaptığı ve MSc Piroz DÜZDABAN tarafından tamamlanan “**Bingöl Merkezden Toplanan Bazı Arı Polenlerinin Botanik Orjinlerinin Ve Farklı Çözücülerde Elde Edilen Ekstraktların Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi**” isimli Yüksek Lisans Tezi’ndeki arı polenleri ekstraksiyon ve *in vitro* çalışmada kullanılırken, 2022 yılında Bingöl Üniversitesi Modern Arıcılık Kompleksi’ne yakın arılıktan toplanan arı polen (aminoasit profili ve protein miktarı birbirine benzer) *in vivo* çalışmada kullanıldı.

3.1.2. Kafesler

In vitro çalışmada kullanılan kafesler şeffaf plastik (14 x 13 x 8,3 cm) yapıda olup modifiye edilerek kullanıldı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. *In vitro* çalışmada kullanılan kafeslerin görseli

3.1.3. Kovan

In vivo çalışmada kovan materyali olarak standart 505x435x258 mm ölçülerinde polen tuzaklı, plastik tabanlı Langstroth kovanlar kullanıldı (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. *In vivo* çalışmada kullanılan kovan görseli

3.1.4. Arı Irkı

In vitro kafes çalışmalarında ve *in vivo* saha çalışmasında aynı yaşta ana arıya sahip *Apis mellifera meda* (Bingöl Balarısı Ekotipi) kullanıldı.

3.1.5. *In vivo* Çalışma Alanının İklim Özellikleri

Çalışma, Bingöl il sınırları içinde yer alan Bingöl Üniversitesi Modern Arıcılık Kompleksi alanında gerçekleştirildi. Araştırma alanı, 38°55'11"N ve 40°28'18"E koordinatlarında yer almakta olup, deniz seviyesinden yüksekliği 1193 m'dir (Şekil 3.3). *In vivo* koşullarda yapılan performans ölçümleri, 01 Mart 2024 ile 01 Ağustos 2024 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Bu döneme ait ortalama sıcaklık değerleri, Tablo 3.1' de sunuldu.



Şekil 3.3. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Earth)

Tablo 3.1. Bingöl Merkez 2024 yılı iklim verileri (MGM)

2024 Yılı Günlük Ortalama Sıcaklık (°C) Tablosu							
Gün/Ay	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
1		5,1	14,3	17,3	20,5	22,4	27,4
2		6,0	15,0	16,2	22,0	22,4	27,2
3		3,7	15,0	16,1	23,4	24,9	27,4
4		5,2	16,5	14,9	24,3	25,6	27,6
5		6,4	16,8	12,1	25,0	27,4	2,8
6		5,7	15,2	8,5	25,8	27,6	29,9
7		5,9	11,3	11,0	25,4	28,2	29,8
8		6,1	10,7	12,6	24,7	26,5	29,3
9		2,0	11,4	14,2	24,1	23,5	27,8
10		2,9	10,8	16,3	21,6	24,4	27,0
11		5,6	13,3	15,5	22,5	26,6	28,9
12		6,1	14,9	14,7	25,3	27,5	26,7
13		7,1	14,7	11,3	25,8	28,2	27,1
14		8,7	14,6	12,1	26,6	28,1	27,7
15	5,7	6,4	16,2	12,8	26,0	26,8	
16	7,1	5,3	16,0	13,0	25,8	27,5	
17	6,0	6,3	17,2	14,5	25,8	29,3	
18	6,4	5,6	17,3	15,9	26,0	28,3	
19	6,2	6,5	18,2	18,1	27,3	27,4	
20	5,7	7,2	17,3	18,1	27,5	27,7	
21	4,3	5,3	16,9	19,2	28,3	27,5	
22	5,5	2,4	15,7	19,4	26,8	29,1	
23	5,5	0,6	16,5	18,6	27,9	30,3	
24	4,5	0,7	17,9	18,8	28,1	29,3	
25	5,2	4,6	20,0	16,5	28,5	28,0	
26	2,9	6,2	20,1	14,9	26,6	28,0	
27	2,2	5,1	21,0	15,9	23,2	27,9	
28	2,8	8,9	21,3	19,2	26,3	26,2	
29	4,8	10,3	21,4	20,5	26,5	26,5	
30		13,7	19,6	21,2	26,0	27,0	
31		13,9		21,2		28,3	
Ort	5,0	6,0	16,2	15,8	25,5	27,0	26,2

3.2. Yöntem

3.2.1. Tez Çalışması Kapsamında Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Tez çalışması kapsamında kullanılan cihazlar ve kimyasallara ait bilgiler sırasıyla Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 sunuldu.

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan kimyasallar

Kimsayal Adı	Cas No	Safılık	Marka
C_2H_5OH (Etıl Alkol)	64-17-5	99,2	Isolab
CH_3OH (Metıl Alkol)	67-56-1	99,97	Honeywell
H_2SO_4 (Sülfırık Asıt)	7664-93-9	95-97	Merck
Kjeldahl Tablet (Na_2SO_4 , %47.7; K_2SO_4 , %47.7; TiO_2 , %2.8; $CuSO_4$, %1.8)			Merck
HCl (Hıdrolklorık Asıt)	7647-01-0	37	Merck
H_3BO_3 (Borık Asıt)	10043-35-3	99,5 – 100,5	Merck
$C_{15}H_{15}N_3O_2$ (Metıl Red)	493-52-7		Merck
$C_{21}H_{14}Br_4O_5S$ (Bromokrezol yeşılı)	76-60-8		Merck
NaOH (Sodyum Hıdrolksıt)	1310-73-2	99,0	Merck
$C_3H_8O_3$ (Gliserın)	56-81-5		Tekkim
$C_{20}H_{19}N_3.HCl$ (Bazık Fuksın)	632-99-5		ChemBio
İmmersıyon Yağı			Tekkim

Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan cihazlar

Cihaz Adı	Marka	Model No	Menşei
Hassas Terazı	RADWAG	AS 220.R2	Polonya
Vorteks	DLAB	MXS	Çın
Manyetık Karıştırıcı	DAIHAN	MSH-20D	Güney Kore
Etüv	Miprolab	MLF120	Türkiye
Saf Su Cihazı	Mes	MP mini	Türkiye
Buzdolabı	Beko	-	Türkiye
Santrifüj	Gyrozen	1580	Güney Kore
Mikropıpet Seti	Ependorf	-	Almanya
Lıyofilizatör	Telstar	Lyo Quest MDR-60-24	Tayvan
Desikatör	Labor-Teknik	EPTUVAK2	Türkiye
İklimlendirme Cihazı	Miprolab	MTK-600	Türkiye
Ultrasonık Su Banyosu	Wisd	WUC-D06H	Almanya
Rotary Evaporatör	BUCHI	R300	İsviçre
Kahve Öğütücü	Sinbo	SCM2934	Türkiye
Trınoküler Mikroskop	Olympus	BX43F SC180 Kamera Sistemi	Japonya
Yakma Ünitesi	Gerhardt	Turbotherm	Endonezya
Distilasyon Cihazı	Omnılab	FoodALYT-D100	Türkiye
Bılgisayar	HP	-	ABD

3.2.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.2.1. Bal Arısı Polenlerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere toplanan arı polenlerinden öncelikle ölü balarısı, balarısı bacakları, böcekler, bitki parçaları gibi yabancı maddeler el ile ayıklanarak uzaklaştırıldı. Ardından, polen örneklerinin içerdiği nemin giderilmesi amacıyla liyofilizasyon işlemi uygulandı. Bu işlem, Liyofilatör cihazı (TELSTAR, Lyo Quest MDR-60-24, Tayvan) kullanılarak $-76,9^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 0,420 mbar basınç koşullarında gerçekleştirildi. Liyofilizasyon sonrasında kurutulan polenler, öğütücü (Sinbo, SCM2934, Türkiye) yardımıyla homojen hale getirildi ve $250\ \mu\text{m}$ gözenek çapına sahip bir elekten geçirildi. Elde edilen ince polen tozları, hava geçirmez poşetlerde ambalajlanarak -20°C 'de (Beko, Türkiye) buzdolabında, deneysel çalışmalar gerçekleştirilene dek muhafaza edildi.

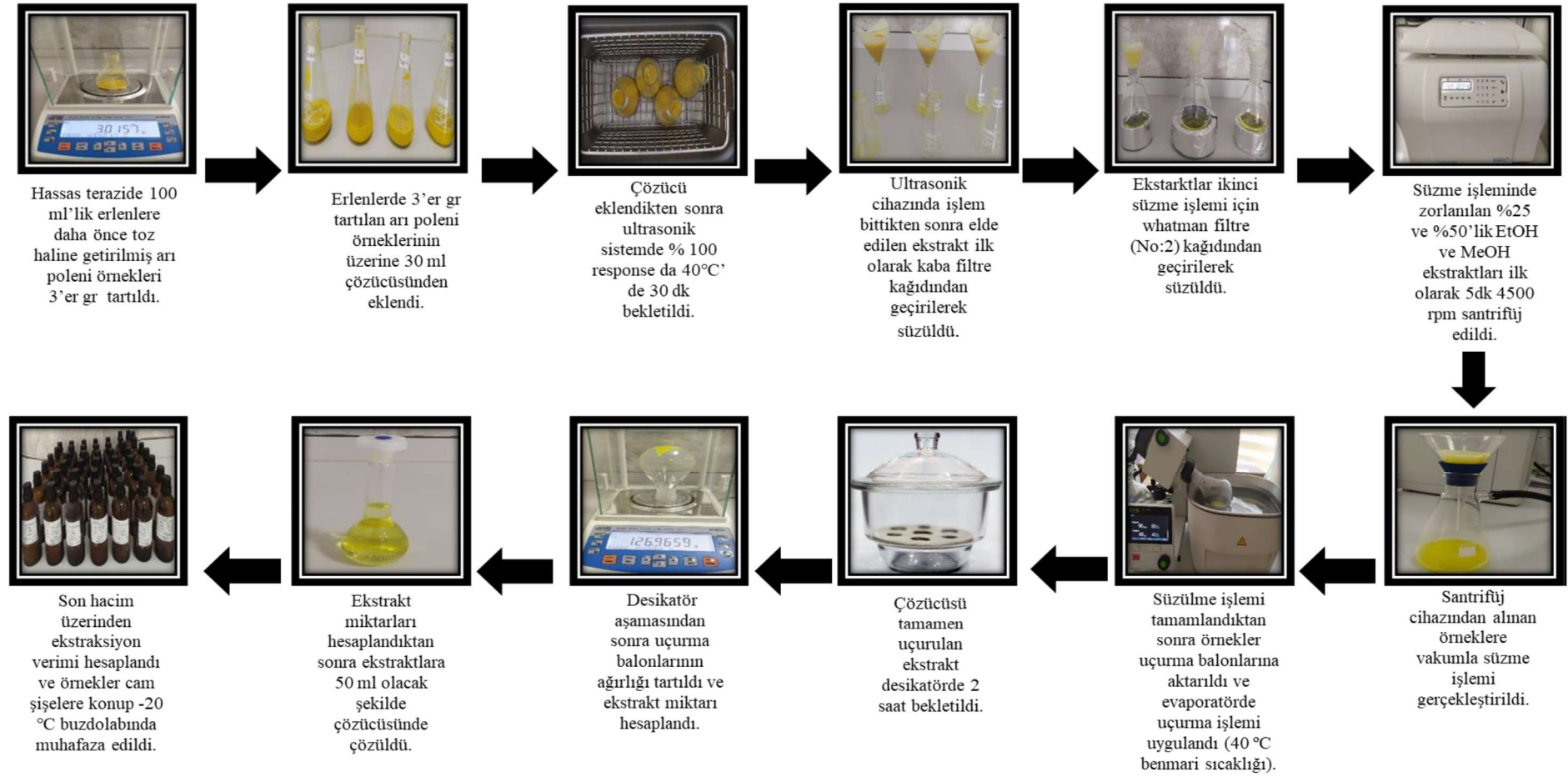
3.2.2.2. Bal Arısı Polenlerinin Ekstraksiyon Çalışması

Arı polenlerinin ekstraksiyonu, Düzdaban (2022) tarafından bildirilen ve Dursun (2020) çalışmasına dayanan yöntem esas alınarak, ultrasonik destekli ekstraksiyon yöntemi ile gerçekleştirildi (Şekil 3.4). Ekstraksiyon veriminin doğru şekilde hesaplanabilmesi amacıyla, ekstraksiyon öncesinde kullanılacak uçurma balonları yıkandıktan sonra 110°C 'de etüvde 2 saat süreyle kurutuldu, ardından desikatörde 2 saat bekletilerek boş daraları belirlendi.

Ekstraksiyon işleminde, daha önce yıkanmış ve etüvde (Miprolab, MLF120, Türkiye) kurutulmuş 100 ml'lik erlenmeyer'lere, $250\ \mu\text{m}$ elek altından geçirilmiş toz arı polenlerinden 3 g tartılarak aktarıldı. Her bir erlenmeyer'e 30 ml ultra safsu çözücü (belirtilen çalışmaya uygun olarak) ilave edildi ve dolu erlenmayer ultrasonik banyoda (Wisd, WUC-D06H, Almanya) %100 respons, 40°C sıcaklıkta 30 dakika süreyle bekletildi.

Ekstraksiyon sonrasında elde edilen ekstraktlar önce kaba filtre kağıdından, ardından Whatman No:2 ince filtre kağıdından geçirilerek süzüldü. Süzülen ekstraktlar, daha önce

boş darası alınmış olan uçurma balonlarına aktarıldı ve 40 °C’de rotary evaporatörde (BUCHI, R300, İsviçre) çözücüsü tamamen uzaklaştırılana kadar uçurma işlemine tabi tutuldu. Uçurma işlemi tamamlanan örnekler desikatörde 2 saat bekletildi, ardından ekstraksiyon verimi hesaplanarak analizler için kullanıma hazır hale getirildi.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan UDE yöntemi (Düzdaban, 2022)

3.2.2.3. Arı Polenleri ve Ekstraktının Protein Analizi

Çalışmada kullanılan arı polenleri ve bunlardan elde edilen polen ekstraktlarının protein içeriklerinin belirlenmesinde, Kjeldahl yöntemine dayanan AACC 46-12 standardı esas alındı. Bu yöntem, yaş yakma (sindirim), distilasyon ve titrasyon olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır ve protein miktarı AOAC (1990) tarafından bildirilen hesaplama formülü kullanılarak belirlendi.

Analiz işlemine başlamadan önce, her bir örnekten yaklaşık 0,5 gr tartılarak Kjeldahl tüpüne alındı. Örneklerin üzerine yaklaşık 15 mL derişik sülfürik asit (H₂SO₄) ve katalizör Kjeldahl tableti (Na₂SO₄, %47,7; K₂SO₄, %47,7; TiO₂, %2,8; CuSO₄, %1,8) ilave edildi. Tüpler, proteinlerin içeriğinde bulunan organik azotun amonyum sülfata dönüşmesi sağlanana kadar yakma işlemi yapıldı (Gerhardt, Turbotherm, Endonezya). Bu işlem sırasında tüplerdeki karışım berrak, açık mavi-yeşil bir renk alana kadar yakma işlemi devam ettirildi.

Sindirim aşamasının tamamlanmasının ardından tüpler soğutulularak distilasyon işlemine geçildi. Soğuyan sindirim karışımına 20 ml ultra saf su ilave edilerek distilasyon cihazına yerleştirildi. Ardından elde edilen amonyak buharı distilasyon cihazı yardımıyla uçurularak borik asit çözeltisi içeren erlenmayer içine toplandı. Bu aşamada, uçurulan amonyak borik asit ile reaksiyona girerek amonyum borat oluşturulmuş oldu.

Toplanan amonyum borat çözeltisi, son aşama olan titrasyon işlemi ile standardize edilmiş 0,5 N hidroklorik asit (HCl) çözeltisi kullanılarak titrasyona tabi tutuldu. Titrasyon sonunda harcanan HCl miktarına bağlı olarak örneklerdeki toplam protein miktarı belirlendi.

$$\% \text{ Protein} = \frac{(S-B) \cdot N \cdot ME \cdot 100}{W} * 6,25 \quad [3.1]$$

S: Destile edilen örneklerde asit titrasyonu sonucunda elde edilen değerler

B: Destile edilen tanığın asit titrasyonu sonucunda elde edilen değer

N: Titrasyonda kullanılan asitin normalitesi

ME: Azotun mili ekivalen ağırlığı (0.014)

W: Kullanılan bitki örneği ağırlığı

3.2.2.4. Arı Polenlerinin Aminoasit Analizi

3.2.2.4.1. LC-HRMS Analiz Yöntemi

Arı poleni örneklerinin aminoasit bileşen analizleri, yüksek çözünürlüklü sıvı kromatografi-kütle spektrometresi (LC-HRMS) sistemi kullanılarak gerçekleştirildi. Analizlerde, DIONEX UltiMate 3000 RS serisi sıvı kromatografi sistemi (Thermo Fisher Scientific, ABD) kullanılmış olup, sistem bir RS pompa ünitesi, otomatik numune alıcısı ve kolon fırınından oluşmaktadır. Kütle spektrometrik tespit ise ısıtılmalı elektrosprey iyonizasyon (HESI) arayüzü ile donatılmış Exactive Plus Orbitrap (Thermo Fisher Scientific, ABD) yüksek çözünürlüklü kütle spektrometresi ile gerçekleştirildi.

Orbitrap-MS cihazı, analizlerden önce pozitif iyonizasyon modu için Pierce™ LTQ Velos ESI Positive Ion Calibration Solution, negatif iyonizasyon modu için ise Pierce™ Negative Ion Calibration Solution kullanılarak otomatik şırınga enjektör yardımıyla kalibre edilmiştir. LC ve MS sistemleri, TraceFinder 3.2 (Thermo Scientific) yazılımı kullanılarak senkronize şekilde çalıştırılmış ve elde edilen veriler Xcalibur yazılımı (version 2.1.0.1140,0 Thermo Fisher Scientific) ile toplanarak kaydedildi.

3.2.2.4.2. Kromatografik ve Kütle Spektrometrik Koşullar

Kromatografik ayırma işlemleri için bir Phenomenex® Gemini® NX-C18 kolon (3 µm, 110 Å, 100 mm × 2 mm) kullanıldı. Kolon fırını sıcaklığı 30 °C olarak ayarlandı. Mobil faz sisteminde, faz A olarak %2 (v/v) glasiyel asetik asit içeren ultra saf su (Ultrapure su, GFL 2004/Human Power 1), faz B olarak ise %99,9 saflıkta LC-MS dereceli metanol (Sigma-Aldrich) kullanıldı. Gradyan elüsyon koşulları, analiz süresi toplam 20 dakika olacak şekilde optimize edildi. Numune enjeksiyon hacmi 20,0 µL, akış hızı ise 0,3 mL/dakika olarak belirlendi.

3.2.2.4.3. Numune Hazırlama Prosedürü

LC-HRMS analizleri için, her bir polen örneğinden 1 g tartılarak 15 mL'lik falkon tüpe aktarıldı. Üzerine, 0,1 N HCl içeren 10 mL çözelti ilave edilerek örnekler 30 dakika süreyle

ultrasonik banyoda (oda sıcaklığında) ekstrakte edildi. Ekstraksiyon işleminin ardından, tüpler 200 rpm hızında çalışan orbital çalkalayıcıda 2 saat süreyle çalkalandı. Çalkalama sonrasında 4500 rpm’de 10 dakika santrifüj edilerek üst faz elde edildi ve bu faz 0,22 µm gözenek çapına sahip, 25 mm çapında PTFE filtrelerden süzülerek temizlendi. Süzülen ekstraktan 100 µL alınarak ultra saf su ile 10 ml’ye tamamlanmış ve elde edilen çözeltilerden 1,5 ml’lik kısım HPLC vial’larına alınarak analiz için cihaza enjekte edildi.

3.2.2.5. Arı Polenlerinin Palinolojik Analizi

Arı poleni örneklerinin botanik kökenlerinin tespiti amacıyla, preparatların hazırlanmasında Barth (2010) tarafından bildirilen yöntem modifiye edilerek uygulandı. Bu kapsamda, her bir örnekten 1 g polen tartılarak 15 mL’lik falkon tüpe alındı. Üzerine 7,5 mL %70 etanol (EtOH) ilave edilerek vorteks cihazı yardımıyla kısa süreli karıştırma işlemi gerçekleştirildi. Homojen karışım elde edildikten sonra tüpler, 15 dakika boyunca 3500 rpm hızında santrifüj edilerek polen tanelerinin çökmesi sağlandı. Santrifüj sonrası oluşan süpernatant dikkatlice uzaklaştırılmış ve tüpler, kalan sıvının giderilmesi amacıyla kurutma kâğıdı üzerine ters çevrilerek bekletildi. Bu işlem toplam üç kez tekrar edildi. Ardından, tüplerin içerisinde kalan pelet üzerine 7,5 mL %50 gliserin-su çözeltisi ilave edildi ve polenlerin çözeltilde homojen şekilde dağılması sağlanıncaya kadar vortekslendi. Preparat hazırlanması aşamasında, bazik fuksin ile boyanmış gliserin-jelatin matriksinden 1–2 mm³ büyüklüğünde bir parça, diseksiyon iğnesi yardımıyla mikroskop lamı üzerine alınmış ve 140 °C sıcaklıktaki ısıtma tablası üzerinde eritildi. Eriyen matriks üzerine, daha önce hazırlanan polen süspansiyonundan 10 µL alınarak lam üzerine damlatılmış ve steril iğne yardımıyla homojen bir şekilde karıştırıldı. Hazırlanan karışımın üzerine 18 × 18 mm² ölçülerinde bir lamel yerleştirilerek preparat sabit hale getirildi.

Hazırlanan preparatlar, boyama işleminin etkili olabilmesi ve polenlerin lamel yüzeyine yaklaşmasını sağlamak amacıyla ters çevrilerek 12 saat süreyle oda sıcaklığında bekletildi. İncelemeler, Olympus BX43F model trinoküler mikroskop (Japonya) kullanılarak gerçekleştirildi. Tüm lamel yüzeyi, immersiyon yağı kullanılarak 100x büyütmede taranmış ve polen teşhisinde Polat ve ark. (2021) tarafından yayımlanan kaynak ile birlikte, Bingöl Üniversitesi Arı ve Doğal Ürünler Ar-Ge ve Ür-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi’ne ait Palinoloji Laboratuvarında, PİKOM-Bitki.2018.002 numaralı proje kapsamında

oluşturulmuş olan referans preparatlar esas alındı. Bitkisel taksonların tanımlanmasının ardından, aynı preparatlar 40x objektif büyütmesinde yeniden incelenmiş ve her örnekte, tanımlanmış taksonlara ait en az 500 polen tanesi sayılarak kayıt altına alındı.

3.2.2.6. Bal Numunelerinin Hazırlanması

In vivo çalışma sonrasında bal numuneleri bal hasadı zamanında her grup için ayrı ayrı alınıp, her grup içinden alınan örnekler karıştırılıp homojenlik sağlandı. Örnek numuneler cam kavanozlara alındı ve kodlandı. Numune kapları güneş almayan karanlık bir ortamda oda sıcaklığında muhafaza edildi. Numuneler alındıktan bir hafta sonra Arı ve Doğal Ürünler Ar-Ge ve Ür-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne hizmet analizi kapsamında teslim edildi.

3.2.2.6.1. Nem İçeriği Tayini

Bal numuneleri homojen oluncaya kadar karıştırıldı. Numune örneği refraktometre prizmasının yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde damlatıldı. 2 dakika bekledikten sonra kırılma indisi değerleri okunup kaydedildi. Kırılma indisi değerine denk gelen % nem değeri nem içeriği olarak belirlendi (TS 13365, 2008).

3.2.2.6.2. Elektriksel İletkenlik Analizi

Bal numunesi bir baget yardımı ile iyice karıştırıldı, 20 g kuru madde içerecek miktarda bal numunesi tartıldı ve 50 ml suda çözdürüldü. Çözelti hacmi distile su ile balon joje içerisinde 100 ml'ye tamamlandı. 40 ml çözelti behere aktarılmış ve pH metrenin probu kalan çözelti ile yıkandı. Prob yıkama işleminden sonra beherdeki çözeltinin iletkenliği okundu (TS 13366, 2008).

3.2.2.6.3. Prolin Analizi

Bal numuneleri homojen oluncaya kadar bir spatül ile karıştırıldıktan sonra, 5 g bal tartıldı ve 50 ml su içerisinde çözülerek 100 ml'lik balon jojeye aktarıldıktan sonra hacmi distile su ile tamamlanarak iyice çalkalandı. Birinci tüpe 0,5 ml numune çözeltisinden, ikinci tüpe 0,5

ml distile sudan, üçüncü tüpe ise 0,5 ml prolin standart çözeltisinden eklendi. Hazırlanan her bir tüpe 1 ml formik asit ve 1 ml ninhidrin çözeltisi eklenerek iyice çalkalandı. Tüpler kaynar su banyosuna çözelti seviyesine kadar daldırılarak 15 dk ve daha sonra 70 °C'lik su banyosuna daldırılarak 10 dk bekletildi. Su banyosunda çıkarılan tüplere 5 ml 2-propanol-su (1:1 v:v) çözeltisi eklenerek yaklaşık 45 dk sonra spektrofotometrede 1 cm'lik küvetlerle 510 nm'de absorbansı ölçülerek kaydedildi.

Prolin hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (TS 13357, 2008).

$$\text{Prolin(mg/kg)} = (\text{Ep/Es}) * (\text{m}^1/\text{m}^2) * 80 \quad [3.2]$$

Ep: Numune çözeltisinin absorbansı,

Es: Prolin standart çözeltisinin ortalama absorbans değeri,

m¹: Prolin stok çözeltisinin başlangıç numune kütlesi, mg (m¹ = 40 mg), 80:1 g balın seyreltme faktörü,

m²: Balın başlangıç numune kütlesi, g (m² = 5,0 g)

3.2.2.6.4. Diastaz Analizi

Bal numunesi homojen oluncaya kadar bir baget yardımı ile karıştırıldıktan sonra 1 g bal tartıldı. Tartılmış bal üzerine asetat tampon çözeltisi eklenerek balın çözünmesi sağlanıp balon joje 100 ml'ye tamamlandı. 2 adet test tüpü hazırlandı. 1. tüpe hazırlanan numune çözeltisinden 5 ml, 2. tüpe asetat tamponundan 5 ml eklenerek tüpler 5 dk boyunca 40 °C su banyosunda bekletildi. İki tüpe de Phadebas tableti eklenmiş ve 10 sn süreyle karıştırıcı üzerinde tabletlerin çözünmesi sağlandı. Tüpler 30 dk su banyosunda bekletildikten sonra üzerine 1 ml NaOH solüsyonu eklenerek reaksiyon sonlandırılıp 5 sn süreyle karıştırıcı üzerinde çalkalandı. Numuneler 3662 devirde 5 dakika süreyle santrifüjlenerek 1 filtre kağıdından süzüldü. Hazırlanan kör ve numunelerin 620 nm de saf suya karşı absorbans değerleri kaydedildi. Kör numunesi için okunan absorbans değerinden, numune absorbans değeri çıkarılarak diastaz sayısı hesaplandı (IHC 6.2, 2009).

3.2.2.6.5. Serbest Asitlik Analizi

Bal numuneleri bir baget yardımı ile homojen oluncaya kadar karıştırılmıştırdı. Tartılan 10 g bal örneği 75 ml distile su içerisinde homojen oluncaya kadar çözüldü. Hazırlanan çözelti içerisine 6 damla fenolftalein damlatılmış ve sonrasında NaOH ile eşdeğerlik noktasında oluşan kırmızı renk 20 sn sabit kalana kadar titre edildikten sonra kullanılan çözelti miktarı kaydedildi (TS 13360, 2008).

3.2.2.6.6. Suda Çözünmeyen Madde Analizi

Deney numunesi bir spatül ile karıştırılıp homojen hale getirildikten sonra 20 g bal örneği tartılarak 250 ml'lik kuru bir behere konuldu. Numune bulunan beher üzerine, 40 ml ila 50 ml arasında 80 °C'ye kadar ısıtılmış su konulmuş ve homojenlik sağlanıncaya kadar karıştırıldı. Cam kroze, 135 °C ± 2 °C'a ayarlanmış kurutma fırınında sabit tartıma getirilmiş ve sonra bir desikatörde soğutuldu. Krozenin darası, analitik bir terazi ile alınmış ve kaydedildi. Hazırlanmış olan bal çözeltisi, sıcak durumdayken (80 °C), cam krozeden süzüldü. Krozede kalan katı madde, tekrar 80 °C'a ısıtılmış sıcak su ile 5 defa ila 6 defa yıkandı. Yıkanarak şekerlerden arındırılmış katı maddenin bulunduğu kroze, sıcaklığı 135±2°C'ye ayarlandı ve kurutma fırınında 1 saat tutuldu. Kurutma fırınından alınan kroze desikatörde soğutulduktan sonra, yine analitik bir terazi ile tartıldı. Krozenin daha önceden kaydedilen darası çıkarıldı ve suda çözünmeyen katı madde kütlesi (m) kaydedildi (TS 3036, 2010).

$$KM = (m/m^0) \times 100 \quad [3.3]$$

KM: Suda çözünmeyen katı madde yüzdesi,

m: Bulunan katı madde kütlesi, (g),

m⁰: Deney numunesi kütlesi, (g)

3.2.2.6.7. HMF Analizi

Bal numunesi homojen oluncaya kadar karıştırıldıktan sonra 10 g bal numunesi bir erlende tartıldı ve 50 ml saf suda çözünerek 100 ml'lik bir balon jojeye aktarılmıştırdı. Hazırlanan

numune çözeltileri üzerine 1'er ml Carrez I ve Carrez II çözeltilerinden ilave edilerek işaret çizgisine kadar su ile tamamlandı. İşaret çizgisine kadar su ile tamamlanan çözeltiler, iyice karıştırıldı ve filtre kâğıdından süzüldü. Son olarak filtre edilen kısım HPLC cihazında okuması yapıldı (TS 13356, 2008).

3.2.2.6.8. Balda Bitki Şekerleri (C4) Analizi

Bal örneklerinde C4 bitki kaynaklı şekerlerin tespiti, Sürekli Akış İzotop Oranı Kütle Spektrometrisi (CF-IRMS) yöntemiyle gerçekleştirildi. Numuneler yakılarak CO₂'ye dönüştürülmüş ve ¹³C/¹²C izotop oranları ölçüldü. Hem balın toplam δ¹³C değeri hem de baldan izole edilen protein fraksiyonunun δ¹³C değeri belirlendi. Bu iki değer arasındaki fark değerlendirilerek balda C4 şeker katkısı olup olmadığı tespit edilmiştir. Analizler, uluslararası geçerliliği olan AOAC 998.12 yöntemine göre yürütüldü.

3.2.2.6.9. Şeker Analizi

Bal numuneleri tartım işleminden önce bir baget yardımı ile iyice karıştırılmıştı. Bal numunesinde 5,0 g bal cam beherde tartılarak üzerine 40 mL ultra saf su eklendi ve ısıtılmadan iyice çözünmesi sağlanmıştı. Numune tamamen çözdürüldükten sonra 100 mL'lik balon jöjeye aktarıldı. 25 mL metanol eklendikten sonra balon üzerine ultra saf su işaret çizgisine 100 mL'ye kadar tamamlandı. Bu aşamanın sonunda çözelti enjektörle çekilmiş, 0,45 µm membran filtreden geçirilerek viallere enjekte edildi. Hazırlanan numuneler HPLC cihazında okuması yapılarak sonuçlar kaydedildi (TS 13359, 2008).

3.2.2.6.10. Balda Polen Analizi

10 g bal, 20 mL distile suyla karıştırılıp 45 °C'de çözülmüş ve 3500 rpm'de 45 dakika santrifüj edildi. Süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra çökelti, bazik-fuksinli gliserin-jelatin ile lam üzerine alındı ve Olympus BX43F model trinoküler mikroskop kullanılarak incelendi (Wodehouse et al., 1935). Belirlenen bitki familya ve türleri kayıt altına alındı.

3.2.2.6.11. Balda Toplam Polen Sayısı (TPS)

10 g bal, 20 mL distile su ve 1 adet Lycopodium spp. tableti ile karıştırıldı; ardından santrifüjlenip seyreltildi. Hazırlanan preparatlar Olympus BX43F model trinoküler mikroskop kullanılarak incelendi ve TPS aşağıdaki formüle göre hesaplandı (Moar, 1985):

$$\text{Toplam Polen Sayısı TPS 10g} = \frac{\text{Sayılan Polen Sayısı} \times 9666}{\text{Sayılan Lycopodium sporu} \times 100} \quad [3.4]$$

TPS-10: 10 g baldaki Toplam Polen Sayısı

9666: Bir Lycopodium spp. tabletinde bulunan spor sayısı

100: Seyreltme faktörü

3.2.3. *In vitro* Çalışmalar

3.2.3.1. Kafeslerin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılacak arı kafeslerinin üretimi BAP-SHMYO.2023.002 numaralı BÜBAP kapsamında temin edilerek gerçekleştirildi. Kafes materyali, arıların yaşayabileceği uygun bir ortam oluşturmak ve yemleme işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla, belirli noktalardan uygun boyutlarda delikler açılarak düzenlendi.

Kafeslerin altına, inkübatör cihazının içerisine yerleştirilebilmesi için her biri 65×65 cm ölçülerinde özel olarak cam plakalar kestirildi. Ayrıca, her bir kafesin içine, arıların tutunabileceği ve doğal ortama benzer bir yapı oluşturabilecek şekilde, 6×12 cm boyutlarında beyaz kabartılmış petek parçaları kesilerek yerleştirildi.

Arıların beslenmesini sağlamak amacıyla, 15 ml'lik Falcon tüpler üzerinde değişiklik yapıldı. Bu tüpler 5 ml seviyesinden kesildi ve arıların doğrudan tüp içerisinden beslenebilmesine olanak sağlayacak şekilde kafeslere yerleştirildi. Bu düzenleme ile arıların kontrollü ve hijyenik bir şekilde yemlenmesi amaçlandı. Hazırlanan kafes sistemi Şekil 3.5'de sunuldu.



Şekil 3.5. *In vitro* çalışmada kullanılan kafeslerin hazırlanması

3.2.3.2. Arılı Kafeslerin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan bal arıları, deneyin kurulmasından bir gün önce arı kolonilerinden temin edildi. Bu amaçla, her biri yavru çıkışı başlamış durumdaki 5 adet yavrulu çerçeve seçildi. Alınan çerçeveler, bal saklama sandıklarına yerleştirildi ve ardından kontrollü çevre koşulları sağlayan bir inkübatörde (Miprolab, MTK 600, Türkiye) alındı. Çerçeveseler inkübatör, bir gece boyunca 35 °C sıcaklık ve %70 bağıl nem koşullarında bekletildi (Oskay, 2021), (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bir gece inkübatörde beklemiş genç işçi arıların görüntüsü

Bu ön hazırlık sürecinin ardından yeni çıkan 1 günlük yaştaki bal arıları kabın içerisine silkelendi ve çalışma içerisindeki arıların homojenliğini sağlamak amacıyla el ile karıştırıldı. Bu işlemin ardından deneme kafeslerine 100 adet bal arısı sayılarak konuldu (Şekil 3.7). Hazır olan kafesler inkübatöre yerleştirilerek çalışma yürütüldü.



Şekil 3.7. *In vitro* çalışmanın kurulum aşamaları

3.2.3.3. Deneme Deseni

Çalışmada kullanılan deneme deseni aşağıda şematik olarak sunuldu (Şekil 3.8). Bu desen doğrultusunda deneysel uygulamalar gerçekleştirildi.

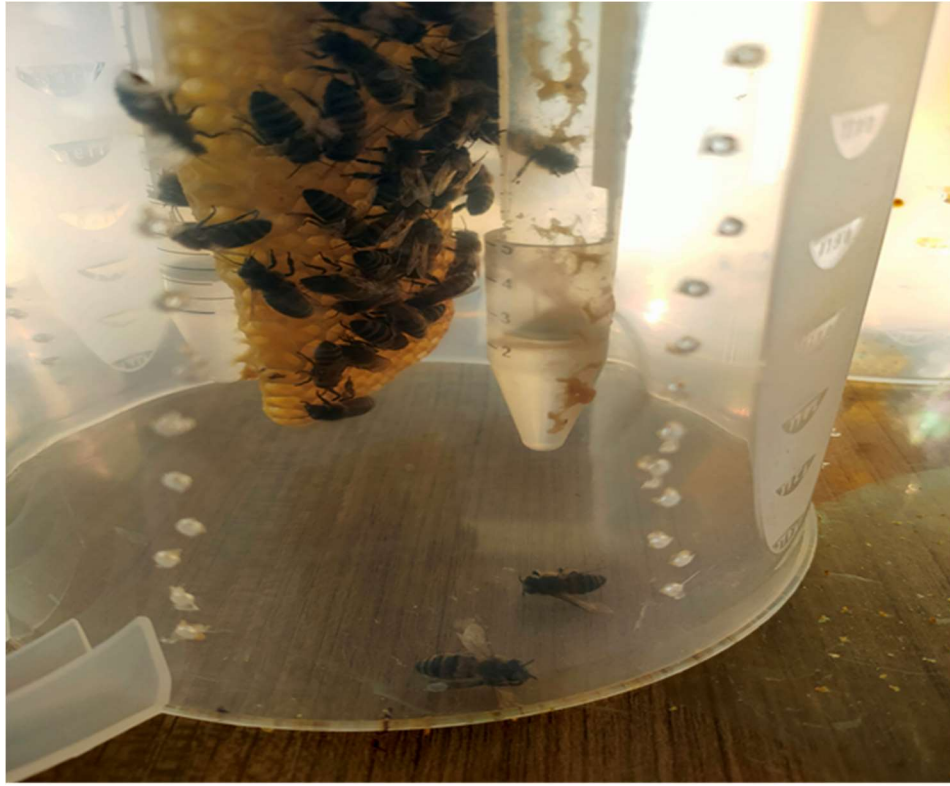


Şekil 3.8. *In vitro* çalışmanın deneme deseni

3.2.3.4. Performans Testleri

3.2.3.4.1. Yaşam Süresi

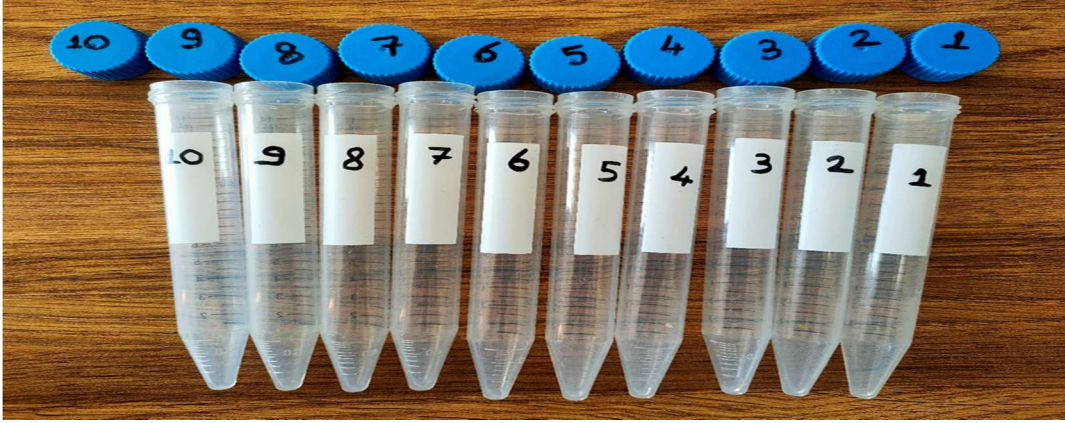
Çalışma her bir kafeste 100 adet işçi arı olacak şekilde başlatıldı. Deneme süresince, kafeslerdeki arı ölümleri günlük olarak takip edildi ve her gün ölen arıların sayıları düzenli olarak kayıt altına alındı. Ölen arılar kafeslerden uzaklaştırılarak, ortam hijyeninin korunması ve veri doğruluğunun sağlanması amaçlandı (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. *In vitro* çalışmada ölen arı görseli

3.2.3.4.2. Besin Tüketimi

Çalışma süresince her gün, arılar tarafından tüketilen besin, su, bal ve polen miktarları düzenli olarak kayıt altına alındı. Günlük ölçümler sonrasında kaplarda kalan fazla besin ve su uzaklaştırıldı, kaplar saf su ile yıkanarak temizlendi. Temizlik işleminin ardından taze olarak hazırlanan besin solüsyonları, her biri 5 ml olacak şekilde kaplara dolduruldu



Şekil 3.11. *In vitro* çalışmada canlı ağırlık artışı ölçümü yapılan falkon tüpler

3.2.4. *In vivo* Çalışmalar

3.2.4.1. Denemenin Kurulumu

Tez çalışması kapsamında *Apis mellifera meda* ekotipine ait bal arısı kolonileri kullanıldı. Deneme, aynı yaşta ana arıya sahip ve her biri yaklaşık 5 arılı ile 3 yavrulu çerçeveden oluşan, eşit koloni gücüne sahip bireylerden oluşturuldu. Deneme iki gruptan oluşacak şekilde planlandı: En başarılı konsantrasyon değerinin elde edildiği uygulama grubu ve yalnızca şeker şurubu verilen kontrol grubu. Her grup 5 tekerrürlü olacak şekilde, toplamda 10 adet kovanla çalışıldı

Tez çalışmasının kurulumu 01.03.2024 tarihinde gerçekleştirilmiş olup, uygulamalar Bingöl Üniversitesi Arıcılık Araştırma ve Uygulama ve Araştırma Merkezi arılıklarında bulunan kolonilerde, doğal (*in vivo*) koşullar altında yürütüldü (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13).



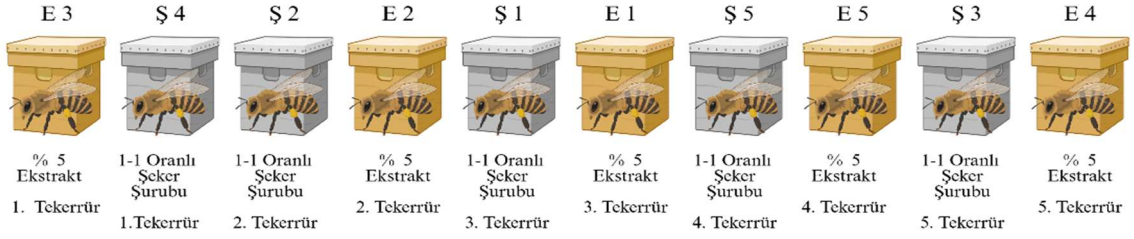
Şekil 3.12. *In vivo* çalışmada deneme kovanlarının hazırlanması



Şekil 3.13. *In vivo* çalışmada kovanların çerçeve sayılarının hazırlanması

3.2.4.2. Deneme Deseni

Çalışmada, deneme gruplarının dağılımı Tesadüf Parselleri Deneme Deseni esas alınarak gerçekleştirildi. Deneme planı, gruplar arasında homojenlik sağlanacak şekilde rastgele dağıtıldı ve her grup eşit sayıda tekerrür içerecek şekilde oluşturuldu. Uygulanan deneme deseni, Şekil 3.14’te şematik olarak gösterildi.



Şekil 3.14. *In vivo* çalışmanın deneme deseni (www.biorender.com)

3.2.4.3. Besleme İşlemleri

Çalışmada deneme kurulumunun ve ilk tartım verilerinin alınmasının ardından besleme sürecine geçildi. Beslemeye 01.03.2024 tarihinde başlandı ve bu süreç 14.05.2024 tarihinde sonlandırıldı. Bu süre zarfında toplam 19 kez yemleme yapılmış olup, her bir koloniyi toplamda 9000 ml besin verildi.

Besleme uygulamaları, çevresel koşullar dikkate alınarak farklı yöntemlerle gerçekleştirildi. Havanın soğuk seyrettiği ilk dönemde besin, kolonilerdeki çerçevelerin üzerine yerleştirilen poşetler aracılığıyla verildi (Şekil 3.16). Hava sıcaklıklarının mevsim şartlarına gelmesiyle birlikte besleme işlemleri koloni içi yemlikler kullanılarak sürdürüldü (Şekil 3.15). Uygulanan besleme tarihleri ve miktarları Tablo 3.4.'de ayrıntılı olarak sunuldu. Besleme uygulamaları sabit bir düzende yürütülmemiştir. Hava koşulları, koloni popülasyon yoğunluğu ve kovan içerisindeki mevcut stok durumuna bağlı olarak zaman zaman farklı miktarlarda besleme yapılmıştır. Böylece kolonilerin ihtiyaçlarına uygun, esnek ve duruma özel bir besleme programı uygulanarak deneysel sürecin sağlıklı şekilde sürdürülmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.4. *In vivo* çalışmanın yemleme zamanı ve miktarı

Yemleme Tarihi	Yemleme Miktarı (ml/Koloni)
1.03.2024	300
5.03.2024	300
8.03.2024	600
13.03.2024	300
15.03.2024	300
21.03.2024	300
25.03.2024	600
1.04.2024	300
3.04.2024	600
5.04.2024	600
15.04.2024	900
19.04.2024	600
22.04.2024	300
25.04.2024	600
30.04.2024	600
2.05.2024	300
7.05.2024	600
10.05.2024	300
14.05.2024	600

Şekil 3.15. *In vivo* çalışmada yemleme işlemi



Şekil 3.16. *In vivo* çalışmada yemleme şekli

3.2.4.4. Performans Testleri

3.2.4.4.1. Yaşama Gücü

Çalışmada kullanılan kolonilerde çalışma sürecinde ana arısını kaybeden veya koloninin çeşitli sebeplerle sönmesi durumunda bunların sayıları kayıt altına alındı ve bu değerlere bağlı olarak % yaşama gücü olarak hesaplandı (Güler 1995; Gençer 1996; Dülger 1997; Akyol 1998; Gözenler 2000).

3.2.4.4.2. Arılı Çerçeve Sayısı

Koloni gücünü belirlemek amacıyla, her kovan için üstü tamamen ergin arılarla kaplı çerçeve sayısı esas alındı. Bu değerlendirme, görsel gözlem yöntemiyle yapılmış olup, elde edilen veriler düzenli olarak kayıt altına alındı (Doğaroğlu, 1981; Fıratlı ve Karacaoğlu, 1995; Yücel ve Kösoğlu, 2011) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Arılı çerçeve sayısı ölçümü

3.2.4.4.3. Yavrulu Alan

Kolonilerdeki yavru verimliliğini belirlemek amacıyla, her kolonide yer alan çerçevelerdeki kapalı yavru gözlerinin alanı ölçüldü ve bu ölçümler doğrultusunda toplam yavrulu alan miktarı hesaplandı. Bu kapsamda, kapalı yavru alanlarının enine ve boyuna ölçümleri cetvel yardımıyla alındı, ardından elde edilen veriler Puchta yöntemi kullanılarak değerlendirildi. (Fresnaye ve Lensky, 1961; Doğaroğlu, 1981; Doğaroğlu ve ark., 1986; Doğaroğlu ve Ortaç, 1992; Kaftanoğlu ve ark., 1993; Güler ve ark., 1999; Yücel ve Kösoğlu, 2011) (Şekil 3.18).

Hesaplama;

$$S=3,14*A/2*a/2$$

[3.6]

S: alan(cm²)

A: elipsin uzun ekseni;

a: elipsin kısa ekseni



Şekil 3.18. Yavrulu alan ölçümü

3.2.4.4.4. Koloni Ağırlığındaki Değişimler

Çalışmada, kolonilerdeki ağırlık değişimlerini izlemek amacıyla, ilk tartım işlemi yemleme yapılmadan önce gerçekleştirildi. Ardından besleme sürecine geçilmiş ve koloniler, bu süreç boyunca 15 günde bir düzenli olarak kantar ile tartıldı (Şekil 3.19). Yapılan her tartımın sonuçları sistemli şekilde kayıt altına alınarak kolonilerin ağırlık değişimleri izlendi. (Akyol 1998; Dodoloğlu 2000).



Şekil 3.19. Koloni ağırlığı ölçümleri

3.2.4.4.5. Bal Verimi

Çalışmada bal verimi hesaplaması aşamasında ise, sağım işlemi yapılmadan kovan tartıldı, sağım gerçekleştirildi, çerçeveler tekrar kovana yerleştirilip, sağım yapılan kovanın üstüne koyulup tartıldı. Sağım öncesi ve sonrası ağırlıklar birbirinden çıkarılıp bal verimi hesaplandı. (Güler 1995; Gençer 1996; Dülger 1997; Akyol 1998).



Şekil 3.20. Bal verimi ölçümü görseli

3.2.5. Verilerin İstatiksel Analizleri

Tüm çalışmalar üç tekerrürlü olarak gerçekleştirildi. Elde edilen veriler, IBM SPSS Statistics (sürüm 24.0) yazılımı kullanılarak istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. *In vitro* çalışmalarda, yaşam uzunluğu üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla hayatta kalma (surviving) analizi yapıldı. Bu kapsamda *in vivo* çalışmada, farklı uygulamaların etkileri varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirildi; istatistiksel olarak anlamlı fark görülen gruplar arasında farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulandı. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Çözücülerle Ekstrakte Edilen Polenlerin Verim ve Protein Değerleri

Ağır sanayiden etkilenmemiş doğası ve zengin bitkisel çeşitliliğe (yüksek oranda endemizimin görüldüğü) sahip Bingöl ili sınırlarında elde edilen ve Danışmanlığını Dr. Öğr. Üyesi Veysel SÜZERER'in yaptığı Piroz DÜZDABAN'ın tamamladığı “**Bingöl Merkezden Toplanan Bazı Arı Polenlerinin Botanik Orjinlerinin ve Farklı Çözücülerde Elde Edilen Ekstraktların Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi**” isimli Yüksek Lisans Tezi'nde kullanılan arı polenleri ve elde edilen ekstraktların protein miktarları belirlendi. Bu çalışmada, Bingöl ilinin doğal koşullarında toplanan bazı arı polenlerinden elde edilen ultrasonik destekli su bazlı ekstraktların protein içerikleri ve ekstrakt verimlilikleri *in vitro* ve *in vivo* koşullarda karşılaştırmalı olarak değerlendirildi. Çalışmada farklı çözücüler kullanılarak gerçekleştirilen arı poleni ekstraksiyonlarında elde edilen verim oranları, çözücünün türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. dH₂O bazlı ultrasonik destekli ekstraksiyon (UAE) yöntemiyle elde edilen verim oranları %52,7 (BP-3) ile %62,2 (BP-4) arasında değişmiştir. En yüksek ekstraksiyon verimi ise %75,7 (BP-1) ile %25 etanol (EtOH) çözeltisi kullanıldığında elde edilmiştir. Etanol konsantrasyonu arttıkça, ekstraksiyon veriminde düşüş gözlemlenmiştir. Örneğin, %50 EtOH ile yapılan ekstraksiyonda verim %57,8 (BP-5) ile %74,3 (BP-1) arasında değişirken, %100 EtOH ile yapılan ekstraksiyonda verim %31,1 (BP-5) olarak belirlenmiştir.

Benzer bir eğilim, metanol (MeOH) bazlı ekstraksiyonlarda da gözlemlenmiştir. %25 MeOH çözeltisi ile yapılan ekstraksiyonlarda verim %50,7 (BP-3) ile %67,4 (BP-2) arasında değişmiş, ancak %100 MeOH kullanıldığında bu oran %57,3 (BP-5) ile %70,5 (BP-3) arasında kalmıştır (Tablo 4.1). Bu sonuçlar, çözücülerdeki alkol oranının belirli bir seviyeye kadar ekstraksiyon verimliliğini artırdığını; ancak bu seviyenin üzerine çıkıldığında verimliliğin azaldığını göstermektedir.

Tablo 4.1. Çözücü türleri ve konsantrasyonlarının ekstraksiyon verimi

Çözücü ve Konsantrasyon (%v/v)	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5
dH ₂ O	56,4*	60,6	52,7	62,2	60,0
25% EtOH	75,7	73,4	62,7	61,5	62,2
50% EtOH	74,3	67,8	60,0	62,1	57,8
75% EtOH	62,5	51,3	54,9	68,6	51,4
100% EtOH	47,6	39,3	38,6	33,5	31,1
25% MeOH	65,4	67,4	50,7	57,4	64,1
50% MeOH	64,0	69,0	58,3	65,1	60,9
75% MeOH	63,5	44,3	57,8	56,1	59,7
100% MeOH	67,9	62,1	70,5	58,1	57,3

(Ekstraksiyon verimi % olarak verilmiştir)

Yapılan protein analizleri sonucunda; ham (ekstrakte edilmemiş) arı poleni örneklerinde protein içeriğinin %13,82 (BP-1) ile %21,35 (BP-3) arasında değiştiği belirlendi (Tablo 4.2). Ekstraksiyon sonrası elde edilen örneklerde ise protein miktarının, kullanılan çözücü türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edildi. Su (dH₂O) ile yapılan ekstraksiyonlarda protein içeriği %5,25 (BP-1) ile %9,80 (BP-3) arasında değişirken, %25 etanol (EtOH) içeren çözücülerle elde edilen ekstraktlarda bu oran %6,30 (BP-1) ile %8,75 (BP-3) arasında bulundu.

Alkol konsantrasyonunun artmasıyla birlikte, ekstraktlardaki protein içeriğinde belirgin bir azalma gözlemlendi. En düşük protein oranı, %1,75 (BP-1) ile %100 EtOH çözücüsü kullanılarak elde edilen ekstraktlarda ölçüldü. Metanol (MeOH) çözücüsü ile yapılan ekstraksiyonlarda da benzer bir azalma söz konusu olup, %25 MeOH çözeltisi ile yapılan ekstraksiyonda protein içeriği %8,40 (BP-2) seviyesinde iken, %100 MeOH ile yapılan ekstraksiyonda protein oranı %2,45 (BP-5) olarak belirlendi. Elde edilen verilerin incelenmesi sonucunda, en yüksek protein oranının su (dH₂O) ile yapılan ekstraksiyonda ve BP-3 numaralı ekstrakta bulunduğu belirlendi. Bu nedenle, hem *in vitro* hem de *in vivo* çalışmalarda, BP-3 numaralı arı polenin su ekstraktı örneği kullanıldı.

Tablo 4.2. Farklı çözücülerden elde edilmiş ekstraktlardaki yüzde protein miktarı

	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5
Protein Miktarı (%)					
Ham polen	13,82	17,85	21,35	16,80	17,85
Ekstrakt(%v/v)					
dH ₂ O	5,25	8,05	9,80	5,95	7,00
25% EtOH	6,30	7,00	8,75	7,35	7,00
50% EtOH	4,90	6,65	5,60	5,25	5,43
75% EtOH	3,33	4,72	5,08	4,90	4,55
100% EtOH	1,75	3,50	3,15	2,10	2,10
25% MeOH	6,30	8,40	8,05	7,00	6,65
50% MeOH	5,25	7,70	5,95	5,25	5,95
75% MeOH	3,15	5,25	5,25	3,85	4,20
100% MeOH	2,45	3,50	3,15	2,10	2,45

4.2. Arı Polen Ekstraktı Protein ve Verim Miktarı

In vitro çalışmalarda kullanılan arı poleni örneğinin, protein içeriği (%21,35) belirlendi. Bu polenden su kullanılarak elde edilen ekstraktın protein oranı %9,80 olarak ölçülürken, ekstrakt verimi %52,7 olarak tespit edildi. *In vivo* koşullar için ise aynı kaynaktan yeterli miktarda örnek bulunamaması nedeniyle, Bingöl Üniversitesi Modern Arıcılık Kompleksi'ne yakın bölgeden temin edilen arı polen örneği kullanıldı. *In vivo* çalışmada kullanılan arı poleni örneğinin polen profilinin *in vitro* çalışmalarda kullanılan arı poleni örneğine benzer bitki çeşitliliğine sahiptir. Bu örneğin protein içeriği %23,95 olup, ekstrakt protein oranı %11,20 ve ekstrakt verimi %52,5 olarak belirlendi (Tablo 4.3). Elde edilen veriler, farklı kaynaklardan toplanan polenlerin içeriksel anlamda benzerlik taşıdığını ve aynı zamanda ekstraksiyon verimliliğinin benzer olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 4.3. Arı poleni ekstraksiyon verimi ve protein miktarları

Arı Polen, Polen Ekstraktı Protein Miktarı ve Verimi			
Çalışma	Liyofilize Arı Polen (%)	Polen Ekstraktı (%)	Ekstrakt Verimi (%)
<i>In vitro</i>	21,35	9,80	52,7
<i>In vivo</i>	23,95	11,20	53,5

Bu bulgular, arı polenlerinin kimyasal bileşenlerinin coğrafi köken, botanik kaynak ve çevresel faktörler tarafından şekillendirilen dinamik bir yapıya sahip olduğunu destekleyen önemli veriler sunmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar, polenin protein içeriğinin

coğrafi ve çevresel faktörlere bağlı olarak büyük değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Campos et al., 2008; Carpes et al., 2009; Da Silva et al., 2018). Bingöl bölgesinden toplanan arı polenlerinde tespit edilen protein oranlarının bu geniş varyasyona paralel olarak yüksek bulunması, bölgesel floristik çeşitlilik ve çevresel koşulların etkisini doğrulamaktadır. Ayrıca, polenlerin içerdiği biyolojik aktiviteler ve besin değerlerinin, özellikle Bingöl gibi ekolojik olarak zengin ve coğrafi açıdan yüksek bölgelerde daha belirgin hale geldiği düşünülmektedir.

Polenlerin protein içeriği açısından elde edilen bulgular, Campos et al. (2008) ve Carpes et al. (2009) gibi önceki çalışmalarla uyumlu olup, Bingöl florasındaki polenlerin potansiyel besin değerinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, elde edilen ekstrakt veriminin yüksekliği (Pascoal et al., 2014) ve su bazlı ekstraksiyon yönteminin etkinliği, çevre dostu ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir alternatif olarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Çalışmamızda elde edilen ekstrakt verimi, Pascoal et al. (2014) ve diğer literatür verilerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olup, polenlerin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, bu yüksek verim, polenlerin besin ve biyolojik aktiviteler açısından zengin bileşikler sunduğunu işaret etmektedir.

Bingöl bölgesinden elde edilen polenlerin protein içeriği ve biyolojik aktiviteleri arasındaki ilişki, potansiyel fonksiyonel gıda ve doğal sağlık destek ürünlerinin geliştirilmesi adına önemli bir bulgu sunmaktadır. Özellikle polenin antioksidan, antienflamatuvar ve antimikrobiyal etkilerinin, geleneksel kullanım ve farmakolojik araştırmalar için değerli olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, ekstraksiyon yöntemlerinin biyolojik aktivite üzerindeki etkilerini araştıran daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Pasarın ve Rovinariu (2022) tarafından yapılan çalışmalar, enzimatik hidroliz yöntemlerinin düşük moleküler ağırlıklı peptitler içerdiğini ve biyolojik etkinlik sağladığını vurgulamaktadır. Bu bağlamda, su bazlı fakat enzimatik olmayan klasik ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen polen ekstraktlarında gözlemlenen yüksek protein oranı, kullanılan yöntemlerin ve polen örneklerinin botanik çeşitliliğinin farklı biyolojik aktiviteleri tetikleyebileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, Bingöl bölgesinden elde edilen arı polenlerinin hem besin içeriği hem de ekstrakt verimi açısından yüksek potansiyel taşıdığını ortaya

koymaktadır. Gelecekteki araştırmalar, polenlerin biyolojik aktivitelerinin daha detaylı bir şekilde incelenmesini ve farklı ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılmasını sağlayarak, arı polenlerinin fonksiyonel gıda ve doğal sağlık destek ürünleri üretiminde daha geniş bir kullanım alanı bulmasını mümkün kılacaktır.

4.3. Arı Poleninin Melissopalinojik Analizi

Bingöl il sınırlarında yer alan doğal alanlardan toplanan arı polenlerinin botanik kökenleri belirlenmiş, elde edilen bulgular floristik çeşitlilik ve arıcılık potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Polen analizleri sonucunda, örneklerde yer alan polenlerin familya ve cins düzeyindeki taksonomik dağılımında toplamda 28 farklı bitki familyasına ait polen teşhis edilmiştir (Tablo 4.4). Ayrıca daha önce *in vitro* koşullarda kullanılan ve ilgili tez kapsamında belirlenen polenleri teşhisi sunulmuştur (Tablo 4.5). Bu familyalara ait polenlerin örnek içerisindeki bolluk oranları %0,2 ile %20 arasında değişkenlik göstermiştir. Söz konusu dağılım, bölgede yüksek düzeyde bitkisel çeşitliliğin bulunduğunu ve arıların oldukça geniş bir botanik spektrumdan polen topladığını göstermektedir.

Tablo 4.4. Polen analiz sonuçları

Familiya	Familiya*/Tür**/Cins***	Polen Yoğunluğu(%)	Sınıflandırma
Apiaceae	Apiaceae*	9	M
Asteraceae	<i>Achillea</i> sp.**	2,6	E
	<i>Cirsium</i> sp.**	1,2	E
	<i>Gundelia</i> sp.**	0,2	E
	<i>Taraxacum</i> type***	1,2	E
	<i>Xeranthemum</i> sp.**	1,6	E
Boraginaceae	<i>Echium</i> sp.**	1,8	E
Brassicaceae	Brassicaceae*	9	M
Cyperaceae	<i>Carex</i> sp.**	0,4	E
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp.**	0,6	E
Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.**	1,2	E
	<i>Trifolium</i> sp.**	2,6	E
	<i>Vicia</i> sp.**	0,8	E
	<i>Quercus</i> sp.**	1,2	E
Geraniaceae	<i>Geranium</i> sp.**	0,2	E
Hypericaceae	<i>Hypericum</i> sp.**	19	S
Juglandaceae	<i>Juglans</i> sp.**	0,2	E
Lamiaceae	<i>Lamium</i> sp.**	0,6	E
	<i>Teucrium</i> sp.**	0,2	E
Papaveraceae	<i>Papaver</i> sp.**	0,8	E
Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp.**	2,4	E
Poaceae	Poaceae*	0,6	E
Polygonaceae	<i>Rumex</i> sp.**	0,6	E
Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.**	0,8	E
Rhamnaceae	<i>Paliurus</i> sp.**	3,8	M
Rosaceae	<i>Crataegus</i> sp.**	4,6	M
	Rosaceae*	4,8	M
	<i>Sanguisorba</i> sp.**	1,8	E
Salicaceae	<i>Salix</i> sp.**	20	S
Scrophulariaceae	<i>Verbascum</i> sp.**	1,6	E
Xanthorrhoeaceae	<i>Eremurus</i> sp.**	4,6	M

≥%45 dominant (D), %44- %16 sekonder (S), %15- %3 arası minör (M) < %3 Eser (E)

Minör grupta yer alan polenler arasında Apiaceae (%9), Brassicaceae (%9), *Crataegus* sp. (%4,6), Rosaceae (%4,8), *Paliurus* sp. (%3,8) ve *Eremurus* sp. (%4,6) gibi familiya ve cinslerin dikkat çekici oranlarda temsil edildiği gözlemlendi. Bu durum, söz konusu taksonların arılar için önemli nektar ve polen kaynakları olduğunu, ayrıca bölge florasında da geniş yayılış gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca, polen örneğinde eser miktarda (%<3) tespit edilen taksonlar arasında *Achillea* sp. (%2,6), *Trifolium* sp. (%2,6), *Plantago* sp. (%2,4), *Echium* sp. (%1,8), *Sanguisorba* sp. (%1,8), *Xeranthemum* sp. (%1,6), *Verbascum* sp. (%1,6) gibi birçok tür yer almaktadır. Bu türlerin düşük oranlarda saptanması, büyük olasılıkla ya floristik popülasyonlarının sınırlı olmasından ya da

çiçeklenme dönemlerinin örnekleme zamanıyla tam olarak örtüşmemesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.5. Polen analiz sonuçları (Düzdaban, 2022)

Familiya	Familiya*/Tür**/Cins***	Polen Yoğunluğu(%)	Sınıflandırma
Boraginaceae	<i>Myosotis</i> sp.	0,4	E
Caprifoliaceae	<i>Lonicera</i> sp.	0,2	E
Cornaceae	<i>Cornus</i> sp.	0,2	E
Cyperaceae	<i>Carex</i> sp.	0,2	E
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp.	0,2	E
Fabaceae	<i>Colutea</i> sp.	8	M
Fabaceae	<i>Trifolium</i> sp.	12,2	M
Fagaceae	<i>Quercus</i> sp.	1	E
Geraniaceae	<i>Geranium</i> sp.	0,2	E
Hypericaceae	<i>Hypericum</i> sp.	7,4	M
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i>	0,6	E
Plantaginaceae	<i>Linaria</i> sp.	9,4	M
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>	5	M
Poaceae	Poaceae	16,4	S
Polygonaceae	<i>Rehum</i> sp.	2,2	E
Polygonaceae	<i>Rumex</i> sp.	12,6	M
Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.	0,6	E
Rhamnaceae	<i>Paliuris</i> sp.	0,4	E
Rosaceae	<i>Crataegus</i> sp.	5,8	M
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.	3,4	M
Rosaceae	<i>Sanguisorba</i> sp.	2,8	E
Tamaricaceae	<i>Tamarix</i> sp.	7	M

Çalışmamızda tespit edilen taksonlar, bölgedeki floristik çeşitliliği ve polen örneklerinin coğrafi temsiliyetini açıkça ortaya koymaktadır. Canlı (2014) tarafından rapor edilen çalışmada Ardahan bölgesinden toplanan polen örneklerinin en fazla *Fabaceae* familyasına ait olduğu ve ardından sırasıyla *Cistaceae*, *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Dipsaceae*, *Boraginaceae* ve *Brassicaceae* familyalarına ait taksonların teşhis edildiği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da benzer şekilde *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Asteraceae*, *Boraginaceae* ve *Brassicaceae* familyalarına ait türlerin varlığı tespit edilmiştir. Ancak, *Cistaceae* ve *Dipsaceae* familyalarına ait taksonların bulunmaması, farklı coğrafi bölgeler ve ekolojik koşullardaki floristik çeşitliliğin etkisini vurgulamaktadır. Bu durum, polen örnekleme zamanlamasının yanı sıra bölgedeki bitki örtüsünün farklılıklarını da ortaya koymaktadır. Bingöl bölgesindeki floristik zenginliği daha iyi anlamak adına, Behçet ve Yapar (2019) tarafından yapılan floristik çalışmaya değinmek önemlidir. Matan Dağı'nda yapılan bu incelemede 29 familyaya ait 101 cinse bağlı 126 tür belirlenmiştir. Bu türlerin büyük bir

kısmı, mevcut çalışmada teşhis edilen polen örnekleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Özellikle *Prangos* sp., *Achillea* sp., *Helichrysum* sp., *Anchusa* sp., *Lonicera* sp., *Silene* sp. ve *Convolvulus* sp. gibi türlerin varlığı, Bingöl florasının zenginliğini ve polen örneklerinin floristik temsiliyetini güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Polat et al. (2021) tarafından Bingöl il sınırlarında yapılan floristik çalışmalar, bölgedeki arıcılıkla ilişkili önemli familyaların varlığını bir kez daha doğrulamaktadır. Bu araştırmada *Ferula* sp., *Achillea* sp., *Taraxacum* type, *Trifolium* sp., *Colutea* sp., *Lamium* sp., *Hypericum* sp., *Plantago lanceolata*, *Crataegus* sp., *Sanguisorba* sp. ve *Salix* sp. gibi türler tespit edilmiştir. Bu türler, bizim çalışmamızda da bulunmuş olup, Bingöl florasının sürekliliği ve arıcılık açısından önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Aynı şekilde, Çobanoğlu ve arkadaşları (2021) tarafından Bitlis, Muş ve Tunceli illerinde yürütülen floristik araştırmalarda da *Ferula* sp., *Achillea* sp., *Taraxacum* sp., *Trifolium* sp., *Silene* sp., *Hypericum* sp., *Morus* sp., *Plantago* sp., *Rumex* sp., *Pyrus* sp., *Potentilla* sp. ve *Salix* sp. gibi türler tespit edilmiştir. Bu taksonların büyük kısmının mevcut çalışmamızda da yer alması, Doğu Anadolu Bölgesi'nde benzer floristik yapılar bulunduğunu ve arıcılıkla ilişkilendirilebilecek sürdürülebilir kaynakların mevcut olduğunu göstermektedir.

Tüm bu veriler ışığında, Bingöl ilinin florasının yüksek çeşitliliği ve zenginliği, bölgedeki arıcılığın sürdürülebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Arıların polen toplamak için geniş bir bitkisel kaynak yelpazesi sunduğu bu floristik çeşitlilik, arıcılıkla ilişkili biyolojik kaynakların verimliliğini artırmaktadır. Çalışmamızda teşhis edilen türlerin bölge florasıyla büyük oranda örtüşmesi, polen örneklerinin coğrafi ve ekolojik temsiliyetini güçlendirmektedir. Ayrıca, bu tür polen analizlerinin floristik verilerle dayandırılması, sadece arıcılık faaliyetlerini desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda bölgedeki biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik önemli bir temel oluşturmuştur. Böylelikle, arıcılıkla ilgili sürdürülebilir stratejiler geliştirilmesi ve bölgesel ekosistemlerin korunması adına bu bulgular değerli bir kaynak teşkil etmektedir.

4.4. Polen Ekstraktı Aminoasit Analizi

In vitro ve *in vivo* çalışma kapsamında kullanılan arı poleni ekstraktlarının aminoasit içerikleri analiz edilerek sonuçlar Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 ve bu sonuçlara ait

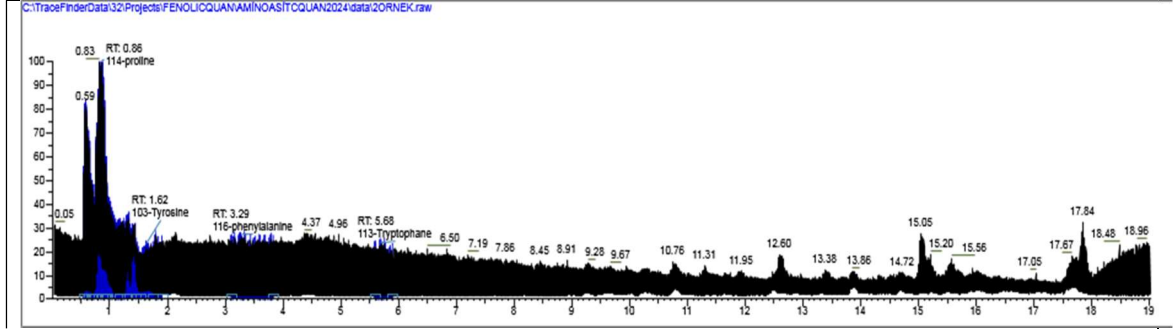
kromatogramlar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirildi.

In vitro çalışmada kullanılan arı poleni ekstraktında en yüksek oranda tespit edilen aminoasit, 764,83 µg/g ile prolin olmuştur. Prolinin ardından asparagin (121,52 µg/g), glisin (61,83 µg/g) ve alanin (36,36 µg/g) aminoasitleri sırasıyla en yüksek miktarlarda bulunmuştur. Serin (28,40 µg/g), arjinin (22,43 µg/g) ve fenilalanin (20,14 µg/g) orta düzeyde tespit edilirken; glutamin (13,42 µg/g), treonin (10,23 µg/g) ve histidin (9,11 µg/g) daha düşük oranlarda saptanmıştır. Triptofan (5,56 µg/g) ve tirozin (4,15 µg/g) gibi bazı aromatik aminoasitler düşük seviyelerde bulunmuştur. Ayrıca dikkat çeken bir diğer bileşik, nöroaktif özellikleriyle bilinen L-DOPA (0,11 µg/g) düşük miktarda da olsa ekstrakt içeriğinde varolduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, aspartik asit, glutamik asit, izolösin, lösin ve valin aminoasitleri tespit edilememiştir; bu durum bu bileşenlerin analitik yöntemlerin algılama sınırının altında kalmış olabileceğini düşündürmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. *In vitro* çalışmada kullanılan polen ekstraktı aminoasit sonucu

<i>In vitro</i> Çalışmada Kullanılan Polen Ekstraktı Aminoasit Sonucu	
Aminoasit	Miktar (µg/g extract)
Prolin	764,8362
Asparajin	121,5225
Glisin	61,8303
Alanin	36,3598
Serin	28,4007
Arjinin	22,4349
Fenilalanin	20,1443
Glutamin	13,4201
Treonin	10,2311
Histidin	9,1115
Triptofan	5,5626
Tirozin	4,1503
L -3,4-dihidroksifenilalanin (L-DOPA)	0,1135
Aspartik Asit	T.E.
Glutamik Asit	T.E.
Isolösin	T.E.
Lösin	T.E.
Valin	T.E.

T.E. Tespit Edilemedi

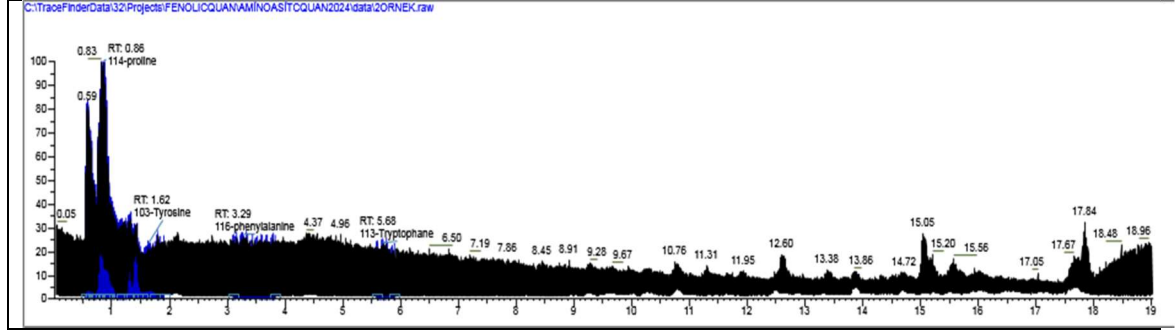


Şekil 4.1. *In vitro* çalışmada kullanılan ekstraktın aminoasit ölçüm kromatogramı

In vivo çalışma kapsamında kullanılan arı poleni ekstraktı örneğinde de benzer bir aminoasit dağılımı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, prolin yine en yüksek miktarda tespit edilen aminoasit olarak belirlenmiş ve miktarı 761,01 $\mu\text{g/g}$ olarak ölçülmüştür. Diğer tespit edilen aminoasitler arasında glisin (50,16 $\mu\text{g/g}$), asparagin (30,62 $\mu\text{g/g}$) ve alanin (25,32 $\mu\text{g/g}$) yer almıştır. Triptofan (15,42 $\mu\text{g/g}$), histidin (9,39 $\mu\text{g/g}$), fenilalanin (9,12 $\mu\text{g/g}$) ve tirozin (7,46 $\mu\text{g/g}$) orta düzeyde saptanmış, serin (6,70 $\mu\text{g/g}$), arjinin (5,75 $\mu\text{g/g}$), glutamin (3,12 $\mu\text{g/g}$) ve treonin (2,44 $\mu\text{g/g}$) ise daha düşük oranlarda bulunmuştur. Bu örnekte L-DOPA düzeyi 0,196 $\mu\text{g/g}$ olup, *in vitro* çalışmada kullanılan ekstrakta kıyasla daha yüksek miktarda tespit edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. *In vivo* çalışmada kullanılan polen ekstraktı aminoasit sonucu

<i>In vivo</i> Çalışmada Kullanılan Polen Ekstraktı Aminoasit Sonucu	
Aminoasit	Miktar($\mu\text{g/g}$ extract)
Prolin	761,0148
Glisin	50,1603
Asparajin	30,618
Alanin	25,3221
Triptofan	15,423
Histidin	9,385
Fenilalanin	9,1207
Tirozin	7,456
Serin	6,6952
Arjinin	5,7509
Glutamin	3,1206
Treonin	2,4369
L -3,4-dihidroksifenilalanin (L-DOPA)	0,196
Aspartik Asit	T.E.
Glutamik Asit	T.E.
İsolösin	T.E.
Lösin	T.E.
Valin	T.E.



Şekil 4.2. *In vivo* çalışmada kullanılan ekstraktın aminoasit ölçüm kromatogramı

Her iki ekstrakt karşılaştırıldığında, prolin her iki ekstrakta da baskın aminoasit olarak öne çıkmış ve biyoyararlanımı yüksek bir bileşen olarak dikkati çekmiştir. Ayrıca glisin, asparagin, alanin, fenilalanin, arjinin, triptofan, histidin ve serin gibi aminoasitlerin varlığı iki farklı koşulda da doğrulanmıştır. Miktersal farklılıklar olmakla birlikte, aminoasit çeşitliliği açısından genel bir uyum söz konusudur. Bu durum, polen ekstraktlarının aminoasit profili açısından tutarlı olduğunu ve potansiyel biyolojik etkinliğini koruduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda saptanan L-DOPA düzeyleri düşük olmasına rağmen, bu bileşiğin varlığı dikkat çekicidir. L-DOPA, fenilalanin türevi bir bileşik olup, çeşitli farmakolojik etkileri (özellikle antioksidan ve nöroprotektif) ile bilinmektedir. Her iki ekstrakta da bu bileşiğin izlenmesi, çalışmada kullanılan polen örneklerinin biyoaktif bileşenler açısından potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, mevcut literatürle büyük oranda uyum göstermektedir. Taha ve arkadaşları (2019) tarafından rapor edilen çalışmada, Suudi Arabistan'ın Al-Ahsa bölgesinden elde edilen polenlerde prolinin, toplam serbest aminoasit içeriğinin yarısından fazlasını oluşturduğu bildirilmiştir. Ayrıca glutamik asit, aspartik asit, glisin ve alanin gibi aminoasitlerin de yüksek düzeylerde bulunduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmadaki prolin baskınlığı, bizim çalışmamızla örtüşmekle birlikte, glutamik asit ve aspartik asit gibi bazı aminoasitlerin bizde tespit edilememesi, botanik köken, coğrafi faktörler veya kullanılan analiz yöntemleriyle açıklanabilir.

Benzer şekilde, Yang ve arkadaşları (2013) tarafından rapor edilen çalışmada, farklı botanik ve coğrafi kökenlerden elde edilen polen örneklerinin aminoasit profillerinde ciddi farklılıklar olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada prolin konsantrasyonunun 7400 µg/g ile 20.010 µg/g arasında değiştiği belirtilmiş, bu da bizim çalışmamıza kıyasla çok daha yüksek seviyelere işaret etmektedir. Bu farkın, örneklerin farklı bitkisel kaynaklardan elde edilmesi ve yetiştirme koşullarına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Al-Kahtani ve arkadaşları (2020) tarafından rapor edilen çalışmada, polenin aminoasit içeriğinin mevsimsel değişimlere bağlı olarak büyük farklılıklar gösterdiği ortaya konmuştur. İlkbaharda özellikle lösin, valin ve izolösin; kış aylarında ise lizin, arjinin, fenilalanin ve triptofan düzeylerinin arttığı rapor edilmiştir. Yaz mevsiminde prolin düzeyinin daha yüksek olması, bizim çalışmamızda gözlenen yüksek prolin seviyesini destekleyici niteliktedir. Bununla birlikte, çalışmamızda mevsimsel etki değerlendirilmemiştir; bu durum, bazı aminoasitlerin tespit edilememesinin olası nedenlerinden biri olabilir.

Bayram ve arkadaşları (2021) tarafından rapor edilen çalışmada, Türkiye'den elde edilen polen örneklerinde en baskın serbest aminoasitlerin L-prolin (8384,22–16670,79 µg/g) ve L-asparagin (4851,27–15336,14 µg/g) olduğu bildirilmiştir. Bu değerler, bizim çalışmamızda saptanan düzeylerin oldukça üzerindedir. Bunun temel nedeni, çalışmada analiz edilen örneklerin serbest aminoasit (FAA) düzeylerini yansıtması ve kullanılan örneklerin botanik kökeninin farklı olması olabilir.

Hsu ve arkadaşları (2021) tarafından Tayvan'da yürütülen çalışmada, farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen 11 polen örneği incelenmiş ve toplam 18 aminoasit tespit edilmiştir. Özellikle lösin, valin, alanin, glutamik asit, aspartik asit ve prolin gibi aminoasitlerin yüksek düzeyde bulunduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda glutamik asit ve aspartik asit saptanmamış olmasına rağmen, prolinin baskınlığı bu çalışmayla benzerlik göstermektedir.

Darwish ve arkadaşları (2022) tarafından rapor edilen çalışmada, arı poleninin yanı sıra arı ekmeği ve arı sütü gibi ürünlerin kimyasal bileşimleri değerlendirilmiş ve polenin yüksek düzeyde lösin (5,34 mg/g), lizin (5,04 mg/g), fenilalanin + tirozin (5,02 mg/g) ve treonin

(4,17 mg/g) içerdği tespit edilmiştir. Bu bulgular, polenin günlük esansiyel aminoasit ihtiyacının karşılanmasına katkı sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca prolin (6,63 mg/g) ve glutamik asit (9,01 mg/g) gibi aminoasitlerin de yüksek düzeyde bulunduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, prolinin temel bileşenlerden biri olduğu yönündeki bulgularımızı desteklemektedir.

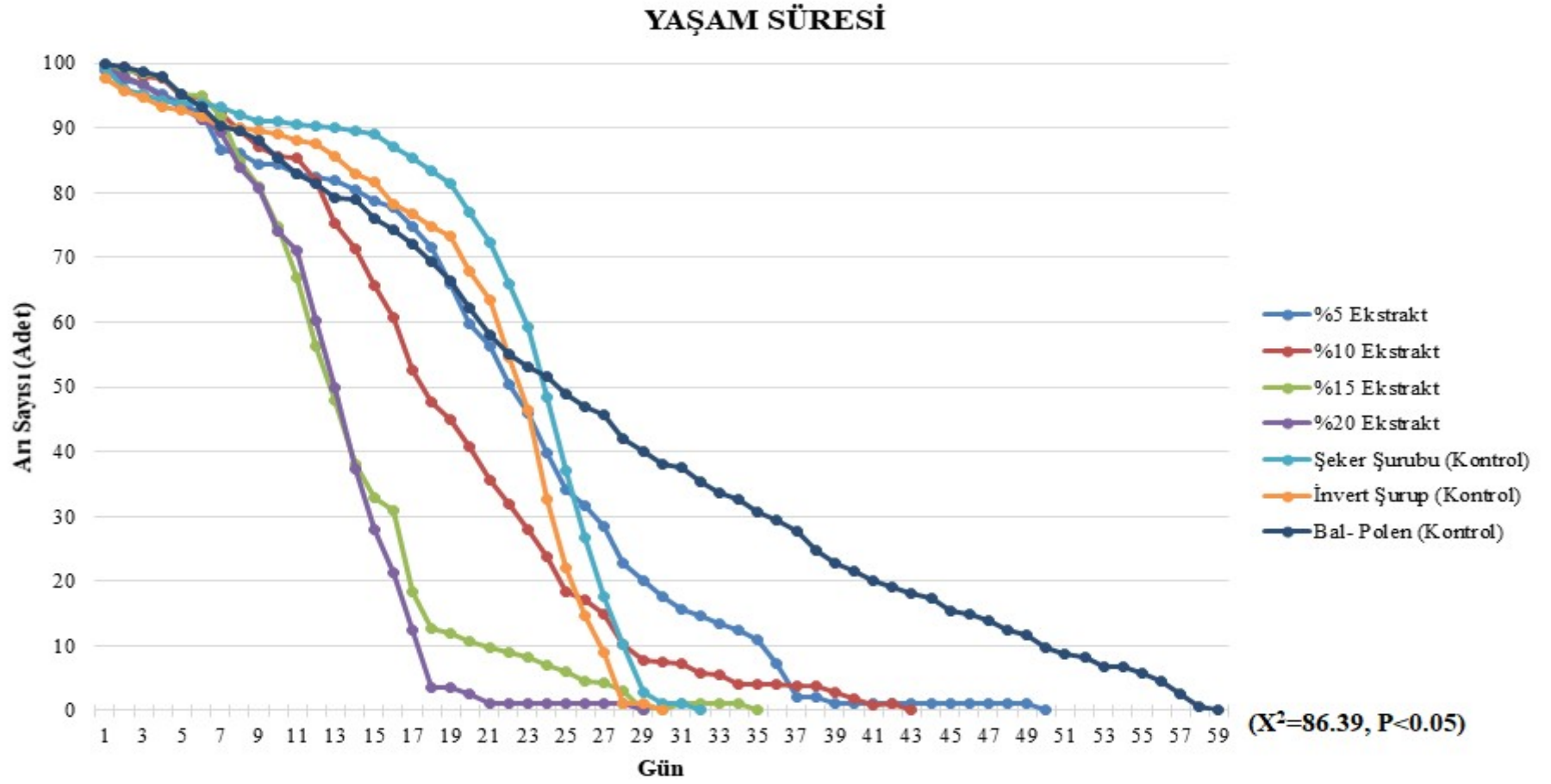
Türe ve arkadaşları (2023) tarafından Türkiye genelinde yürütülen çalışmada, altı farklı bölgeden toplanan 90 arı poleni örneği analiz edilmiştir. Bu çalışmada da prolin, $309,05 \pm 28,56$ mg/g düzeyinde tespit edilerek en yüksek seviyeye sahip aminoasit olarak belirlenmiştir. Bölgesel olarak protein içerikleri açısından anlamlı farklar tespit edilmiş ve Karadeniz Bölgesi'nde en yüksek değerler rapor edilmiştir. Bu bulgu, coğrafi ve çevresel faktörlerin aminoasit profilinde belirleyici olduğunu ve Bingöl yöresine ait örneklerin farklı bir aminoasit dağılımı gösterebileceğini desteklemektedir.

Sonuç olarak, çalışmada elde edilen bulgular, prolinin arı poleni ekstraktlarında baskın aminoasit olduğunu açıkça ortaya koymakta ve mevcut literatürle güçlü bir uyum sergilemektedir. Diğer aminoasitlerin düzeyleri botanik köken, coğrafi bölge, mevsimsel farklılıklar ve ekstraksiyon yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

4.5. *In Vitro* Çalışmanın Performans Testleri Sonuçları

4.5.1. Yaşam Süresi

Polen ekstraktının farklı konsantrasyonlarının ve alternatif besin kaynaklarının bal arılarının yaşam süresi üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamına elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'de sunulmuştur. Ayrıca besin kaynaklarına ait kaplan-meier istatistik sonuçları tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Yaşam süresi sağkalım grafiği

Elde edilen verilere göre, en uzun yaşam süresi 59 gün ile bal-polen karışımı grubunda gözlenmiş, bunu sırasıyla %5 ekstrakt (50 gün), %10 ekstrakt (43 gün), %15 ekstrakt (35 gün), şeker şurubu (32 gün), invert şurup (30 gün) ve %20 ekstrakt (29 gün) izlemiştir. Bu sonuçlar, özellikle doğal içerikli ve dengeli besin kaynağı olan bal-polen karışımının arıların yaşam süresini uzatmada en etkili yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Beslenme grupları karşılaştırıldığında, şeker şurubu ve invert şurup gibi karbonhidrat temelli besin kaynaklarına kıyasla, düşük ve orta düzeyde uygulanan polen ekstraktlarının daha uzun yaşam süresi sağladığı tespit edilmiştir. Ancak %20'lik ekstrakt grubunda yaşam süresinin belirgin şekilde düşmesi, yüksek dozda uygulanan polen ekstraktlarının olası toksik etkiler ya da metabolik yüklenme ile ilişkili olumsuz sonuçlar yaratabileceğini düşündürmektedir. Bu durum, polen ekstraktının yaşam süresi üzerindeki etkisinin doza bağlı olduğunu ve optimum dozun belirlenmesinin kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4.8. Yaşam süresi Kaplan-Meier istatistik sonuçları

Besleme Grupları	Ortalama Hayatta Kalma (gün)	Ortanca Sağkalım Süresi (gün)	%95 Güven Aralığı	Risk Oranı (Bal-Polen)
%5 Ekstrakt	50	26	45–55	1,18
%10 Ekstrakt	43	20	38–47	1,37
%15 Ekstrakt	35	14	30–39	1,69
%20 Ekstrakt	20	15	16–23	2,95
Şeker Şurubu (Kontrol)	29	25	25–32	2,03
İnvert Şurup (Kontrol)	32	26	28–35	1,84
Bal-Polen (Kontrol)	59	29	54–63	1,00 (referans)

Tablo 4.8’de verilen sonuçlara göre, en uzun ortalama ve ortanca sağkalım süresi Bal-Polen grubunda gözlenmiştir (59 gün ve 29 gün). Bu nedenle Bal-Polen referans grup olarak alınmış ve risk oranı (HR) 1.00 kabul edilmiştir. Diğer tüm gruplarda, Bal-Polen’e kıyasla sağkalım süresi daha kısa ve ölüm riski daha yüksektir. Bal-Polen’den sonra en iyi performans gösteren grup %5 ekstrakt grubu olmuştur; bu grupta ortalama sağkalım süresi 50 gün, ortanca sağkalım süresi 26 gün olup, risk oranı yalnızca %18 artış göstermiştir. Ekstrakt oranı arttıkça sağkalım süresi kısalmış ve risk oranı belirgin şekilde yükselmiştir; özellikle %15 ekstrakt grubunda HR 1,69, %20 ekstrakt grubunda ise HR 2,95’e ulaşarak ölüm riskinin yaklaşık üç kat arttığı görülmektedir. Kontrol gruplarından şeker şurubu

(ortalama 29 gün) ve invert şurup (ortalama 32 gün) da Bal-Polen'e göre daha kısa sağkalım sağlamış ve sırasıyla HR 2,03 ve HR 1,84 ile daha yüksek risk göstermiştir. Genel olarak, Bal-Polen grubu en iyi sağkalım performansını sergilerken, ikinci sırada %5 ekstrakt grubu yer almakta, yüksek ekstrakt dozları ise sağkalımı olumsuz etkilemekte ve ölüm riskini artırmaktadır.

Çalışmamızın bulguları, literatürdeki mevcut verilerle büyük ölçüde uyum göstermektedir ve polenin arıların yaşam süresi üzerindeki etkilerini destekleyici nitelikteki çeşitli araştırmaları doğrulamaktadır. DeGrandi-Hoffman ve arkadaşları (2010) tarafından bildirilen çalışmada, doğal polenle beslenen arıların, ticari protein takviyeleriyle beslenenlere kıyasla daha uzun yaşadığı ve bağışıklık sistemlerinin daha dirençli olduğu belirtilmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda polenin biyolojik aktivite potansiyelini ve arı sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini yansıtmaktadır. Ayrıca, Roulston ve Cane (2000) tarafından polendeki aminoasitler ve polifenoller üzerinde yapılan araştırma, polenin arıların bağışıklık sistemini güçlendirdiğini ve antioksidan etkiler sunduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda da prolin gibi aminoasitlerin baskınlığı, polenin bağışıklık sistemini destekleyici ve yaşamsal fonksiyonları iyileştirici özellik taşıdığını göstermektedir.

Schmidt ve arkadaşları (1987) tarafından yapılan bir başka önemli araştırma, polen tüketiminin arıların yaşam süresi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuş ve farklı polen türlerinin yaşam süresi üzerindeki değişken etkilerini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Li ve Schmidt (1995) tarafından yapılan çalışmada, belirli polen türlerinin arıların yaşam süresini önemli derecede artırdığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, polenin sadece beslenme amacıyla değil, aynı zamanda yaşam süresi uzatma açısından önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Paoli ve arkadaşlarının (2014) çalışması ise aminoasit ve karbonhidrat oranlarının yaşam süresi üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve düşük aminoasit içeren diyetlerin daha uzun yaşam süreleriyle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda düşük ve orta seviyelerdeki polen dozlarının faydalı etkilerini açıklamada yardımcı olabilir.

Diğer yandan, Yang ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan araştırmada, arı sütü içerdiği protein fraksiyonlarının yaşam süresi üzerinde belirgin etkiler oluşturabileceği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Retschnig ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada,

polenle beslenen arıların yaşam süresi ve vücut ağırlığının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Bu, polenin arı sağlığı üzerindeki etkilerini ve yaşam süresine olan olumlu katkısını bir kez daha doğrulamaktadır. Bununla birlikte, Brown ve arkadaşlarının (2022) rapor ettiği bulgular, mikrobiyota ile beslenme arasındaki sinerjik ilişkiyi vurgulamaktadır; polenle beslenmenin yalnızca mikrobiyotası sağlıklı olan arılarda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, polenin biyolojik etkilerinin yalnızca polenin bileşimiyle değil, aynı zamanda arıların genel sağlık durumu ve mikrobiyotalarının durumu ile de şekillendiğini göstermektedir.

Son olarak, Li ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan çalışmada, polenin sindirilebilirlik farklılıklarının yaşam süresi üzerinde belirleyici etkiler yarattığı ifade edilmiştir. Lotus poleninin daha yüksek sindirilebilirlik oranlarıyla daha olumlu fizyolojik etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu, polenin biyoyararlanımının, yaşam süresi üzerindeki etkilerini daha detaylı bir şekilde incelememiz gerektiğini düşündürmektedir. Elde edilen bu bulgular, çalışmamızın da desteklediği şekilde, polen türlerinin biyoyararlanım ve sindirim verimliliği açısından farklılıklar gösterebileceğini ve bu farklılıkların yaşam süresi üzerindeki etkileri önemli ölçüde şekillendirebileceğini göstermektedir.

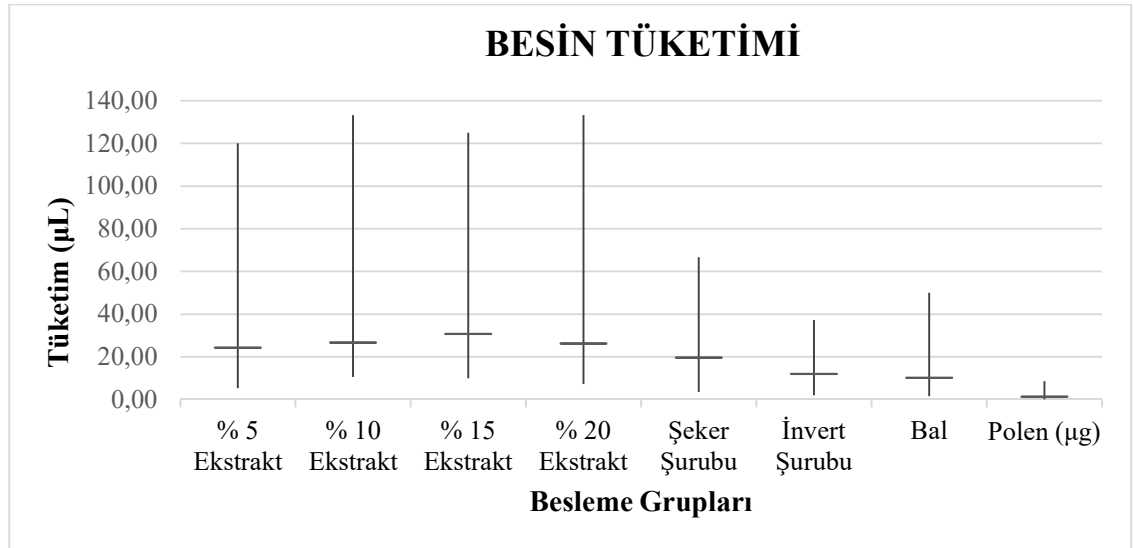
Bütün bu veriler, polen ekstraktlarının yaşam süresi üzerinde doza bağlı etkiler gösterdiğini ve düşük ile orta seviyelerdeki dozların arılar için faydalı, yüksek dozların ise toksik olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, arıcılıkla uğraşanların polen takviyelerini bilinçli ve kontrollü bir şekilde uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, polen türlerinin içerdiği besin bileşenlerinin çeşitliliği ve biyoyararlanımı, arı sağlığını ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmaların polen türlerinin biyolojik etkinliklerinin daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesine ve arı sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

4.5.2. Besin Tüketimi

Çalışmada yer alan farklı besleme gruplarının ortalama besin tüketim miktarları, bal arılarının sunulan diyeteye olan ilgisini ve besin tercih eğilimlerini yansıtmaları açısından önemli bulunmuştur (Tablo 4.9 ve Şekil 4.4).

Tablo 4.9. Besin tüketim verileri

Besin Tüketim Tablosu			
Besleme Grupları	Max Tüketim(μ L)	Min Tüketim(μ L)	Ortalama(μ L)
%5 Ekstrakt(w/v)	120,00	5,26	24,28
% 10 Ekstrakt(w/v)	133,33	10,53	26,77
% 15 Ekstrakt(w/v)	125,00	10,00	30,76
%20 Ekstrakt(w/v)	133,3	7,22	26,35
Şeker Şurubu	66,67	3,57	19,70
İnvert Şurup	37,323	1,96	12,02
Bal	50,00	1,59	10,32
Polen(μ g)	8,60	0,00	1,42



Şekil 4.4. Besin tüketim grafiği

Yapılan ölçümler sonucunda, arıların en fazla tüketimi %15 polen ekstraktı grubunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu grupta ortalama tüketim miktarı 30,76 μ L olarak

kaydedilmiş, ardından %10 ekstrakt (26,77 μ L), %20 ekstrakt (26,35 μ L) ve %5 ekstrakt (24,28 μ L) grupları gelmiştir.

Şeker içeriği oldukça yüksek olmasına rağmen, ticari karbonhidrat kaynaklarından olan şeker şurubu ve invert şurubu gruplarında ortalama tüketim değerleri sırasıyla 19,70 μ L ve 12,02 μ L olarak ölçülmüştür. En düşük tüketim ise 10,32 μ L ile doğal bal grubunda gözlemlenmiştir.

Bu durum, arıların doğal bir ürün olmasına karşın bala karşı daha az ilgi göstermeleriyle açıklanabilir. Balın yoğun kıvamı, içerdiği doğal enzimler veya uçucu bileşenler bu tercihi etkileyen faktörler arasında yer alabilir. Polen tüketimi ise oldukça sınırlı kalmış, yalnızca ortalama 1,42 μ g düzeyinde gerçekleşmiştir.

Bulgularımız, polen ekstraktlarının içerdiği uçucu bileşenler, serbest aminoasitler ve çözünür şekerlerin, arılar üzerinde iştah açıcı bir etki yarattığını ve bu diyetlerin arılar tarafından daha cazip bulunduğunu göstermektedir. Bu, arıların yalnızca enerji kaynağı sağlayan şuruplardan çok, protein, mikrobeyinler ve diğer biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmiş kompleks besin kaynaklarını tercih etmelerinin, besin alım davranışlarında önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, arıların enerji kaynağı olarak şuruplara dayalı diyetler yerine, besin kalitesini de dikkate alarak daha dengeli ve çeşitli diyetleri tercih ettiklerini vurgulamaktadır.

Benzer şekilde, DeGrandi-Hoffman ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada, arıların yalnızca enerji içeren şuruplardan ziyade, doğal kaynaklardan gelen kompleks bileşik yapıdaki besinleri tercih ettikleri ve bu besinlerin arı sağlığına ve bağışıklık fonksiyonlarına önemli bir destek sunduğu bildirilmiştir. Bu gözlem, polenin ve diğer doğal kaynaklardan elde edilen besin takviyelerinin, arıların bağışıklık sistemini ve genel sağlık durumlarını iyileştirme potansiyelini daha iyi anlamamıza olanak sağlamaktadır.

Kaftanoğlu ve arkadaşları (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise farklı şeker konsantrasyonlarının bal arısı larvalarının gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve şeker oranlarının larvaların hayatta kalma oranı, gelişim süresi ve morfolojik özellikleri üzerinde önemli etkiler yarattığı gösterilmiştir. Bu bulgular, koloni sağlığı için larval

beslenme stratejilerinin kritik rol oynadığını ve polen gibi zengin diyetlerin, larvaların gelişimi ve koloni performansı üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini düşündürmektedir. Israr ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan araştırma, dört farklı polen ikamesi diyetinin bal arısı kolonileri üzerindeki etkilerini incelemiş ve bazı diyetlerin yavru üretim kapasitesini ve koloni performansını artırdığını bulmuştur. Bu sonuçlar, doğru formüle edilmiş besin takviyelerinin, koloni sağlığı üzerinde potansiyel olarak olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Kabakcı ve Akdeniz'in (2020) çalışması da benzer şekilde, mikroalg içeren diyetlerin arılar üzerinde bağışıklık, sindirim ve genel sağlık açısından olumlu etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Bu tür mikrobesein desteklerinin, polen ikamesi olarak kullanılmasının potansiyelini daha da artırmaktadır.

Nigam ve arkadaşları (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı polen ikamesi diyetlerinin işçi arıların yaşam süresi ve tüketim düzeyleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve en uzun yaşam süresinin nohut unu, buğday tohumu ve maya içeren karışımla elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, polen ikamesi diyetlerinin bileşim ve biyoyararlanım açısından dikkatlice tasarlanması gerektiğini, çünkü doğru karışımların yaşam süresini artıracak önemli etkiler yarattığını göstermektedir.

Abdella ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, sakkaroz çözeltisinin arılar tarafından en fazla tercih edilen şeker türü olduğu belirlenmiş ve bu grubun aynı zamanda en yüksek polen tüketimiyle ilişkilendirildiği saptanmıştır. Bu durum, sakkarozun arılar için en uygun şeker kaynağı olduğunu ve polen alımını teşvik ettiğini göstermektedir. Pavlović ve arkadaşlarının (2025) araştırmasında ise şurupların arılar tarafından farklı şekillerde işlendiği ve bazı şurupların arılar üzerinde ölüm oranlarını artırabileceği gözlemlenmiştir. Bu da şurupların içerdiği bileşiklerin, arıların besin alımı ve sindirim süreçleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, bal tüketiminin diğer besin gruplarına kıyasla düşük bulunması dikkat çekicidir. Bu bulgu, balın yüksek viskozite ve enzim içerikleri nedeniyle arılar için daha az cazip hale gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. Polen tüketiminin düşük kalması ise, polenin fiziksel yapısının sindirimi zorlaştıran özellikler taşımasıyla açıklanabilir. Bu, polenin sindirilebilirliğinin, dış duvar yapısındaki (ekzin) kalınlık ve içerdiği besinlerin ulaşılabilirliği ile doğrudan ilişkili olduğunu belirten Roulston ve Cane (2000)

çalışmalarını destekler niteliktedir. Arıların çoğu zaman poleni doğrudan değil, nektar gibi sıvı besinlerle karıştırarak tükettikleri ve böylece sindirim verimliliğini artırdıkları gözlemlenmiştir.

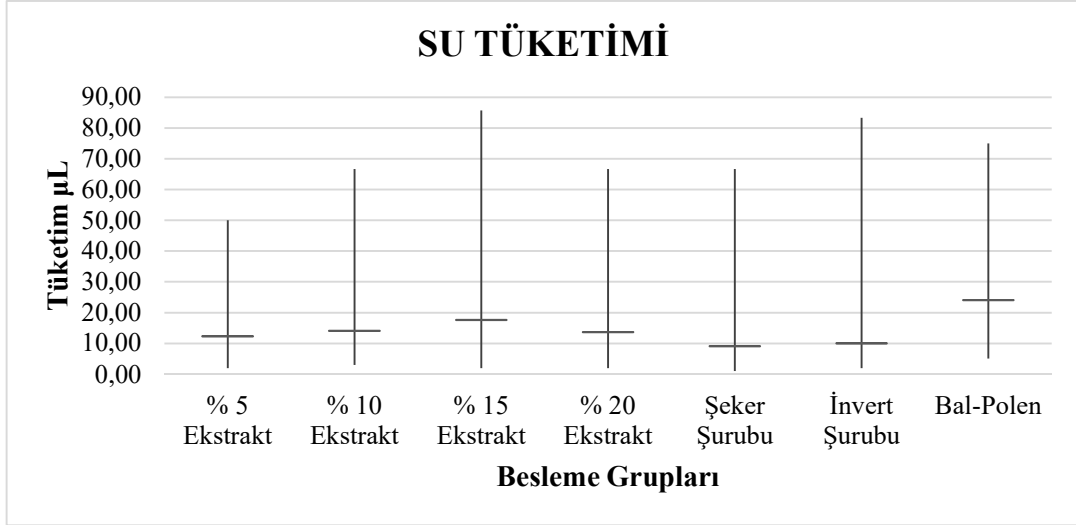
Bütün bu veriler ışığında, polenin ve diğer doğal besin takviyelerinin, arıların beslenme davranışları ve koloni sağlığı üzerindeki etkileri daha iyi anlaşılabilir. Bu bulgular, arıcılıkla uğraşanların, polen takviyelerini ve diğer besin takviyelerini doğru ve dengeli bir şekilde kullanarak, koloni sağlığını ve üretkenliğini artırabileceklerini göstermektedir. Gelecekteki araştırmalar, polen ve benzeri besinlerin biyoyararlanımını, sindirilebilirliğini ve arıların genel sağlık durumlarına etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde ele alarak, daha etkili beslenme stratejileri geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4.5.3. Su Tüketimi

Su tüketimi, bal arılarının metabolik faaliyetlerini sürdürebilmesi ve tüketilen besinleri etkili şekilde sindirebilmesi açısından kritik bir fizyolojik parametredir. Çalışmadan elde edilen veriler, su tüketiminin kullanılan beslenme gruplarına göre anlamlı düzeyde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur (Tablo 4.10 ve Şekil 4.5).

Tablo 4.10. Su tüketim tablosu

Su Tüketim Tablosu			
Besleme Grupları	Max Tüketim(μ L)	Min Tüketim(μ L)	Ortalama(μ L)
%5 Ekstrakt(w/v)	50,00	2,00	12,32
% 10 Ekstrakt(w/v)	66,67	3,00	14,17
% 15 Ekstrakt(w/v)	85,71	2,00	17,71
%20 Ekstrakt(w/v)	66,67	2,00	13,68
Şeker Şurubu	66,67	1,00	9,12
İnvert Şurup	83,33	2,00	10,10
Bal-Polen	75,00	5,10	24,11



Şekil 4.5. Su tüketim grafiği

Özellikle bal-polen grubunda tespit edilen 24,11 µL'lik ortalama su tüketimi, bu grubun diğerlerine kıyasla en yüksek tüketim değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, hem balın hem de polenin daha yoğun ve sindirimi daha fazla metabolik enerji gerektiren yapıda olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ekstrakt içeren diyet gruplarında ise su tüketimi sırasıyla %15 ekstrakt (17,71 µL), %10 ekstrakt (14,17 µL), %20 ekstrakt (13,68 µL) ve %5 ekstrakt (12,32 µL) olarak ölçülmüştür (Tablo 4.9.). Bu sonuçlar, özellikle fenolik içerik ve çözeltinin yoğunluğunun artmasına bağlı olarak su ihtiyacında da artış olabileceğini düşündürmektedir. Öte yandan, şeker şurubu (9,12 µL) ve invert şurup (10,10 µL) gruplarında su tüketiminin belirgin şekilde daha düşük olması, bu çözeltilerin daha kolay sindirilebilir ve/veya daha seyreltilmiş olmalarıyla açıklanabilir.

Bulgularımız, literatürdeki çeşitli çalışmalarla tutarlı bir şekilde, besin çözeltilerinin mineral içeriği ve metabolik yüklerinin arıların beslenme tercihleri ve su tüketimi üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Waller (1972) tarafından yapılan çalışmada, sakkaroz çözeltilerine potasyum tuzu eklenmesinin, arıların bu çözeltileri tüketmekten kaçınmalarına yol açtığı belirtilmiştir. Bu, çözeltinin mineral içeriğinin arıların besin tercihini ve dolaylı olarak su tüketimini etkileyebileceğini göstermektedir. Çalışmamızda da, daha düşük mineral içeriğine sahip olduğu varsayılan şeker şurubu ve invert şurubu gruplarında su tüketiminin daha düşük olması, bu görüşü desteklemektedir. Ayrıca, Barker ve Lehner (1974) tarafından rapor edilen araştırmada, işçi arıların farklı doğal şeker

çözeltileriyle beslenmesi sırasında su tüketiminde anlamlı bir fark gözlenmemiştir, ancak daha kompleks yapılı şekerlerin daha az tercih edildiği bulunmuştur. Bu, sindirimi daha zor olan karbonhidratların, metabolik çaba gerektirmesi nedeniyle su ihtiyacını artırabileceğini düşündürmektedir.

Afik ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada, avokado balının içerdiği bazı fenolik bileşiklerin ve potansiyel olarak itici olan bileşenlerin, arılar tarafından daha az tercih edilmesine neden olduğu bildirilmiştir. Fenolik bileşiklerin metabolizması, daha fazla enzimatik aktiviteye ve buna bağlı olarak su ihtiyacının artmasına yol açabilir. Çalışmamızda da, bal ve polen içeren grupta gözlemlenen yüksek su tüketimi, bu bulguyu desteklemektedir. Ayrıca, Conti ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, bal örneklerinin yüksek düzeyde mineral ve iz element içerdiği ve bu minerallerin metabolik süreçlerdeki etkisiyle su tüketimini artırabileceği belirtilmiştir. Bu durum, mineral içeriği yüksek balın sindiriminin, arılar üzerinde su tüketimi üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Wheeler ve Robinson (2014) çalışmasında, farklı şeker türlerinin arıların yaşam süresi ve oksidatif stres düzeyleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve su tüketimi açısından belirgin farklar gözlememiştir. Ancak şeker türlerinin metabolik yüklerindeki farklılıkların dolaylı etkiler yaratabileceğini belirtmişlerdir. Bu, bizim çalışmamızda gözlemlenen farklı şeker çözeltilerinin su tüketimi üzerindeki etkileriyle örtüşmektedir. Patrignani ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada ise bal örneklerinde özellikle potasyum mineralinin baskın olduğu ve bu minerallerin sindirimi sırasında metabolik yük artışı ile su tüketiminin tetiklendiği ifade edilmiştir. Solayman ve arkadaşları (2016) da ballarda bulunan fenolik bileşiklerin, iz elementlerin ve ağır metallerin arı metabolizması üzerindeki etkilerini vurgulamış ve bu maddelerin sindiriminin artan enzimatik faaliyet gerektirdiğini, dolayısıyla su ihtiyacının arttığını belirtmiştir.

Güler ve arkadaşları (2018), glikoz şurubunun kristalleşme eğilimi nedeniyle daha az tercih edildiğini belirtmişlerdir; bu fiziksel özellik, çözeltinin mobilizasyonunu sınırlayarak arıların beslenme davranışlarını ve su tüketimini etkileyebilir. Ekstrakt gruplarında gözlemlenen tüketim farkları, bu bulguyla ilişkilendirilebilir. Hernández ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada, nektarda doğal olarak bulunan flavonoidlerin arıların

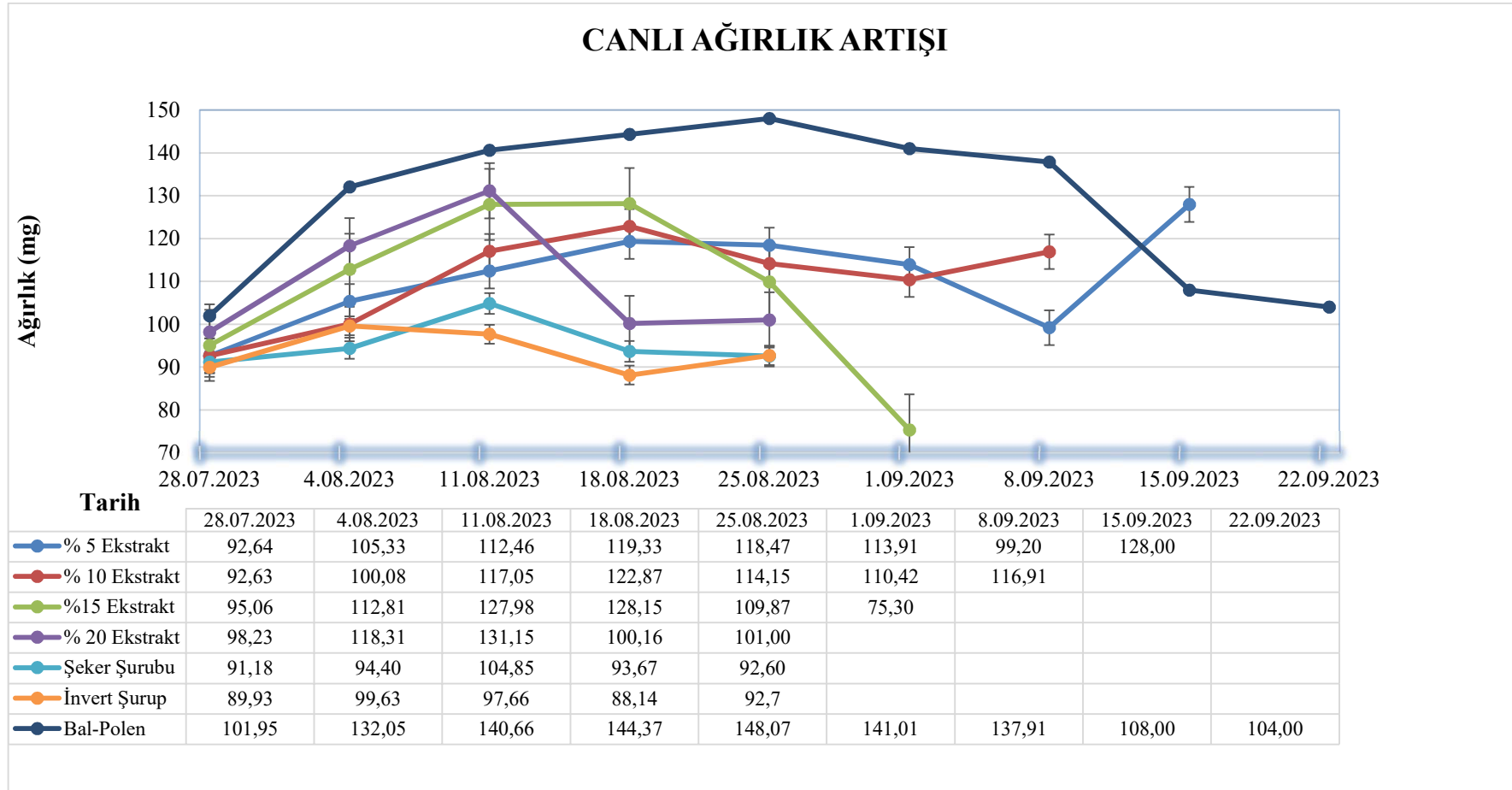
beslenme tercihlerini olumsuz etkilediği ve bu çözeltilerin daha az tüketildiği gözlemlenmiştir. Flavonoidlerin metabolizmasında artan enzimatik aktivitenin, su tüketimini artırabileceği düşünülmektedir. Bu durum, çalışmamızda ekstrakt içeren gruplarda gözlemlenen yüksek su tüketimi ile tutarlıdır.

Son olarak, De Sousa ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada, nektar taklidi çözeltilerdeki mineral kompozisyonunun, arıların tüketim tercihlerini belirlemede önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Özellikle yüksek tuz ve metal içeriği bulunan çözeltilerin daha az tercih edildiği ve bu çözeltilerin çekiciliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda düşük mineral içeriğine sahip olduğu değerlendirilen şeker şurubu ve invert şurubu gruplarındaki düşük su tüketimiyle örtüşmektedir.

Bütün bu literatür verileri ışığında, su tüketimi ve beslenme tercihleri arasındaki ilişki, çözeltinin mineral içeriği ve bileşenlerinin sindirilebilirliğiyle yakından ilişkilidir. Çalışmamız, arıların beslenme davranışlarını anlamada, besinlerin sadece besin değeri değil, aynı zamanda sindirilebilirliği, metabolik yük ve mineral içeriği gibi faktörlerin de belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, gelecekte arı sağlığını iyileştirmek amacıyla daha verimli ve sürdürülebilir beslenme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4.5.4. Canlı Ağırlık Artışı

Çalışmadaki en önemli parametrelerden biri olan canlı ağırlık artışı, haftalık olarak ölçülmüş ve sonuçlar doğrultusunda arıların gelişim seyri değerlendirilmiştir (Şekil 4.6). Canlı ağırlık artışı, besinlerin biyoyararlanımı, sindirilebilirliği ve metabolik etkileri açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.6. Canlı ağırlık artışı grafiği

Çalışma başlangıcında tüm gruplarda benzer ortalama ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Sonuçlar çalışma başlangıcında tüm grupların homojen olarak başlatıldığının göstergesidir. Ancak zamanla, uygulanan besleme rejimlerine göre gruplar arasında belirgin farklılıklar oluşmuştur. Elde edilen bulgulara göre en yüksek ve istikrarlı canlı ağırlık artışı bal-polen grubunda gözlenmiştir. Bu gruptaki arılar, 28 Temmuz 2023 tarihinde 101,95 mg ortalama ağırlığa sahipken, 25 Ağustos 2023 tarihinde bu değer 148,07 mg'a ulaşmış ve 8 haftalık süre boyunca genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır. Bu durum, bal ve polenin birlikte kullanımının arılar için hem enerji hem de besleyici madde açısından ideal bir kombinasyon sunduğunu göstermektedir.

Bal-polen grubunu takiben en başarılı sonucu gösteren grup ise %5 ekstrakt grubu olmuştur. Bu grupta ağırlık 28 Temmuz'da 92,64 mg olarak ölçülmüş, 4 Ağustos'ta 105,33 mg, 11 Ağustos'ta 112,46 mg ve 18 Ağustos'ta 119,33 mg'a kadar artmıştır. 25 Ağustos'ta kısmi bir düşüş yaşansa da, 15 Eylül tarihinde grup, 128,00 mg ile deney boyunca en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu artış, düşük dozda uygulanan ekstraktın, arıların büyüme performansı üzerinde olumlu etki yaratabileceğini düşündürmektedir. Düşük konsantrasyonun, yüksek doz ekstraktlarda görülebilen olası toksik etkilerden arındırılmış olması, bu etkinin temel nedeni olabilir.

Diğer ekstrakt gruplarında (%10, %15 ve %20), başlangıçta belirli düzeyde ağırlık artışı gözlemlense de bu artışlar sürdürülebilir olmamış; özellikle %15 ekstrakt grubunda 11 Ağustos itibarıyla 127,98 mg ile tepe noktasına ulaşılmış, ancak ardından hızlı bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, yüksek konsantrasyonda ekstrakt uygulamasının uzun vadede tolere edilmesinin zor olabileceğini ve fizyolojik baskı yaratabileceğini göstermektedir.

Şeker şurubu ve invert şurup gruplarında ise canlı ağırlık artışı sınırlı kalmıştır. Şeker şurubu grubunda ağırlık 28 Temmuz'da 91,18 mg iken 25 Ağustos'ta yalnızca 92,60 mg olarak ölçülmüş; invert şurup grubunda ise zamanla düşüş eğilimi görülmüştür. Bu gruplarda gözlemlenen sınırlı gelişim, bu tür ticari şurupların arı gelişimini destekleme açısından yetersiz olabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, çalışmada uygulanan beslenme rejimlerinden bal-polen ve %5 ekstrakt grupları, arıların gelişimi üzerinde en olumlu etkiyi göstermiştir. Bal ve polenin doğal içerikleri ve sinerjik etkileri, büyümeyi en fazla destekleyen formül olarak öne çıkarken,

%5 oranında ekstrakt içeren besleme, doğal besinlere alternatif olabilecek düzeyde etkili bir performans sergilemiştir.

Bulgularımız, arıların diyet içeriği ile canlı vücut ağırlığı ve büyüme performansı arasında anlamlı ilişkiler olduğunu ortaya koyan literatürdeki çeşitli araştırmalarla tutarlıdır. Oskay (2021) tarafından yapılan çalışmada, farklı diyet uygulamalarının arıların vücut ağırlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle, protein bazlı diyetlerin (doğal benzeri ve %10 protein içeren diyetler) karbonhidrat bazlı diyetlere (enzimatik olmayan sıvı yem) kıyasla arıların büyüme performansını daha olumlu yönde etkilediği ve en yüksek canlı vücut ağırlığının kontrol grubunda gözlemlendiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, bizim çalışmamızda da protein ve mikrobesein içeriği yüksek diyetlerin arıların büyüme performansı üzerinde belirgin olumlu etkiler yarattığı görülmektedir. Oskay'ın bulguları, protein içeren diyetlerin arıların gelişimini destekleyerek daha sağlıklı ve güçlü kolonilerin oluşmasına katkı sağladığını göstermektedir.

Brown ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, bitki tozu takviyelerinin arıların kuru vücut ağırlığı ve yaşam süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, özellikle Meşe, Sarp Otu, Spirulina ve Moringa gibi bitkisel takviyelerin arıların vücut ağırlığını artırdığı ve bu bitkilerin enerji metabolizmasını iyileştirerek arıların büyüme performansını desteklediği yönündedir. Benzer şekilde, bazı bitkilerin (Zerdeçal, Kadife Çiçeği, Isırgan Otu gibi) yaşam süresi üzerinde olumlu etkiler yarattığı, ancak vücut ağırlığına etkisinin sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, bitkisel takviyelerin arıların metabolik süreçlerini iyileştirerek sağlıklarını ve yaşam sürelerini artıracaklarını göstermektedir.

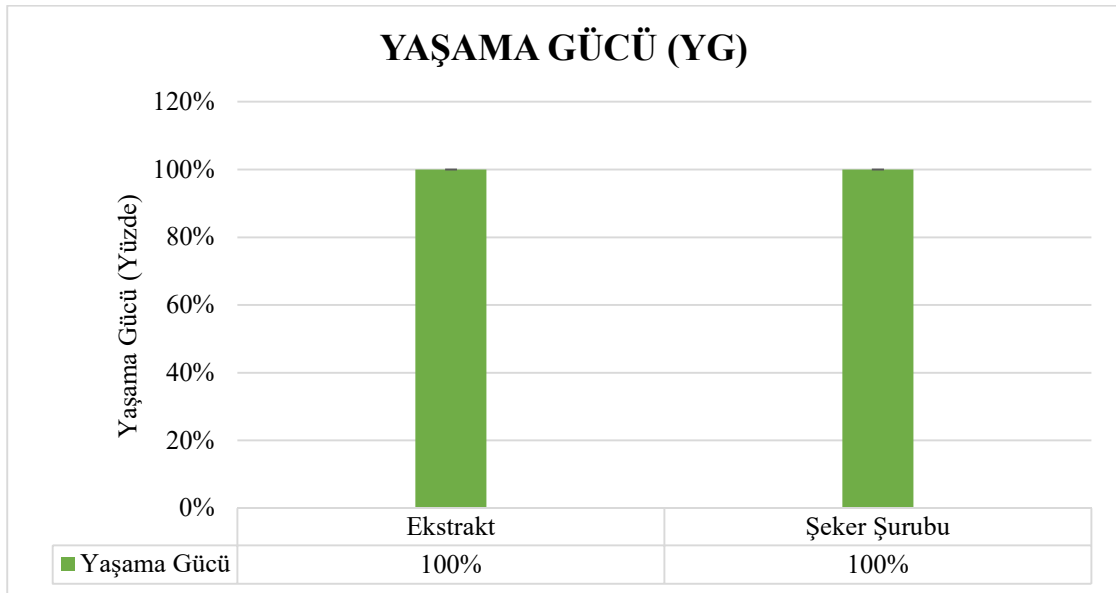
Literatürdeki bu çalışmalar, arıların sağlığını iyileştirmede kullanılan diyetlerin içeriklerinin, yalnızca vücut ağırlığını değil, aynı zamanda genel sağlık durumlarını, bağışıklık sistemlerini ve yaşam sürelerini de etkilediğini vurgulamaktadır. Protein, mikrobeseinler ve doğal bileşenler içeren diyetlerin, arıların hem büyüme performansını hem de uzun ömürlülüğünü artırabileceği sonucuna varılabilir. Ayrıca, bitkisel takviyelerin kullanımının, özellikle yaşam süresi ve genel sağlık üzerinde uzun vadeli etkiler yaratabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, arıların beslenme stratejilerinin iyileştirilmesi, sadece verimlilik açısından değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik

ve biyoçeşitliliğin korunması açısından da önemlidir. Bu bulgular, arıların beslenme ihtiyaçlarına yönelik daha kapsamlı ve bilimsel temelli stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

4.6. *In Vivo* Çalışmanın Performans Testleri Sonuçları

4.6.1. Yaşama Gücü

Çalışma süresince tüm koloniler, deney başlangıcından bal sağımına kadar izlenmiş; bu süre zarfında herhangi bir koloni kaybı, ana arı ölümü veya koloni sönmesi gözlenmemiştir (Şekil 4.7).

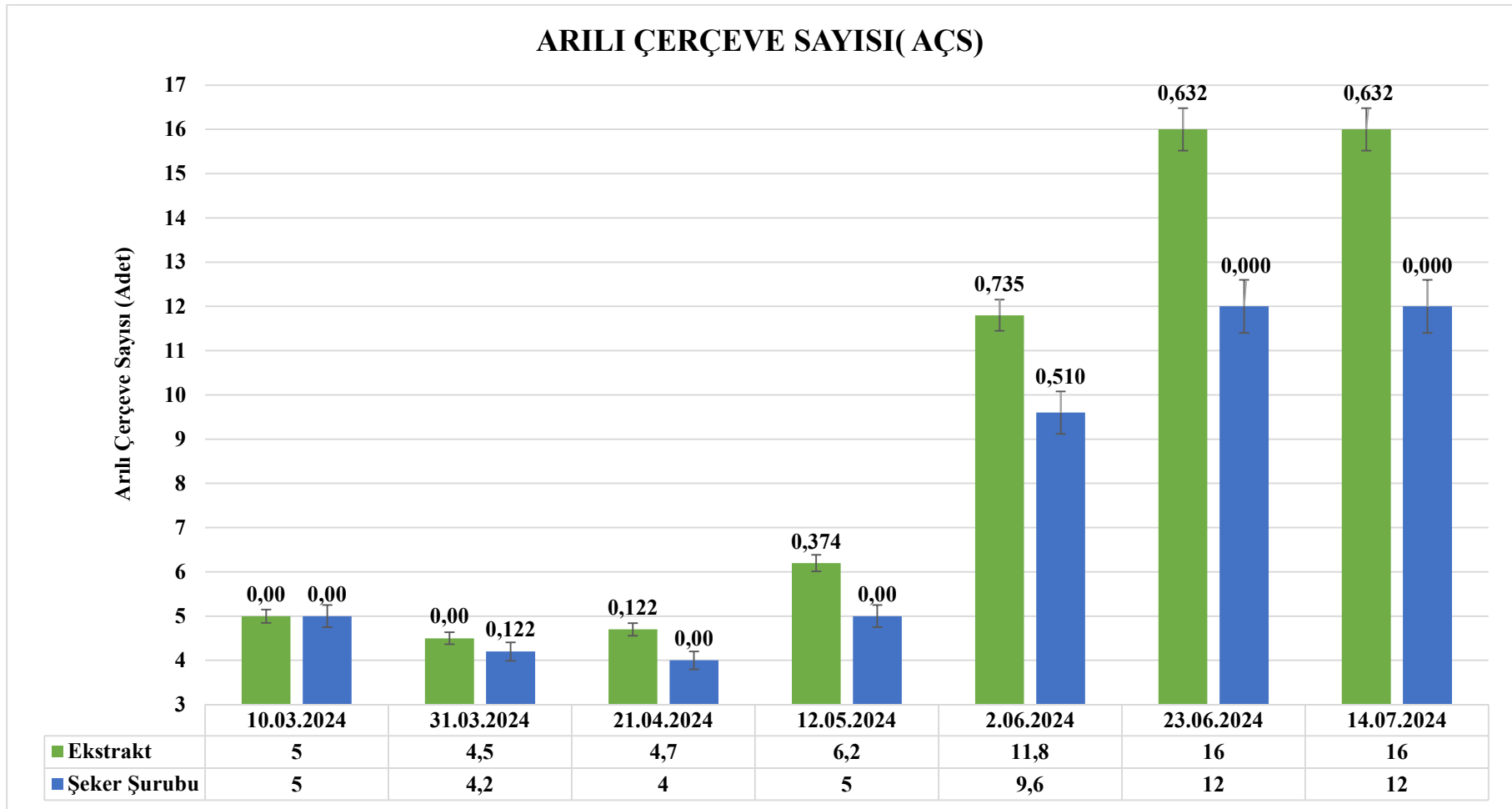


Şekil 4.7. Yaşama gücü grafiği

Hem %5 ekstraktla beslenen gruplarda hem de şeker şurubu ile beslenen kontrol grubunda yaşama gücü %100 olarak kaydedilmiştir. Bu sonuç, yapılan besleme uygulamalarının koloni sağlığı üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını ve deneme koşullarının kolonilerin sürdürülebilirliği açısından uygun olduğunu göstermektedir.

4.6.2. Arılı Çerçeve Sayısı (AÇS)

Arılı çerçeve sayısı, koloni içerisindeki işçi arı popülasyonunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4.11 ve Şekil 4.8)



Şekil 4.8. Arılı çerçeve sayısı grafiği.

Tablo 4.11. Arılı çerçeve sayısı ististik sonuçları

Arılı Çerçeve Sayısı (AÇS)									
Ölçüm Tarihi	Besin Türü	N	Standart Hata	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	95% Confidence Interval for Mean	
								F	Sig.
10.03.2024	%5 Ekstrakt	5	0,000	0,000	5	5	5,00	0,000	0,000
	Şeker Şurubu	5	0,000	0,000	5	5	5,00		
	Total	10	0,000	0,000	5	5	5,00		
31.03.2024	%5 Ekstrakt	5	0,000	0,000	5	5	4,50	6,000	0,040*
	Şeker Şurubu	5	0,122	0,274	4	5	4,20		
	Total	10	0,076	0,242	4	5	4,35		
21.04.2024	%5 Ekstrakt	5	0,122	0,274	5	5	4,70	32,667	0,000**
	Şeker Şurubu	5	0,000	0,000	4	4	4,00		
	Total	10	0,130	0,412	4	5	4,35		
12.05.2024	%5 Ekstrakt	5	0,374	0,837	5	7	6,20	10,286	0,012*
	Şeker Şurubu	5	0,000	0,000	5	5	5,00		
	Total	10	0,267	0,843	5	7	5,60		
02.06.2024	%5 Ekstrakt	5	0,735	1,643	9	13	11,80	6,050	0,039*
	Şeker Şurubu	5	0,510	1,140	8	11	9,60		
	Total	10	0,559	1,767	8	13	10,70		
23.06.2024	%5 Ekstrakt	5	0,632	1,414	14	17	16,00	40,000	0,000**
	Şeker Şurubu	5	0,000	0,000	12	12	12,00		
	Total	10	0,730	2,309	12	17	14,00		
14.07.2024	%5 Ekstrakt	5	0,632	1,414	14	17	16,00	40,000	0,000**
	Şeker Şurubu	5	0,000	0,000	12	12	12,00		
	Total	10	0,730	2,309	12	17	14,00		

* ve ** sırasıyla %5 ve %1 önem seviyelerini ifade etmektedir.

Deneme başlangıcında tüm koloniler eşit arılı çerçeve sayısı ile kurulmuştur. İlk ölçüm olan 10 Mart 2024 tarihinde her iki grupta da arılı çerçeve sayısı 5,00 olarak belirlenmiştir. Bu ölçümde gruplar arasında fark bulunmamıştır ($p>0,05$). 31 Mart 2024 tarihli ikinci ölçümde ise %5 ekstrakt grubunda ortalama AÇS 4,50, şeker şurubu grubunda ise 4,20 olarak tespit edilmiştir ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,040$). 21 Nisan 2024 tarihindeki üçüncü ölçümde ekstrakt grubunda AÇS 4,70'e yükselirken, kontrol grubunda 4,00 seviyesinde kalmış ve aradaki fark daha belirgin hale gelmiştir ($p<0,01$).

İzleyen dönemlerde hava sıcaklıklarının normale dönmesiyle birlikte arılı çerçeve sayılarında genel bir artış gözlenmiştir. 12 Mayıs 2024'te ekstrakt grubunda ortalama AÇS 6,20'ye ulaşırken, kontrol grubunda 5,00'da sabit kalmıştır ($p=0,012$). En çarpıcı fark, 23 Haziran ve 14 Temmuz tarihli ölçümlerde ortaya çıkmıştır. Bu tarihlerde ekstrakt grubunda AÇS 16,00 olarak belirlenmiş, kontrol grubunda ise 12,00'de kalmıştır ve bu fark her iki tarihte de istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). Sonuçlar, ekstrakt içeren besleme ile kolonilerde işçi arı sayısının önemli ölçüde arttığını ve bunun koloni performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, arıların beslenme stratejileri ve genetik faktörlerin koloni gelişimi üzerindeki etkilerini vurgulayan literatürdeki pek çok çalışmayla uyumludur. Dodoloğlu (2000) tarafından yapılan araştırmada, Erzurum yöresindeki şeker şurubu ile beslenen farklı bal arısı genotiplerinin arılı çerçeve sayılarının incelenmesi, genetik çeşitliliğin kolonilerdeki populasyon gelişimi üzerindeki etkilerini göstermektedir. Çalışma, Kafkas ve Anadolu genotiplerinin kolonilerinde farklı arılı çerçeve sayıları gözlemlerken, genetik özelliklerin, koloni gücü ve verimliliği üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu bulgu, arıların genetik yapısının, besleme stratejilerinin etkinliğini artırma veya azaltma potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir.

Arslan (2003) tarafından Tokat yöresinde yapılan araştırmada ise, şeker şurubu ile beslenen farklı bal arısı genotiplerinin arılı çerçeve sayıları arasında yıllık bazda değişim gözlemlenmiştir. İtalyan ve Karniyol gibi genotiplerin farklı yıllarda en yüksek arılı çerçeve sayısına ulaşması, yıllık çevresel faktörlerin ve genetik özelliklerin koloni gelişimi üzerinde farklı dinamikler yaratabileceğini göstermektedir. Bu durum, arıların genetik

çeşitliliği ve çevresel koşullara uyum sağlama yeteneklerinin, besleme stratejilerinin etkinliğini doğrudan etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

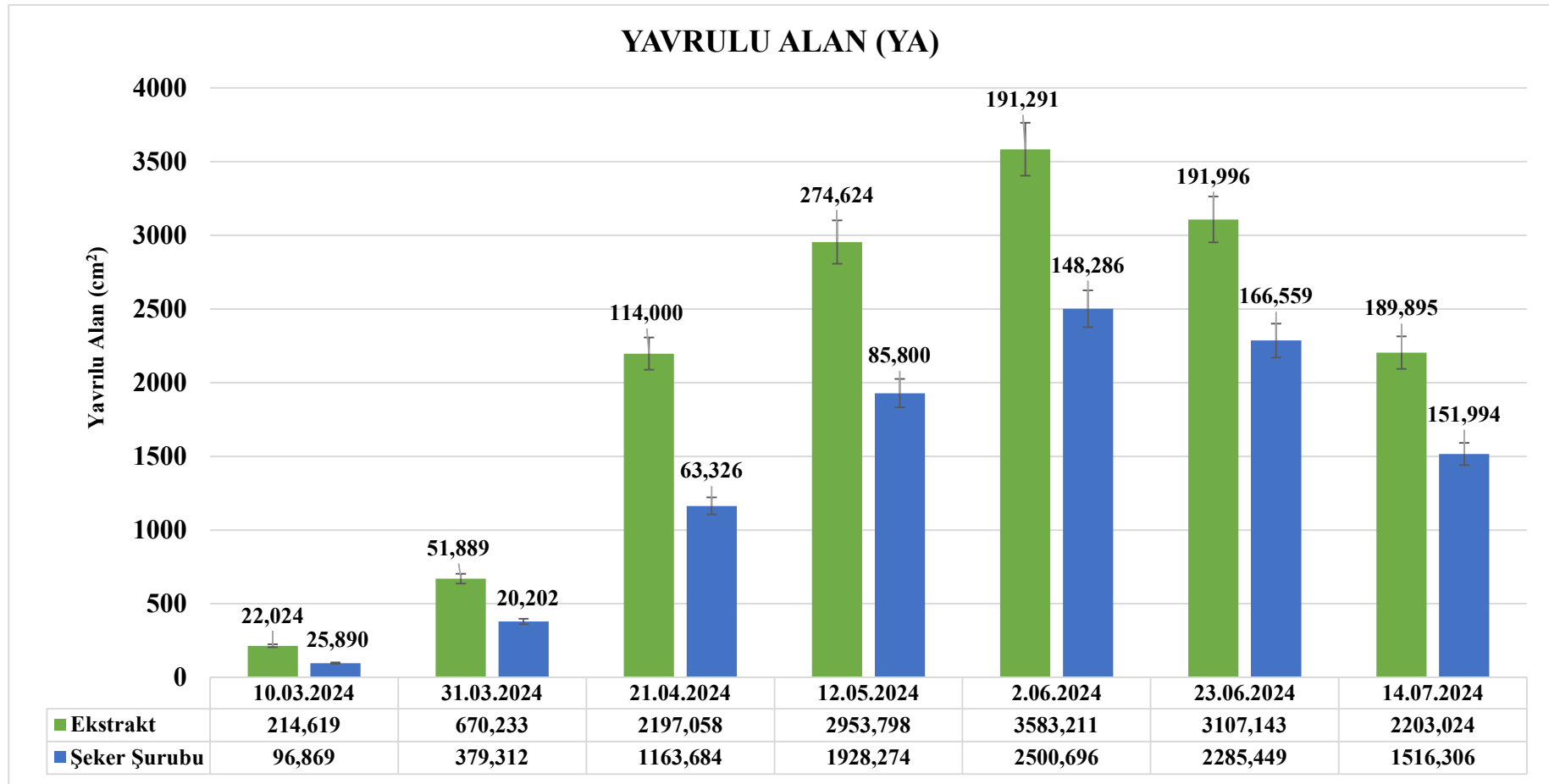
Sammataro ve Weiss (2013) tarafından yapılan çalışmada, şeker şurubu ve yüksek fruktozlu mısır şurubu (HFCS) ile beslenen koloniler arasındaki performans farkları incelenmiştir. Şeker şurubu ile beslenen kolonilerin daha yüksek arılı çerçeve sayısına ulaşması, şeker şurubunun arıların beslenme ihtiyacını daha verimli bir şekilde karşıladığını ve bu besin kaynağının koloni gelişimi üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir. Bu bulgu, şeker şurubunun arıların büyümesi ve koloninin güçlenmesi için daha etkili bir besleme aracı olduğunu ortaya koyarken, HFCS kullanımının potansiyel olarak daha düşük verimle sonuçlanabileceğine dair ipuçları sunmaktadır.

Şahin (2024) tarafından yapılan son çalışmada ise, şeker şurubu ile beslenen farklı bal arısı ırklarının yıllar içindeki arılı çerçeve sayılarındaki artış gözlemlenmiştir. Camili ırkı gibi bazı genotiplerin en yüksek arılı çerçeve sayısına ulaşması, hem besleme stratejileri hem de genetik farklılıkların, koloni performansı üzerindeki uzun vadeli etkilerini işaret etmektedir. Bu bulgu, besleme uygulamalarının yalnızca kısa vadeli değil, uzun vadeli gelişim süreçleri üzerinde de etkili olduğunu, özellikle şeker şurubu gibi besin kaynaklarının, arıların beslenme ihtiyaçlarını ne kadar iyi karşıladığını gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak, bu bulgular, arıların beslenme stratejileri ve genetik çeşitliliğinin, koloni gelişimi ve performansı üzerinde birbirini tamamlayan önemli etkiler yarattığını göstermektedir. Şeker şurubu gibi karbonhidrat kaynaklarının doğru bir şekilde kullanılması, kolonilerin büyümesi, güçlenmesi ve uzun vadeli verimliliği için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, genetik çeşitliliğin, özellikle kolonilerin adaptasyon yeteneklerini ve çevresel streslere karşı dayanıklılığını artırarak, besleme stratejilerinin etkinliğini iyileştirebileceği unutulmamalıdır. Bu bulgular, arıcılık pratiği için daha etkili ve sürdürülebilir beslenme ve genetik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

4.6.3. Yavrulu Alan (YA)

Ana arının yumurtlama faaliyetlerini teşvik etmek amacıyla yapılan besleme uygulamalarının ardından, yavrulu alan ölçümleri 21 günlük aralıklarla gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.12 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Yavrulu alan grafiği

Tablo 4.12. Yavrulu alan istatistik sonuçları

Yavrulu Alan (YA)									
Ölçüm Tarihi	Besin Türü	N	Standart Hata	Standart Sapma	Minimum	Maximum	Ortalama	95% Confidence Interval for Mean	
								F.	Sig.
10.03.2024	%5 Ekstrakt	5	22,0243	49,2477	147,58	277,89	214,619	12,001	0,009**
	Şeker Şurubu	5	25,8902	57,8924	31,4	150,72	96,869		
	Total	10	25,3356	80,118	31,4	277,89	155,744		
31.03.2024	%5 Ekstrakt	5	51,8899	116,029	514,96	828,175	670,233	27,295	0,001**
	Şeker Şurubu	5	20,2027	45,1747	327,345	430,18	379,312		
	Total	10	55,1364	174,357	327,345	828,175	524,773		
21.04.2024	%5 Ekstrakt	5	114	254,911	1783,52	2465,69	2197,06	62,793	0,000**
	Şeker Şurubu	5	63,3265	141,602	993,81	1343,92	1163,68		
	Total	10	182,871	578,29	993,81	2465,69	1680,37		
12.05.2024	%5 Ekstrakt	5	274,624	614,077	2165,03	3718,55	2953,80	12,705	0,007**
	Şeker Şurubu	5	85,8008	191,856	1767,04	2189,37	1928,27		
	Total	10	218,196	689,996	1767,04	3718,55	2441,04		
2.06.2024	%5 Ekstrakt	5	191,291	427,739	3141,57	4103,2	3583,21	20,004	0,002**
	Şeker Şurubu	5	148,286	331,578	2151,69	2885,66	2500,70		
	Total	10	213,469	675,049	2151,69	4103,2	3041,95		
23.06.2024	%5 Ekstrakt	5	191,996	429,316	2677,64	3653,39	3107,14	10,451	0,012*
	Şeker Şurubu	5	166,559	372,436	1927,18	2901,36	2285,45		
	Total	10	181,966	575,426	1927,18	3653,39	2696,30		
14.07.2024	%5 Ekstrakt	5	189,895	424,617	1702,67	2738,87	2203,02	7,971	0,022*
	Şeker Şurubu	5	151,994	339,868	1139,82	1905,2	1516,31		
	Total	10	162,008	512,314	1139,82	2738,87	1859,67		

* ve ** sırasıyla %5 ve %1 önem seviyelerini ifade etmektedir.

İlk ölçümde, yani 10 Mart 2024 tarihinde %5 ekstraktla beslenen kolonilerde ortalama yavrulu alan 214,62 cm², kontrol grubunda ise 96,87 cm² olarak ölçülmüş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,009). İlerleyen ölçüm dönemlerinde fark daha da belirginleşmiştir. Örneğin, 21 Nisan 2024'te ekstrakt grubunda yavrulu alan 2197,06 cm²'ye ulaşırken, şeker şurubu grubunda yalnızca 1163,68 cm² seviyesinde kalmıştır (p<0.01). Benzer şekilde, 12 Mayıs 2024'te ekstrakt grubunda 2953,80 cm², kontrol grubunda 1928,27 cm²; 2 Haziran 2024'te sırasıyla 3583,21 cm² ve 2500,70 cm² olarak ölçülmüştür. Son ölçüm olan 14 Temmuz 2024 tarihinde, ekstrakt grubunda yavrulu alan 2203,02 cm², kontrol grubunda ise 1516,31 cm² olarak kaydedilmiştir (p=0,022). Tüm bu bulgular, ekstraktla beslemenin ana arının yumurtlama aktivitesini artırdığını ve koloni içi yavru üretimini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular, arıların beslenme stratejilerinin ve genetik çeşitliliğin koloni gelişimi üzerindeki etkilerini vurgulayan literatürdeki önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Sammataro ve Weiss (2013) tarafından yapılan çalışmada, şeker şurubu (SS) ve yüksek fruktozlu mısır şurubu (HFCS) ile beslenen kolonilerin performanslarının karşılaştırılması, karbonhidrat kaynaklarının koloni sağlığı ve balmumu üretimi üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymaktadır. SS ile beslenen kolonilerin daha yüksek balmumu üretimi göstermesi, şeker şurubunun, arıların metabolizmasını daha verimli bir şekilde destekleyerek koloninin güçlenmesine katkı sağladığını göstermektedir. Bu sonuç, şeker şurubunun yalnızca arıların enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda kolonilerin yapısal ürünler üretme kapasitesini de artırabileceğini göstermektedir. HFCS grubundaki kolonilerin balmumu üretimindeki belirgin düşüş, bu karbonhidrat kaynağının arıların metabolizmasındaki farklı etkileşimleri ve potansiyel olumsuz etkilerini düşündürmektedir.

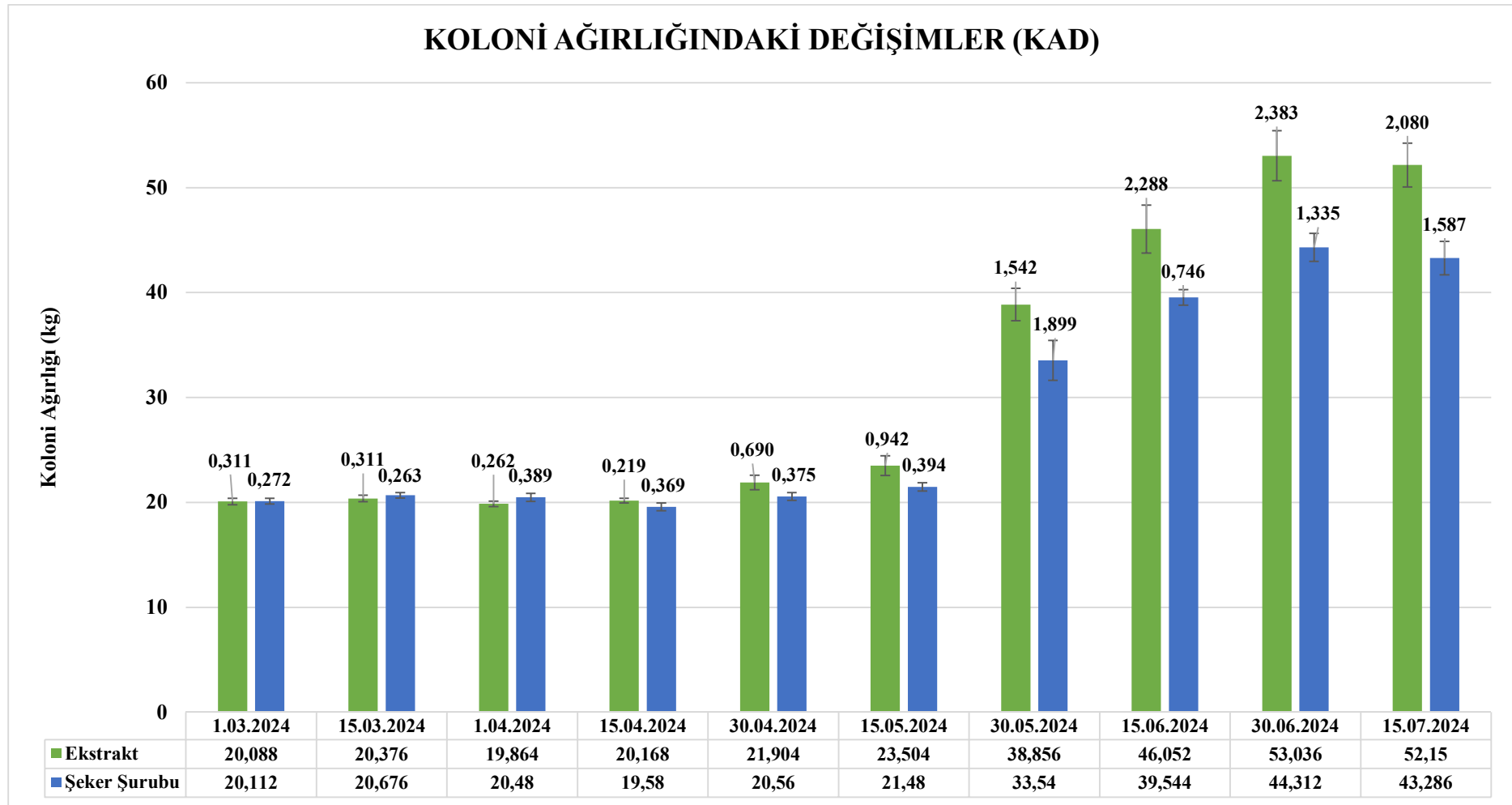
Şahin (2024) tarafından yapılan çalışmada ise, Bingöl bal arısı ırkının yavrulu alan gelişimi incelenmiştir. 2022 ve 2023 yıllarında yapılan ölçümler, Bingöl ırkının her iki yılda da yüksek yavru üretim kapasitesi sergilediğini ve özellikle yaz aylarında yavrulu alanın maksimum değerlere ulaştığını ortaya koymaktadır. 2022 yılında en yüksek yavrulu alan değeri, 22 Temmuz'da kaydedilmiş ve bu değer 4541,12±736,04 cm² olarak ölçülmüştür. 2023 yılına ait verilerde de benzer bir eğilim gözlemlenmiş ve yavrulu alanın yüksek kapasiteye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, Bingöl ırkının yavru üretme kapasitesinin

genetik olarak üstün olduğunu ve şeker şurubu gibi besleme stratejilerinin, özellikle yaz aylarında arıların gelişimi üzerinde önemli bir etki yarattığını göstermektedir.

Bu bulgular, şeker şurubu gibi besin kaynaklarının, arıların büyüme ve gelişim süreçleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve farklı karbonhidrat türlerinin kolonilerin verimliliği üzerindeki rolünü vurgulamaktadır. Şeker şurubunun, koloninin balmumu üretimi ve yavru üretme kapasitesinde sağladığı artış, bu besleme stratejisinin arıcılıkta ne kadar önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Bingöl ırkının yavru üretimindeki yüksek kapasite, genetik çeşitliliğin ve doğru besleme uygulamalarının birleşiminden elde edilen olumlu sonuçları işaret etmektedir. Bu veriler, arıcılıkla ilgili stratejik planlamaların, hem genetik seçimler hem de besleme uygulamaları açısından daha etkin ve verimli hale getirilmesine olanak tanıyacaktır.

4.6.4. Koloni Ağırlığındaki Değişimler (KAD)

Koloni ağırlıkları, deneme başlangıcında ve nektar akışının farklı evrelerinde ölçülmüştür (Tablo 4.13 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Koloni ağırlığındaki değişimler grafiği

Tablo 4.13. Koloni ağırlığındaki değişimler istatistik sonuçları

Koloni Ağırlığındaki Değişimler (KAD)									
								95% Confidence Interval for Mean	
Ölçüm Tarihi	Besin Türü	N	Standart Hata	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	F.	Sig.
1.03.2024	%5 Ekstrakt	5	0,311358	0,696218	19,48	21,26	20,088	0,003	0,955
	Şeker Şurubu	5	0,27222	0,608704	19,42	20,8	20,112		
	Total	10	0,195004	0,616658	19,42	21,26	20,1		
15.03.2024	%5 Ekstrakt	5	0,310574	0,694464	19,62	21,34	20,376	0,544	-0,482*
	Şeker Şurubu	5	0,262709	0,587435	19,84	21,42	20,676		
	Total	10	0,198171	0,62667	19,62	21,42	20,526		
1.04.2024	%5 Ekstrakt	5	0,261641	0,585047	19,16	20,54	19,864	1,729	-0,225*
	Şeker Şurubu	5	0,388536	0,868792	19,42	21,58	20,48		
	Total	10	0,243515	0,770062	19,16	21,58	20,172		
15.04.2024	%5 Ekstrakt	5	0,218961	0,489612	19,88	21,04	20,168	1,881	0,207*
	Şeker Şurubu	5	0,368619	0,824257	18,64	20,36	19,58		
	Total	10	0,224619	0,710308	18,64	21,04	19,874		

Tablo 4.14.(devam) Koloni ağırlığındaki değişimler istatistik sonuçları

30.04.2024	%5 Ekstrakt	5	0,690461	1,543917	19,78	24,14	21,904	2,925	0,126*
	Şeker Şurubu	5	0,375127	0,838809	19,54	21,3	20,56		
	Total	10	0,432884	1,368899	19,54	24,14	21,232		
15.05.2024	%5 Ekstrakt	5	0,941773	2,105868	20,92	26,64	23,504	3,93	0,083*
	Şeker Şurubu	5	0,39436	0,881816	20,22	22,48	21,48		
	Total	10	0,587751	1,85863	20,22	26,64	22,492		
30.05.2024	%5 Ekstrakt	5	1,542263	3,448606	33,14	41,96	38,856	4,722	0,062*
	Şeker Şurubu	5	1,899147	4,246622	26,36	37,44	33,54		
	Total	10	1,454328	4,59899	26,36	41,96	36,198		
15.06.2024	%5 Ekstrakt	5	2,287816	5,115713	38,3	49,8	46,052	7,313	0,027*
	Şeker Şurubu	5	0,746469	1,669155	37,44	41,3	39,544		
	Total	10	1,569542	4,963327	37,44	49,8	42,798		
30.06.2024	%5 Ekstrakt	5	2,382691	5,327859	45,58	57,34	53,036	10,205	0,013*
	Şeker Şurubu	5	1,33452	2,984078	40,14	47,64	44,312		
	Total	10	1,942031	6,141242	40,14	57,34	48,674		
15.07.2024	%5 Ekstrakt	5	2,079904	4,650806	45,5	55,9	52,15	11,481	0.010**
	Şeker Şurubu	5	1,586709	3,54799	39,1	47,55	43,286		
	Total	10	1,924402	6,085494	39,1	55,9	47,718		

* ve ** sırasıyla %5 ve %1 önem seviyelerini ifade etmektedir.

Başlangıç ölçümünde gruplar arasında herhangi bir fark gözlenmemiştir (%5 ekstrakt: 20,09 kg; şeker şurubu: 20,11 kg; $p>0,05$). Ancak zamanla, özellikle popülasyonun artmaya başladığı dönemlerde ekstrakt grubundaki ağırlık artışı daha hızlı ve belirgin olmuştur. 30 Mayıs 2024'te ekstrakt grubundaki ortalama koloni ağırlığı 38,86 kg'a ulaşmışken, kontrol grubunda bu değer 33,54 kg olarak kaydedilmiştir. 15 Haziran'da ekstrakt grubu 46,05 kg, kontrol grubu 39,54 kg; 30 Haziran'da ise sırasıyla 53,04 kg ve 44,31 kg olarak ölçülmüştür. Son ölçüm olan 15 Temmuz 2024'te, ekstrakt grubunun ortalama koloni ağırlığı 52,15 kg, kontrol grubunun ise 43,29 kg olmuştur ($p=0,010$).

Bu bulgular, arı kolonilerinin beslenme rejimlerinin, özellikle ekstrakt ve şeker şurubu gibi besin kaynaklarının, koloni ağırlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır. Ekstraktla beslenen kolonilerde gözlemlenen işçi arı popülasyonundaki artış, nektar toplama kapasitesindeki belirgin iyileşme ile paralel bir şekilde koloni ağırlığının artmasına yol açmaktadır. Bu, koloninin büyüme ve gelişme süreçlerinde besin kaynaklarının etkisinin ne denli kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Şahin (2024) tarafından rapor edilen çalışmada da, Bingöl bal arısı ırkı kolonilerinin koloni ağırlıklarındaki değişim incelenmiştir. 2022 ve 2023 yıllarında yapılan ölçümler, Bingöl kolonilerinin özellikle yaz aylarında ciddi bir ağırlık artışı gösterdiğini ve sonbahara doğru ise bu ağırlığın azaldığını göstermektedir. 2022 yılında, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında koloni ağırlığında gözle görülür bir artış yaşanmış ve 43,60 kg'a kadar çıkmıştır. 2023 yılında ise benzer bir artış trendi gözlemlenmiş ve Temmuz sonunda koloni ağırlığı 48,74 kg'a ulaşmıştır. Bu veriler, kolonilerin büyümesinde mevsimsel faktörlerin ve beslenme stratejilerinin etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ayrıca, yaz aylarındaki yüksek koloni ağırlıkları, şeker şurubu ve diğer besleme kaynaklarının koloni sağlığını ve üretkenliğini desteklediğini göstermektedir.

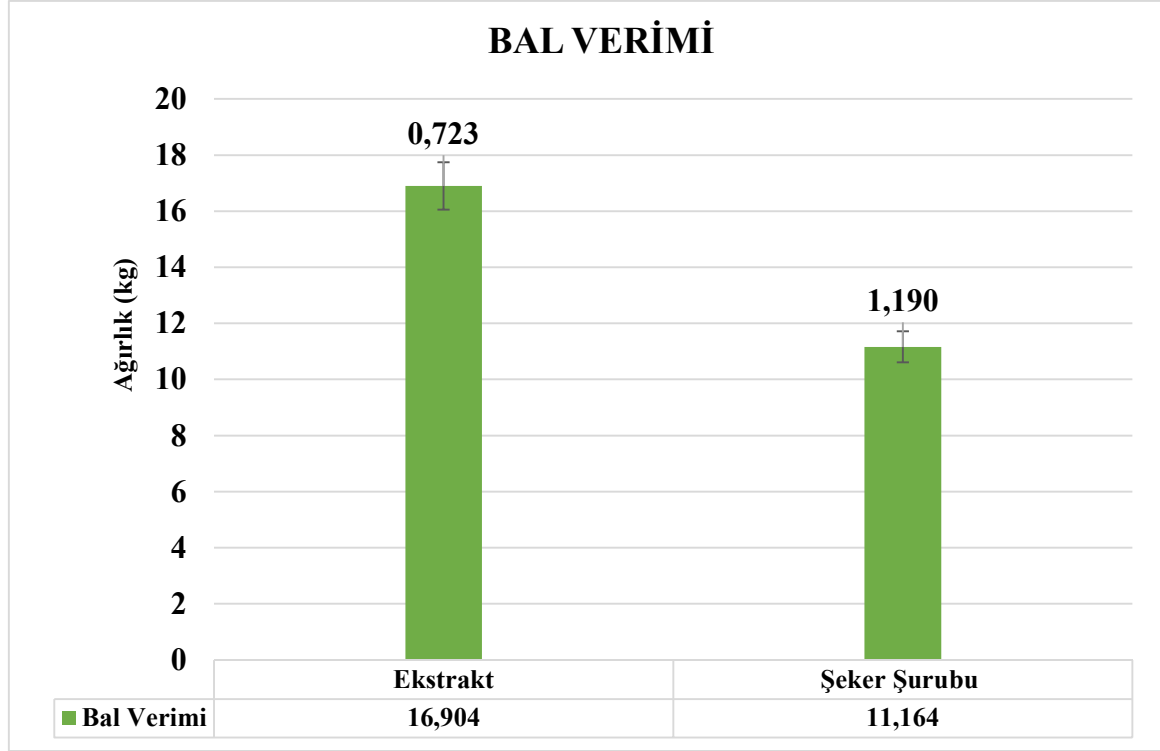
Sammataro ve Weiss (2013) ve diğer önceki çalışmalar da, benzer şekilde, karbonhidrat kaynaklarının (özellikle şeker şurubu) koloni gelişimi üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktadır. Kolonilerin büyüme kapasitesinin arttığı ve nektar toplama becerilerinin geliştirdiği, bu besinlerin arıların enerji ihtiyacını karşılamadaki etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, nektar toplama kapasitesindeki artışın koloni ağırlığına yansımaları, arıların

beslenme davranışlarının ve koloni içindeki işbirliğinin nasıl optimize edilebileceğini gösteren önemli bir bulgudur.

Bu bulgular, arıcılıkta besleme stratejilerinin, kolonilerin sağlık durumu ve gelişimi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Besleme rejimlerinin doğru bir şekilde seçilmesi ve zamanlaması, arıların büyüme hızını artırarak koloni verimliliğini önemli ölçüde iyileştirebilir. Ekstraktların ve şeker şuruplarının kullanımı, özellikle mevsimsel faktörlerin etkisiyle daha verimli hale gelebilir ve bu da arıların yüksek performans sergilemelerini sağlar.

4.6.5. Bal Verimi

In vivo çalışma kapsamı sonunda gerçekleştirilen bal hasadı ile gruplar arasındaki bal verimi farklılıkları belirlenmiştir (Tablo 4.15 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Bal verimi grafiği

Tablo 4.15. Bal verimi istatistik sonuçları

Bal Verimi								
Besin Türü	N	Standart Hata	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	95% Confidence Interval for	
							Mean	
							F.	Sig.
%5 Ekstrakt	5	0,72330	1,61735	14,85	18,30	16,9040	16,999	0,003**
Şeker Şurubu	5	1,18954	2,65990	7,72	13,90	11,1640		
Total	10	1,16014	3,66868	7,72	18,30	14,0340		

%5 ekstraktla beslenen kolonilerde ortalama bal verimi 16,90 kg, şeker şurubu grubunda ise 11,16 kg olarak tespit edilmiştir. Gruplar arasında 5,74 kg'lık önemli bir fark bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlıdır ($p=0,003$). Bu sonuç, ekstraktla beslenen kolonilerin daha güçlü popülasyonlar oluşturduğunu, daha fazla nektar toplayabildiğini ve dolayısıyla daha fazla bal ürettiğini göstermektedir. Aynı zamanda bu veriler, yavrulu alan ve arılı çerçeve sayısındaki artışlarla da doğrudan ilişkilidir. Ayrıca Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2024 yılı verilerine göre, ülkemizde kovan başına ortalama bal verimi 13,7 kg olarak bildirilmiştir.

Bu bulgular, alternatif besleme ürünlerinin, özellikle %5 ekstraktla yapılan beslemenin, bal arısı kolonilerinin performansı üzerinde şeker şurubu kullanımına göre daha olumlu etkiler sağladığını açıkça göstermektedir. %5 ekstraktla yapılan beslemenin, hem ulusal ortalamanın hem de şeker şurubu grubunun verimliliğini geride bırakarak yüksek verim elde edilmesine olanak tanıdığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, şeker şurubu grubunun kovan başına bal verimi açısından Türkiye ortalamasının altında kaldığı bulunmuştur. Bu durum, alternatif besleme ürünlerinin kolonilerin gelişimi ve verimliliği üzerinde daha güçlü bir etkisi olabileceğini ortaya koymaktadır.

Literatürde yapılan diğer çalışmalar da benzer sonuçları desteklemektedir. Gül (2003) tarafından rapor edilen bir çalışmada, Hatay yöresinde şeker şurubu ile beslenen Karniyol, İtalyan ve Muğla bal arısı genotiplerinin bal verimleri incelenmiş ve sırasıyla $12,59 \pm 0,52$ kg/koloni, $9,65 \pm 0,75$ kg/koloni ve $11,68 \pm 0,50$ kg/koloni olarak ölçülmüştür. Bu bulgular, şeker şurubu ile beslenen kolonilerin bal veriminde belirli genotiplere bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Dodoloğlu ve Genç (2004) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, Kafkas ve Anadolu bal arısı ırklarının bal verimi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Anadolu ırkının ortalama bal veriminin $11,17 \pm 1,45$ kg/koloni olduğunu gösterirken, Kafkas ırkı için bu rakam $7,95 \pm 2,19$ kg/koloni olmuştur. Bu da, genotiplerin farklı besleme stratejilerine ve çevresel koşullara nasıl farklı tepki verebileceğini ortaya koymaktadır.

Günbey ve Cengiz (2021) tarafından rapor edilen çalışmada ise, Orta Karadeniz bölgesindeki bal arısı genotiplerinin performansları incelenmiş ve bu çalışmada Yığılca,

Korgan ve Kafkas genotiplerinin ortalama bal verimleri sırasıyla 9,33 kg, 13,29 kg ve 12,64 kg olarak belirlenmiştir. Bu farklılıklar, bölgesel farkların ve çevresel koşulların bal verimi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

Şahin (2024) tarafından yapılan çalışmada ise, şeker şurubu ile beslenen Bingöl arısı kolonilerinin yıllık bal verimi incelenmiştir. 2022 yılı için bu değer $14,20 \pm 0,41$ kg/koloni iken, 2023 yılında bu verimin $16,87 \pm 2,51$ kg/koloniye çıktığı gözlemlenmiştir. Bu artış, özellikle uzun dönemli besleme uygulamalarının koloninin bal üretim kapasitesini nasıl iyileştirebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, şeker şurubu ve ekstrakt beslemesinin koloni gelişimi üzerindeki etkileri arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. %5 ekstrakt ile yapılan beslemenin, şeker şurubuna kıyasla daha verimli bir alternatif olduğu ve bu tarz besleme stratejilerinin kolonilerin gelişimine uzun vadeli faydalar sağladığı görülmektedir. Bu durum, arıcılıkla ilgili gelecekteki besleme stratejilerinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ve alternatif besleme ürünlerinin kullanımının daha fazla araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.7. Renk Analizi Sonuçları

Bal örneklerinin renk analizinde CIELAB renk uzayı parametreleri kullanılmıştır. (Tablo 4.16).

Tablo 4.16. Bal örnekleri renk analiz sonuçları

Bal Örneklerinin Renk Analizi Sonuçları			
	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>b</i>
Şeker Şurubu	77,64	2,72	39,48
Ekstrakt	66,26	10,96	50,71

Şeker şurubu örneği için *L* (açıklık) değeri 77,64, *a* (kırmızı-yeşil eksen) değeri 2,72 ve *b* (sarı-mavi eksen) değeri 39,48 olarak ölçülmüştür. Ekstrakt örneğinde ise *L* değeri 66,26, *a* değeri 10,96 ve *b* değeri 50,71 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler, ekstrakt örneğinin daha koyu ve daha doygun sarı renge sahip olduğunu göstermektedir.

Balın rengi, hem tüketici tercihlerinde hem de kalite değerlendirme kriterlerinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği (2012/58)’e göre balın rengi, su beyazından koyu ambere kadar uzanan bir skalada tanımlanmakta ve bu sınıflandırma, Pfund skalası olarak bilinen milimetrik bir ölçüm sistemiyle yapılmaktadır (Anonim, 2012). Pfund değerine göre bal; “su beyazı” (<8 mm), “ekstra beyaz” (9–17 mm), “beyaz” (18–34 mm), tekrar “ekstra beyaz” (35–50 mm), “açık amber” (51–85 mm), “amber” (86–114 mm) ve “koyu amber” (>114 mm) olarak sınıflandırılmaktadır. Belay ve arkadaşları (2015) yılında rapor edilen çalışmada ve İslam ve arkadaşlarının (2012) yılında rapor ettiği çalışmada bu sınıflandırmanın uluslararası bal ticaretinde yaygın olarak kullanıldığı belirtilmiştir.

Literatürde, balın renginin büyük ölçüde bitki kaynağına bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir. Akasya, narenciye ve yonca gibi çiçeklerden elde edilen ballar genellikle açık renkli olurken; kestane, pamuk, geven ve ayçiçeği gibi bitkilerden toplanan nektarla üretilen ballar daha koyu renktedir (Terrab et al., 2004; Al et al., 2009). Bu renk farklılıklarının, balın içerdiği fenolik bileşikler, pigmentler ve mineral maddeler gibi

bileşenlerin miktarlarıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Beretta ve arkadaşları (2005), koyu renkli balların toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite açısından açık renkli ballara kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Gül ve Pehlivan (2018), renk ile antioksidan aktivite arasında pozitif bir korelasyon tespit etmişlerdir.

Balın rengini etkileyen temel faktörlerden biri, toplam mineral (kül) içeriğidir. Gomes ve arkadaşlarının (2010) yılında rapor ettiği çalışmada, düşük kül içeriğine sahip balların daha açık renkte, yüksek kül içeriğine sahip balların ise daha koyu renkte olduğu ortaya konmuştur. Benzer şekilde, Juan-Borrás ve arkadaşlarının (2014) yılında rapor ettikleri çalışmada da renk ile kül içeriği arasında güçlü bir ilişki olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, balın botanik kökeni ve üretim yöntemleri de renk üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. İslam ve arkadaşlarının (2012) yılında rapor ettiği çalışmada, koyu renkli balların genellikle daha zengin fenolik bileşik ve mineral içerdiği ve bu nedenle daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu belirtilmiştir.

Bununla birlikte, balın rengi yalnızca kimyasal içerikle sınırlı kalmamakta; pollen rengi, nektar tipi, peteklerin kullanım süresi ve enzimatik olmayan kararma reaksiyonları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Nombé ve arkadaşlarının (2010) yılında rapor ettiği çalışmada, uzun süreli depolama koşullarının balda Maillard reaksiyonları gibi kimyasal süreçleri tetikleyerek rengin koyulaşmasına neden olduğu belirtilmiştir.

4.8. Fizikokimyasal (Kodeks ve Şeker Kompozisyonu) Analiz Sonuçları

Bal örnekleri Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği ve ilgili standartlara göre fizikokimyasal analizlere tabi tutulmuştur (Tablo 4.17).

Tablo 4.17. Bal örnekleri kodeks analiz sonuçları

Bal Örneklerinin Kodeks ve Şeker Kompozisyonu Analizi Sonuçları				
Yapılan Analizler	Ekstrakt	Şeker Şurubu	Birim	Analiz Metodu
Nem (Rutubet)	15,20±0,35	15,40±0,36	%	TS_13365:2008
Prolin	929,78±27,89	912,00±27,36	mg/kg-1	TS_13357:2008
Diastaz Sayısı	43,5±5,3	39,1±4,7	DN	IHC 2009 (6.2)
HMF	Tespit Edilmedi	Tespit Edilmedi	mg/kg-1	TS_13356:2008
Serbest Asitlik	22,85±2,79	29,95±3,65	meq/kg-1	TS_13360:2008
Elektriksel İletkenlik	0,405±0,016	0,747±0,030	mScm-1	TS_13366:2008
Naftalin	Tespit Edilmedi	Tespit Edilmedi	ppb	
Suda Çözünmeyen Katı Madde Miktarı	0,036±0,020	0,069±0,030	%	TS_3036:2010
Balda Protein ve Bal $\delta^{13}C$ Değerlerinden Hesaplanan C4 Şekerleri Oranı	4,28	0	%	TS_13262:2007
Balda Protein ($\delta^{13}C$protein) ve Bal ($\delta^{13}C$bal) $\delta^{13}C$ Değerleri Arasındaki Fark	-0,65	0,64		TS_13262:2007
Bal $\delta^{13}C$ Değeri ($\delta^{13}C$bal)	-24,29	-25,72		TS_13262:2007
Şeker Kompozisyonu				
Fruktoz	39,196±0,239	38,318±0,233	%	TS_13359:2008
Glukoz	32,639±0,313	31,403±0,301	%	TS_13359:2008
Sakkaroz	Tespit Edilmedi	Tespit Edilmedi	%	TS_13359:2008
Maltoz	1,458±0,107	1,289±0,095	%	TS_13359:2008
Fruktoz/Glukoz	1,201	1,22		TS_13359:2008
Fruktoz+Glukoz	71,835	69,721	%	TS_13359:2008

Nem oranı ekstrakt örneğinde %15,20±0,35, şeker şurubu örneğinde ise %15,40±0,36 olarak belirlenmiştir. Prolin içeriği, sırasıyla 929,78±27,89 mg/kg ve 912,00±27,36 mg/kg değerleriyle her iki örnekte de yüksek bulunmuştur. Diastaz sayısı ekstraktta 43,5±5,3 DN, şeker şurubunda ise 39,1±4,7 DN olarak ölçülmüş; her iki örnekte de HMF değeri tespit edilememiştir. Serbest asitlik ekstraktta 22,85±2,79 meq/kg, şeker şurubunda ise 29,95±3,65 meq/kg olup, şeker şurubunda asitlik değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 0,405±0,016 mS/cm (ekstrakt) ve 0,747±0,030 mS/cm (şeker şurubu) olarak saptanmıştır. Suda çözünmeyen katı madde oranı ekstraktta %0,036±0,020, şeker şurubunda ise %0,069±0,030 olarak belirlenmiştir. Naftalin her iki örnekte de tespit edilmemiştir.

Balda C4 şekerleri ve izotop analizine ilişkin bulgulara göre, ekstrakt örneğinde C4 şeker oranı %4,28 iken, şeker şurubunda %0 olarak hesaplanmıştır. $\delta^{13}\text{C}_{\text{bal}}$ değerleri ekstraktta -24,29, şeker şurubunda ise -25,72; $\delta^{13}\text{C}_{\text{protein}}$ ile $\delta^{13}\text{C}_{\text{bal}}$ farkı ise sırasıyla -0,65 ve 0,64 olarak bulunmuştur. Bu veriler, ekstrakt örneğinde bal kökenli şekerlerin daha baskın olduğunu ve katkı içermediğini desteklemektedir.

Şeker kompozisyonu analizlerinde, fruktoz oranı ekstraktta $39,196 \pm 0,239$, şeker şurubunda $38,318 \pm 0,233$; glukoz oranı ise sırasıyla $32,639 \pm 0,313$ ve $31,403 \pm 0,301$ olarak belirlenmiştir. Maltoz içeriği ekstraktta $1,458 \pm 0,107$, şeker şurubunda ise $1,289 \pm 0,095$ düzeyindedir. Her iki örnekte de sakkaroz tespit edilememiştir. Fruktoz/glukoz oranı ekstraktta 1,201, şeker şurubunda 1,22 olarak hesaplanmış; fruktoz ve glukoz toplamı ise ekstraktta %71,835, şeker şurubunda %69,721 olarak belirlenmiştir.

Przybyłowski ve Wilczyńska (2001) yılında rapor ettiği çalışmada, Polonya’da üretilen kanola, karışık çiçek, püren, salgi ve karabuğday ballarının suda çözünmeyen madde miktarları sırasıyla 0,66; 0,84; 0,53; 0,91; 0,72 ve 0,25 g/100 g olarak belirlenmiştir. Bu veriler, farklı botanik kökenlerin fiziksel özelliklerde belirgin farklılıklar yarattığını göstermektedir.

Gül (2008) yılında rapor ettiği çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi’nden toplanan Bingöl bal örneklerinin ortalama nem değeri $17,94 \pm 0,07$; elektriksel iletkenliği $0,29 \pm 0,01$ mS/cm; serbest asitlik değeri $26,01 \pm 0,65$ meq/kg; diastaz sayısı $24,00 \pm 3,18$; HMF değeri $13,59 \pm 0,82$ mg/kg ve fruktoz miktarı $41,12 \pm 0,30$ g/100 g olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, Bingöl ballarının kalite açısından güçlü özellikler taşıdığını göstermektedir.

Can ve arkadaşları (2015) yılında rapor ettiği çalışmada, Türkiye genelinde üretilen multifloral çiçek ballarının ortalama prolin içeriği 482 ± 160 mg/kg olarak belirlenmiştir. Prolin, balın olgunluk düzeyini ve arı katkısını gösteren önemli bir kalite göstergesidir.

Matović (2018) yılında rapor ettiği çalışmada, Sırbistan’da üretilen balların suda çözünmeyen madde miktarının 0,002–0,05 g/100 g arasında değiştiği, ıhlamur balında ise bu değer $0,01 \pm 0,002$ g/100 g olduğu bildirilmiştir.

Cengiz ve arkadaşları (2018) yılında rapor ettiği çalışmada, Türkiye’nin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi’nde üretilen balların ortalama diastaz aktivitesi $14,5 \pm 3,5$ ve ortalama

fruktoz içeriği $38,8 \pm 1,8$ g/100 g olarak belirlenmiştir. Bu değerler, bölge ballarının kalite açısından iyi seviyede olduğunu göstermektedir.

Ates ve Yaşar (2020) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ve çevresinden toplanan 7 farklı bal örneğinin kimyasal analizleri sonucunda ortalama sükroz oranı %1,65, invert şeker oranı %80,23, pH değeri 2,81, nem oranı %15,43 ve diastaz enzim aktivitesi 0,074 U/mL olarak ölçülmüştür. Bu değerler, Türk Gıda Kodeksi ve TS 3036 standartlarına uygun bulunmuştur.

Yaşar ve Söğütlü (2020) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ve ilçelerinde üretilen balların kimyasal özellikleri incelenmiş, asitlik değerlerinin 20–25 meq/kg arasında değiştiği, diastaz sayılarının 1 (Sancak) ile 23 (Merkez) arasında olduğu, HMF miktarının 23,6–42,2 mg/kg arasında değiştiği bildirilmiştir. Suda çözünmeyen madde oranı %0,001–0,011, kül oranı ise %0,39–0,54 arasında bulunmuştur. Bu bulgular, yerel koşulların bal kalitesi üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

Şen ve Türkaslan (2021) yılında rapor ettiği çalışmada, Türkiye'nin dört farklı ilinden (Manisa, Uşak, Sivas, Konya) toplanan bal örneklerinin ortalama nem içeriği $16,73 \pm 1,74$ olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye'deki balların kalite standartlarını karşıladığını göstermektedir.

Kanbur ve arkadaşları (2021) yılında rapor ettiği çalışmada, kestane ve yayla bal örneklerinin karşılaştırılması sonucunda kestane balının ortalama prolin içeriği 925,16 mg/kg, yayla balının ise 755,14 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu fark, bitkisel kaynakların balın bileşimini etkilediğini göstermektedir.

Bayram ve arkadaşları (2021) yılında rapor ettiği çalışmada, Bayburt ilinden toplanan bal örneklerinin nem oranının %15,0–18,5; su aktivitesinin ise 0,451–0,604 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu değerler, balların düşük nem ve yüksek stabilite özellikleri taşıdığını göstermektedir.

Gün ve Karaoğlu (2022) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ilinde toplanan iki farklı çiçek balı numunesi analiz edilmiştir. Birinci numunenin ortalama prolin değeri

965,54±5,74 mg/kg, ikinci numunenin ise 587,37±13,23 mg/kg olarak ölçülmüştür. Diastaz sayıları sırasıyla 28,93±2,01 ve 32,74±2,57; serbest asitlik değerleri 27,00±0,50 meq/kg ve 18,50±0,00 meq/kg; HMF değerleri ise 7,00±0,00 mg/kg ve 5,31±0,06 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Erdoğan ve Turan (2022) yılında rapor ettiği çalışmada, Kaçkar Dağları'ndan hasat edilen balların HMF değerlerinin 1,80–3,50 mg/kg, fruktoz içeriklerinin ise %32–45 aralığında değiştiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, taze ve işlenmemiş bal özellikleri ile uyumludur.

Çaçan ve arkadaşları (2023) yılında rapor ettiği çalışmada, 2021 ve 2022 yıllarında arı merası ve yayladan elde edilen balların kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. 2021 yılında HMF değeri 8,97 mg/kg, 2022'de ise 3,59 mg/kg olarak ölçülmüş; diastaz sayısı sırasıyla 18,3 ve 24,1 olmuştur. Nem oranı her iki yılda yaklaşık %15,2 civarındadır. Arı merası ballarında C4 şeker oranı %1,24, C13 değeri -26,3 iken, yayla ballarında bu değerler %2,00 ve -25,9 olarak belirlenmiştir. Ayrıca protein miktarı ve C13 şeker farkı bakımından da arı merası ballarının daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Şahin (2024) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl genotipine ait ballarda yapılan analizler sonucunda 2022 yılında nem oranı %15,200, 2023 yılında ise %15,200 olarak ölçülmüş ve her iki yılda da Türk Gıda Kodeksi'nin %20 sınırının oldukça altında kalmıştır. Elektriksel iletkenlik açısından Bingöl genotipi 0,369 mS/cm ile en yüksek değere sahip olmuş, bu değer yasal sınır olan 0,8 mS/cm'nin altında kalmıştır. Prolin içeriği 2023 yılında 817,780 mg/kg ile en yüksek seviyede bulunmuş ve kalite kriteri olan 300 mg/kg değerinin oldukça üzerindedir. Diastaz sayısı 2023 yılında 55,630 ile tüm genotipler arasında en yüksek seviyede tespit edilmiştir, bu da enzimatik aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir. Serbest asitlik değeri 2022 yılında 22,370 meq/kg olup, bu da yasal sınır olan 50 meq/kg'ın altındadır. Suda çözünmeyen madde oranı 2022 ve 2023 yıllarında Türk Gıda Kodeksi sınırı olan %0,1'in altında kalmıştır. HMF değeri 2023 yılında Bingöl için açıkça belirtilmemiş olsa da, çalışmadaki tüm örnekler gibi yasal sınır olan 40 mg/kg'ın altında olduğu belirtilmiştir. Şeker içeriğinde, Bingöl genotipine ait bal 2022 ve 2023 yıllarında fruktoz açısından en yüksek değerlere sahip olmuş (%40,915 ve %40,792), maltoz içeriği ise 2023 yılında %2,704 ile en yüksek seviyede bulunmuştur. Bu veriler, Bingöl genotipine ait balın kalite açısından öne çıktığını göstermektedir.

4.9. Melissopalinojik Analiz Sonuçları

Bal örneklerinin melissopalinojik analizleri sonucunda farklı bitki türlerine ait polenler belirlenmiştir (Tablo 4.18).

Tablo 4.18. Bal örnekleri melissapalinojik analizi sonuçları

Bal Örneklerinin Melissapalinojik Analiz Sonuçları		
Şeker Şurubu		
Bitki ismi	Türkçe ismi	Polen yoğunluğu
<i>Centaurea sp.</i>	Peygamber çiçeği	46,00%
<i>Astragalus sp.</i>	Geven	35,60%
<i>Trifolium sp.</i>	Üçgül	10,00%
Rosaceae	Gülgiller	3,30%
<i>Paliurus spina-christi</i>	Karaçalı	2,10%
<i>Helianthemum sp.</i>	Güngülü	1,70%
<i>Sanguisorba sp.</i>	Çayırdüğmesi	<%1
<i>Xeranthemum sp.</i>	Kâğıt çiçeği/Süpürgeotu	<%1
<i>Eremurus sp.</i>	Çiriş	<%1
Sonuç		Analiz Metodu
TPS-10	35723	Mikroskopik (Moar, 1985)
Ekstrakt		
Bitki ismi	Türkçe ismi	Polen yoğunluğu
<i>Salix sp.</i>	Söğüt	28,00%
<i>Astragalus sp.</i>	Geven	25,20%
<i>Trifolium sp.</i>	Üçgül	13,10%
<i>Centaurea sp.</i>	Peygamber çiçeği	5,10%
Poaceae	Buğdaygiller	4,70%
<i>Lotus sp.</i>	Gazalboynuzu	4,20%
<i>Paliurus spina-christi</i>	Karaçalı	3,30%
<i>Verbascum sp.</i>	Sığır kuyruğu	2,80%
<i>Xeranthemum sp.</i>	Kâğıt çiçeği/Süpürgeotu	2,30%
<i>Eremurus sp.</i>	Çiriş	2,30%
<i>Plantago lanceolata</i>	Dar yapraklı sinir otu/Damarlıca	1,90%
Rosaceae	Gülgiller	1,90%
<i>Teucrium sp.</i>	Kısamahmut	1,40%
<i>Thymus sp.</i>	Kekik	<%1
<i>Anarrhinum sp.</i>	Süpürgeotu	<%1

Tablo 4.19. (devam) Bal örnekleri melissapalinolojik analizi sonuçları

<i>Helianthemum</i> sp.	Güngülü	<%1
<i>Rumex</i> sp.	Labada/Kuzukulağı	<%1
<i>Galium</i> sp.	Yapışkanotu	<%1
<i>Scabiosa</i> sp.	Uyuzotu	<%1
	Sonuç	Analiz Metodu
TPS-10	64075	Mikroskopik (Moar, 1985)

Şeker şurubu örneğinde en yüksek polen oranları *Centaurea* sp. (%46,00), *Astragalus* sp. (%35,60) ve *Trifolium* sp. (%10,00) türlerine aittir. Bunları daha düşük oranlarla Rosaceae (%3,30), *Paliurus spina-christi* (%2,10), *Helianthemum* sp. (%1,70) ve <%1 oranlarında *Sanguisorba* sp., *Xeranthemum* sp. ve *Eremurus* sp. izlemektedir.

Ekstrakt örneğinde ise *Salix* sp. (%28,00), *Astragalus* sp. (%25,20) ve *Trifolium* sp. (%13,10) türleri en baskın polenler olarak belirlenmiştir. Ayrıca *Centaurea* sp. (%5,10), Poaceae (%4,70), *Lotus* sp. (%4,20), *Paliurus spina-christi* (%3,30), *Verbascum* sp. (%2,80), *Xeranthemum* sp. (%2,30), *Eremurus* sp. (%2,30), *Plantago lanceolata* (%1,90), Rosaceae (%1,90) ve *Teucrium* sp. (%1,40) polenleri de önemli oranlarda tespit edilmiştir. Bunun dışında kekik (*Thymus* sp.), süpürgeotu (*Anarrhinum* sp.), güngülü (*Helianthemum* sp.), kuzukulağı (*Rumex* sp.), yapışkanotu (*Galium* sp.) ve uyuzotu (*Scabiosa* sp.) gibi türlerin polenlerine de <%1 oranında rastlanmıştır. Bunun yanında toplam polen sayısı(TPS) Ekstrakt grubunda 64075, şeker şurubu grubunda 35723 adet olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ekstrakt grubunda şeker şurubu grubuna oranla daha fazla balda polen olduğunu göstermektedir.

Behçet ve Yapar (2019) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ili Matan Dağı florasını belirlemek için yapılan bir araştırmada; 29 familya saptanmış olup, bu familyalardan 101 cinsin 126'sı tür, 52'si alttür, 33'ü varyete olmak üzere toplamda 211 bitki taksonu tespit edilmiştir. Matan bölgesi florasında, 211 taksonun ait olduğu ilk 5 familya sırasıyla; Asteraceae (58), Lamiaceae (33), Fabaceae (31), Rosaceae (16), Apiaceae (11) olarak bildirilmiştir. Mevcut çalışmamızda baldaki polenler incelendiğinde, yukarıdaki literatürde tespit edilen ilk 5 familyaya ait taksonlar ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum, bitki

florasının yoğunluğu ve çeşitliliğinin baldaki polen yoğunluğunu etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Polat ve arkadaşlarının (2020) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ili Solhan yöresi arı florasını belirlemek için yapılan bir çalışmada; 24 bitki familyasına ait 90 bitki taksonu tespit edilmiştir. Bu çalışmada en fazla taksona sahip bitki familyaları sırasıyla Asteraceae (28), Lamiaceae (15), Fabaceae (12), Rosaceae (4), Caprifoliaceae (3), Caryophyllaceae (3), Hypericaceae (3), Asparagaceae (3) olarak bildirilmiştir. Mevcut çalışmamızda da 2022 ve 2023 yıllarında hasat edilen genotip ballarının polen analizleri neticesinde benzer familyaların bulunduğu belirlenmiştir.

Demirpolat ve arkadaşlarının (2021) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl Merkez Sancak Beldesi ve çevresinin florasını tespit etmek için yapılan bir çalışmada; 612 bitki örneği toplanmış ve içerdikleri tür sayısına göre ilk 5 familya; Asteraceae (%10,1), Fabaceae (%8,8), Brassicaceae (%8,2), Lamiaceae (%8,0), Poaceae (%8,0) olarak bildirilmiştir. İçerdikleri taksona sayısına göre ise en büyük 5 cins sırasıyla; *Silene* (8), *Trifolium* (8), *Astragalus* (7), *Salvia* (6) ve *Vicia* (6) olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışmamızda da en fazla bulunan familya grupları ile büyük oranda benzerlik gösterilmiştir.

Çobanoğlu ve arkadaşlarının (2021) yılında rapor ettiği çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesinin bazı illerinin (Bitlis, Muş, Tunceli) polen örneklerinin melissopalinojik teşhisleri neticesinde; Apiaceae (*Ferula* sp.), Asteraceae (*Achillea* sp., *Taraxacum* sp.), Brassicaceae, Boraginaceae, Caryophyllaceae (*Silene* sp.), Convolvulaceae (*Convolvulus* sp.), Fabaceae (*Trifolium* sp.), Fagaceae (*Quercus* sp.), Hypericaceae (*Hypericum* sp.), Juglandaceae (*Juglans* sp.), Lamiaceae (*Lamium* sp.), Moraceae (*Morus* sp.), Plantaginaceae (*Plantago* sp.), Polygonaceae (*Rumex* sp.), Poaceae, Rosaceae (*Crataegus* sp., *Potentilla* sp., *Pyrus* sp., *Sanguisorba* sp.), Salicaceae (*Salix* sp.), Xanthorrhaceae (*Eremurus* sp.) gibi taksonlar belirlenmiştir. Yaptığımız çalışma ile birçok familya ve taksonun benzer olduğu belirlenmiştir.

Düzdaban (2022) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl ili sınırlarında yapılan bir çalışmada, Bingöl ili Merkez ilçe sınırları içinde bulunan Sancak beldesinden toplanan polenlerin ve Sancak yolu üzerinde bulunan Hayvan Hastanesi civarından toplanan

polenlerin melissopalinojik analizleri neticesinde sekonder ve minör düzeyde bulunan bitki taksonları şunlar olarak bildirilmiştir: *Plantago lanceolata* ve *Trifolium type II*, *Poaceae* (T), *Rumex* sp., *Sanguisorba* sp., *Trifolium Type I*, *Achillea* sp., *Salix* sp., *Pyrus* sp., *Ranunculus* sp., *Juglans regia*., *Cerithe* sp., *Ferula* sp. Bu bulgular, bizim gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada ortak tespit edilen taksonlarla uyum göstermektedir.

Şahin (2024) yılında rapor ettiği çalışmada, Bingöl genotipi bal numunesinin 2022 ve 2023 yıllarındaki polen analiz sonuçları farklı türlerin oranlarına göre belirlenmiştir. 2023 yılı numunesinde, en yüksek polen oranı %41,8 ile Fabaceae familyasına ait *Astragalus* sp. türüne ait olup, bu tür sekonder polen olarak sınıflandırılmıştır. Asteraceae familyasından *Xeranthemum* sp. %15,9, Lamiaceae familyasından *Lamium* sp. %9,6 ve *Thymus* sp. %6,7 oranlarında minör polen olarak bulunmuş, Fabaceae familyasından *Trifolium* sp. %3,4, *Lotus* sp. %2,9 oranlarında eser polen olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Cucurbitaceae, Amaranthaceae, Asphodelaceae ve Lamiaceae familyalarına ait türler de eser polen olarak sırasıyla %2,4 ile %1,4 arasında yer almıştır. 2022 yılı numunesinde ise, en yüksek polen oranı %50,69 ile Scrophulariaceae familyasından *Verbascum* sp. türüne ait olup, bu tür dominant polen olarak tespit edilmiştir. Lamiaceae familyasından *Lamium* sp. %13,00, Hypericaceae familyasından *Hypericum* sp. %6,33, Campanulaceae familyasından *Campanula* sp. %5,00, Amaranthaceae familyasından *Chenopodium* sp. %3,67, Asteraceae familyasından *Xeranthemum* sp. %3,67 ve Fabaceae familyasından *Lotus* sp. %2,67 oranlarında minör polen olarak yer almıştır. Ayrıca, Asteraceae familyasından *Anthemis* sp., Plantaginaceae familyasından *Linaria* sp., Salicaceae familyasından *Salix* sp. türleri ve Apiaceae familyasından bir tür de eser polen olarak tespit edilmiştir. Diğer türler arasında Fabaceae familyasından *Astragalus* sp. %1,33, *Trifolium* sp. %1,00, Moraceae familyasından *Morus* sp., Lamiaceae familyasından *Phlomis* sp., Convolvulaceae familyasından *Convolvulus* sp., Boraginaceae familyasından *Alkanna* sp., Geraniaceae familyasından *Geranium* sp., Lamiaceae familyasından *Thymus* type ve Plantaginaceae familyasından *Plantago* sp., Poaceae familyasından bir tür ve Rosaceae familyasından *Crateagus* sp., *Rosa* sp. ve *Sanguisorba* sp. türleri eser polen olarak tespit edilmiştir.

%5 polen ekstraktı ile beslenen kolonilerden elde edilen bal örneklerinin melissopalinojik profili, doğal ortamdan toplanan arı poleni örnekleriyle daha yüksek oranda örtüşmektedir. Nitekim yapılan karşılaştırmada; *Salix* sp., *Astragalus* sp., *Trifolium*

sp., *Paliurus* sp., *Rosaceae* sp. ve *Verbascum* sp. gibi türlerin hem arı poleni hem de ekstrakt grubuna ait bal örneklerinde anlamlı oranlarda tespit edildiği gözlemlenmiştir (Tablo 4.18). Bu durum, polen ekstraktının içeriğinde bulunan bitki türlerinin arıların çevredeki floraya yönelim davranışını etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Arılar, yalnızca karbonhidrat ihtiyacını karşılamak amacıyla nektar toplamaz; aynı zamanda polen içeriklerini değerlendirerek, protein, lipid, amino asit, sterol ve vitamin gibi temel besin maddelerini algılayabilirler. Yapılan çalışmalar, arıların beslenme sırasında polen kaynaklarında bulunan uçucu bileşenler (örneğin fenolikler, flavonoidler, terpenoidler) aracılığıyla kimyasal sinyalleri tanıyabildiklerini ve bu sinyaller doğrultusunda floral tercih geliştirdiklerini göstermektedir (Cook et al., 2005; Wright et al., 2013). Bu etki, "primer attractant" olarak adlandırılan biyokimyasal çekicilerle açıklanmaktadır.

Polen ekstraktı ile besleme, kolonilere bu tür bileşiklere önceden maruziyet sağladığından, arıların çevrede benzer kimyasal profillere sahip bitkileri daha yüksek frekansta ziyaret etmelerine neden olmuş olabilir. Bu davranış, öğrenilmiş floral hafızanın ve floral consistency (çiçeksel sadakat) mekanizmalarının bir yansıması olarak değerlendirilebilir (Chittka et al., 1999).

Ek olarak, polen ekstraktı ile beslenen kolonilerin bal örneklerinde gözlemlenen polen çeşitliliği ve yoğunluğu, şeker şurubu ile beslenen kolonilere kıyasla daha dengeli bir dağılım göstermektedir. Bu durum, ekstrakt takviyesinin yalnızca enerji değil, yönlendirici bilgi taşıyan bir besin ortamı sunduğunu ve kolonilerin çevresel kaynak kullanımını yönlendirdiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, polen ekstraktı ile yapılan beslemenin, hem arıların besinsel tercihlerinde hem de balın polen kompozisyonunda doğrudan etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu etki, ballarda doğal polen kompozisyonunun daha belirgin şekilde yansımasına katkı sağlamakta ve besin temelli öğrenme mekanizmalarının çevresel kaynak kullanımını biçimlendirebileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.20. Arı Polenini ile bal örnekleri arasındaki karşılaştırmalı değerlendirme

Bitki Türü / Cinsi	Arı Poleninde (%)	Şeker Şurubu ile Beslenen Koloni Balı (%)	%5 Polen Ekstraktı ile Beslenen Koloni Balı (%)	Yorum
<i>Salix</i> sp. (Söğüt)	20,0	-	28,0	Arı poleninde ve ekstrakt grubunda baskın. Ekstraktla besleme arıların bu floraya yönelmesini artırmış olabilir.
<i>Astragalus</i> sp. (Geven)	1,2	35,6	25,2	Her iki bal örneğinde yüksek, polende düşük. Arılar bu bitkiyi nektar için tercih etmiş olabilir.
<i>Trifolium</i> sp. (Üçgül)	2,6	10,0	13,1	Her üç grupta ortak. Ballarda daha fazla yer alması, arıların nektar kaynağı olarak bu türü tercih ettiğini gösteriyor.
<i>Rosaceae</i> sp.	9,4	3,3	1,9	Polende zengin, ballarda düşük. Polen taşıma yüksek, nektar kullanımı sınırlı olabilir.
<i>Paliurus</i> sp. (Karaçalı)	3,8	2,1	3,3	Üç grupta da mevcut, oranlar yakın. Hem polen hem nektar kaynağı olabilir.
<i>Centaurea</i> sp.	-	46,0	5,1	Sadece ballarda görülmüş, özellikle şeker şurubu grubunda baskın. Polen taşınmamış ama yoğun nektar kaynağı olabilir.
<i>Xeranthemum</i> sp.	1,6	<%1	2,3	Üç grupta da düşük düzeyde mevcut. Ekstraktla yönelim artmış olabilir.
<i>Eremurus</i> sp. (Çiriş)	4,6	<%1	2,3	Polende zengin, ekstrakt grubunda az miktarda var. Arılar bu türü daha az tercih etmiş olabilir.
<i>Plantago</i> sp.	2,4	-	1,9	Polen ve ekstrakt grubunda yer alıyor. Ekstrakt etkisiyle balda ortaya çıkmış olabilir.
<i>Verbascum</i> sp. (Sığırkuyruğu)	1,6	-	2,8	Ekstrakt grubunda artış var, polende doğal kaynak izleniyor.
<i>Rumex</i> sp. (Labada)	0,6	-	<%1	Üç grupta da düşük yoğunluklu. Doğal yayılımı sınırlı olabilir.
<i>Teucrium</i> sp.	0,2	-	1,4	Polende çok az, ekstrakt grubunda yükselmiş. Ekstraktla yönelim desteklenmiş olabilir.
<i>Sanguisorba</i> sp.	1,8	<%1	<%1	Üç grupta da izlenebilir düzeyde, oran düşük.
Poaceae (Buğdaygiller)	0,6	-	4,7	Ekstrakt grubunda belirgin artış. Doğal floraya yönelim olasılığı.
<i>Helianthemum</i> sp.	-	1,7	<%1	Sadece ballarda gözlenmiş. Arılar polenini taşımamış olabilir.
<i>Lotus</i> sp.	-	-	4,2	Sadece ekstrakt grubunda yer alıyor. Ekstraktın yönlendirici etkisi olabilir.
<i>Thymus</i> sp. (Kekik)	-	-	<%1	Yalnızca ekstrakt grubunda izlenmiş. Arıların çevresel yönelimi artmış olabilir.
<i>Anarrhinum</i> sp.	-	-	<%1	Sadece ekstrakt grubunda yer alıyor.
<i>Galium</i> sp.	-	-	<%1	Aynı şekilde yalnızca ekstraktla beslenen grubun balında görülüyor.
<i>Scabiosa</i> sp.	-	-	<%1	Sadece ekstrakt grubunda bulunuyor.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

In vitro ve *in vivo* çalışma kapsamında kullanılan arı polenlerine polen katkısı sağlayan baskın bitki taksonları değerlendirildiğinde; cins düzeyindeki taksonomik dağılım incelenmiştir. Yapılan polen teşhisleri sonucunda, örneklerde toplam 28 farklı bitki familyasına ait polenlerin varlığı belirlenmiştir. Bu familyalara ait polenlerin örnek içerisindeki bolluk oranlarının %0,2 ile %20 arasında değişkenlik göstermesi, çalışmanın yürütüldüğü bölgede yüksek düzeyde bitkisel çeşitliliğin bulunduğunu ve arıların oldukça geniş bir botanik spektrumdan polen topladığını ortaya koymaktadır. Özellikle minör grupta yer alan Apiaceae (%9), Brassicaceae (%9), *Crataegus sp.* (%4,6), Rosaceae (%4,8), *Paliurus sp.* (%3,8) ve *Eremurus sp.* (%4,6) gibi familya ve cinslerin dikkate değer oranlarda temsil edilmesi, bu taksonların arılar için önemli nektar ve polen kaynakları olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu türlerin, bölge florasında geniş bir yayılım alanına sahip oldukları da anlaşılmaktadır.

Bunun yanı sıra, örneklerde eser miktarda (%<3) tespit edilen *Achillea sp.* (%2,6), *Trifolium sp.* (%2,6), *Plantago sp.* (%2,4), *Echium sp.* (%1,8), *Sanguisorba sp.* (%1,8), *Xeranthemum sp.* (%1,6) ve *Verbascum sp.* (%1,6) gibi taksonlar da dikkat çekmektedir. Bu türlerin varlığı, arıların çevresel kaynaklara duyarlı şekilde polen toplama davranışı sergilediğini ve bölgesel floristik çeşitliliğin arı ürünlerinin botanik içeriğine doğrudan yansıdığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, polenlerin floristik kökeninin hem arıcılık faaliyetleri hem de biyolojik etki çalışmaları açısından önemli bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

In vitro ve *in vivo* çalışma kapsamında kullanılan arı poleni ve ekstraktlarının protein miktarlarının değerlendirilmesinde; Çalışma kapsamında ekstrakte edilmemiş 5 arı poleni içerisinde en yüksek protein miktarı %21,35 ile 3 numaralı arı poleninde elde edilirken,

ilgili arı polenin ultrasonik destekli olarak su bazlı ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktın protein miktarı ise %9,8 olarak elde edilmiştir. *In vivo* çalışma kapsamında kullanılan arı polenin protein miktarı %23,95 elde edilirken, ilgili polenin ultrasonik destekli olarak su bazlı ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktın protein miktarı ise %11,20 olarak elde edilmiştir. Etanol ve metanolün farklı konsantrasyonlarda elde edilen ekstraktların protein miktarları su kullanılarak elde edilen ekstraktların protein miktarlarının gerisinde kalmıştır. Sonuç olarak *In vitro* çalışma kapsamında 3 numaralı polenin ultrasonik destekli olarak su bazlı ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktı besleme ürünü katkı maddesi olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kullanılan ekstraktın toksik bir çözücü kalıntısı içermeden güvenli bir şekilde kullanımına imkan vermiştir.

In vitro ve *in vivo* çalışma kapsamında kullanılan arı poleni ekstraktlarının aminoasit içeriği değerlendirildiğinde; her iki ekstraktada benzer bir aminoasit profili gözlenirken, en yüksek miktarda tespit edilen aminoasit prolin olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte her iki polen ekstraktında düşük miktarda da olsa dopamin, norepinefrin (noradrenalin) ve epinefrinin (adrenalin) öncüsü olan L-DOPA tespit edilmiştir.

In vitro çalışma kapsamında besleme katkı ürünü olarak kullanılan arı poleni ekstraktı dört farklı konsantrasyonda (%5-%10-%15-%20) şeker şurubuna ilave edilerek, şeker şurubu, invert şurup ve bal-polen besleme ürünlerine karşı değerlendirilmiştir. *In vitro* performans deneyleri doğrultusunda değerlendirilen parametreler irdelendiğinde; En yüksek yaşam süresi bal-polen besleme ürününde 59 gün olurken, ekstraktlar içerisinde en yüksek yaşam süresi %5 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürününde 50 gün olarak tespit edilmiştir. En düşük yaşam süresi ise %20 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürününde 29 gün olarak tespit edilmiştir. Canlı ağırlık artışı bakımından ise en yüksek ağırlık artışı %5 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürününde tespit edilirken, en düşük ağırlık artışı ise invert şurup ve şeker şurubu besleme ürünlerinde tespit edilmiştir.

In vivo çalışma kapsamında, *in vitro* çalışmada en başarılı sonuçların elde edildiği %5 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürünüdeki oran, şeker şurubu besleme ürününe karşı değerlendirilmiştir. *In vitro* performans deneyleri doğrultusunda değerlendirilen parametreler irdelendiğinde; Arılı Çerçeve Sayısı Artışı, Yavrulu Alan Miktarı, Koloni Ağırlığı, Bal Verimi (%5 Ekstrakt 16,904 kg/kovan; Şeker Şurubu 11,164 kg/kovan)

bakımından %5 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürünü üstünlük sağlamıştır. Bununla birlikte, şeker şurubu besleme ürününe karşı %5 arı poleni ekstraktı ilaveli besleme ürünü kullanılarak elde edilen balda daha fazla bitkisel takson tespit edilmiştir. Geliştirilen yem katkı ürününün arıların nektar toplama alışkanlığını etkilediği düşünülmektedir.

Geliştirilen yem katkı ürününün düşük oran olan %5 oranda özellikle bahar beslemesinde etkili bir yem katkı maddesi olarak değerlendirilirken, düşük oranda kullanılan yem katkı maddesinin arıcılara yüksek girdi maliyeti oluşturmada kullanılabilecek bir katkı maddesi olarak değerlendirilmekte ve ticarileşme potansiyeli yüksek olduğu düşünülmektedir. Ayrıca geliştirilen yem katkı ürünününün sınai mülkiyet kazanma potansiyeli bulunmaktadır.

Geliştirilen yem katkı ürünü ile beslenen arıların bağışıklığı ile ilgili hem mikrobiyolojik hemde moleküler ve metabolomik araştırmalar yem katkı maddesinin sadece besleme değil arıların zararlılara karşıda kullanılabileceği bir ürün olarak değerlendirilmesine imkan sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

A.O.A.C. Official Methods of Analysis. (1990). 15th ed. Association of Official Analytical Chemists.

Abdella, M., Rateb, S. H., and Khodairy, M. M. (2024). Sucrose, glucose, and fructose preference in honeybees and their effects on food digestibility. *Apidologie* 55, 77-86.

Abou-Shaara, H. F. (2024). A comparative study on using simple pollen substitutes to improve brood rearing activity and characteristics of honey bee workers. *Pakistan Journal of Zoology*, 56(2), 809–816.

Afik, O., Dag, A., Kerem, Z., Shafir, S., and Lensky, Y. (2006). The influence of avocado (*Persea americana* Mill.) nectar composition on honeybee (*Apis mellifera*) foraging behavior. *Journal of Chemical Ecology*, 32(1), 193–204.

Akkaya, H. (2002). Arıcılık Arıcının Temel El Kitabı. Temel Petek.

Akyol, E., Özkök, D., Öztürk, C., and Bayram, A. (2005). Bazı saf ve melez bal arısı (*Apis mellifera* L.) kolonilerinin oğul eğilimi, yaşama gücü, kışlama yeteneği ve petek işleme etkinliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 5(4), 162–166.

Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D., and Le Conte, Y. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters*, 6(4), 562–565.

Al, M. L., Daniel, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., and Bogdanov, S. (2009). Physico-chemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania. *Food Chemistry*, 112(4), 863–867.

Al-Ghamdi, A. A., Abou-Shaara, H. F., and Ansari, M. J. (2021). Effects of sugar feeding supplemented with three plant extracts on some parameters of honey bee colonies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2076–2082.

Al-Kahtani, S. N., Taha, E. K., Khan, K. A., Ansari, M. J., Farag, S. A., and Shawer, D. M. B. (2020). Effect of harvest season on the nutritional value of bee pollen protein. *PLOS ONE*, 15(12), e0241393.

Ewert, A. M., Simone-Finstrom, M., Read, Q., Husseneder, C., and Ricigliano, V. (2023). Effects of ingested essential oils and propolis extracts on honey bee (Hymenoptera: Apidae) health and gut microbiota. *Journal of Insect Science*, 23(6), 1–11.

Amera, W. A., Mersso, B. T., Sisay, T. A., Arega, A. B., and Alene, A. T. (2024). Effect of various supplements on productive performance of honey bees, in the South Wollo Zone, Ethiopia. *PLoS ONE*, 19(5), e0303579.

Anonim (a) <https://engnovate.com/ugc-ielts-writing-task-1-essays/the-diagram-illustrates-how-bees-produce-honey-65e8c74d5ba04>

Anonim (b) <https://www.avrasyaaricilik.com.tr/ari-kolonisi-nedir-ve-kimlerden-olusur/?srsltid=AfmBOophm0IpPlileRyD5HcdjKKTJTcXVrWNKMjxJHeEwhsAqMT6dg>

Anonim. (2012). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği (2012/58). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 27 Temmuz 2012 tarih ve 28366 sayılı Resmî Gazete. Ankara.

Anonymous. (2018). Office International Des Epizooties (OIE). Nosemosis of honey bees. World Organisation for Animal Health.

Arslan, S. (2003). Çukurova Koşullarında Doğal Olarak Çiftleştirilen Farklı Genotipli Ana Arılar (*Apis mellifera* L.) İle Oluşturulan Kolonilerin Tokat İli ve Çevresindeki Performanslarının Belirlenmesi. (Doktora Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi).

Ates, Y., and Yaşar, S. (2020). Chemical Investigations on Honey Produced in Bingöl and Surroundings. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 20(1), 72-80.

Barker, R. J., and Lehner, Y. (1974). Acceptance and sustenance value of naturally occurring sugars fed to newly emerged adult workers of honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Experimental Zoology*, 187(2), 277–285.

Bartlett, L. J. (2022). Frontiers in effective control of problem parasites in beekeeping. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 17, 263–272.

Bay, V., Topal, E., Çakıcı, N., Yıldızdal, İ., and Tosunoğlu, A. (2021). Palynological analyses, chemical and mineral composition of some honeybee pollen pellets (Bazı bal arısı polenlerinin palinolojik analizleri, kimyasal ve mineral madde içerikleri). *U. Arı D./U. Bee J.*, 21(2), 187-197.

Bayram, N. E., Gerçek, Y. C., Çelik, S., Mayda, N., Kostić, A. Ž., Dramićanin, A. M., ... and El-Sohaimy, S. A. (2021). Phenolic and free amino acid profiles of bee bread and bee

pollen with the same botanical origin – similarities and differences. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 103004.

Bayram, N. E., Kara, H. H., Can, A. M., Bozkurt, F., Akman, P. K., Vardar, S. U., and Dertli, E. (2021). Characterization Of Physicochemical and Antioxidant Properties of Bayburt Honey From The North-East Part of Turkey. *Journal Of Apicultural Research*, 60(1), 46-56.

Behçet, L., ve Yapar, Y. (2019). Matan Dağı (Bingöl) florasında arıcılık açısından önemli bitkiler. *Biological Diversity and Conservation*, 12(1), 149–159.

Belay, A., Solomon, W., Bultossa, G., Adgaba, N., and Melaku, S. (2015). Botanical origin, colour, granulation and sensory properties of the Hareenna forest honey, Bale, Ethiopia. *Food Chemistry*, 167, 213–219.

Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., and Facino, R. M. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 533(2), 185–191.

Brodschneider, R., and Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3), 278–294.

Brown, A. F., Rodriguez, V., Brzoska, C., Pfister, J., Neumann, P., and Retschnig, G. (2022). Dream team for honey bee health: Pollen and unmanipulated gut microbiota promote worker longevity and body weight. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 864741.

Brown, A. F., Wiedmer, S., Retschnig, G., Huwiler, J., and Straub, L. (2024). Feeding with plant powders increases longevity and body weight of Western honeybee workers (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 54(1), 55-66.

Brown, M. J. F., Natale, A., Aurori, C. M., Boi, M., Borba, R. S., Costa, C., and Williams, G. R. (2024). Dry weight, longevity and gut microbiome of honey bee workers are impacted by plant powder supplementation. *Apidologie*.

Campos, M. G., Bogdanov, S., Almeida-Muradian, L. B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., and Ferreira, F. (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apicultural Research*, 47(2), 154–161.

Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Turumtay, E. A., Silici, S. and Kolayli, S. (2015). An Investigation of Turkish Honeys: Their Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacities And Phenolic Profiles. *Food Chemistry*, 180, 133-141.

Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Turumtay, E. A., Silici, S. and Kolayli, S. (2015). An Investigation of Turkish Honeys: Their Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacities And Phenolic Profiles. *Food Chemistry*, 180, 133-141.

Canlı, D. (2014) Ardahan Bölgesinde Bal Arıları Tarafından Toplanan Polenlerin Morfolojik ve Organoleptik Analizleri ile Nişasta İçeriklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, s. 80.

Cappa, F., Baracchi, D., and Cervo, R. (2022). Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions. *Science of The Total Environment*, 837, 155714.

Carpes, S. T., Mourão, G. B., Alencar, S. M., and Masson, M. L. (2009). Chemical composition and free radical scavenging activity of *Apis mellifera* bee pollen from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12(3), 220–229.

Cengiz, M. M., ve Erdoğan, Y. (2018). Doğu Anadolu Koşullarında Farklı Balarısı (*Apis mellifera* L.) Genotiplerinin Davranış Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türkiye Ziraat Dergisi-Gıda Bilimi ve Teknolojisi*, Vol. 6, p. 97-101.

Chittka, L., Thomson, J. D., and Waser, N. M. (1999). Flower constancy, insect psychology, and plant evolution. *Naturwissenschaften*, 86(8), 361–377.

Conti, M. E., Finoia, M. G., Stramenga, A., and Cecchini, M. (2014). Minerals and trace elements in honey from the central region of Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 9089–9099.

Cook, S. M., Awmack, C. S., Murray, D. A., and Williams, I. H. (2005). Are honey bees' foraging preferences affected by pollen amino acid composition? *Ecological Entomology*, 28(5), 622–627.

Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Routledge

Çaçan, E., Kutlu, M. A., Uçar, R., Özdemir, S., Kökten, K., Mokhtarzadeh, S., and Ekmekçi, M. (2023). Comparison of honey, pollen and propolis amounts and honey quality obtained from bee pasture and highland. *Uludağ Arıcılık Dergisi - Uludag Bee Journal*, 23(2), 190–201.

Çakmak, İ. (2004). Arıların yayılma ekolojisi ve bitkisel üretimdeki rolü. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 4(2), 81–87.

Çobanoğlu, D. N., Felek, İ. and Dündar, O. (2021). Palynological, Antioxidant And Physicochemical Properties of Pollen Loads From Eastern Anatolia. *Bee Studies*, 13(2), 31-38.

Da Silva, C. I., Camargo, R. C. R., Fernandes, A., and Marchini, L. C. (2018). Harvesting season and botanical origin interferes in production and nutritional composition of bee pollen. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 181–194.

Dainat, B., Evans, J. D., Chen, Y. P., Gauthier, L., and Neumann, P. (2012). Predictive markers of honey bee colony collapse. *PLOS ONE*, 7(2), e32151.

Danforth, B. N., Cardinal, S., Praz, C., Almeida, E. A. B., and Michez, D. (2013). The impact of molecular data on our understanding of bee phylogeny and evolution. *Annual Review of Entomology*, 58, 57–78.

Danmek, K., Wu, M., Kliathin, K., Ng, H.L., Hongsibsong, S., Ghosh, S., Jung, C., and Chuttong, B. (2024). The potential of mulberry leaf protein concentrate as a supplementary feed on the health and lifespan of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Ecology and Environment*, 48(1) 105-114.

Darwish, A. M. G., Abd El-Wahed, A. A., Shehata, M. G., El-Seedi, H. R., Masry, S. H. D., Khalifa, S. A. M., Mahfouz, H. M., and El-Sohaimy, S. A. (2022). Chemical Profiling and Nutritional Evaluation of Bee Pollen, Bee Bread, and Royal Jelly and Their Role in Functional Fermented Dairy Products. *Molecules*, 28(1), 227-235.

De Jesus, P. (2023). Sweetness out of chaos: The archaeology of early beekeeping in the Near East and Aegean. *Journal of Ancient Egyptian Interconnections*, 40, 44–93.

De Sousa, J. M. B., de Souza, E. L., Marques, G., and Meireles, B. (2022). Bee feeding preference influenced by mineral composition in nectar mimics. *Journal of Apicultural Research*, 61(1), 88–96.

DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., and Huang, Z. (2010). Honey bee nutrition and health: Importance of natural diets. *Journal of Insect Physiology*, 56(5), 531-537.

Demirpolat, A., Yıldırım, Ş. and Kılıç, Ö. (2021). Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve Yakın Çevresinin Florası. *The Herb J. of Botany*, 28(1-2), 157-192.

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J. L., and Alaux, C. (2013). Influence of pollen nutrition on honey bee health: Do pollen quality and diversity matter? *PLoS ONE*, 8(8), e72016.

Dodoloğlu, A. ve Genç, F. (2002). Kafkas ve Anadolu Balarısı (*Apis mellifera* L.) Irkları ile Karşılıklı Melezlerinin Bazı Fizyolojik Özellikleri. *Türk Vet. ve Hay. Derg.*, 26, 715-722.

Dodoloğlu, A. ve Genç, F. (2004, 1-3 Eylül). Kafkas ve Anadolu Balarısı (*Apis mellifera* L.) Irkları ile Karşılıklı Melezlerinin Bazı Davranış Özellikleri. 4. Ulusal Zootečni Bilim Kongresi Poster Bildirileri, Süleyman Demirel Üniv. Zir.Fak., Isparta.

Doğaroğlu, M. (1981). Türkiye'de yetiştirilen önemli arı ırk ve tiplerinin "Çukurova Bölgesi" koşullarında performanslarının karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(3-4), 46-60.

Doğaroğlu, M., ve Ortaç, T. (1992). Bal arısı (*Apis mellifera* L.) kolonilerinde polen üretiminin kuluçka üretimi ve oğul eğilimi üzerine etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(2), 201-204.

Doğaroğlu, M., Özder, M., ve Polat, C. (1986). Trakya Bölgesi koşulları için en uygun bal arısı (*Apis mellifera* L.) genotipini belirleme çalışmaları. TÜBİTAK Veteriner ve Hayvancılık A Grubu Proje No: VHAG-619.

Dursun, İ. (2020). Kuzeydoğu Anadolu kökenli bazı yenilebilir bitki ekstraktlarının biyolojik aktivite ve fenolik asit profil değişiminin ekstraksiyon tekniği tabanlı incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars, s. 369.

Düzdaban, P. (2022). Bingöl merkezden toplanan bazı arı polenlerinin botanik orijinlerinin ve farklı çözücülerde elde edilen ekstraktların antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi. (Yüksek lisans tezi). Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı, Bingöl, s. 81.

El-Wahab, T. E. A., Ghanian, A. M. M., and Zidan, E. W. (2016). Assessment of a new pollen supplement diet for honey bee colonies and their effects on some biological activities. *International Journal of Agricultural Technology*, 12(1), 55-62.

Elwakeil, N. M., Hassanein, Z. A. E., Taha, R., Al-Kahtani, S. N., Aljabr, A. M., and Taha, E. K. A. (2025). A comparative assessment of three pollen substitutes for honey bee (*Apis mellifera* L.) during winter and spring. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(3), 3121-3128.

Engel, M. S., Rasmussen, C., and Gonzalez, V. H. (2020). Bees. In: Starr, C. (eds) *Encyclopedia of Social Insects*. Springer, Cham.

Fairbrother, A., Purdy, J., Anderson, T., and Fell, R. (2014). Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(4), 719-731.

Falcão, S. I., Bocquet, M., Chlebo, R., Barreira, J. C. M., Giacomelli, A., Smodiš Škerl, M. I., and Quaglia, G. (2024). Composition and quality of honey bee feed: The methodology and monitoring of candy boards. *Animals*, 14(2836).

Farjan, M., Dmitryjuk, M., Lipiński, Z., Biernat-Łopieńska, E., and Żółtowska, K. (2012). Supplementation of the honey bee diet with vitamin C: The effect on the antioxidative system of *Apis mellifera carnica* brood at different stages. *Journal of Apicultural Research*, 51(3), 263–270.

Fıratlı, Ç., ve Karacaoğlu, M. (1995). Anadolu arısının seleksiyonla ıslahı olanakları. TÜBİTAK VHAG-939 Proje Raporu.

Free, J. B. (1993). *Insect pollination of crops* (2nd ed.). London: Academic Press.

Fresnaye, J., and Lensky, Y. (1961). Methods d'appréciation des surfaces de vain dans les colonies d'abeilles. *Annales de l'Abeille*, 4(4), 369–376.

Gemeda, T. K. (2014). Testing the effect of dearth period supplementary feeding of honeybee (*Apis mellifera*) on brood development and honey production. *International Journal of Advanced Research*, 2, 319–324.

Gerard, P. (1995). Honey and Beeswax in Ancient Egypt. *The Egyptian Journal of Archaeology*.

Ghosh, S. and Jung, C. (2024). Chemical composition and nutritional value of royal jelly samples obtained from honey bee (*Apis mellifera*) hives fed on oak and rapeseed pollen patties. *Insects*, 15(141).

Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., and Raine, N.E. (2012) Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature*. 2012 Nov 1;491(7422):105-8.

Gilliam, M. (1997). Identification and roles of non-pathogenic microflora associated with honey bees. *FEMS Microbiology Letters*, 155(1), 1–10.

Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., and Estevinho, L. (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 544–548.

Goulson, D. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957.

Gregorc, A., and Šiško, M. (2007). The effects of *Nosema ceranae* on the honeybee (*Apis mellifera*) immune system. *Journal of Apicultural Research*, 46(1), 50-54.

Güler, A., Kocaokar, F., and Akan, P. (2018). Feeding preference of honey bees to different syrup types and their consumption rates. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 42, 1-9.

Guzman-Novoa, E., (2011). Genetic basis of disease resistance in the honey bee (*Apis mellifera* L.). In M. Moo-Young (Ed.), *Comprehensive biotechnology* (2nd ed., pp. 763-767). Academic Press.

Gül, A. (2003). Hatay Yöresi Koşullarında Muğla (*Apis Mellifera Anatolica*), İtalyan (*Apis Mellifera Ligustica*) ve Karniyol (*Apis Mellifera Carnica*) Arı Genotiplerinde Bazı Fizyolojik ve Davranışsal Özelliklerin Karşılaştırması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Zootehni Anabilim Dalı, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, s. 81.

Gül, A. and Pehlivan, T. (2018). Antioxidant activities of some monofloral honey types produced across Turkey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(5), 1056-1065.

Güler, A. (1995). Türkiye’deki önemli bal arısı (*Apis mellifera* L.) ırk ve ekotiplerinin morfolojik özellikleri ve göçer arıcılık şartlarında performanslarının belirlenmesi üzerine araştırmalar. (Doktora tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Güler, A., Gürel, A. C., ve Durmuş, Ş. (1999). Bal arısı (*Apis mellifera* L.)’nda fizyolojik ve davranış karakterlerini belirleme yöntemleri. Türkiye’de Arıcılık Sorunları ve 1. Ulusal Arıcılık Sempozyumu Bildirileri, 180-188.

Günbey, C., ve Cengiz, F. (2021). Karadeniz Bölgesindeki Yerel Bal Arısı (*Apis mellifera* L.) İrk ve Ekotiplerinin Orta Karadeniz Bölgesinde Fizyolojik Adaptasyon ve Performanslarının Karşılaştırılması. *Ziraat Mühendisliği*, (371), 113-123.

Hammad, M. (2018). Bees And Beekeeping In Ancient Egypt. *Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality*, 15(1), 1-16.

Hassan, A. A. M. and Elenany, Y. E. (2024) Influence of Probiotics Feed Supplementation on Hypopharyngeal Glands Morphometric Measurements of Honeybee Workers *Apis mellifera* L.. *Probiotics & Antimicro. Prot.* 16, 1214-1220.

Haţjina, F., Mavrofridis, G., and Jones, R. (2018). Beekeeping in the Mediterranean from antiquity to the present. Hellenic Agricultural Organization “Demeter”; Chamber of Cyclades; Eva Crane Trust. Academia

Herbert, E. W., and Shimanuki, H. (1978). Chemical composition and nutritive value of bee-collected and bee-stored pollen. *Apidologie*, 9(1), 33–40.

Hernández, L. L., Zamorano, E. J., and Vargas, J. S. (2019). Flavonoids in nectar affect the feeding behavior of honey bees. *Entomologia Generalis*, 39(3), 243–253.

Hoover, S. E., Ovinge, L. P., and Kearns, J. D. (2022). Consumption of supplemental spring protein feeds by western honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies: Effects on colony growth and pollination potential. *Journal of Economic Entomology*, 115(2), 417–429.

Hsu, P. S., Wu, T. H., Huang, M. Y., Wang, D. Y., and Wu, M. C. (2021). Nutritive Value of 11 Bee Pollen Samples from Major Floral Sources in Taiwan. *Foods*, 10(9), 2229.

Hu, Y., Liu, J., Pan, Q., Shi, X., and Wu, X. (2024). Effects of artificial sugar supplementation on the composition and nutritional potency of honey from *Apis cerana*. *Insects*, 15(344).

Huang, Z. (2010). Honey bee nutrition. Jointly published in the American Bee Journal and Bee Culture. Michigan State University.

Irandoost, H. and Ebadi, R. (2013). Nutritional effects of high protein feeds on growth, development, performance and overwintering of honey bee (*Apis mellifera l.*). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(6), 601–613.

Islam, A., Khalil, I., Islam, N., Moniruzzaman, M., Mottalib, A., Sulaiman, S. A., and Gan, S. H. (2012). Physicochemical and antioxidant properties of Bangladeshi honeys stored for more than one year. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12(1), 177–186.

Israr, M., Nisar, S., and Saeed, M. (2021). Effect of different artificial diets on the performance of honey bee colonies during dearth period. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(3), 158–163.

Jack, C., Sagili, R., and Uppala, S. S. (2015). Investigating effects of pollen nutrition on *Nosema ceranae* infection and persistence in honey bee colonies. *PLoS ONE*, 10(7), e0132014.

Jilo, K. R., Yadeta, G. L., and Gemmeda, T. K. (2024). Pollen trapping as honeybees pollination management and identification of dominant pollinators of *Guizotia abyssinica* (L.f). *PLoS ONE*, 19(10), e0292565.

Jones, J.C., Helliwell, P., and Beekman, M. (2005) The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, *Apis mellifera*. *J Comp Physiol A* 191, 1121–1129.

Juan-Borrás, M., Domenech, E., Hellebrandova, M., and Escriche, I. (2014). Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. *Food Research International*, 60, 86–94.

Justin, O., Schmidt, C., Thoenes, M. D., and Levin, M. D. (1987). Survival of honey bees, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), fed various pollen sources. *Annals of the Entomological Society of America*, 80(2), 81-92.

Kabakcı, Z. ve Akdeniz, D. (2020). Mikroalg katkılı yemlerin bal arılarının bazı fizyolojik özelliklerine etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 1350-1361.

Kaftanoglu, O., Linksvayer, T. A., and Page, R. E. (2012). Rearing honey bees (*Apis mellifera*) *in vitro*: Effects of sugar concentrations on survival and development. *Journal of Apicultural Research*, 50(4), 272–277.

Kanbur, E. D., Yuksek, T., Atamov, V. and Ozcelik, A. E. (2021). A Comparison of The Physicochemical Properties of Chestnut And Highland Honey: The Case of Senoz Valley In The Rize Province of Turkey. *Food Chemistry*, 345, 128864.

Kandemir, İ., Kence, M., and Kence, A. (2005). Morphometric and electrophoretic variation in different honeybee (*Apis mellifera* L.) populations. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29(3), 885–890.

Khan, K. A., Ghramh, H. A., Ahmad, Z., El-Niweiri, M. A. A., and Mohammed, M. E. A. (2021). Honey bee (*Apis mellifera*) preference towards micronutrients and their impact on bee colonies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3362–3366.

Kim, H., Frunze, O., Lee, J. H., and Kwon, H. W. (2024). Enhancing honey bee health: Evaluating pollen substitute diets in field and cage experiments. *Insects*, 15(361).

Kim, H., Frunze, O., Maigoro, A. Y., Lee, M.-L., Lee, J. H., and Kwon, H. W. (2024). Comparative study of the effect of pollen substitute diets on honey bees during early spring. *Insects*, 15(101).

Kim, H., Maigoro, A.Y., Lee, J. H., Frunze, O., and Kwon, H. W. (2024). The Improving Effects of Probiotic-Added Pollen Substitute Diets on the Gut Microbiota and Individual Health of Honey Bee (*Apis mellifera* L.). *Microorganisms*, 12, 1567.

Klein, A. M. (2007). "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.

Komosinska-Vassev, K., Olczyk, P., Kazmierczak, J., Mencner, L., and Olczyk, K. (2015). Bee pollen: Chemical composition and therapeutic application. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, Article 297425.

Kong Y, Si M, Wang P, Guo H, Liu X, and Zhao M. (2023) Enantioselectivity effects of energy metabolism in honeybees (*Apis mellifera*) by triticonazole. Sci Total Environ. 2023 Jun 15;877:162884.

Kösoğlu, M., Topal, E., Tunca, R. İ., Yücel, B., ve Yıldızdal, İ. (2019). Bal Arılarında Kışlama Öncesi Farklı Beslemenin Koloni Gelişimine Etkileri. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 29(2), 85-92.

Kratz, M., Manning, R., Dods, K., Baer, B., and Blache, D. (2024). Nurse bees regulate the larval nutrition of developing workers (*Apis mellifera*) when feeding on various pollen types. Journal of Economic Entomology, 117(3), 683–695.

Lazarov, S., Zhelyazkova, I., Veleva, P., and Hashinova, M. (2024). Hypopharyngeal glands development of worker bees (*Apis mellifera* L.) during supplemental feeding with various types of sugar syrups. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 30(2), 346–351.

Lazarov, S.B., Veleva, P.M., Atanasov, A.Z., Hristakov, I.S., and Puškadija, Z. (2025). Impact of Different Sugar Syrups on the Development of the Fat Body in Worker Bees (*Apis mellifera macedonica*). Agriculture, 15, 83-90.

Schmidt, L. S., Schmidt, J. O., Rao, H., Wang, W., and Xu, L. (1995). Feeding preference and survival of young worker honey bees (Hymenoptera: Apidae) fed rape, sesame, and sunflower pollen. Journal of Economic Entomology, 88(6), 1591–1595.

Li, X.-M., Wang, Y., Lei, L., Zhang, G., and Xu, B.-H. (2025). Effects of Three Different Bee Pollen on Digestion, Immunity, Antioxidant Capacity, and Gut Microbes in *Apis mellifera*. Insects, 16(5), 505-512.

Mata, M. (2018). Two approaches to protecting bees: Bee nutrition in a changing climate and community outreach as a tool for bee conservation. (Master's thesis). North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.

Matović, K., Ćirić, J., Kaljević, V., Nedić N., Jevtić G., Vasković, N. and Baltić M. (2018). Physicochemical Parameters and Microbiological Status of Honey Produced in An Urban Environment in Serbia. Environ. Sci. Pollut. Res, 25, 14148–14157.

Matović, K., Ćirić, J., Kaljević, V., Nedić N., Jevtić G., Vasković, N. and Baltić M. (2018). Physicochemical Parameters and Microbiological Status of Honey Produced in An Urban Environment in Serbia. Environ. Sci. Pollut. Res, 25, 14148–14157.

Mattila, H. R., and Otis, G. W. (2006). The effects of pollen availability during larval development on the behavior and physiology of spring-reared honey bee workers. *Apidologie*, 37, 533–546.

Michener, C. D. (2007) *The Bees of the World*. 2nd Edition, John Hopkins University Press, Baltimore.

Migdał, P., Wilk, M., Berbeć, E., Białecka, N. Brewers' Spent Grain as an Alternative Plant Protein Component of Honey Bee Feed. *Agriculture* 2024, 14, 929-938.

Mirjanic, G., Tlak-Gajger, I., Mladenovic, M., and Kozaric, Z. (2013). Impact of different feed on intestine health of honey bees. 43rd International Apicultural Congress, Apimondia, Kyiv, Ukraine.

Moritz, R. F. A., Härtel, S., and Neumann, P. (2005). Global invasions of the western honeybee (*Apis mellifera*) and the consequences for biodiversity1. *Écoscience*, 12(3), 289–301.

Motta, E. V. S., and Moran, N. A. (2024). The honeybee microbiota and its impact on health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 122–137.

Nigam, Y., Rana, A., and James, B. E. (2024). Effects of different pollen substitute diets on the survival rate and diet preference of foraging honey bees (*Apis mellifera* L.). *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(15), 164–171.

Nombré, I., Schweitzer, P., Boussim, J. I., and Rasolodimby, J. M. (2010). Impacts of storage conditions on physicochemical characteristics of honey samples from Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 4(7), 458–463.

Ollerton, J. (2017). Pollinator diversity: Distribution, ecological function, and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 353–376.

Oskay, D. (2021). Effects of diet composition on consumption, live body weight and life span of worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(6), 4421–4430.

Oskay, D., and Oskay, G. S. (2017). Bal arısı ek beslemesinde sorunlar ve çözüm önerileri. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 9(1), 1–8.

Oskay, G. S., Oskay, D., and Arda, N. (2023). Investigation of the Effect of Chestnut Honey and Curcumin Combination on Lifespan in the Experimental Heat Stress Model of Honey Bee. *Biology Bulletin*, 50(6), 1393-1400.

- Oztokmak, A., Ozmen, Ozbakir., G. and Çağlar, O. (2023). Conservation of Local Honeybees (*Apis mellifera* L.) in Southeastern Turkey: A Preliminary Study for Morphological Characterization and Determination of Colony Performance. *Animals*, 13(13), 2194-2204.
- Paoli, P. P., Wakeling, L. A., and Wright, G. A. (2014). The dietary proportion of essential amino acids and Sir2 influence lifespan in the honeybee. *AGE*, 36, 1239–1247.
- Pasarin, D., and Rovinariu, C. (2022). Chemical analysis and protein enzymatic hydrolysis of poly-floral bee pollen. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35(1), 1–10.
- Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feás, X., and Estevinho, L. M. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, 63, 233–239.
- Patrignani, M., Primiterra, M., Manzoni, M., and Lanciotti, R. (2015). Mineral composition and bioavailability in different honeys. *Food Chemistry*, 181, 101–105.
- Pavlović, R., Dojnov, B., Šokarda Slavić, M., Ristović, M., Vujčić, M., Stojanović, S., and Vujčić, Z. (2025). Differential processing of sucrose and invert syrup in honey bees. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 98(3), e70052.
- Pettis, J. S. (2013). Crop pollination exposes honey bees to pesticides, which alters their susceptibility to the pathogen *Nosema*. *PLOS ONE*, 8(7), e70182.
- Polat, R., Canlı, D., Selvi, S., Esim, N., Çakılcıoğlu, U., Bayram, N. E., Caf, A., Ahıskalı, M., Ürüshan, Z., Düzdaban, P., ve Nadiroğlu, M. (2021) Bingöl Arı Florası ve Polen Atlası. Polat, R., Canlı, D., Selvi, S., Çakılcıoğlu, U., Esim, N., Akademisyen Kitabevi, Bingöl, s. 242.
- Polat, R., Esim, N., Ürüshan, Z., Caf, A., Ahıskalı, M. ve Canlı, D. (2020). Solhan (Bingöl) Florasının Arıcılık Açısından Değerlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 1-10.
- Pşidal, A., Musila, J., and Svoboda, J. (2023). Condition and honey productivity of honeybee colonies depending on type of supplemental feed for overwintering. *Animals*, 13, 323-332.
- Przybyłowski, P. and Wilczyńska, A. (2001). Honey As An Environmental Marker. *Food Chem*, 74, 289–291.
- Quinlan, G., Milbrath, M., Otto, C., Smart, A., Iwanowicz, D., Cornman, R. S., and Isaacs, R. (2021). Honey bee foraged pollen reveals temporal changes in pollen protein content

and changes in forager choice for abundant versus high protein flowers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107645.

Radev, Z. (2022). Comparing protein content of pollen and his impact on the length of life of honeybees. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(1), 3835–3840.

Radev, Zh., Liolios, V., Tananaki, C., and Thrasyvoulou, A. (2014). The impact of the nutritive value of pollen on the development, reproduction and productivity of honey bee (*Apis mellifera* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 685–689.

Retschnig, G., Rich, J., Crailsheim, K., Schmitt, T., and Yañez, O. (2021). You are what you eat: Relative importance of diet, gut microbiota and nestmates for honey bee, *Apis mellifera*, worker health. *Apidologie*, 52(4), 632–646.

Ricigliano, V. A. and Anderson, K. E. (2020). Probing the Honey Bee Diet-Microbiota-Host Axis Using Pollen Restriction and Organic Acid Feeding. *Insects*, 11(5), 291.

Ricigliano, V. A., Dong, C., Richardson, L. T., Donnarumma, F., Williams, S. T., Solouki, T., and Murray, K. K. (2021). Honey bee proteome responses to plant and cyanobacteria (blue-green algae) diets. *ACS Food Science & Technology*, 1(1), 17–26.

Ricigliano, V. A., Williams, S. T., and Oliver, R. (2022). Effects of different artificial diets on commercial honey bee colony performance, health biomarkers, and gut microbiota. *BMC Veterinary Research*, 18, 52-63.

Roulston, T. H., and Cane, J. H. (2000). Pollen nutritional content and digestibility for animals. In A. Dafni, M. Hesse, & E. Pacini (Eds.), *Pollen and Pollination* (pp. 187-209). Springer.

Ruedenauer, F. A., Spaethe, J., and Leonhardt, S. D. (2015). Hungry for quality—individual bumblebees forage flexibly to collect high-quality pollen. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(7), 1209–1217.

Ruttner, F. (1988). *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer-Verlag.

Sammataro, D. and Weiss, M. (2013). Comparison of productivity of colonies of honey bees, *Apis mellifera*, supplemented with sucrose or high fructose corn syrup. *Journal of Insect Science*, 13(19), Article 19, 1–13.

Schmidt, L. S., Schmidt, J. O., Rao, H., Wang, W., and Xu, L. (1995). Feeding preference and survival of young worker honey bees (Hymenoptera: Apidae) fed rape, sesame, and sunflower pollen. *Journal of Economic Entomology*, 88(6), 1591–1595.

Seeley, T. D. (1995). *The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honeybee Colonies*. Harvard University Press.

Sharma, A., Thakur, A., and Nanda, V. (2025). Impact of bee pollen cell-wall disrupting techniques on the structural integrity, functional attributes, and nutritional quality of bee pollen protein isolates for food application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 305(Part 2), 141179.

Shumkova, R., Zhelyazkova, I., Lazarov, S., and Balkanska, R. (2017). Effect on the chemical composition of the body of worker bees (*Apis mellifera l.*) fed with stimulating products. *Macedonian Journal of Animal Science*, 7(1–2), 129–135.

Simone-Finstrom, M., Strand, M. K., Tarpy, D. R., and Rueppell, O. (2022). Impact of honey bee migratory management on pathogen loads and immune gene expression is affected by complex interactions with environment, worker life history, and season. *Journal of Insect Science*, 22(1), 17-28.

Solayman, M., Islam, M. A., Khalil, M. I., Alam, N., Kamal, M. A., and Gan, S. H. (2016). Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 219–233.

Sultana, N., Reza, M. E., Alam, M. N., Siddiquee, M. N. A., Islam, M. S., Rahman, M. A., Sayed, M. A., and Rahman, M. M. (2024). Evaluating the efficiency of supplementary Majör as a management strategy for enhancing honeybee (*Apis mellifera l.*) colony growth and productivity. *Frontiers in Bee Science*, 2, 1386799.

Şahin, İ. (2024). Farklı Bal Arısı (*Apis Mellifera L.*) İrk/Ekotiplerinin Bingöl Koşullarında Fizyolojik Ve Davranışsal Özellikleri İle Ballarının Kalitelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, s. 140

Şahinler, N. ve Kaya, Ş. (2001). Bal arısı kolonilerini (*Apis mellifera l.*) ek yemlerle beslemenin koloni performansı üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1–2), 83–92.

Şen, L., ve Türkaslan, N. (2021). Some Physicochemical Properties And Sugar Composition of Multifloral Honeys From Different Regions of Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (Jafag)*, 38(1), 11-19.

Tafi, E., Sagona, S., Meucci, V., Bortolotti, L., Galloni, M., Bogo, G., and Felicioli, A. (2024). Effect of amino acid enriched diets on hemolymph amino acid composition in honey bees. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 115, e22085.

Taha, E. A., Al-Kahtani, S., and Taha, R. (2019). Protein content and amino acids composition of bee-pollens from major floral sources in Al-Ahsa, eastern Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(2), 232–237.

Taha, E.-K. A., Shawer, M. B., Elashmawy, A., Mabrouk, M. S., Hassan, M. M., and Hegazy, F. H. (2025). A supplemental protein diet significantly improves morphometric and reproductive traits of honey bee queens during late winter. *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(2), 2527–2540.

Tautz, J., Heilmann, H. R., and Sandeman, D. C. (2008). *The buzz about bees: Biology of a superorganism*. Springer.

Terrab, A., Recamales, A. F., Hernanz, D., and Heredia, F. J. (2004). Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. *Food Chemistry*, 88(4), 537–542.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, B. M., Sykes, M. T., and Prentice, I. C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe, *Proceedings of the National Academy*.

Till-Bottraud, I. and Dafni, A. (1993). Pollination ecology: A practical approach (Book review). *Journal of Evolutionary Biology*, 6(5), 776-785.

Topal, E., Mărgăoan, R., Bay, V., Takma, Ç., Yücel, B., Oskay, D., Düz, G., Acar, S., and Kösoğlu, M. (2022). The Effect of Supplementary Feeding with Different Pollens in Autumn on Colony Development under Natural Environment and *In Vitro* Lifespan of Honey Bees. *Insects*, 13(7), 588-601

Topal, E., Ceylan, Ö., Tunca, R. İ., Bay, V., Aldemir, S., İnci, H., Topçuoğlu, U., and Kösoğlu, M. (2022). The effect of different feeding strategies on honey bee gut microbiota and the presence of Nosema. *South African Journal of Animal Science*, 52(5), 36-45.

Türe, A., Nisbet, C., and Koçak, E. (2023). Determination of protein levels and amino acid composition of bee pollen collected from different geographical regions of Turkey. *Journal of Istanbul Veterinary Sciences*, 7(1), 15-20.

Ulutaş, K., and Özkırım, A. (2018). Importance of Nutrition for Honey Bee Health. *Mellifera*, 18(1), 30-35.

VanEngelsdorp, D., Evans, J. D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B. K., and Pettis, J. S. (2009). Colony collapse disorder: A descriptive study. *Plos One*, 4(8), e6481.

Waller, G. D. (1972). Effect of potassium on the attractiveness of sugar solutions to honey bees. *Journal of Economic Entomology*, 65(1), 152–155.

Wheeler, M. M., and Robinson, G. E. (2014). Dietary sugar affects lifespan and oxidative stress in honey bee workers. *Journal of Experimental Biology*, 217(Pt 4), 747–754.

Winston, M. L. (1991). *The Biology of the Honeybee*. Harvard University Press.

Wright, G. A., Nicolson, S. W., and Shafir, S. (2013). Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 58, 293–310.

Vidkjær, N. H., Laursen, B. B., and Kryger, P. (2024). Phytochemical profiles of honey bees (*Apis mellifera*) and their larvae differ from the composition of their pollen diet. *Royal Society open science*, 11(9), 231654.

Xue, F. and Li, C. (2023). Effects of ultrasound assisted cell wall disruption on physicochemical properties of camellia bee pollen protein isolates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 92, 106249.

Yang, K., Wu, D., Ye, X., Liu, D., Chen, J., and Sun, P. (2013). Characterization of chemical composition of bee pollen in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(3), 708–718.

Yang, W., Tian, Y., Han, M., and Miao, X. (2017). Extending the lifespan of worker honey bees (*Apis mellifera*) with royal jelly: Optimal dose and active component. *PeerJ*, 5, e3118.

Yaşar, S., ve Söğütlü, İ. (2020). Bingöl ve İlçelerinde Üretilen Bazı Bal Örneklerinin Asitlik, Diyastaz Sayısı, Hmf, Suda Çözülmeyen Kuru Madde ve Kül Yüzdesi Değerlerinin Araştırılması. *Van Veterinary Journal*, 31(1), 42-45.

Yazlovytska, L. S., Karavan, V. V., Domaciuk, M., Panchuk, I. I., Borsuk, G., and Volkov, R. A. (2023). Increased survival of honey bees consuming pollen and beebread is associated with elevated biomarkers of oxidative stress. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1098350.

EKLER

Ek-1 Tez Kapsamında Yayıma Kabul Edilen Makale

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan bir bölümü;

Şimşek, A., Süzerer, V., Oskay, D. (2025). Determination of Protein Content and Amino Acid Composition of Extracts Obtained by Ultrasonic-Assisted Extraction Using Different Solvents from Selected Bee Pollens Collected in Bingöl Center. Journal of Animal Production, 66(2):XX-XX. doi: 10.29185/hayuretim.1687962.