T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA İLİNİN FARKLI LOKASYONLARINDA ÜRETİLEN BAL ARISI, BAL VE POLENDE AĞIR METAL DÜZEYİ VE BAZI FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Hüseyin BAYIR

DOKTORA

Zootekni Anabilim Dalı

Kasım-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KONYA İLİNİN FARKLI LOKASYONLARINDA ÜRETİLEN BAL ARISI, BAL VE POLENDE AĞIR METAL DÜZEYİ VE BAZI FİZİKO-KİMYASAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Hüseyin BAYIR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Zootekni Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali AYGÜN

2019, 100 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Ali AYGÜN
Prof. Dr. Fehmi GÜREL
Prof. Dr. Mehmet AKBULUT
Prof. Dr. İsmail KESKİN
Doç. Dr. Doğan NARİNÇ

Bu çalışmada, Konya'da dört'ü şehir merkezinin çevresine dört'ü de kırsal alana olmak üzere toplam sekiz farklı lokasyona beşer adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Bu kolonilerden alınan bal arısı, bal ve polen örneklerinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) miktarları tespit edilerek, şehir çevresi ile kırsal alan karşılaştırılmıştır. Ayrıca bal örneklerinde renk, kül, elektriksel iletkenlik, pH, serbest asitlik, briks, refraktif indeks, nem, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi, polen örneklerinde ise renk, kül, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi gibi bazı fiziko-kimyasal özellikler belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda bal arısı, bal ve polen örneklerinde ağır metaller bakımından en yüksek değerler şehir çevresi lokasyonlarında, en düşük değerler ise kırsal alan lokasyonlarında bulunmuştur. Farklı lokasyonlardan elde edilen, bal örneklerinin Cd ve Pb değerleri arasında ve polen örneklerinin Cd değerleri arasında istatistik fark önemsiz bulunmuştur. Lokasyonlar arasında bal arısı örneklerinin Cu değerleri arasında ve bal örneklerinin briks değerleri arasında $P<0.05$ seviyesinde; bal arısı, bal ve polenin diğer tüm özelliklerinin değerleri arasında ise $P<0.01$ seviyesinde önemli istatistik farklılıklar tespit edilmiştir. Farklı lokasyonlardan elde edilen bal ve polen örneklerinin ağır metal değerlerinin Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne uygun olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ele alınan element değerleri en yüksek bal arılarında, daha sonra polen ve en düşük ise ballarda bulunmuştur. Bu, bal arılarının ürünlerine göre daha iyi bir biyolojik gösterge olduğunu göstermektedir. Çalışmada, ele alınan fiziko-kimyasal özellikler yönünden bal örneklerinin Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, bal, bal arısı, fiziko-kimyasal özellikler, polen

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF HEAVY METAL LEVEL AND SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES IN HONEY BEE, HONEY AND POLLEN PRODUCED IN DIFFERENT LOCATIONS OF KONYA PROVINCE

Hüseyin BAYIR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN ANIMAL SCIENCE

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali AYGÜN

2019, 100 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Ali AYGÜN
Prof. Dr. Fehmi GÜREL
Prof. Dr. Mehmet AKBULUT
Prof. Dr. İsmail KESKİN
Assoc. Prof. Dr. Doğan NARİNÇ

This study was conducted in eight different locations in Konya, four of which were in the vicinity of the city center and four of them were in rural areas. At the each of the eight locations, five honey bee colonies were placed. The amount of heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) in honey bee, honey and pollen samples taken from these colonies was determined and compared with the urban environment and rural area. In addition, some physico-chemical properties such as color, ash, electrical conductivity, pH, free acidity, brix, refractive index, moisture, total phenolic and antioxidant capacity in honey samples and color, ash, total phenolic and antioxidant capacity in pollen samples were determined. As a result of the study, the highest heavy metal values in honey bee, honey and pollen samples were found in urban surroundings and the lowest values were found in rural locations. There was no significant difference between Cd and Pb values of honey samples and Cd values of pollen samples obtained from different locations. Among the locations, significant statistical differences were determined between Cu values of honey bee samples and brix values of honey samples ($P < 0.05$) and significant statistical differences were found between the values in all other properties of honey bee, honey and pollen ($P<0.01$). It was determined that the heavy metal values of honey and pollen samples obtained from different locations were in compliance with Turkish Food Codex Contaminants Regulation. Element values of the studied samples were found in the highest honey bees, then pollen and the lowest honeys. This shows that honey bees are a better biological indicator than their products. In the study, it was determined that honey samples were in compliance with Turkish Food Codex Honey Notification in terms of physico-chemical properties.

Keywords: Heavy metal, honey, honey bee, physico-chemical properties, pollen

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ali AYGÜN'e, konu seçimi, araştırmanın planlanması ve analizlerin yapılması sırasında destek olan Prof. Dr. Mehmet AKBULUT hocama, çalışma için beni teşvik eden ve yönlendiren Prof. Dr. İsmail KESKİN ve Doç. Dr. İbrahim AYTEKİN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama destek olan ve fiziko-kimyasal analizlerin yapılmasında her türlü yardımı sağlayan Doç. Dr. Hacer ÇOKLAR hocama, element analizlerinin yapılmasında destek olan Araş. Gör. Dr. Fatma Gökmen YILMAZ ve Öğr. Gör. Nesim DURSUN hocalarıma ve çeşitli analizlerin yapılması sırasında yardımcı olan Ziraat Yüksek Mühendisi Ayşegül KORKMAZ'a, Gıda Yüksek Mühendisleri Serdar YEŞİL, Ilıasu ALHASSAN, Ali YILDIRIM, Esma ULUCAN ve Semih KILINÇ'a teşekkür ederim.

Kolonilerin bakımı, kontrolü ve örneklerin temin edilmesinde yardımcı olan Öğr. Gör. Murat ÇİFTÇİ'ye; arıcı Ali Osman TEKİN'e, Mahmut KOÇAK'a, Sefa TAYSAN'a ve Bekir BALCI'ya; Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve Ziraat Mühendisi İlker TOPAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin BAYIR

KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

2.1. Çevre Kirliliği ve Ağır Metal 4
2.2. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri 6
2.3. Arı ve Arı Ürünlerinde Ağır Metal Birikimi 12
2.4. Bal Arısı, Bal ve Polenin Ağır Metal İçeriği ile İlgili Çalışmalar 14
2.5. Balların Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri 25
2.6. Balların Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri ile İlgili Çalışmalar 30
2.7. Polenlerin Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri 36
2.8. Polenlerin Bazı Fiziko-kimyasal Özellikleri ile İlgili Çalışmalar 38

3. MATERYAL VE YÖNTEM **40**

3.1. Deneme Bölgeleri (Lokasyonlar) 40
3.2. Kovan ve Koloni Özellikleri 40
3.3. Örneklerin Alınması ve Muhafazası 43
3.4. Örneklerin Analizi 44
3.4.1. Ağır metallerin analizi 45
3.4.2. Renk tayini 45
3.4.3. Briks (suda çözünür kuru madde) 46
3.4.4. Refraktif indeks 46
3.4.5. Nem miktarı 47
3.4.6. pH 47
3.4.7. Serbest asitlik 47
3.4.8. Elektriksel iletkenlik 47
3.4.9. Kül 47
3.4.10. Toplam fenolik madde 48
3.4.11. Antioksidan kapasitesi (DPPH) 48
3.5. İstatistik Analizler 49

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **50**

4.1. Ağır Metal Analiz Sonuçları 50
4.1.1. Bal örneklerinde ağır metal sonuçları 50
4.1.2. Polen örneklerinde ağır metal sonuçları 57
4.1.3. Bal arısı örneklerinde ağır metal sonuçları 64

4.1.4. Bal, polen ve bal arısı örneklerinde ağır metal sonuçlarının karşılaştırılması 70
4.2. Balların Fiziko-kimyasal Özellikleri 71
4.2.1. Renk 71
4.2.2. Kül 74
4.2.3. Elektriksel iletkenlik 75
4.2.4. pH 76
4.2.5. Serbest asitlik 76
4.2.6. Briks 77
4.2.7. Refraktif indeks 78
4.2.8. Nem 78
4.2.9. Toplam fenolik madde 79
4.2.10. Antioksidan kapasite 80
4.3. Polenlerin Fiziko-kimyasal Özellikleri 81
4.3.1. Renk 81
4.3.2. Kül 84
4.3.3. Toplam fenolik madde 85
4.3.4. Antioksidan kapasite 85

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 87

5.1 Sonuçlar 87
5.2 Öneriler 89

KAYNAKLAR 90

ÖZGEÇMİŞ 101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
^{o}C	: Santigrat derece
a*	: Renk (kırmızılık – yeşillik)
Al	: Aluminyum
As	: Arsenik
b*	: Renk (sarılık – mavilik)
C*	: Chroma (renk parlaklığı veya doygunluğu, parlaklık - matlık)
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
h	: hue (renk açı değeri)
Hg	: Cıva
L*	: Lightness (renk aydınlığı, beyazlık - siyahlık)
Mn	: Mangan
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Se	: Selenyum
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

µg	: Mikrogram
µl	: Mikrolitre
µmol	: Mikromol
µS	: Mikrosiemens
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
dk	: Dakika
DPPH	: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
FAO	: Food and Agriculture Organization
g	: Gram
GAE	: Gallik asit equivalent
ICP-AES	: Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
kg	: Kilogram
kHz	: Kilohertz
km	: Kilometre
kw	: Kilowatt
L	: Litre
m	: Metre
meq	: Milliequivalent
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre

mmol	: Milimol
mS	: Milisiemens
N	: Normal, normalite
nm	: Nanometre
ORAC	: Oxygen radical absorbance capacity
ppm	: Parts per million
PSI	: Pounds per square inch
RF	: Radyo frekans
rpm	: Revolutions per minute
s	: Saniye
SAE	: Sitrik asit equivalent
TE	: Troloks equivalent
TEAC	: Trolox equivalent antioxidant capacity
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Bal arıları çok eski zamanlardan beri insanoğlunun ilgisini çekmiş ve insanlar bazen arayıp bularak, bazen de tesadüfen buldukları arı yuvalarındaki petekleri alıp ballarından yararlanmışlardır. Zamanla bal arılarının insan eli altında yetiştirilmeye başlanması ile arıcılık faaliyetleri de başlamış ve süreç içerisinde insanoğlu, arı biyolojisi ile ilgili bilgi sahibi olmuş, arıların evi olan yeni yeni kovan tipleri, arıcılık alet, ekipman ve tekniklerini geliştirip kullanarak genelde bal üretimi yapılırken diğer arı ürünlerini de üretmeye başlamıştır. Bal arıları günümüzde kutup bölgeleri dışında dünyanın hemen her tarafına yayılmıştır (Genç ve Dodoloğlu, 2011).

Arıcılık, arı ürünleri olan bal, polen, arı sütü, balmumu, propolis ve arı zehiri üretmek, koloni sayısını arttırmak (yeni bal arısı kolonileri oluşturmak), ana arı üretmek ve bitkilerde tozlaşmayı sağlamak için yapılan bir faaliyettir.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre, Türkiye'nin 2018 yılı koloni sayısı 8.108.424 adet, bal üretimi 107.920 ton ve balmumu üretim miktarı da 3.987 ton olarak bildirilmiştir (Anonim, 2019a). Türkiye koloni sayısı ve bal üretimi bakımından ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. 2017 yılı FAO (Food and Agriculture Organization) verilerine göre Türkiye, arı kolonisi sayısı bakımından dünyada Hindistan ve Çin'den sonra üçüncü sırada yer almakta, bal üretimi bakımından ise Çin'den sonra ikinci sırada gelmektedir (Anonymous, 2019a).

FAO verilerine göre 2017 yılı itibarı ile dünyada kişi başı bal tüketimi 0.240 kg iken, Türkiye'de kişi başı bal tüketimi dünya ortalamasının üzerinde olup 1.420 kg'dır. 2017 yılı FAO verilerine göre dünyada en fazla koloniye sahip 6 ülke Çizelge 1.1.'de sıralanmış ve bu ülkelerin bal üretimleri de çizelgede belirtilmiştir.

TÜİK'e göre Konya'nın 2018 yılı koloni sayısı 111.247 adet, bal üretimi 1.090 ton ve balmumu üretim miktarı da 42 tondur (Anonim, 2019a). Koloni sayısı bakımından bu miktar Türkiye'nin toplam koloni sayısının % 1.37'sine, bal üretimi bakımından % 1.01'ine ve balmumu üretimi bakımından da % 1.06'sına tekabül etmektedir. Çizelge 1. 2.' de Türkiye ve Konya'nın 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait bal arısı koloni sayıları, bal ve balmumu üretimleri verilmiştir.

Türkiye'de özellikle fazla miktarda arı kolonisine sahip olan arıcılar, kışlatma için kolonilerini genellikle sahil bölgelerine götürmektedir. Konya'nın, sahil bölgelerine yakın olması nedeniyle, çok sayıda arı kolonisine sahip olan Konyalı arıcılar da kolonilerini genellikle Akdeniz sahil kesimlerinde kışlatmayı tercih etmektedirler.

Çizelge 1. 1. 2017 yılında dünyada en fazla bal arısı kolonisine sahip 6 ülke, bu ülkelerin bal verimleri ve bal verimleri bakımından dünya toplamındaki payları (Anonymous, 2019a)

Sıralama	Ülkeler	Koloni Sayısı (adet)	Bal Üretimi (ton)	Bal Üretiminde Dünya Toplamındaki Payı (%)
1.	Hindistan	12.763.684	64.981	3.49
2.	Çin	9.031.457	543.000	29.18
3.	Türkiye	7.991.072	114.471	6.15
4.	İran	7.271.825	69.699	2.69
5.	Etiyopya	6.139.990	50.000	3.53
6.	Rusya	3.349.976	65.678	3.75
	Dünya Toplamı	**90.999.730**	**1.860.712**	**100**

Arıcılık faaliyetleri, bal arılarının yararlandıkları kaynakların bulunduğu veya farklı bir ifadeyle arıcılık florasının uygun olduğu yerlerde yapılabilmektedir. Bu yerler, bazen kırsalda yani yerleşim alanları ve endüstriyel alanlardan uzakta bulunurken bazen de bu alanlara yakın ve hatta iç içe bulunabilmektedir. Arı kolonileri için uygun olmayan konaklama koşulları ve ürünler üretilirken yapılan yanlışlıklar, onların doğal özelliklerini ve kalitesini bozmaktadır.

Arı ürünlerinden en çok üretilip tüketilen bal ve polen herhangi bir işleme tabi tutulmadan bir besin ve şifa kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla tüketilen bir üründe, istenmeyen özelliklerin bulunması onun besin değerini düşüreceği gibi insan sağlığına zararlı etkileri de bulunabilir.

Çizelge 1. 2. Türkiye ve Konya'nın 2016, 2017 ve 2018 yıllarına ait koloni sayıları, bal ve balmumu üretimleri ile Konya'nın koloni sayısı bal ve balmumu üretimi bakımından Türkiye toplamındaki payı (Anonim, 2019a)

Koloni Sayısı, Bal ve Balmumu Üretimi	2016	2017	2018
Türkiye'nin toplam koloni sayısı (adet)	7.900.364	7.991.072	8.108.424
Konya'nın toplam koloni sayısı (adet)	93.132	102.810	111.247
Koloni sayısı bakımından Konya'nın payı (%)	1.18	1.29	1.37
Türkiye'nin toplam bal üretimi (ton)	105.727	114.471	107.920
Konya'nın toplam bal üretimi (ton)	909.8	1.023.7	1.090.3
Bal üretimi bakımından Konya'nın payı (%)	0.86	0.89	1.01
Türkiye'nin toplam balmumu üretimi (ton)	4.440	4.488	3.987
Konya'nın toplam balmumu üretimi (ton)	47.2	45.9	42.2
Balmumu üretimi bakımından Konya'nın payı (%)	1.06	1.02	1.06

Bal arıları kovanlarına nektar, polen, propolis ve su getirmek için konaklama yeri yani arılık çevresiyle sürekli bir ilişki içerisinde olup, yarıçapı 7-10 kilometrelik bir alanda uçabilmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2011). Arıların uçuş alanındaki hava, toprak, su ve bitkilerin özellikleri, hem bal arılarını hem de ürünlerini etkilemektedir. Bu nedenle bal arıları ve onların ürünleri, çevrenin toksik şartlarına doğrudan maruz

kalan iyi bir biyolojik göstergedir (indikatördür) ve 1970'li yıllardan beri artan bir şekilde çevrenin ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde bir gösterge olarak kullanılagelmiştir (Celli ve Maccagnani, 2003; Bogdanov, 2008).

Bu çalışmada, Konya'da 4'ü şehir merkezinin çevresinde 4'ü de kırsal alanda olmak üzere, toplam 8 farklı lokasyona 5'er adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Bu kolonilerden alınan bal arısı, bal ve polendeki ağır metal miktarları tespit edilerek yerleşim yeri ve endüstriyel alanlara yakın yerlerden elde edilen bal arısı, bal ve poleni kırsal alanlardan elde edilenlerle karşılaştırmak; ayrıca bu bölgelerden elde edilen bal ve polenlerin gıda güvenliği açısından sorun teşkil edip etmediğini tespit etmek ve bazı fizikokimyasal özellikler yönünden incelemek bu çalışmada amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çevre Kirliliği ve Ağır Metal

Nüfus artışı, şehirleşme, endüstrileşme ve tüketim alışkanlıklarının değişmesine paralel olarak, ortaya çıkan çevre sorunları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe büyümektedir. Çevresel sorunların olduğu bölgelerde diğer canlılarla birlikte insanlar da bu sorunlardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir.

Çevre, canlı ve cansız varlıkların bir arada bulundukları ve birbirlerini etkiledikleri ortamdır. Çevrenin fiziki unsurlarını hava, su ve toprak; biyolojik unsurlarını ise insanlar, hayvanlar, bitkiler ve mikroorganizmalar oluşturmaktadır (Anonim, 2019b).

İnsanların ve diğer canlıların bir arada, doğa ile uyum ve denge içerisinde varlıklarını ve gelişmelerini sürdürebilmeleri için gerekli şartların hepsine birden ekosistem, ekosistem içindeki doğal dengeye de ekolojik denge denilmekte ve bu dengenin bozulması ile çevre sorunları ortaya çıkmaktadır (Görmez, 2003).

Günümüzün en büyük sorunlarından birisi, ekolojik dengeyi bozarak canlı yaşamını olumsuz etkileyen çevre kirliliğidir. Yaşamımızı daha rahat bir hale getirmek, daha sağlıklı ve uzun bir ömür sürebilmek amacıyla geliştirilen teknolojinin yaşamımıza getirdiği rahatlığın yanında, gerek kırsal alanlarda gerekse şehirlerde doğal kaynaklara ve canlılara zarar verdiği inkar edilemez bir gerçek haline gelmiş ve bu durum her geçen gün artmaktadır (Arıkan, 2010). Çevrenin fiziksel özelliklerini meydana getiren hava, su ve toprağın kendine has fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri vardır. Hava, su ve toprağın yapısında değişiklikler meydana getiren ve onların doğal özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek, çevrenin biyolojik unsurları olan insan ve diğer canlıların hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen zararlı maddelerin, hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayına çevre kirliliği adı verilir (Anonim, 2019b).

Çevre kirliliği, endüstriyel ve yerleşim alanlarında kendini hava kirliliği olarak hissettirmekte ve bu alanlarda hem kirli hava hem de atık sular dolayısıyla ağır metaller yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına, toprağa ve bitkilere ulaşmaktadır. Sonuçta da besin zinciri dolayısıyla hayvanlar ve insanlar bundan etkilenmektedir (Yılmaz, 1996; Duruibe ve ark., 2007).

Çevre kirliliğine neden olan faktörler genel olarak doğal kaynaklı nedenler ve insan kaynaklı (anthropogenic) nedenler olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Doğal

kaynaklı nedenlerin en önemlileri yanar dağlar ve depremlerdir. Ayrıca, toprak kaymaları, erozyon, doğal yangınlar ile toprak ve kayalarda bulunan minerallerin zamanla yeraltı ve yer üstü sularına karışması da doğal kaynaklı nedenlerdir. Bunlar ilk başta bir çevre sorunu gibi görünmeyebilir ancak bu sorunların ortaya çıktığı bölgelerde yasayan insanlar ve diğer canlılar, bu sorunlardan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir (Özey, 2005).

İnsanoğlu yaşamını devam ettirmek ve daha rahat bir yaşam sürmek için artan bir şekilde üretim faaliyetlerinde bulunmaktadır. Bu faaliyetler sırasında çevreye olumsuz müdahalelerde bulunarak bir takım çevre sorunlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Bozyiğit ve Karaaslan, 1998). Endüstriyel faaliyetler, evlerde ve endüstriyel alanlarda kullanılan yakıtlar, deterjanlar ve diğer kimyasallar, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar, katı ve sıvı atıklar ve taşıtlar çevre kirliliğine neden olan insan kaynaklı nedenler olarak sayılabilir (Arıkan, 2010).

Çevre kirliliğinde ağır metaller büyük öneme sahiptirler. Ağır metal kavramı son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3' ten daha yüksek olan metaller ve yarı metaller (metalloidler) için kullanılan ve insan sağlığını tehdit eden genel bir terimdir (Özbolat ve Tuli, 2016). Çevresel problemler göz önüne alındığında ağır metaller, nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik olan metal anlamında kullanılmaktadır. Bu tanımlamayı, ağır metallerin belirli bir zaman aralığında canlı organizmalarda diğer metallere kıyasla birikiminin fazla olması ve bunun sonucu olarak da olumsuz etkilerinin giderek artması desteklemektedir. Her ne kadar metallerin yoğunluk değerleri üzerinden bir tanımlama yapılarak onların ekolojik sistem üzerindeki etkileri tanımlanmaya çalışılsa da, metallerin yoğunluk değerleri onların biyolojik etkilerini tanımlamaz (Kahvecioğlu ve ark., 2004).

Ağır metallere altmıştan fazla element örnek olarak verilebilse de en sık rastlanan ve en çok bilinen cıva, mangan, demir, kobalt, nikel, bakır, çinko, kadmiyum, arsenik, krom, kurşun, gümüş ve selenyum söylenebilir. Tıpta, yani insan sağlığı söz konusu olduğunda ise ağır metal tanımı, elementlerin atom ağırlıklarına bakılmaksızın tüm toksik özellik taşıyan metaller olarak tanımlanır (Özbolat ve Tuli, 2016).

Ağır metaller çevreye doğal olarak ve insan kaynaklı olarak salınırlar, çürümezler ve doğada yok edilemezler ve biyolojik döngüye girerek çevrede sürekli olarak mevcutturlar. Ekolojik sistemde ağır metallerin yayınımları dikkate alındığında,

doğal çevrimlerden daha çok insanın neden olduğu etkiler nedeniyle çevreye yayınımının söz konusu olduğu görülmektedir (Perugini ve ark., 2011).

Ağır metallerin çevreye yayılmasında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik üretimi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık yakma tesisleridir. Temel endüstrilerden atılan metal türleri her endüstride farklı türde ve miktarda olmakta ve ağır metallerin doğaya yayınımları çeşitli sektörlerden farklı işlem kademelerinde gerçekleşmektedir (Kahvecioğlu ve ark., 2004). Çeşitli sanayi kuruluşlarından atılan bazı ağır metaller Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1. Çeşitli sanayi kuruluşlarından atılan bazı ağır metaller (Seven ve ark., 2018).

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor- alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir- Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Çeşitli endüstriyel kaynaklardan havaya salınan ağır metaller toz-kül şeklinde bitkilerin yaprakları üzerinde birikmekte ve onların fotosentezini azaltıp büyümesini yavaşlatmaktadır (Taha ve ark., 2017). Ayrıca bu toz-kül partikülleri doğrudan çökelerek veya yağışlar ile toprak ve suyun kirlenmesine neden olmaktadır. Atık sular, tarımda kullanılan kimyasallar ve gübrelerde bulunan ağır metaller de bu bölgelerde yetişen bitkilere geçmekte ve nihayetinde gıdalarımıza bulaşmaktadır. Gıda işleme ekipmanları ile paketleme ve kutulama işlemleri de ağır metallerin gıdalara bulaşma kaynaklarını oluşturmaktadır (Türközü ve Şanlıer, 2014).

2.2. Ağır Metallerin İnsan Sağlığına Etkileri

Elementlerin insan yaşamında pozitif ve negatif etkileri bulunmaktadır ve biyolojik süreçlere katılma derecelerine göre yaşamsal (esansiyel) ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Örneğin bakır, çinko, demir, mangan ve selenyum gibi bazı elementler insan ve hayvanlarda biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı vücut gelişimi ve bazı fonksiyonların yerine getirilmesi için hayati önem taşımaktadırlar. Bunların organizmada belirli bir miktarda bulunması ve düzenli olarak besinlerle alınması gerekmektedir. Buna karşın kurşun, kadmiyum ve cıva gibi yaşamsal olmayan

ağır metaller ise düşük konsantrasyonlarda bile vücutta birikerek ve biyolojik yapıyı etkileyerek yasam süresince çeşitli rahatsızlıklara yol açmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Tuzen ve ark., 2007; Uluozlu ve ark., 2007).

Ağır metaller ağız (besinler ve su), solunum ve deri yolu ile vücudumuza alınmaktadır (Özbolat ve Tuli, 2016). Bu elementlerden bazılarının (bu çalışmada ele alınanların) doğaya salınımları ve sağlık açısından etkileri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Kurşun (Pb)

Kurşun, insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme ciddi zarar veren ilk metaldir ve yüksek yayınıma sahip olup, toksik özellik taşıdığından çevresel kirlilik oluşturan en önemli ağır metaldir. 1920'lerde benzine kurşun-tetraetil bileşiği ilave edilmeye başlanmış ve bu kullanım alanı kurşunun ekolojik sisteme yayınımında önemli rol oynamıştır. Kurşun, bataryalar, yakıtlar, boyalar, alaşımlar, kurşun bazlı camlar, konserve kutularının kaplanması, boru ve kapların parlatılması, seramik renklendirme, elektrik kabloları, plastikler için stabilizatör ve insektisit üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Erkmen, 2010).

Kurşunun çevreye yayınımı, boyalar, motorlu araçlarda kullanılan benzinin yanması, kurşun elde etme fırınları, pirinç ve kurşun oksit imalathaneleri, altın rafinasyon ve geri kazanım işlemleri olarak sıralanabilir. Kurşun yoğunluğu, cadde ve sokaklar, petrol istasyonları, kapalı otoparklar, tamir bakım atölyeleri, gişeler ve geçitler gibi yerlerde yüksektir ve endüstriyel atıkların suyla taşınması sonucu deniz canlılarına kurşun bulaşmaktadır. Sigara, bazı kozmetik ürünler, özellikle endüstriyel ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetiştirilen bitkilerin ürünleri, yapısında kurşun bulunan borulardan geçen su ve gıda ambalajları da kurşunun alınma kaynağı olabilmektedir (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Seven ve ark., 2018).

Kurşunun vücuda alınması ağız, solunum ve deri yolu ile gerçekleşebilir. Ağız yolu ile alınan kurşunun % 5'i absorbe edilmekle birlikte bu oran bebek ve çocuklarda daha yüksektir. Uzun süreli maruziyette kurşun vücutta depolanır ve toksik etki göstermeye başlar. Kurşun, kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmakta, iştahsızlık ve kabızlık, yüksek tansiyon, kronik sinir sistemi bozuklukları ve böbrek yetmezliği, hafıza kaybı, öğrenme sorunları ve zeka geriliği gibi nörolojik belirtiler, anemi, körlük, vitamin D metabolizmasında bozukluklar, akciğer

rahatsızlıkları ve kalp yetmezliği, kolik, kemik tümörleri ve osteoporoz gibi problemler görülebilmektedir (Türközü ve Şanlıer, 2014; Özbolat ve Tuli, 2016).

2.2.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum doğada saf olarak bulunmayıp bileşik halinde bulunur. Kadmiyumun en önemli kullanım alanı elektronik cihazlar ile uçak ve gemilerdeki pillerdir. Kadmiyum, deniz ve alkali ortam korozyonuna karşı mukavemeti nedeniyle demir, çelik, pirinç ve alüminyum kaplamasında yaygın olarak kullanılır. Kadmiyum ve bileşikleri ayrıca porselen, cam, tekstil, floresan lamba, elektrik malzemeleri, boya endüstrisi, plastik, sentetik polimerler, fungusit ve insektisit üretiminde kullanılmaktadır (Boğa, 2007; Erkmen, 2010).

Endüstri bölgelerinde havadaki kadmiyum oranı kırsal alanlara oranla daha yüksektir ve suda çözünme özelliği yüksek olduğundan doğada yayınımı hızlıdır. İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, kömür yakılması ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazları ile atık sular, su boruları, kaynak yapımında kullanılan alaşımlar, kadmiyum içeren piller, boyalar, deterjanlar ve gübreler, asitliği yüksek gıdaların Cd içeren ambalajları ve bazı deniz ürünleridir (Kahvecioğlu ve ark., 2004).

Kadmiyum, esansiyel olmayan bir metaldir; kadmiyum ve bileşikleri yüksek derecede zehirli maddelerdir. Solunum, yiyecekler ve su ile vücuda alınan Cd, vücuttan kolayca atılamamakta ve vücuttaki seviyesi yaşla beraber artış göstermektedir (Kahvecioğlu ve ark., 2004).

Kadmiyumdan en fazla etkilenen organ böbreklerdir. Akut zehirlenmelerde halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, mide bulantısı, kusma ve kaslarda gerilme, bel ve kas ağrıları görülmektedir. Ayrıca, kemik erimesi, kilo kaybı, görme bozuklukları, hipertansiyon, demir metabolizmasında bozuklukla birlikte kansızlık görülmektedir. Kadmiyumun fazla solunması durumunda akciğer rahatsızlıkları, karaciğer ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Sürekli maruziyet durumunda olan bireylerde kadmiyum, akciğer ve prostat kanserlerine neden olmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Türközü ve Şanlıer, 2014).

2.2.3. Krom (Cr)

Krom, doğada çok bulunan bir metal olup özellikle alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Kimya sanayi, metal endüstrisi, enerji santralleri, kağıt endüstrisi, gübreler, deri tabaklama, boyalar ile kauçuk ve diğer malzemeler için renk maddesi olarak kullanılır (Seven ve ark., 2018).

Kromun ekosistemde doğal bir döngüsü vardır; kayalardan ve topraktan suya ve havaya geçmektedir. Antropojenik olarak ise krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonundan, çelik üretiminden, kömür yakıtlı santrallerden ve kağıt ürünlerin yakılması neticesinde atmosfere salınmaktadır. Atık sular ise metal işleme, deri tabaklama, tekstil ve boyama gibi çeşitli endüstriyel prosesler sonucu krom ile kirlenmektedir (Kartal ve ark., 2004; Seven ve ark., 2018).

Kromun eksikliğinde şeker hastalığı görülmekte ve kurşunun toksisitesi artmaktadır. Krom, yaşamsal özellik göstermesine rağmen Cr^{+6}, Cr^{+3}'a göre daha toksik ve kanserojendir. Kromun solunum yoluyla vücuda alınması sonucu burun akmaları, burun kanamaları, üst solunum yolu ve astım rahatsızlıkları görülmekte ve akciğerler için tahriş edici olmaktadır. Kroma uzun süre maruz kalındığında ve fazla alındığında sindirim sistemi, karaciğer ve böbreklerde hasara yol açabilmektedir. Yüksek dozda Cr^{+6} bileşiklerinin alımına bağlı olarak sinir dokuları ve kalp damar sistemi zarar görmekte ve şoka bağlı ölüm görülebilmektedir (Kartal ve ark., 2004; Çağlarırmak ve Hepçimen, 2010).

2.2.4. Nikel (Ni)

Nikel, korozyona dayanıklı ve ısı direnci yüksek, sertliği ve dayanıklılığı iyi olması sebebiyle büyük bir kısmı paslanmaz çelik, bakır-nikel gibi alaşımlarda kullanılmaktadır. Saf nikel, kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada, alkali pillerde, madeni para, mıknatıslar, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçaları ve tıbbi protezlerde, propilen ve renkli camların boyanmasında ve gıda endüstrisi araç ve gereçlerinde kullanılmaktadır. Nikel doğal yayınımına ilave olarak, kömür ve petrol ürünlerinin yakılması, madencilik ve rafinasyon işlemleri ve kentsel atıkların yakılması ile atmosfere yayılmaktadır (Kartal ve ark., 2004).

Nikel, genel olarak bitkiler için toksik bir element olup insan ve hayvanlarda mevcut olmakla birlikte bilinen biyolojik bir fonksiyonu veya eksikliği ile oluşacak belirtileri hakkında bilgi bulunmamaktadır (Boğa, 2007).

Nikel ve nikelli bileşiklerin vücuda fazla alınması deride kaşıntı, tahriş, ekzema gibi alerjik rahatsızlıklara neden olmakta ve kalp damar sistemine zarar vermektedir. Nikel bileşiklerinin solunması ile astım görülmekte, boğaz ve akciğer kanserlerine neden olabilmektedir (Kartal ve ark., 2004; Erkmen, 2010).

2.2.5. Çinko (Zn)

Çinko yaygın olarak metal kaplama ve alaşımlarda kullanılır. Dünyada tüketilen metaller içerisinde Fe, Al ve Cu'dan sonra dördüncü sırada gelmektedir. Çinko, otomobil endüstrisi, kaynak işleri, cam ve televizyon ekranları, kuru pil, sigorta ve elektrik ekipmanlarının üretiminde, vernik, kauçuk, mürekkep, boya maddeleri (beyazlatıcı olarak), karbon kağıtları, muşamba ve oyuncak üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca tıbbi malzeme, diş dolgusu, dermal ürünler, deodorant, merhem, antiseptikler ve insülin yapımında kullanılabilmektedir. Tarımda ise önemli bir besin elementi ve insektisit olarak kullanılmaktadır (Seven ve ark., 2018).

Çinko ile ilgili endüstriyel üretimin yapıldığı çevredeki toprak, bitki ve sularda yüksek oranda çinko bulunur ve çinko, içme suları, besinler, solunum ve temas ile vücuda alınır (Erkmen, 2010). Çinko önemli yaşamsal elementlerden biridir, birçok enzimin kofaktörüdür ve bağışıklık sistemi için esansiyel bir elementtir. Çinko vücutta depolanmadığı için alımı ve atımında bir denge olmalıdır (Boğa, 2007).

Çinko yetersizliğinde düşük doğum ağırlığı ve gelişim bozuklukları, açık yaraların iyileşememesi, kellik, iştah azalması ve davranış bozuklukları görülmektedir (Kartal ve ark., 2004; Boğa, 2007). Çinkonun toksikolojik belirtileri ise; bulantı, kusma karın ağrısı, ishal, ateş, uykusuzluk, terleme, bağışıklık sisteminin zayıflaması, yüksek kolesterol ve yorgunluk şeklindedir (Erkmen, 2010).

2.2.6. Bakır (Cu)

Bakır, doğada yaygın bulunan bir elementtir, endüstri ve tarımda geniş ölçüde kullanılır. Elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması, aşınma ve korozyona direnci nedeniyle önem arz etmekte ve otomotiv, basınçlı sistemler, borular, vanalar ve

elektrik-elektronik alanlarında kullanılmaktadır. Bakır, küçük ve basit yapılı canlılar için zehir özelliği gösterdiği için tarımsal mücadelede de yaygın olarak kullanılır (Kartal ve ark., 2004). Bakır, fosil yakıtların yanması ve metalurjik faaliyetler sonucunda atmosfere yayılmaktadır. Solunan hava, içme suyu, yiyecekler ve bakır içeren bileşiklerin deriyle teması yoluyla organizmaya alınabilir (Özbolat ve Tuli, 2016; Seven ve ark., 2018).

Bakır, vücutta birçok enzim ve proteinin yapısında bulunur ve demirin fonksiyonlarını yerine getirmesi için gereklidir. Eksikliğine bağlı olarak gelişme geriliği, solunum sisteminde enfeksiyonlar, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı gibi pigmentasyon bozuklukları görülür (Kartal ve ark., 2004). Yüksek düzeyde Cu alımında nörolojik bozukluklar, böbrek yetmezliği, gastrointestinal (mide-barsak) kanama, karaciğer nekrozu, hemolitik anemi ve büyüme ve gelişmede gerilikler görülebilmektedir. Nispeten daha düşük dozlarında ise akut baş ve karın ağrısı, bulantı, kusma, diyare gibi tipik gıda zehirlenmesi vakaları görülebilmektedir (Türközü ve Şanlıer, 2014).

2.2.7. Demir (Fe)

Yer kabuğunda en fazla bulunan elementler arasında yer alan demir, metal endüstrisinde önemli bir madde olup, ulaşım araç ve gereçleri, inşaatlar, makine ve donanımları ve çelik sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Leblebici, 2006).

Demir, yaşamın sürdürülmesinde görev alan önemli bir elementtir. Vücuttaki demirin yaklaşık üçte ikisi hemoglobinde, dörtte biri kemik iliği, dalak ve karaciğerde depolanır ve az miktarı ise miyoglobin, demir içeren enzimler ve bazı proteinlerde bulunur (Seven ve ark., 2018).

Hemoglobin dokulara oksijen taşınmasında görev almaktadır. Demirin yetersiz alımı, oksijenin hücrelere ulaştırılmasını kısıtlar ve anemi görülür; sonuçta da halsizlik, yorgunluk ve bağışıklığın azalmasına sebep olur. Diğer taraftan demirin fazla alınması ile kalp kası hastalıkları, karaciğer yetmezliği ve zehirlenme görülebilir ve hatta ölüme neden olabilir (Seven ve ark., 2018).

2.2.8. Mangan (Mn)

Mangan başlıca metal endüstrisinde demir ve çelikte, su boruları, ısıtma ve havalandırma sistem ve ekipmanlarında, bina, köprü, baraj, beton, yol kaplamaları ve benzeri yapılarda, ilaç, cam ve gübre sanayinde kullanılmaktadır (Leblebici, 2006).

Mangan, organizma için gerekli elementlerden biri olup en fazla kemik, karaciğer, böbrek, pankreas, meme bezleri ve diğer salgı bezlerinde bulunur. Vücutta büyük bölümü proteinlere bağlı olup çok sayıda enzimin bir kofaktörüdür (Soetan ve ark., 2010).

Biyokimyasal işlev olarak mangan, büyüme ve üreme, oksidatif fosforilasyon, kolesterol metabolizması ve glikozaminoglikan biyosentezinde rol almaktadır. Eksikliğinde nadir belirti göstermekle birlikte spermatogenez bozuklukları, kemik anomalileri ve kanama bozuklukları görülür. Toksisite durumunda ise karakteristik semptomlar yorgunluk, halsizlik, uyuşukluk, titremeye benzer parkinson semptomları ve yürüme zorluğudur. Ayrıca saç dökülmesi, dişlerin zayıflaması, nörolojik değişiklikler, psikoz ve konuşma bozuklukları görülebilir (Draszawka, 2014).

2.3. Arı ve Arı Ürünlerinde Ağır Metal Birikimi

Bir bölgenin çevre kirliliğinin belirlenmesi amacıyla çeşitli kirleticilere karşı farklı duyarlılık gösteren canlılar (biyoindikatörler veya biyomonitörler) kullanılabilmektedir. Zararlı maddeler bu canlıların vücutlarında birikmekte ve yüksek ölüm oranları görülebilmektedir (Yılmaz, 1996).

Bal arıları, bitki, hava, toprak ve su özellikleri farklı çevre şartlarında kolayca yaşayabilmeleri, yetiştiriciliğinin kolay olması, yaşam döngüsünün kısa ve üreme oranının yüksek olması, koloni olarak istenildiği zaman istenilen yere götürülebilmeleri, hareketli olmaları, yiyecek bulmak için arılık çevresinde yaklaşık 7 km^2'lik geniş bir alanda sürekli olarak dolaşmaları ve uçuş aktivitesi boyunca analiz için örnek almaya uygun olmasından dolayı bal arıları ve onların ürünleri çevresel kirlenmenin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Leita ve ark., 1996; Conti ve Botre, 2001; Perugini ve ark., 2011).

Bal arıları, doğaları gereği çok sayıda bitkiyi ziyaret ederek bu bitkilerden nektar/bal özü, çiçek tozu ve reçinemsi salgıları toplayıp kovanlarına getirirler, ayrıca kovanlarına su taşırlar. Bu faaliyetleri yaparken arılar, arılık yerinin çevresiyle sürekli

bir ilişki içerisindedir. Bal arıları için ekonomik uçuş mesafesi yaklaşık olarak 2-3 km olmakla birlikte, yarıçapı 7-10 km'lik bir alanda faaliyet gösterebilmektedirler (Genç ve Dodoloğlu, 2011).

Bir bal arısı kolonisinde sayısı mevsime göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak 10.000 ile 40.000 arı bulunmaktadır. Tarlacı arılar kovanlarına sadece nektar taşımak için günde 10-24 sefer yapmakta ve her bir seferde yüzlerce çiçeği ziyaret etmektedir. Arılar polen için ise günde 5-20 sefer yapmakta ve her bir sefer için yine çok sayıda çiçeği ziyaret etmektedir (Kumova ve Korkmaz, 2001). Arılar ayrıca kovanlarına propolis ve su getirmek için de sürekli olarak kovan dışında faaliyette bulunmaktadırlar.

Konaklama yerinin çevresinde geniş bir alanda faaliyet gösteren bal arıları, o bölgenin toksik şartlarına doğrudan maruz kalan iyi bir biyolojik indikatördür ve uçuş alanlarındaki hava, bitki, su ve toprak değişimlerine hassas olup, 1970'li yıllardan beri artan bir şekilde çevrenin ağır metal kirliliğinin belirlenmesi için bir monitör olarak kullanılmıştır (Celli ve Maccagnani, 2003).

Bogdanov (2008), bal arılarını biyolojik bir gösterge olarak yıl boyunca örnek almak için kullanmak mümkün olsa bile arılardan örnek almanın onların yeterli uçuş aktivitesinin olduğu zamanlarda yapılması gerektiğini ifade etmiştir.

Havada bulunan ağır metaller, tarlacı arıların tüylü vücutlarında birikerek kovanlara getirilmekte ve kovandaki diğer arıların kovanı havalandırmak için kanat çırpmaları ile kirletenler kovana yayılmaktadır (Perugini ve ark., 2011). Arılar ayrıca, balın hammaddesi olan nektar ve bitki salgıları, polen, propolis ve su ile farklı kaynaklardaki (toprak, bitki ve su) ağır metalleri kovanlarına taşımaktadırlar (Porrini ve ark., 2003; Bogdanov, 2008).

Arı ve arı ürünleri farklı kaynaklardan kontamine olabilmektedir ve kontaminasyon arıcılık yapılan yerlerin çevre şartlarına göre farklılık gösterebilir (Hennessy ve ark., 2010; Costa-Silva ve ark., 2011; Pohl ve ark., 2011). Endüstriyel alanlardan, araç trafiğinin yoğun olduğu bölgelerden, özellikle büyük yerleşim merkezlerine ve çöp yakma tesislerine yakın olan yerlerden elde edilen arı ürünlerinde ağır metal birikiminin daha fazla olduğu Demirezen ve Aksoy (2005) ve Bogdanov (2008) tarafından bildirilmiştir.

Farklı araştırıcılar (Porrini ve ark., 2003; Bogdanov, 2008; Zhelyazkova, 2012; Ahmida ve ark., 2013; Taha ve ark., 2017) bal arılarının ve arı ürünlerinin kalıntılar nedeniyle çevre kirliliğinin bir indikatörü olarak önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Conti ve Botre (2001) ve Silici ve ark. (2016) bal arılarının ağır metal kirliliği bakımından baldan daha iyi bir biyoindikatör olabileceğini ifade etmişlerdir. Leblebici (2006) bal arılarının bitkilerden aldığı metal kirliliğini tam olarak bala yansıtmadığını ve bir çeşit doğal süzgeç görevi gördüğünü bildirmiştir.

Nisbet ve ark. (2013) arı ve arı ürünlerinin mineral içeriklerinin bitki çeşidine bağlı olarak değiştiğini bildirmişler, Matei ve ark. (2004)' da balda bulunan elementlerin bitkilerin büyüdüğü toprak kompozisyonuna göre farklılık göstereceğini ifade etmişlerdir.

Çeşitli kaynaklardan havaya salınarak, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için toksik etkiye sahip olan tozlar, özellikle kuru iklimlerde etkisini daha fazla göstermektedir. Bu nedenle arı ve arı ürünlerinin element düzeyini hava şartları ve mevsim etkilemektedir (Branquinho ve ark., 2008; Seyyednjad ve ark., 2011).

Taha ve ark. (2017) balda bulunan minerallerin kalitatif ve kantitatif oranlarından bir bölgenin çevre kirliliğini ve balın kaynağını belirlemenin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Son yıllarda analiz yöntemlerinin gelişmesine paralel olarak arı ve arı ürünlerine çeşitli kaynaklardan bulaşan metal iyonlarının tespiti üzerine pek çok çalışma yapılmıştır.

2.4. Bal Arısı, Bal ve Polenin Ağır Metal İçeriği ile İlgili Çalışmalar

Taha ve ark. (2017), bir çimento fabrikasına 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 km'lik farklı uzaklıklarda yonca (*Medicago sativa* L.) ekili 7 adet bölgeye 9'ar adet koloni yerleştirmişlerdir. Hakim rüzgar yönünde çimento fabrikası olan toplam 63 adet bal arısı kolonisinden arı, bal ve polen örnekleri alınmış ve örneklerin bazı element değerlerine bakılmıştır. Araştırmada çimento fabrikasına farklı uzaklıklardaki kolonilerden elde edilen bal örneklerinin Fe içeriği 13.00 - 44.00 mg/kg arasında, Zn içeriği 0.67 - 1.50 mg/kg arasında, Cu içeriği 0.45 - 1.00 mg/kg arasında ve Ni içeriği 0.50 - 1,50 mg/kg arasında bulunmuş, fabrikaya 21 km mesafeden alınan bal örneklerinde ise Ni tespit edilememiştir. Polen örneklerinin Fe içeriği 348.50 - 439.00 mg/kg arasında, Mn içeriği 11.58 - 20.00 mg/kg arasında, Zn içeriği 18.00 - 23.55 mg/kg arasında, Cu içeriği 4.00 - 8.01 mg arasında ve Ni içeriği de 1.00 - 3.00 mg/kg arasında bulunmuş; arı örneklerinde ise Fe içeriği 169.50 - 500.00 mg/kg arasında, Mn içeriği 12.00 - 41.00 mg/kg arasında, Zn içeriği 18.00 - 100 mg/kg arasında, Cu içeriği

9.00 - 15.67 mg/kg arasında ve Ni içeriği de 0.5 - 1.50 mg/kg arasında bulunmuş, fabrikaya 21 km mesafeden alınan arı örneklerinde de Ni tespit edilememiştir. Bal örneklerinde Mn ile birlikte, bölgelerden elde edilen örneklerin hiçbirinde Pb ve Cr tespit edilmemiştir. Araştırmada arı, bal ve polen numunelerinde ağır metal değerleri bakımından fabrikaya uzaklığın etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Araştırmada çalışılan ağır metaller bakımından en yüksek değeler bal ve polen örneklerine kıyasla arı örneklerinde tespit edilmiştir. Araştırıcılar, aynı bitki kaynaklı olmasına rağmen bal ve polen örneklerinin ağır metal içeriklerinin farklı olduğunu, ağır metal kirliliğinin çimento fabrikasına yakın yerlerde çok yoğun olduğunu, fabrikadan uzaklaştıkça yoğunluğun azaldığını ve bal arıları ve arı ürünlerinin çevresel kirlenmenin bir göstergesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Conti ve Botre (2001) tarafından Roma'da yapılan bir çalışmada 4'ü şehir çevresine 1'i de araç trafiğinin yoğun olduğu şehir merkezine olmak üzere 5 adet lokasyona toplam 10 adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Araştırmada bal arısı, bal, polen, propolis ve balmumu örneklerinde Cd, Cr ve Pb değerleri incelenmiştir. Elde edilen bal örneklerinde Pb değeri 3.3 – 45.0 µg/kg arasında, Cd değeri 2 – 63.0 µg/kg arasında ve Cr değeri de 8.4 - 102 µg/kg arasında bulunmuş; polen örneklerinde Pb değeri 20 – 335.0 µg/kg arasında, Cd değeri 15 – 90.1 µg/kg arasında ve Cr değeri de 30 - 112 µg/kg arasında bulunmuş ve bal arısı örneklerinde ise Pb değeri 0.52 – 1.25 µg/kg arasında, Cd değeri 2.87 – 4.23 µg/kg arasında ve Cr değeri de 52.0 - 116.0 µg/kg arasında bulunmuştur. İncelenen Cd, Cr ve Pb değerleri bakımından, ballarda bölgeler arasındaki farklılık istatistik olarak önemsiz bulunmuş, polen ve arı örneklerinde ise bölgeler arasındaki farklılık önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Araştırıcılar baldan ziyade polen, propolis ve bal mumu gibi arı ürünlerinin ve en önemlisi de bal arılarının çevresel kirlenmenin iyi bir göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amacıyla Finlandiya'da yapılan bir çalışmada, 4'ü endüstriyel alanlardan, 4'ü şehir içinden ve 4'ü de kırsal alandan (kontrol bölgeleri) olmak üzere 12 adet lokasyondan bal arısı, bal ve polen örnekleri alınmıştır. Alınan toplam 62 bal, polen ve arı örneklerinde Fe, Mn, Cu, Zn, Cd ve Pb miktarları belirlenmiştir. Bal örneklerinin Fe içeriği 2.0 – 3.4 µg/g arasında, Mn içeriği 0.4 – 3.2 µg/g arasında, Cu içeriği 1.0 µg/g, Zn içeriği 1.0 – 3.9 µg/g arasında, Cd içeriği 0.005 – 0.01 µg/g arasında ve Pb içeriği 0.2 – 0.2 µg/g arasında bulunmuş; polen örneklerinin Fe içeriği 44 – 120 µg/g arasında, Mn içeriği 21 – 110 µg/g arasında, Cu içeriği 6.8 – 19.0 µg/g arasında, Zn içeriği 29 – 49 µg/g arasında, Cd içeriği 0.01 µg/g –

0.15 µg/g arasında ve Pb içeriği 0.2 – 0.37 µg/g arasında bulunmuş ve bal arısı örneklerinin Fe içeriği 100 – 410 µg/g arasında, Mn içeriği 44 – 530 µg/g arasında, Cu içeriği 13 – 27 µg/g arasında, Zn içeriği 55 – 101 µg/g arasında, Cd içeriği 0.03 – 1.2 µg/g arasında ve Pb içeriği de 0.27 – 1.5 µg/g arasında bulunmuştur. Bal ve polende endüstriyel alan, yerleşim alanı ve kontrol bölgesi olarak belirlenen gruplar arasında ağır metal kirliliği bakımından istatistik fark bulunmaz iken, bal arısı örneklerinde gruplar arasında Cd, Cu, Zn ve Fe bakımından önemli farklılık tespit edilmiştir ($P<0.05$). Araştırıcılar bal ve polenin iyi bir biyolojik gösterge olmadığını fakat bal arılarının iyi bir biyolojik gösterge olabileceğini ifade etmişlerdir (Fakhimzadeh ve Lodenius, 2000).

Yahya ve ark. (2013) Mısır'da yaptıkları bir çalışmada, dört farklı bölgeden ilkbahar ve yaz aylarında bal, polen ve işçi arı örnekleri almışlar ve bu örneklerdeki Pb, Cd, Cu, Fe ve Zn miktarlarını, çevre kirliliğinde biyolojik göstergeler olarak etkinliklerini değerlendirmek amacıyla belirlemişledir. Elde edilen bal örneklerinin bazılarında Cd ve Zn tespit edilemezken, tespit edilenlerde Cd değeri 0.07 ile 0.14 ppm arasında, Zn değeri 0.05 ile 1.43 ppm arasında, Cu değeri 0.11 ile 2.37 ppm arasında, Pb değeri 0.08 ile 1.59 ppm arasında ve Fe değeri ise 2.80 ile 11.20 ppm arasında bulunmuş; polen örneklerinde Cu değeri 0.95 ile 24.18 ppm arasında, Zn değeri 0.18 ile 42.42 ppm arasında, Cd değeri 0.03 ile 1.38 ppm arasında, Pb değeri 0.65 ile 14.23 ppm arasında ve Fe değeri ise 20.33 ile 95.6 ppm arasında bulunmuş; bal arısı örneklerinde ise Cu değeri 3.62 ile 18.17 ppm arasında, Zn değeri 13.80 ile 77.95 ppm arasında, Cd değeri 0.07 ile 1.60 ppm arasında, Pb değeri 2.32 ile 11.23 ppm arasında ve Fe değeri ise 73.0 ile 336.33 ppm arasında bulunmuştur. Araştırıcılar bahar ve yaz dönemlerinde toplanan balların ağır metal miktarlarında farklılıklar gözlendiğini ve arıların topladıkları polenlerin ağır metal içeriklerinin yaz aylarında bahar aylarındakinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ağır metal miktarları en çok bal arısında, sonra polende ve en az olarak da balda tespit edilmiş, buna göre de bal arılarının arı ürünlerinden polen ve bala göre ağır metaller nedeniyle gerçekleşen çevre kirliliğinde daha iyi bir biyoindikatör olarak kabul edilebileceğini bildirmişlerdir.

Leita ve ark. (1996) tarafından arı ve arı ürünlerinde ağır metal kontaminasyonunu belirlemek için yapılan bir çalışmada, yerleşim yeri dışında bir kavşağa (dört yol ağzı) 50 m uzaklıkta, kızıl yonca (*Trifolium pratense* L.) ekili bir alana 12 adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Temmuz ayından eylül ayına kadar 9 hafta boyunca kovanlardan dışarı atılan ölü işçi arı örnekleri alınmış, ayrıca bal ve polen

örnekleri de alınmıştır. Alınan örneklerin Pb, Cd ve Zn içeriğine bakılmıştır. Bal arısı örneklerinin Pb içeriği 1.0 – 3.0 mg/kg arasında, Cd içeriği 1.1 – 1.9 mg/kg arasında ve Zn içeriği 54.4 – 76.2 mg/kg arasında bulunmuştur. Bal örneklerinin Pb içeriği ortalama 1.8 mg/kg, Cd içeriği ortalama 1.9 mg/kg ve Zn içeriği ortalama 29.4 mg/kg olarak bulunmuş; polen örneklerinin Pb içeriği ortalama 3.9 mg/kg, Cd içeriği ortalama 2.1 mg/kg ve Zn içeriği de ortalama 99.0 mg/kg olarak bulunmuştur. Araştırma süresince kovan dışına atılan ölü işçi arı örneklerinin Pb, Cd ve Zn değerleri önemli artış göstermiştir ($P<0.01$).

Arı ürünlerindeki ağır metal birikimine karayollarından uzaklığın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Tokat-Turhal karayolu üzerinde, karayolundan farklı uzaklıklardaki (10 m, 4 km, 8 km ve 12 km) 4 farklı yere 9'ar adet koloni yerleştirilmiştir. Araştırmada arılardan elde edilen bal, polen ve propolis örneklerinde Cu, Zn, Fe, Cd, Cr, Pb ve Mn miktarları incelenmiştir. Bal örneklerinin Cu içeriği 0.701 – 1.095 µg/kg arasında, Zn içeriği 44.75 – 90.55 µg/kg arasında, Fe içeriği 26.21 – 46.69 µg/kg arasında, Cd içeriği 0.006 – 0.097 µg/kg arasında, Cr içeriği 1.23 – 1.45 µg/kg arasında, Pb içeriği 1.44 – 2.49 µg/kg arasında ve Mn içeriği de 0.59 – 0.75 µg/kg arasında bulunmuştur. Polen örneklerinde ise Cu içeriği 13.75 – 17.74 µg/kg arasında, Zn içeriği 410.29 – 578.79 µg/kg arasında, Fe içeriği 141.90 – 285.26 µg/kg arasında, Cd içeriği 0.152 – 0.197 µg/kg arasında, Cr içeriği 11.65 – 12.01 µg/kg arasında, Pb içeriği 3.80 – 5.01 µg/kg arasında ve Mn içeriği de 34.14 – 36.83 µg/kg arasında bulunmuştur. Karayolundan uzaklığa göre bal örneklerinin Zn, Fe, Cr ve Mn ortalamaları arasında istatistik farklılık önemsiz bulunmuş, Cu ve Cd ortalamaları arasında istatistik farklılık $P<0.01$ seviyesinde ve Pb ortalamaları arasında ise istatistik farklılık $P<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Polen örneklerinde Zn, Fe, Cd, Cr ve Mn ortalamaları arasında istatistik farklılık tespit edilememiş, Cu ve Pb ortalamaları arasında ise önemli farklılık bulunmuştur ($P<0.05$). Araştırmada elde edilen örneklerde, karayoluna en yakın istasyonda bu elementlerden sadece Cd birikiminin yüksek olması, trafikten dolayı sadece kadmiyumun arı ürünlerinde önemli sayılacak düzeyde kirlilik oluşturabileceği bildirilmiştir (Arslan ve Arıkan, 2014).

Taha (2015) tarafından polenin kimyasal kompozisyonu ile botanik orijini arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada, 5 adet bal arısı kolonisinden yıl boyunca haftada 2 kez polen tuzağı kullanarak polen elde edilmiş ve polen örneklerinin bazı element değerleri belirlenmiştir. Ayçiçeği, kabak, hurma, şalgam ve yonca gibi farklı botanik kökenli bitkilerinden elde edilen polen

örneklerinde Fe miktarı 338.12 ile 562.06 mg/kg arasında, Mn miktarı 16.60 ile 38.61 mg/kg arasında, Zn miktarı 31.92 ile 44.18 mg/kg arasında ve Cu miktarı ise 4.24 ile 6.97 mg/kg arasında bulunmuştur. Element içeriği bakımından farklı bitkilerden elde edilen polenler arasında önemli istatistik fark bulunmuştur ($P<0.01$). Araştırmacı, arı tarafından toplanan polenin kimyasal kompozisyonunun, polenin toplandığı bitki türleri ile ilişkili olabileceğini ifade etmiştir.

Fuenmayor ve ark. (2014), polenlerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerine Kolombiya'da yapmış oldukları bir çalışmada, 196 adet polen örneğinde Fe içeriğini 23.2 – 126.6 mg/kg arasında ve Zn içeriğini ise 19.8 – 70.6 mg/kg arasında bulmuşlardır.

Muğla'da termik santral çevresinde ağır metal kontaminasyonunu belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada; termik santrale 10 - 22 km uzaklıklardaki mesafelerden 6 adet bal ve 11 adet bal arısı örneği alınmıştır. Çalışmada Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Cr ve Al elementleri incelenmiştir. Bal örneklerinde Cu miktarı 0.36 – 0.40 mg/kg arasında, Pb miktarı 5.26 – 16.3 µg/kg arasında, Zn miktarı 0.15 – 0.30 mg/kg arasında, Mn miktarı 0.17 – 0.37 mg/kg arasında, Fe miktarı 8.09 - 10.2 mg/kg arasında, Cr miktarı 3.05 – 23.05 µg/kg arasında ve Ni miktarı da 34.7 – 145 µg/kg arasında bulunmuş, Cd ise tespit edilememiştir. Bal arısı örneklerinde ise Cu miktarı 5.94 - 10.4 mg/kg arasında, Cd miktarı 0.45 - 7.66 µg/kg arasında, Pb miktarı 4.01 – 24.1 µg/kg arasında, Zn miktarı 8.56 - 17.0 mg/kg arasında, Mn miktarı 4.47 - 18.7 mg/kg arasında, Fe miktarı 54.0 - 102.0 mg/kg arasında, Cr miktarı 3.88 - 14.1 µg/kg arasında ve Ni miktarı da 64.1 - 310.0 µg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar, ballarda elementler için elde edilen sonuçların insan tüketimi için toksik düzeyde bulunmadığını, kabul edilebilir olduğunu bildirmişler ve çalışmada ağır metal kirliliğini belirlemede bal arılarının bala göre daha iyi bir gösterge olabileceği ifade etmişlerdir (Silici ve ark., 2016).

Roman (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Polonya'nın Opole bölgesinde 7'si yerleşim yerlerinden 7'si de tarımsal ve ormanlık alanlardan olmak üzere 14 adet arılıktaki toplam 100 adet koloniden bal ve bal arısı örnekleri alınmış ve Cu, Se, Pb ve Cd kontaminasyonları belirlenmiştir. Alınan bal örneklerinde şehirsel ve kırsal alanların ortalamaları bakımından Cd değeri 0.04 ile 0.07 mg/kg arasında, Cu değeri 0.40 ile 1.23 mg/kg arasında ve Pb değeri 0.05 ile 0.07 mg/kg arasında bulunmuş; bal arısı örneklerinde ise yine şehirsel ve kırsal alanların ortalamaları bakımından değeri Cd 0.60 ile 0.70 mg/kg arasında, Cu değeri 22.0 ile 23.3 mg/kg arasında ve değeri Pb 1.91 ile

1.98 mg/kg arasında bulunmuştur. Çalışmada, yerleşim yerlerinden elde edilen bal örneklerinin Cd değerleri ve arı örneklerinin Cu değerleri tarımsal ve ormanlık alanlardan elde edilen örneklerin değerlerinden daha yüksek bulunmuş ve bölgeler arasında önemli bir fark olduğu bildirilmiştir ($P<0.05$).

Çevre ve flora kaynaklarının arı ürünlerinin mineral madde içerikleri ile ilişkisinin incelendiği bir çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde 4 farklı lokasyona 4 ay süre ile toplam 22 adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiş ve elde edilen bal ve bal arısı örneklerinde Fe, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb miktarları incelenmiştir. Araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin bazılarında Cd ve Ni tespit edilememiş, tespit edilen bal örneklerinde Cd içeriği 0.27 – 1.28 ppm arasında, Ni içeriği 0.12 – 0.17 ppm arasında, Fe içeriği 0.38 – 1.05 ppm arasında, Cu içeriği 0.11 – 0.16 ppm arasında, Zn içeriği 0.35 – 0.79 ppm arasında ve Pb içeriği de 0.07 – 0.73 ppm arasında bulunmuştur. Bal arısı örneklerinin bazılarında Cd tespit edilememiş, tespit edilen bal arısı örneklerinde Cd içeriği 0.97 – 1.70 ppm arasında, Fe içeriği 0.61 – 1.67 ppm arasında, Ni içeriği 0.05 – 0.82 ppm arasında, Cu içeriği 0.11 – 0.82 ppm arasında, Zn içeriği 0.43 – 0.87 ppm arasında ve Pb içeriği de 0.13 – 0.70 ppm arasında bulunmuştur. Araştırma sonuçlarına göre farklı lokasyonlardan elde edilen bal ve arı örneklerinin mineral içerikleri arasında istatistik olarak önemli ($P<0.05$) fark tespit edilmiştir (Nisbet ve ark., 2013).

Gutierrez ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada İspanya'nın Cordoba şehrinde şehir içi, endüstri bölgesi, tarımsal ve ormanlık alan olmak üzere farklı lokasyonlara 2'şer adet bal arısı kolonisi yerleştirmişlerdir. Nisan ayından aralık ayına kadar bal arısı örnekleri alınmış ve bu örneklerde Pb, Cd, Cr ve Ni miktarları belirlenmiştir. 2010 yılında farklı lokasyonlardan alınan bal arısı örneklerinde ayların ortalaması bakımından Pb miktarı 0.109 – 0.299 mg/kg arasında, Cr miktarı 0.04 – 0.099 mg/kg arasında, Ni miktarı 0.081 – 0.143 mg/kg arasında ve Cd miktarı da 0.052 – 0.243 mg/kg arasında bulunmuştur. Farklı lokasyonlardan alınan bal arısı örneklerinin Pb içerikleri arasında $P<0.05$ seviyesinde ve Cr içerikleri arasında $P<0.01$ seviyesinde önemli istatistik fark tespit edilmiştir. Aylık alınan örnekler arasında ise Pb ve Cr içerikleri bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Yapılan bir başka çalışmada, Bulgaristan'ın Stara Zagora bölgesindeki 6 adet köyden toplam 56 adet bal arısı örneği alınmıştır. Alınan bal arısı örneklerinde Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, Cd, Co ve Ni miktarlarına hem bütün olarak arıda hem de arıların kalınbağırsak içeriğinde bakılmıştır. Bal arısında Cu içeriği 15.75 ile 21.19 mg/kg

arasında, Zn içeriği 58.23 ile 111.09 mg/kg arasında, Mn içeriği 30.69 ile 113.94 mg/kg arasında, Fe içeriği 75.74 ile 100.90 mg/kg arasında, Pb içeriği 1.59 ile 2.51 mg/kg arasında, Cd içeriği 0.05 ile 0.14 mg/kg arasında ve Ni içeriği de 0.98 ile 1.33 mg/kg arasında bulunmuştur. Alınan örneklerin kalınbağırsak içeriğinde Cu miktarı 21.16 ile 39.20 mg/kg arasında, Zn miktarı 43.09 ile 139.77 mg/kg arasında, Mn miktarı 53.98 ile 116.44 mg/kg arasında, Fe miktarı 104.39 ile 195.88 mg/kg arasında, Pb miktarı 3.68 ile 8.74 mg/kg arasında, Cd miktarı 0.11 ile 0.32 mg/kg arasında ve Ni miktarı da 4.38 ile 7.86 mg/kg arasında bulunmuştur. Çalışmada ağır metal miktarları bütün arıya kıyasla arıların kalınbağırsak içeriğinde daha yüksek bulunmuş ve araştırıcı bu nedenle arı vücudunun biyolojik bir bariyer olduğunu ifade etmiştir (Zhelyazkova, 2012).

Perugini ve ark. (2011) tarafından İtalya'da yapılan bir araştırmada, şehir içi, endüstriyel alanlar ve şehir dışından 8 farklı bölgeye 3'er adet koloni yerleştirilmiştir. Arıların aktif olduğu ilkbahar ve yaz aylarında (mayıs - ekim arası 6 ay süresince) her bölgeden ayda bir kez arı örneği alınmış ve örneklerde Hg, Cr, Cd ve Pb miktarlarına bakılmıştır. Örneklerde Cd değeri 0.01 – 0.21 mg/kg aralığında, Pb değeri 0.14 – 1.34 mg/kg aralığında ve Cr değeri 0.00 – 5.07 mg/kg aralığında bulunmuştur. İstasyonlar arasında Pb ve Cd miktarları bakımından farklılık istatistik olarak önemli ($P<0.01$) bulunurken, Cr miktarları bakımından fark önemsiz bulunmuştur. İstasyonlardan bağımsız olarak Cd ve Pb değerleri örnek alınan aylar bakımından istatistik olarak önemsiz bulunmuş fakat Cr değerleri aylar bakımından önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Araştırıcılar, ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde biyolojik bir gösterge olarak bal arılarından yıl boyu örnek alınması mümkün olsa bile, örnek alma işleminin arıların yeterli uçuş aktivitesinin olduğu zamanlarda yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

El-Haskoury ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, Fas'ta 8 farklı lokasyondan elde edilen bal örneklerinde Cd ve Pb tespit edilememiş, Cu miktarı 0.11 – 1.82 mg/kg arasında, Fe miktarı 0.71 – 4.68 mg/kg arasında, Ni miktarı 0.02 – 0.15 mg/kg arasında ve Zn miktarı ise 1.41 – 4.26 mg/kg arasında bulunmuştur.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise, Kayseri Erciyes Dağı'nın farklı bölgelerinden bal örnekleri alınmış ve bu örneklerde Cd, Pb, Ni, Zn ve Cu içerikleri belirlenmiştir. Örneklerin Cd içeriği 0.11 ile 0.18 ppm arasında, Cu içeriği 0.15 ile 0.66 ppm arasında, Zn içeriği 2.2 ile 11 ppm arasında, Ni içeriği 0.2 ile 0.8 ppm arasında ve Pb içeriği ise 0.1 ile 0.85 ppm arasında olduğu bulunmuştur. Cd bakımından bal örneklerinin elde edildiği bölgeler arasında istatistik fark önemsiz bulunurken; Pb, Ni, Zn ve Cu bakımından örnek alınan farklı bölgeler arasında önemli istatistik fark tespit

edilmiştir (P<0.01). Araştırıcılar, incelenen bal örnekleri içerisinde en yüksek metal içeriğine sahip örneklerin yerleşim bölgelerine yakın istasyondan elde edildiğini bildirmişlerdir (Demirezen ve Aksoy, 2005).

Gurel ve ark. (1998) bal tipi ve orijini belirlemek için yapıkları bir çalışmada, farklı lokasyonlarda üretikleri çok kaynaklı çiçek balı, tek kaynaklı çiçek balı, çam balı ve yoğun şeker şurubu ile besleme sonucu elde ettikleri şeker balınında mineral madde içeriklerini karşılaştırmışlardır. Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinde Fe içeriği 0.47 – 7.66 mg/kg arasında, Cu içeriği 0.38 – 1.17 mg/kg arasında, Zn içeriği 1.09 – 3.42 mg/kg arasında ve Mn içeriği 0.12 – 0.96 mg/kg arasında bulunmuştur. Araştırma sonuçlarına göre farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin mineral madde içerikleri arasında önemli farklılık bulunduğu (P<0.01) ve balların orijin tanımlamasında mineral madde içeriğinin güvenilir bir ölçüt olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

Fredes ve Montenegro (2006), Şili'de 47 adet bal örneği ile yaptıkları bir çalışmada, balların ağır metal miktarlarını belirlemişlerdir. Bal örneklerinin Cd içeriği 0.01 ile 0,05 mg/kg arasında, Cr içeriği 0.03 ile 1.92 mg/kg arasında, Cu içeriği 0.06 ile 2.00 mg/kg arasında, Fe içeriği 0.10 ile 6.36 mg/kg arasında, Mn içeriği 0.01 ile 3.14 mg/kg arasında, Ni içeriği 0.01 ile 1.04 mg/kg arasında, Pb içeriği 0.01 ile 0.11 mg/kg arasında ve Zn içeriği de 0.01 ile 4.73 mg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar bazı element içerikleri arasındaki farklılıkların bitkisel kaynaklı olmakla birlikte, bazı element değerlerinin yüksek olmasının balların depolandığı kaplardan kaynaklanabileceğini bildirmişler ve araştırıcılar analiz edilen ballarda insan sağlığı için tehlikeli olan Cd ve Pb içeriklerinin Avrupa standartlarının altında olduğunu ifade etmişlerdir.

Ahmida ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, Libya Benghazi'den monofloral ve multifloral 10 adet bal örneği elde edilmiştir. Yapılan analizlerde bal örneklerinde Cu miktarı 0.80 – 10.40 mg/kg arasında bulunmuş, Cd ve Pb bazı örneklerde tespit edilmezken, tespit edilenlerde Cd miktarı 0.004 – 0.005 mg/kg arasında ve Pb miktarı 0.02 – 0.06 mg/kg arasında bulunmuştur.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise, Trakya Bölgesi'nden 30 adet ayçiçeği balı örneği elde edilmiş ve bu ballarda Cu, Mn, Zn, Fe, Cd, Pb, Cr, Ni ve Se seviyeleri belirlenmiştir. Bal örneklerinin bazılarında Cu, Zn, Fe, Cd, Mn, Pb ve Cr tespit edilemezken, tespit edilenlerde Cu içeriği 0.14 – 0.46 µg/g arasında, Mn içeriği – 0.10 – 0.82 µg/g arasında, Zn içeriği – 0.17 – 1.98 µg/g arasında, Fe içeriği – 1.57 - 14.0 µg/g

arasında, Cd içeriği – 0.98 – 9.86 µg/kg arasında, Pb içeriği – 0.10 - 0.48 µg/g arasında, Cr içeriği – 2.17 - 57.8 µg/kg arasında ve Ni içeriği de 11.5 – 115.0 µg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar ballarda en yüksek toksik ve iz element değerlerinin kirlenmenin olduğu lokasyonlardan elde edildiğini bildirmişlerdir (Citak ve ark., 2012).

Boussaid ve ark. (2018) tarafından Tunus'ta yapılan bir çalışmada, farklı bölgelerden farklı botanik kökenli 6 adet bal örneği elde edilmiştir. Bal örneklerinin hiçbirinde Cd tespit edilememiş, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn bazı örneklerde tespit edilmezken, tespit edilenlerde Cr miktarı 0.02 – 0.32 mg/kg arasında, Cu miktarı 0,12 – 0.34 mg/kg arasında, Fe miktarı 0.83 – 3.54 mg/kg arasında, Ni miktarı 0.04 – 0.40 mg/kg arasında, Pb miktarı 0.01 – 0.05 mg/kg arasında ve Zn miktarı ise 0.42 – 2.06 mg/kg arasında bulunmuştur. Araştırmada analizi yapılan bu özelliklerin değerleri bakımından, farklı bölgelerden elde edilen farklı floral kaynaklı ballar arasında istatistik fark önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Tuzen ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan 25 adet bal örneğinde Cd, Pb, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Cr, Al ve Se seviyeleri belirlenmiştir. Bal örneklerinin Cu içeriği 0.23 – 2.41 µg/g arasında, Mn içeriği 0.32 – 4.56 µg/g arasında, Zn içeriği 1.1 – 12.7 µg/g arasında, Fe içeriği 1.8 – 10.2 µg/g arasında, Pb içeriği 8.4 – 108.8 µg/kg arasında, Ni içeriği 2.6 – 29.9 µg/kg arasında, Cr içeriği 2.4 – 37.9 µg/kg arasında ve Cd içeriği de 0.9 – 17.9 µg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar, element değerleri bakımından bölgeler arasındaki farkın önemli ($P<0.05$) olduğunu; örneklerde elementlerden demirin en yüksek düzeyde bulunduğunu kadmiyumun ise en düşük düzeyde bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Roman ve ark. (2011), arı ürünlerinden bal ve propoliste toksik elementlerden Cd, Cu, Pb, Zn ve As'in belirlenmesi ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, 2008 yılında Polonya'nın Wroclaw şehrinin endüstri bölgesinde 20 adet arılıktaki 5'er koloniden bal ve propolis örnekleri almışlardır. Alınan bal örneklerinin Cd içeriği 0.019 - 0.121 mg/kg arasında, Cu içeriği 0.45 - 2.43 mg/kg arasında, Pb içeriği 0.17 – 1.90 mg/kg arasında ve Zn içeriği de 0.51 – 7.85 mg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar analiz edilen bal ve propolis örneklerinde çalışılan elementlerin miktarının Zn>Cu>Pb>As>Cd şeklinde sıralandığını bildirmişlerdir.

Manu Kumar ve ark. (2013) tarafından Hindistan'da farklı lokasyonlardan elde edilen 4 adet bal örneğinde Cd miktarı 0.003 mg/kg'dan az ve Ni miktarı 0.01 mg/kg'dan az bulunmuş, Cr miktarı 0.02 – 0.09 mg/kg arasında, Cu miktarı 0.34 – 1.60

mg/kg arasında, Fe miktarı 4.45 – 12.99 mg/kg arasında, Pb miktarı 0.08 – 0.11 mg/kg arasında ve Zn miktarı ise 2.06 – 8.10 mg/kg arasında bulunmuştur.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise, 6 farklı coğrafi bölgeden (İç Anadolu, Karadeniz, Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güney-Doğu Anadolu bölgeleri) toplam 45 adet bal örneği alınmış ve alınan bal örneklerinde Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Al ve Co miktarları belirlenmiştir. Farklı bölgelerden alınan örneklerde Cr içeriği 0.17 – 0.37 ppm arasında, Cu içeriği 0.55 – 0.97 ppm arasında, Fe içeriği 3.71 – 5.43 ppm arasında, Mn içeriği 0.29 – 1.02 ppm arasında, Ni içeriği 0.24 – 1.63 ppm arasında ve Zn içeriği de 6.24 – 11.53 ppm arasında bulunmuştur. Farklı bölgelerden alınan bal örneklerinin Cr, Cu ve Fe içerikleri arasında istatistik fark bulunmaz iken, Mn, Ni ve Zn içerikleri arasında önemli istatistik fark tespit edilmiştir ($P<0.05$). Araştırıcılar sonuçlar arasındaki farklılıkların sanayi, madencilik, otomobil egzoz gazı emisyonları ve farklı bölgelerin farklı botanik kaynakları olabileceğini belirtmişler; ayrıca araştırıcılar balların işlenmesi ve depolanması sürecinde metal kap ve ekipmanlardan da bazı kontaminasyonların olabileceğini ifade etmişlerdir (Yarsan ve ark., 2007).

Przybylowski ve Wilczynska (2001) yaptıkları bir çalışmada Almanya'nın Pomeranian bölgesindeki 15 arıcıdan bal örnekleri almışlar ve aldıkları bal örneklerinde Zn, Cd ve Pb miktarlarını belirlemişlerdir. Zn içeriği 4.17 ile 22.3 mg/kg arasında, Cd içeriği 0.008 ile 0.027 mg/kg arasında ve Pb içeriği de 0.025 ile 0.071 mg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar Pomeranian bölgesi ballarının iyi kalitede olduğunu fakat ağır metallerden tamamen yoksun olmadığını ifade etmişlerdir.

Ballarda ağır metal kontaminasyonunun tespiti için ülkemizde yapılan bir çalışmada, Kayseri'nin farklı bölgelerinden toplanan 26 adet bal örneğinde Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Mn, Fe ve Se miktarları belirlenmiştir. Bal örneklerindeki Cd miktarı 0.09 ile 0.24 µg/g arasında, Cu miktarı 0.01 ile 0.72 µg/g arasında, Zn miktarı 1.29 ile 5.39 µg/g arasında, Ni miktarı 0.03 ile 1.43 µg/g arasında, Pb miktarı 0.02 ile 1.50 µg/g arasında, Cr miktarı 0.09 ile 1.89 µg/g arasında, Mn miktarı 0.02 ile 1.56 µg/g arasında ve Fe miktarı 0.57 ile 8.74 µg/g arasında olduğu belirlenmiştir. Örneklerin alındığı istasyonlar arasında element içerikleri bakımından istatistik farklılıklar önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. Çalışmada, Kayseri yöresinde üretilen balların iyi kalitede olduğu ancak tamamen ağır metalden yoksun olmadığı ifade edilmiş, incelenen bal örnekleri içerisinde en yüksek metal içeriğinin olduğu yerlerin, yerleşim bölgelerine yakın olan, özellikle de trafiğin ve endüstrinin yoğun olduğu bölgelerde olduğu bildirilmiştir (Leblebici, 2006).

Farklı bal tiplerinde bazı elementlerin belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, İtalya'nın Siena bölgesinden farklı botanik kökene sahip 51 adet (41 adet multifloral bal, 4 adet salgı balı, 3 adet korunga balı ve 3 adet üçgül balı) bal örneği alınmış ve bu bal örneklerinde bazı elementlerin miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz edilen bal örneklerinde Fe miktarı 1.77 ile 10.1 mg/kg arasında, Mn miktarı 0.19 ile 1.70 mg/kg arasında, Zn miktarı 1.01 ile 1.87 mg/kg arasında, Cu miktarı 216 ile 4400 µg/kg arasında, Ni miktarı 273 ile 531 µg/kg arasında, Cd miktarı 1.92 ile 4.25 µg/kg arasında, Pb miktarı da 50.0 ile 93.9 µg/kg arasında ve Cr miktarı ise 2 ile 54 µg/kg arasında bulunmuştur. Araştırıcılar balların kimyasal kompozisyonu üzerine onların botanik kaynaklarının önemli etkileri olduğunu ifade etmişlerdir (Pisani ve ark., 2008).

İsviçre'de yapılan bir çalışmada coğrafi ve botanik kaynağı bilinen 95 bal örneği (13 örnek Berne ve Basel şehirlerinden, 18 örnek köylerden, 51 örnek kırsal alandan ve 13 örnek dağlık bölgeden) elde edilmiştir. Farklı bitkilere ait çiçek ve salgı ballarından oluşan bu bal örneklerinde hava kirliliği vb. yollardan kontaminasyonu tespit etmek için Cd, Pb, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu ve Zn miktarları belirlenmiştir. Elde edilen çiçek ballarında Cd miktarı 0.000 ile 0.008 mg/kg arasında, Pb miktarı 0.003 ile 0.329 mg/kg arasında, Cr miktarı 0.000 ile 0.014 mg/kg arasında, Mn miktarı 0.125 ile 4.440 mg/kg arasında, Fe miktarı 0.136 ile 4.187 mg/kg arasında, Ni miktarı 0.002 ile 1.190 mg/kg arasında, Cu miktarı 0.051 ile 2.023 mg/kg arasında ve Zn miktarı da 0.016 ile 2.477 mg/kg arasında bulunmuştur (Bogdanov ve ark., 2007).

Küçük ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Trabzon'dan komar ve kestane balı ile Erzincan'dan geven-kekik ballarından 3 adet bal örneği elde edilmiştir. Örneklerde Cr tespit edilememiş, Cu miktarı 0.09 – 0.42 mg/kg arasında, Fe miktarı 1.72 – 2.64 mg/kg arasında, Mn miktarı 0.59 – 9.69 mg/kg arasında ve Zn miktarı ise 0.54 – 0.68 mg/kg arasında bulunmuştur.

Gonzalez-Miret ve ark. (2005) İspanya'da yaptıkları bir çalışmada 12 farklı botanik kaynağa ait 77 bal örneği almışlar ve bu bal örneklerinde bazı element değerlerini belirlemişlerdir. Bal örneklerinde Cd miktarı 0.00 ile 0.01 mg/kg arasında, Cu miktarı 0.42 ile 1.60 mg/kg arasında, Fe miktarı 1.84 ile 5.60 mg/kg arasında, Mn miktarı 1.23 ile 8.76 mg/kg arasında, Pb miktarı 0.14 ile 0.31 mg/kg arasında ve Zn miktarı ise 3.86 ile 8.82 mg/kg arasında bulunmuştur.

Gül (2008) tarafından Türkiye'de üretilen bazı balların yapısal özelliklerinin gıda güvenliği bakımından araştırılması ile ilgili yapılan bir tez çalışmasında yedi

coğrafi bölgeden bal örnekleri alınmıştır. Bal örneklerinde yapılan element analizleri sonucunda, bölgelere göre Cd içeriği 0.00 – 0.01 ppm arasında, Cr içeriği 0.01 – 0.04 ppm arasında, Cu içeriği 0.09 – 0.45 ppm arasında, Fe içeriği 1.99 – 6.10 ppm arasında, Mn içeriği 0.21 – 5.65 ppm arasında, Ni içeriği 0.15 – 0.67 ppm arasında, Pb içeriği 0.15 – 0.77 ppm arasında ve Zn içeriği de 0.74 – 2.94 ppm arasında bulunmuştur. Cr, Fe ve Mn değerleri bakımından bölgeler arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş; Cd, Cu, Ni ve Pb değerleri bakımından bölgeler arasındaki fark $P<0.01$ seviyesinde, Zn değerleri bakımından ise $P<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

2.5. Balların Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Bal, çiçek nektarlarının, bitkilerin ve bitki özsuyu ile beslenen bazı böceklerin salgılarının bal arıları tarafından alınıp, bal midelerinde bazı değişikliğe uğratıldıktan sonra petek gözlerine depolanıp olgunlaştırdıkları bir üründür.

Arılar balı veya bal özünü (nektar) daha çok ergin arıların yaşaması ve faaliyetlerini sürdürmesi için gerekli olan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için tüketirler. Nektar akım döneminde petek gözlerine depolanan ballar, kolonilere bal gelişinin olmadığı zamanlarda arılar tarafından kullanılır. Arıların ihtiyacı kadar bal kolonilere kış yiyeceği olarak bırakıldıktan sonra fazlası alınarak, petekli olarak ya da peteklerden santrifüj edilerek sıvı halde tüketilir. Süzme balın bileşimi Çizelge 2. 1.'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Süzme balın bileşimi (Genç ve Dodoloğlu, 2011)

Bileşime Giren Maddeler		**%**
Su (doğal nem)		17.20
Şekerler		79.59
(Levüloz (d-fruktoz; meyve şekeri)	38.19)	
(Dekstroz (d-glikoz; üzüm şekeri)	31.28)	
(Sakkaroz (çay şekeri)	1.31)	
(Maltoz ve diğer indirgenmiş disakkaritler	7.31)	
(Yüksek şekerler	1.50)	
Toplam asit		0.57
Protein		0.26
Kül		0.17
Diğer bileşikler (enzimler, vitaminler, renk maddeleri (pigmentler = karotenoidler), tat ve aroma maddeleri (flavonoidler), şeker alkolleri, taninler, asetil kolin)		2.21

Balların kül miktarları elde edildiği floranın çeşitliliğine bağlı olarak % 0.02 ile % 1.0 arasında değişiklik göstermektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2011). Balın kül oranının

fazla olması baldaki mineral maddelerin fazlalığıyla doğru orantılıdır ve salgı ballarının kül oranı çiçek ballarından daha yüksektir (Crane, 1975). Polat (2007) farklı lokasyon ve orijinlere sahip ballarda yaptığı çalışmada en yüksek kül miktarlarının çam ballarında bulunduğunu bildirmiştir.

Balın kül içeriği ile rengi arasında pozitif bir ilişki bulunmakta ve genellikle koyu renkli ballarda kül oranı daha fazla olmaktadır (Şahinler ve ark., 2001; Gomes ve ark., 2010).

Elektriksel iletkenlik, balın elde edildiği bitki kaynağı ve balın kül oranını belirlemede kullanılan önemli bir özeliktir (Bogdanov ve Martin, 2002). Genellikle salgı ballarının elektriksel iletkenliği çiçek ballarından daha yüksektir (Polat, 2007) ve salgı balları ile çiçek ballarının birbirinden ayırt edilmesinde elektriksel iletkenlik değerleri kullanılabilir (Marghitas ve ark., 2008).

Balların elektriksel iletkenliği ile kül içeriği arasında doğrusal bir ilişki bulunmakta ve balların kül miktarı ve asitliği arttıkça elektriksel iletkenliği de artmaktadır (Bogdanov ve Martin, 2002). Elde edilen çiçek ve salgı balları bazı özellikler bakımından benzer değerler gösterebilmektedir fakat bazı fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından farklılık gösterebilmektedirler. Bu ayırt edici kriterler içerisinde en belirgin olanları elektriksel iletkenlik ve asitlik değerleridir (Günbey, 2009).

Güler ve ark. (2007), balın biyokimyasal yönden ayırt edilmesinde elektriksel iletkenliğin önemini araştırmışlar ve elektriksel iletkenliğin kaliteden ziyade balın bitkisel kaynağını belirlemede yararlanılabilecek bir özellik olduğunu bildirmişlerdir.

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre elektriksel iletkenlik değeri, çiçek ballarında en fazla 0.8 mS/cm olmalı, salgı ballarında ise en az 0.80 mS/cm olmalıdır (Anonim, 2012).

Asitlik balın önemli kalite kriterlerinden biridir. Balın asitliğini belirleyen en önemli faktörler organik asitler, mineral maddeler, aminoasitler, peptitler ve karbonhidratlardır (Ötleş, 1995). Bal, zayıf asidik özellik gösterir ve pH'sı 3.5–5.5 arasındadır (Bogdanov ve ark., 2004).

Crane (1975), balda bulunan enzimlerin asit oluşturduğunu ve yüksek oranda enzim içeren balların daha fazla asit içerebileceğini bildirmiştir. Balın asitliği; serbest asitlik, laktonik asitlik ve toplam asitlik olarak ifade edilmekte veya sadece asitlik terimi ile ifade edilmektedir (Sağlam, 2015). Asitlik, balın bitkisel kaynağı ve üretim bölgesine bağlı olarak, baldan bala değişmektedir. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliğine

göre, hem çiçek hem de salgı balları için balın toplam asitliği 50 meq/kg değerini geçmemelidir (Anonim, 2012).

Balın pH değeri, balın yapısındaki farklı asitlerin miktarı ve mineral içeriği ile ilişkilidir. Mineral tuzlar bakımından zengin olan ballar genel olarak daha yüksek pH değerlerine sahiptir (Lawless ve ark., 1996) ve balın pH değeri ekstraksiyon ve depolama süresince tekstür, dayanıklılık ve raf ömrünü etkilemektedir (Terrab ve ark., 2003).

Balın tatlı olması asitliğinin fark edilmesini güçleştirmektedir. Balda bulunan asitler balın tat ve lezzetine katkıda bulunmakla birlikte, balda mikroorganizma gelişmesini önleyici etkiye de sahiptir (Ünlütürk ve Turantaş, 1998).

Balda asitlik değerinin yüksek olması balda istenmeyen bir özellik olan fermentasyon olayının meydana geldiğinin bir belirtisidir. Balda fermentasyon, alkolün mikroorganizmaların etkisiyle asetik aside dönüştüğünü göstermektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2011; Sağlam, 2015).

Balların briks (suda çözünür kuru madde) değeri % 78.8- 84.0 arasında değişmekle birlikte ortalama olarak % 81.9 dolayındadır ve balların nem ve şeker içeriği arasında da bir ilişki bulunmakta (Conti, 2000) ve balların suda çözünür kuru maddesi daha çok içerdiği şekerlerden kaynaklanmaktadır (Cavia ve ark., 2007).

Nem oranı balın önemli özelliklerinden biridir. Balın nem oranı (doğal su miktarı), arılar tarafından petek gözlerine depolanan nektarın yine arılar tarafından olgunlaştırılmasından yani suyunun önemli bir kısmının uçurulmasından sonra kalan miktarıdır. Balın nem miktarı üzerine çevre koşuları, nektarın nem oranı yani bitki kaynağı, nektarın salgılanma hızı, nektarın olgunlaştırılması sırasındaki hava şartları, koloni büyüklüğü, hasat zamanı ve süzme işlemi gibi faktörler etkili olmakta (Ötleş, 1995; Isengard ve Schulthei, 2003) ve aynı bölgeden elde edilen balların nem oranları yıldan yıla değişiklik gösterebilmektedir (Gomes ve ark., 2010).

Balların ambalajlandığı kaplar ve depolandığı yerin bağıl nemi de balın higroskopik özelliğinden dolayı balın nem düzeyini değiştirebilmektedir Açıkta tutulan ballar % 58 bağıl nemde dengededir ve ortamdan nem çekip ortama nem vermezler. Fakat ortamın bağıl nemi % 58'in üzerine çıktığında bal ortamdan nem çekmektedir (Şahinler ve ark., 2001; Genç ve Dodoloğlu, 2011) Bu nedenle ballar uygun ambalaj malzemelerinde ve uygun ortamlarda muhafaza edilmelidir.

Sıcak ve kuru iklime sahip bölgelerden elde edilen balların nem miktarı % 16 - 19 arasında değişmekte iken serin ve bol yağışlı alanlardan elde edilen balların nem oranı % 17- 20 arasında değişmektedir (Ötleş, 1995).

Nem oranı çiçek ballarında ortalama % 17.2, salgı ballarında ise ortalama % 16.3 dolayındadır ve bu nem aralığındaki ballar kaliteli ve depolamaya uygun ballar olarak kabul edilir (Doğaroğlu, 2004).

Balın su miktarı yüksek ise fermentasyon olasılığı, düşük ise kristalizasyon olasılığı artmaktadır (Tosi ve ark., 2002). Petekli, sırlanmış ve olgunlaşmış balların nem oranı az olduğu ve şeker yoğunluğu fazla olduğu için mikroorganizmaların etkinliği önlenir ve fermente olmazlar. Fakat nem oranı yüksek olan ballarda bulunan mayalar, balın fermente olmasına neden olur (Doğaroğlu, 2004).

Nem içeriği yüksek olan ballar genellikle düşük viskoziteye sahiptir ve ballar içerdikleri nem oranlarına göre sınıflandırılabilmektedir. Balın nem oranının yüksek olarak belirlenmesi, balın olgunlaşmadan hasat edildiği anlamına da gelebilmektedir. Ayrıca glukoz/su oranı 1.70 veya daha az olan ballar daha geç şekerlenirken bu oran 2.10'dan yüksek olduğunda şekerlenme kısa sürede meydana gelmektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2011). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliğine göre, hem çiçek ballarının hem de salgı ballarının nem oranının en fazla % 20 olması gerektiği (püren balında en fazla % 23) bildirilmektedir (Anonim, 2012).

Balın sınıflandırılmasında önemli kalite kriterlerinden biri de renktir. Balın rengi nektar kaynağına, içerdiği kül miktarı yani mineral maddelerin oranlarına, polen ve fenolik madde içeriği gibi yapısındaki maddelerin çeşit ve miktarına göre birçok faktöre bağlıdır (Gonzales ve ark., 1999; Anupama ve ark., 2003). Koyu renkli balların kül miktarı genellikle açık renkli ballardan daha yüksektir (Gomes ve ark., 2010).

Balın rengi yapısını oluşturan çeşitli maddelerin farklı dalga boylarındaki ışınları absorbe etmesi ile oluşan optik bir özelliktir. Balda renk oluşumu, optik özellikten başka bileşiminde bulunan karoten, klorofil türevleri, ksantofil ve diğer bazı renk maddelerinden ileri gelmektedir (Ötleş, 1995; Tolon, 1999; Şahinler ve ark., 2001).

Ballar su beyazı ve çok açık sarıdan, koyu kahverengi hatta siyaha kadar uzanan farklı renklere sahip olabilmektedir (Bogdanov ve ark., 2004). Salgı balları çiçek ballarına göre daha koyu renklidir ve balın rengi tüketici tercihlerini etkilemektedir (Genç ve Dodoloğlu, 2011).

Bal rengini belirlemede farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE, Commission Internationale de

l'Eclairage) tarafından 1931 yılında ortaya konulan sistemdir. CIE sisteminde bulunan L*, a*, b* renk simgelerinde L* aydınlık değerini, a* kırmızı ve yeşilliği ve b* sarı ve maviliği ölçmektedir. Bu sistem daha sonra geliştirilerek renk tonu (h, hue angle) ve renk parlaklığı (C*, Chroma) değerleri de ilave edilmiştir (Üren, 1999).

Balın depolanması sırasında depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak renk değişiklikleri görülebilmekte ve bu değişiklikler balın hasattaki ilk rengi ve bileşimindeki maddeler ile ilişkili olmaktadır. Balın depolama süresi ve depolamadaki sıcaklık arttıkça bal koyulaşmakta ve buna bağlı olarak da L* ve b* değerlerinde azalma a* değerinde ise artma görülmektedir (Gonzales ve ark., 1999; Bulut, 2007).

L*, a* ve b* renk değerlerine göre ballar genel olarak açık ve koyu renkli ballar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Balların fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi ile a* ve b* renk değerleri arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır ve koyu renkli balların fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivitesi daha yüksek olmaktadır (Beretta ve ark., 2005; Kus ve ark., 2014).

Antioksidan kapasite, yiyeceklerdeki ve insan vücudundaki oksidatif reaksiyonları azaltabilmektir. Bu oksidatif reaksiyonlar toksik olabilmekte ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Antioksidan kapasitesi yüksek yiyeceklerin tüketimi sayesinde bu toksik etki azalmakta ve hastalıkların önlenmesi sağlanmaktadır. Bal, antioksidan kapasitesi bakımından birçok meyve ve sebzeye eşdeğer düzeydedir (Gheldof ve Engeseth, 2002).

Bazı hastalıkların tedavisinde bal kullanılmaktadır. Balın tedavi edici işlevi antimikrobiyal etkisinden ve antioksidan madde içermesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü bazı hastalıklar serbest radikallerin verdiği zarar sonucu ortaya çıkmaktadır (Aljadi ve Kamaruddin, 2004). Fenolik bileşikler özellikle flavonoidler, doğal antioksidan, antibakteriyel, antikanserojenik ve antialerjik gibi çok geniş biyolojik fonksiyonlar göstererek serbest radikallerin neden olduğu reaksiyonları durdurarak veya engelleyerek pek çok hastalığın oluşumuna engel olurlar (Nizamlıoğlu ve Nas, 2010).

Bal antioksidan özelliğe sahip birçok bileşiğe sahiptir ve bu bileşikler balda doğal olarak bulunmaktadır (Nicholls ve Miraglio, 2003). Bunlar; flavanoidler, fenolik asitler, glikoz oksidaz ve katalaz gibi enzimler, askorbik asit, karotenoid benzeri maddeler, organik asitler, amino asitler ve proteinlerdir (Gheldof ve Engeseth, 2002; Nicholls ve Miraglio, 2003).

Balın antioksidan kapasitesi büyük ölçüde floral kaynağa bağlı olmakla birlikte mevsimsel ve çevresel faktörlere ve proses koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterir

(Gheldof ve Engeseth, 2002). Koyu renk balların daha yüksek antioksidan kapasitesine sahip olduğu bildirilmektedir (Nagai ve ark., 2001; Bertoncelj ve ark., 2007). Koyu renkli ballarda bol miktarda bulunan fenolik bileşiklerin, askorbik asit ya da E vitaminine göre daha güçlü antioksidan olduğu bildirilmektedir (Aljadi ve Kamaruddin, 2004).

Balın antioksidan kapasitesinden balda bulunan fenolik bileşikler önemli derecede sorumlu olup antioksidan kapasitesi ile toplam fenolik asitlerin konsantrasyonu arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Gheldof ve Engeseth, 2002; Bertoncelj ve ark., 2007).

Fenolik bileşikler, fenolik asitler ve flavonoidlerden oluşmaktadır. Fenolik bileşiklerin bir kısmı gıdalarda lezzetin oluşmasını, bir kısmı ise bazı renklerin oluşmasını sağlamaktadırlar (Cemeroğlu, 1992; Sangsrichan ve Wanson, 2008).

2.6. Balların Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri ile İlgili Çalışmalar

Kus ve ark. (2014) Polonya'da 6 farklı (akasya, kolza, turunçgiller, altınbaşak, funda ve karabuğday) toplam 28 adet monofloral bal örneğinde yapmış oldukları araştırmada, bal örneklerinin antioksidan aktiviteleri, renk karakteristikleri ve toplam fenolik madde içeriklerini belirlemişlerdir. Bal örneklerinin toplam fenolik madde miktarı 142.8 – 1113.0 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/kg arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 0.2 – 1.2 mmol troloks eşdeğeri (TE)/kg arasında belirlenmiştir. Farklı floral kaynaklı ballarda rengin çok açık sarıdan, kırmızımsı koyu amber rengine kadar değiştiğini bildirmişler ve renk analizinde ballar L* değeri bakımından 41.5 – 86.2 arasında, a* değeri bakımından -1.6 – 31.9 arasında ve b* değeri bakımından 19.6 – 69.2 arasında bulunmuştur. L*, a* ve b* renk değerlerine göre balların açık ve koyu renkli ballar olarak iki gruba ayrıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca balların fenolik madde içeriği ile antioksidan kapasitesinin a* ve b* renk değerleri ile pozitif bir korelasyon içinde olduğunu bildirmişler ve koyu renkli balların fenolik madde içeriğinin ve antioksidan aktivitesinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çapar (2010) tarafından Muğla ilinde üretilen çam ballarının fizikokimyasal özellikleri ve mineral içeriklerinin belirlenmesi ve depolamadaki değişimleri ile ilgili yapılan bir tez çalışmasında Muğla yöresinden temin edilen 15 farklı çam balı numunesi kullanılmış ve çalışmada aynı analizler 2 yıl depolama sonrası tekrarlanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Alınan bal örneklerinin (depolama

yapılmadan) kül oranı % 0.5743 – 2.5980 arasında, briks oranı % 81.4 – 83.4 arasında, refraktif indeks değeri 1.4885 – 1.4976 arasında, nem oranı % 14.84 – 16.87 arasında, pH değeri 4.26 – 5.27 arasında, serbest asitlik 0.062 – 0.156 meq sitrik asit eşdeğeri (SAE)/kg arasında, elektriksel iletkenlik 878 – 1463 µs/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 314.34 – 468.14 mg/kg kuru ağırlık arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 170.58 – 313.17 µmol TE/100 g arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 20.10 – 24.59 arasında, a* değeri bakımından -0.40 – -0.58 arasında, b* değeri bakımından 0.62 – 1.89 arasında, C* değeri bakımından 0.77 – 1.93 arasında ve h değeri bakımından ise 53.43 – 78.05 arasında bulunmuştur. Çalışmada kullanılan 15 adet bal örneğinin briks, renk C* ve renk h değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, diğer tüm değerler arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Ayrıca, depolama süreci sonrasında balların fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinin önemli düzeyde azaldığı gözlenmiştir ($P < 0.01$).

Romanya ballarının fizikokimyasal ve reolojik özellikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, farklı botanik kaynaklı (akasya, ıhlamur, ayçiçeği, karahindiba, polifloral ve salgı balları olmak üzere) toplam 15 bal örneği kullanılmıştır. Bal örneklerinin kül oranı % 0.2 – 0.9 arasında, briks oranı % 79.80 – 81.94 arasında, nem oranı % 16.8 – 19.5 arasında, pH değeri 3.8 – 4.7 arasında, elektriksel iletkenlik 160.2 – 833.0 µs/cm arasında ve toplam fenolik madde miktarı 19.2 – 82.7 mg GAE/100g arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 24.8 – 57.14 arasında, a* değeri bakımından -0.6 – 7.9 arasında, b* değeri bakımından 2.3 – 23.1 arasında ve C (Chroma) değeri bakımından 2.6 – 24.1 arasında bulunmuştur. Çalışmada kullanılan farklı floral kaynaklı balların nem ve briks değerleri arasında $P<0.05$ düzeyinde, diğer özelliklerin değerleri arasında ise $P<0.01$ düzeyinde önemli istatistik fark tespit edilmiştir (Oroian, 2012).

Turan (2012) tarafından Trakya'da Kırklareli izole arıcılık bölgesinde yaşayan Trakya arısı kolonilerinden elde edilen balların kalite özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada 25 adet örnek elde edilmiştir. Bu örneklerden 22 adedi T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından 30 km çapında izole bölge ilan edilen alandaki bal üreticilerinden, 3 adedi de kalite özelliklerinin karşılaştırılması için Tekirdağ il sınırından alınmıştır. Alınan bal örneklerinin nem oranı % 14.2 – 17.6 arasında, serbest asitlik 12 – 40 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 0.39 – 1.20 ms/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 34 – 640 mg GAE/kg arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 5.769 – 93.609 mg/ml arasında bulunmuştur. Renk

analizinde ballar L* değeri bakımından 23.89 – 31.28 arasında, a* değeri bakımından 0.56 – 2.65 arasında ve b* değeri bakımından -0.31 – 5.89 arasında bulunmuştur.

Gonzalez-Miret ve ark. (2005) yaptıkları bir çalışmada İspanya'da 12 farklı botanik kaynaklı 77 bal örneği kullanmışlardır. Bal örneklerinin mineral içeriği ve renk karakteristikleri analiz edilmiştir. Bal örneklerinin renk karakteristikleri bakımından L* değeri 38.55 ile 78.65 arasında, a* değeri 7.29 ile 27.63 arasında, b* değeri 16.22 ile 59.48 arasında, C* değeri 23.98 ile 63.25 arasında ve h değeri ise 40.33 ile 82.13 arasında bulunmuştur. Araştırıcılar koyu renkli ballarda L* değeri ile balların mineral içeriği arasında önemli bir ilişki bulunduğunu, açık ve kahverengi ballarda ise C* ve b* değerleri ile balların mineral içeriği arasında daha düşük bir ilişki bulunduğunu bildirmişlerdir. Araştırıcılar balların mineral içeriğine doğrusal diskriminant analizi uygulanmasıyla balları açıklık ve koyuluklarına göre sınıflandıran bir model elde etmenin mümkün olduğunu ve modelin tahmin yeteneğinin de %85 olduğunu bildirmişlerdir.

Farklı lokasyon ve orijinlere sahip balların reolojik, fizikokimyasal karakteristikleri ve mineral içeriklerinin belirlenmesi ile ilgili Türkiye'de yapılan bir çalışmada 8 farklı ildeki (Ankara, Bingöl, Konya, Kastamonu, Erzurum, Muğla, Şanlıurfa ve Sivas) üreticilerden elde edilen 6 farklı çeşitte (multifloral çiçek balları ile monofloral ayçiçeği, geven, çam, kestane ve pamuk balları), 40 adet bal örneği kullanılmıştır. Alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.032 – 0.661 arasında, briks oranı % 78.0 – 83.0 arasında, refraktif indeks değeri 1.4854 – 1.4985 arasında, nem oranı % 15.28 – 20.44 arasında, pH değeri 3.62 – 5.13 arasında, serbest asitlik 19.5 – 43.5 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 198 – 1930 µs/cm arasında ve toplam fenolik madde miktarı 92.1 – 754 mg/100g arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 20.62 – 27.00 arasında, a* değeri bakımından -0.38 – 1.37 arasında ve b* değeri bakımından -3.11 – 2.87 arasında bulunmuştur (Polat, 2007).

Escriche ve ark. (2014) tarafından İspanya'da 4 farklı botanik kaynaklı (biberiye, narenciye, polifloral ve salgı balları) bal örneği kullanarak yapılan çalışmada örneklerin nem oranı % 15.03 – 16.11 arasında ve elektriksel iletkenlik 0.17 – 1.0 mS/cm arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 26.02 – 47.99 arasında, a* değeri bakımından 0.41 – 10.53 arasında ve b* değeri bakımından 6.12 – 22.46 arasında bulunmuştur. Araştırmada analizi yapılan bu özelliklerin değerleri arasında, farklı botanik kaynaklı bal örneklerinde istatistik fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Sağlam (2015) tarafından çam ballarının depolamaya bağlı olarak bazı kinetik parametrelerinin belirlenmesi ve raf ömrünün tahmini ile ilgili yapılan bir çalışmada Muğla yöresinden 7 farklı çam balı örneği kullanılmıştır. Bal örneklerinin (depolama yapılmadan yani 0. ay) briks oranı % 80.0 – 82.5 arasında, nem oranı % 15.8 – 18.2 arasında, pH değeri 5.12 – 6.21 arasında, serbest asitlik 0.0710 – 0.1911 g SAE/kg arasında, elektriksel iletkenlik 1152 – 2050 µs/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı kuru ağırlık olarak 1041.4 – 1107.6 g GAE/kg arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 0.484 – 1.019 mg/ml arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 63.34 – 81.13 arasında, a* değeri bakımından 4.01 – 15.77 arasında, b* değeri bakımından 55.58 – 76.03 arasında, C* değeri bakımından 55.73 – 77.66 arasında ve h değeri bakımından ise 78.29 – 85.87 arasında bulunmuştur.

Akbulut ve ark. (2009) tarafından Muğla yöresi kızılçam alanlarından elde edilen 15 adet çam balı örneğinde yapılan çalışmada, bal örneklerinin antioksidan aktivitesi, fenolik içeriği ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.24 – 0.60 arasında, briks oranı % 81.4 – 83.4 arasında, refraktif indeks değeri 1.4944 – 1.4996 arasında, nem oranı % 14.84 – 16.87 arasında, pH değeri 4.26 – 5.27 arasında, serbest asitlik 6.23 – 15.62 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 878 – 1463 µs/cm arasında ve toplam fenolik madde miktarı 234.9 – 394.0 mg GAE/100g arasında bulunmuştur. Renk analizinde ballar L* değeri bakımından 20.01 – 24.59 arasında, a* değeri bakımından -0.40 – -0.58 arasında ve b* değeri bakımından 0.62 – 1.84 arasında bulunmuştur. Ayrıca çam ballarındaki fenolik bileşiklerin önemli bir antioksidan madde kaynağı olabileceğini bildirilmiştir.

Aazza ve ark. (2014) tarafından Fas'ta yapılan bir çalışmada arıcı birliklerinden alınan 17 adet ticari bal örneklerinin fizikokimyasal karakterizasyonu ve antioksidan aktivitesi araştırılmıştır. Bal örneklerinin kül oranı % 0.15 – 0.58 arasında, nem oranı % 17.3 – 20.0 arasında, pH değeri 3.66 – 4.51 arasında, serbest asitlik 12.0 – 30.4 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 150.3 – 762.3 mS/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 163.82 – 923.7 mg GAE/100g arasında ve antioksidan kapasitesi (ORAC) 8.07 – 17.14 µmol TE/g arasında bulunmuştur. Araştırmada farklı bal örneklerinde analizi yapılan bu özelliklerin değerleri arasında, istatistik fark önemli ($P<0.05$) bulunmuştur.

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise, Trabzon'dan komar ve kestane balı ile Erzincan'dan geven-kekik ballarından 3 örneğin biyolojik aktivitesine ve kimyasal kompozisyonuna bakılmıştır. Bal örneklerinin kül oranı % 0.20 – 0.50 arasında, nem

oranı % 17.0 – 19.7 arasında ve serbest asitlik 29.4 – 36.7 meq/kg arasında bulunmuştur (Küçük ve ark., 2007).

İspanya kekik ballarının karakterizasyonu, fizikokimyasal özellikleri ve mineral içerikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada 25 adet bal örneği kullanılmıştır. Bal örneklerinin kül oranı % 0.16 – 0.60 arasında, briks oranı % 78.8 – 84.0 arasında, nem oranı % 14.2 – 19.8 arasında, pH değeri 3.56 – 4.79 arasında, serbest asitlik 25.6 – 48.6 meq/kg arasında ve elektriksel iletkenlik değeri 288 – 559 µs/cm arasında bulunmuştur (Terrab ve ark., 2004).

Ahmida ve ark. (2013) tarafından balların fizikokimyasal ve fenolik bileşiklerinin analizi ile ilgili yapılan bir çalışmada, Libya Benghazi'den monofloral ve multifloral 10 adet bal örneği elde edilmiştir. Yapılan analizlerde bal örneklerinin kül oranı % 0.14 – 0.43 arasında, nem oranı % 13.3 – 17.2 arasında, pH değeri 3.56 – 4.99 arasında, serbest asitlik 10.0 – 24.0 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 0.43 – 0.74 ms/cm arasında ve toplam fenolik madde miktarı da 49.0 – 94.0 mg GAE/100g arasında bulunmuştur.

Küba ballarının fizikokimyasal parametreleri, kimyasal yapıları ve biyolojik özellikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, farklı bölgelerden elde edilen 16 adet polifloral bal örneği kullanılmıştır. Alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.18 – 0.46 arasında, nem oranı % 16.74 – 28.62 arasında, pH değeri 3.20 – 4.76 arasında, serbest asitlik 32.65 – 41.52 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 0.33 – 0.58 ms/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 54.30 – 94.39 mg GAE/100g arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 31.06 – 42.23 µmol TE/100g arasında bulunmuştur. Çalışmada, tüm bu değerler bakımından farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinde istatistik açıdan önemli ($P<0,05$) farklılıklar bulunmuştur (Alvarez-Suarez ve ark., 2018).

Petretto ve ark. (2016) tarafından Fas ballarının fizikokimyasal parametreleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, 7 farklı lokasyondan elde edilen monofloral ve polifloral bal örnekleri kullanılmıştır. Alınan bal örneklerinin suda çözünür kuru madde oranı % 70.4 – 79.7 arasında, refraktif indeks değeri 1.4903 – 1.4930 arasında, nem oranı % 17.4 – 18.2 arasında, pH değeri ortalama 4.43 olarak, toplam fenolik madde miktarı 472.06 – 874.04 mg GAE/kg arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 0.41 – 1.58 µmol TE/kg arasında bulunmuştur.

Güney Afrika ballarının fizikokimyasal özellikleri, antioksidan aktiviteleri ve hücresel koruyucu etkileri ile ilgili yapılan bir çalışmada, 4 farklı ülkede (Güney Afrika, Mozambik, Namibya ve Botsvana) toplam 13 lokasyondan elde edilen bal örnekleri

kullanılmıştır. Alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.01 – 0.65 arasında, nem oranı % 10.09 – 20.73 arasında, pH değeri 3.87 – 5.12 arasında, toplam fenolik madde miktarı 75.94 – 126.71 mg GAE/100g arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 0.42 – 3.72 µmol TE/g arasında bulunmuştur. Araştırmada bal örneklerinin antioksidan kapasitesi DPPH yöntemine ilave olarak TEAC ve ORAC yöntemleri ile de belirlenmiştir. TEAC yöntemi ile antioksidan kapasitesi 5.36 – 20.84 µmol troloks eşdeğeri/g arasında ve ORAC yöntemi ile antioksidan kapasitesi ise 3.71 – 49.26 µmol troloks eşdeğeri/g arasında bulunmuştur (Serem ve Bester, 2012).

Gomes ve ark. (2010) tarafından Portekiz'de farklı botanik ve coğrafi kaynaklı 5 adet bal örneğinin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, bal örneklerinde kül oranı % 0.07 – 0.35 arasında, nem oranı % 15.9 – 17.2 arasında, pH değeri 3.7 – 4.3 arasında, serbest asitlik 16 – 32 meq/kg arasında ve elektriksel iletkenlik 0.19 – 0.53 ms/cm arasında bulunmuştur. Araştırmada analizi yapılan farklı botanik ve coğrafi kaynaklı balların elektriksel iletkenlik, kül ve serbest asitlik değerleri arasında önemli ($P<0.05$) fark tespit edilmiş fakat nem ve pH değerleri arasında istatistik fark önemsiz bulunmuştur.

Fas'ta 8 farklı lokasyondan elde edilen keçiboynuzu ballarının fizikokimyasal özellikleri ve antioksidan aktiviteleri üzerine yapılmış olan bir çalışmada, alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.13 – 0.69 arasında, briks oranı % 76.55 – 84.15 arasında, nem oranı % 17.3 – 22.0 arasında, pH değeri 4.17 – 5.05 arasında, serbest asitlik 11.0 – 42.5 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 0.36 – 1.35 ms/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 75.52 – 245.22 mg GAE/100g arasında ve antioksidan kapasitesi ise (DPPH) 8.66 – 23.1mg/ml arasında bulunmuştur (El-Haskoury ve ark., 2018).

Fredes ve Montenegro (2006) ballarda bazı özelliklerin belirlenmesi ile ilgili Şili'de yaptıkları bir çalışmada, 47 adet bal örneğinde balların elektriksel iletkenliklerini 0.11 mS/cm – 0.97 mS/cm arasında (ortalama 0.38 mS/cm) ve pH değerini de 3.79 – 5.08 arasında (ortalama 4.23) olarak tespit etmişlerdir.

Alvarez-Suarez ve ark. (2010) tarafından 5 farklı monofloral Küba balının (toplam 83 adet) antioksidan kapasitesi, antimikrobiyal özellikleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Alınan bal örneklerinin kül oranı % 0.18 – 0.50 arasında, nem oranı % 17.4 – 20.3 arasında, pH değeri 3.9 – 4.9 arasında, serbest asitlik 16.8 – 27.7 meq/kg arasında, elektriksel iletkenlik 0.1 – 0.6 mS/cm arasında, toplam fenolik madde miktarı 213.9 – 595.8 mg GAE/kg arasında ve antioksidan kapasitesi (TEAC) 21.46 – 29.45 µmol TE/100g arasında belirlenmiştir.

2.7. Polenlerin Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Çiçeklerin anterlerinde üretilen, bitkilerin erkek üreme hücreleri olan polen tozlarının/taneciklerinin, bal arıları tarafından alınıp bir miktar nektar veya bal ve enzim içeren arının tükürük salgısı ilavesi ile arıların arka ayaklarında pelet halinde biriktirerek kolonilerine taşıdıkları ürüne arı poleni denilmektedir (Morais ve ark., 2011; De-Melo ve ark., 2016).

Bal arıları poleni, polen gelişinin olmadığı zamanlarda kullanmak için kovanda petek gözlerine depolarlar. Polen, genç arı bireylerinin ve özellikle larva ve pupaların büyüme ve gelişmesi için gerekli tüm besin maddelerini içermektedir. Bal arıları nektarda olduğu gibi poleni de çok sayıda bitkiden toplar. Polenlerin kimyasal bileşimi bitki tür ve çeşidine göre değişmekte, farklı bitkisel kaynaklı polenlerin besin değeri de farklılık göstermektedir (Gürel ve ark., 2015).

Arıların, arka ayaklarında kolonilerine getirdikleri polenler, kolonilerin girişlerine takılan polen tuzakları vasıtasıyla alınmakta, taze olarak tüketilebildiği gibi kurutularak ya da derin dondurucularda muhafaza edilip tüketilebilmektedir.

Polen taneleri, şekil, boyut, renk ve görünüm gibi morfolojik özellikler bakımından farklılıklar gösterir (De Arruda ve ark., 2013). Bir polen yükü, genellikle homojen ve monofloral bir kaynağa sahip olup, tek renkli küçük peletlerdir (Gabriele ve ark., 2015). Polenlerin rengi, botanik türüne ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Almeida-Muradian ve ark., 2005).

Arılar tarafından toplanan taze polenin kimyasal yapısında % 20-30 oranında su (Yook ve ark., 1998), % 7.5-35 oranında protein, % 1-15 oranında yağ, % 15-45 oranında karbonhidrat ve % 1-5 oranında kül bulunmaktadır (Schmidt ve Buchman, 1992; Genç ve Dodoloğlu, 2011). Polenler esansiyel amino asitlerin tümü ve diğer birçok amino asitleri içermekle birlikte, yağ asitleri, steroller, enzimler, koenzimler ve mineral bakımdan zengindir. Ayrıca polenler B grubu başta olmak üzere C ve E vitaminleri, karotenleri, flavonoidleri ve fenolik bileşikleri de içermektedir (Tutkun, 2006).

Polenin kimyasal bileşimi bitki türlerine, polen gelişimi sırasındaki çevre şartlarına (farklı lokasyon, mevsim ve yıl), toprak özelliklerine, bitkinin yaşı ve bitkinin beslenme durumuna, arıcının aktiviteleri ile depolama süresi ve şartlarına bağlı olarak değişmektedir (Szczesna ve ark., 2002; Almaraz-Abarca ve ark., 2004; Oliveira ve ark.,

2009; Morais ve ark., 2011). Ayrıca, uygulanan ısıl işlemler polenin kimyasal yapısını değiştirmektedir (Dominguez-Valhondo ve ark., 2011). Bu nedenlerden dolayı, polenlerin kimyasal kompozisyonu geniş bir varyasyon göstermektedir (Denisow ve Denisow-Pietrzyk, 2016).

Arı poleni çok eski zamanlardan beri önemli bir besin maddesi olarak kullanılmıştır (Yook ve ark., 1998). Polenler, son yıllarda sadece beslenme özellikleri için değil, aynı zamanda fizyolojik özellikleri ve insan organizması üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle de önem kazanmıştır. Bal arısı tarafından toplanan polenler önemli miktarda polifenol ve karotenoid pigment içerir. Polifenol bileşiklerinin biyolojik, biyokimyasal, fizyolojik, farmasotik ve tıbbi özellikleri, serbest radikal temizleme aktiviteleri ve bunların dahil olduğu birçok biyolojik aktivite açısından değerli bir üründür (Rice-Evans ve ark., 1996).

Besin değerine ilave olarak polenin farmakolojik özellikleri, örneğin antiinflammatory (iltihap önleyici), hepatoprotective (karaciğeri koruyucu), antimikrobiyal, antifungal, antioksidan, antikarsinojen, antimutajen, antitümör, antiradyasyon, antialerjen ve immün uyarıcı özellikleri bulunmakta, bağışıklık sistemini düzenlemekte ve bu etkiler, polenin fenolik bileşiklerinden ileri gelmektedir (Kostic ve ark., 2015; De-Melo ve ark., 2016).

Arı poleni, fenolikler gibi sağlıklı bir bileşik kaynağıdır ve serbest radikallerin dahil olduğu hastalıkların önlenmesinde faydalı olabilmektedir. Ayrıca polen, yeni bir potansiyel antimikrobiyal madde olup, bakteriler ticari antibiyotiklere direnç geliştirdiğinden, arı poleni günümüzde sağlık için büyük umut vaat etmektedir (Morais ve ark., 2011).

Polen, fenolik bileşiklerine bağlı olarak önemli antioksidan aktiviteye sahiptir. Polenin antioksidan kapasitesi onun botanik ve coğrafi orjinine göre farklılık göstermektedir (Almaraz-Abarca ve ark., 2004).

Polen, bal arıları, hava şartları, bitki materyalleri, böcekler, hayvanlar, insanlar ve tarımsal faaliyetlerden dolayı kontaminasyona maruz kalabilir (Nogueira ve ark., 2012). Polen ile ilgili en önemli risk faktörünü, ağır metaller, insektisitler, herbisitler, mikotoksinler, bakteriler, antibiyotikler gibi kirletici maddelerin varlığı oluşturmaktadır (Denisow ve Denisow-Pietrzyk, 2016).

2.8. Polenlerin Bazı Fiziko-kimyasal Özellikleri ile İlgili Çalışmalar

De-Melo ve ark. (2016) tarafından Brezilya Sao Paulo'da yapılan bir çalışmada, arı poleni örneklerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve kalite parametreleri arasındaki korelasyonu belirlemek amaçlanmıştır. Örneklerin toplam fenolik madde miktarı 9.2 – 21.4 mg GAE/g arasında; antioksidan kapasitesi (DPPH değeri olarak) 31.7 – 81.1µmol TE/g arasında, antioksidan kapasitesi (ORAC değeri olarak) 310.1 – 559.3 µmol TE/g arasında bulunmuştur. Renk analizinde polenler, L* değeri 42.8 – 58.4 arasında, a* değeri 8.4 – 11.3 arasında ve b* değeri 43.7 – 56.1 arasında bulunmuştur. Polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarları, antioksidan kapasiteleri ve renk değerleri arasında istatistik fark önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Arı poleninin fizikokimyasal özellikleri üzerine yapılmış olan bir çalışmada, polenlerin L* renk değeri ortalama 74.5, a* renk değeri ortalama 4.2 ve b* renk değeri ise ortalama 30.8 olarak bulunmuştur (Yook ve ark., 1998).

Morais ve ark. (2011) tarafından arı polenlerinin palinolojik kaynağı, fenolik içeriği, antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerini belirlemek için yapılan bir çalışmada, Portekiz'in 5 farklı bölgesinden polen örnekleri alınmış ve bu örneklerde toplam fenolik madde miktarı 10.5 – 16.8 mg GAE/g arasında ve antioksidan aktivitesi de (DPPH) 2.16 – 5.87 mg/ml arasında tespit edilmiştir. Farklı lokasyonlardan elde edilen polenlerin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasiteleri arasında önemli istatistik fark tespit edilmiştir ($P<0.05$).

Arı polenlerinin biyolojik aktiviteleri üzerine yapılan bir çalışmada, Portekiz ve İspanya'dan 8 adet polen örneği alınmış ve bu polenlerin toplam fenolik madde miktarı 18.55 – 32.15 mg GAE/g arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 3.32 – 6.69 mg/mg ekstrakt arasında bulunmuştur. Polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasiteleri arasında istatistik fark önemli ($P<0.05$) bulunmuştur (Pascoal ve ark., 2014)

Morais ve ark. (2011) ve Pascoal ve ark. (2014) arı poleninin fenolik içeriği dolayısıyla iyi antioksidan aktiviteye sahip olduğunu, bu nedenle sağlıklı bir besin kaynağı oluşturduğunu ve serbest radikallerin neden olduğu hastalıkların önlenmesinde faydalı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Feas ve ark. (2012) tarafından arı polenlerinin botanik kaynağı, besin değeri, biyoaktif bileşikleri, antioksidan aktivitesi ve mikrobiyolojik kalite özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada Portekiz'de 22 polen örneğinde kül miktarı

% 2 – 4 arasında, toplam fenolik madde miktarı 12.9 – 19.8 mg GAE/g arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 3.1 – 5.9 mg/ml arasında belirlenmiştir.

Arı polenlerinin antioksidan aktivitesinin belirlenmesi ile ilgili Venezuela'da yapılan bir çalışmada, polen örneklerinde toplam fenolik madde miktarı 396.7 – 1286.7 mg GAE/100g arasında ve antioksidan kapasitesi 0.39 – 1.89 µmol TEAC/100g arasında tespit edilmiştir (Perez-Perez ve ark., 2012).

Gabriele ve ark. (2015) tarafından farklı botanik kökenli arı polenlerinin kimyasal bileşimi ve antioksidan aktivitesi ile ilgili İtalya'da yapılan bir çalışmada monofloral ve karışık polen örnekleri kullanılmıştır. Bu örneklerde kül oranı % 2.55 – 2.85 arasında, toplam fenolik madde miktarı 13.53 - 24.75 mg GAE/g arasında ve antioksidan kapasitesi (DPPH) 215.2 – 641.3 µg/ml arasında belirlenmiş, polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasiteleri arasında önemli istatistik fark tespit edilmiştir ($P<0.01$).

Taha (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, polen örneklerinin kül miktarı % 1.88 ile 3.88 arasında tespit edilmiş ve kül miktarı bakımından farklı bitkilerden elde edilen polenler arasında önemli istatistik fark bulunmuştur ($P<0.01$). Araştırmacı arı tarafından toplanan polenin kimyasal kompozisyonunun, polenin toplandığı bitki türleri ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

De Arruda ve ark. (2013) arı polenlerinin B kompleks vitaminleri, fizikokimyasal ve botanik kompozisyonu ile ilgili Brezilya'da yapmış oldukları bir çalışmada, örneklerin kül miktarını % 2.77 - 3.24 arasında bulmuşlardır.

Kostic ve ark. (2015), arı poleninin fiziko-kimyasal özellikleri ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, 26 adet polen örneğinde kül miktarını % 1.18 – 3.32 arasında tespit etmişler; yapılan başka bir çalışmada ise (Fuenmayor ve ark., 2014), polen örneklerinin kül miktarı % 1.5 – 3.2 arasında belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Konya ili 36°41' ile 39°16' kuzey enlemleri arasında ve 31°14' ile 34°26' doğu boylamları arasında yürütülmüştür. Konya'nın ortalama rakımı 1.016 m'dir ve 38.873 km^2 yüzölçümü ile Türkiye'nin en büyük ilidir (Anonim, 2018b).

Konya'da karasal iklim hüküm sürmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Türkiye'nin en az yağış alan ilidir ve en yağışlı aylar nisan ve mayıstır. Konya'da en soğuk ay ocak, en sıcak ay temmuz olup, uzun yıllar ocak ayı sıcaklık ortalaması -0.2 °C ve temmuz ayı sıcaklık ortalaması ise 23.5 °C'dir (Anonim, 2018a).

Konya'da hakim rüzgar yönü kuzeydir. Araştırmada veri alınan 2018 yılı Mayıs-Ağustos aylarında Konya'da toplamda % 67 oranında kuzeyli (% 39 kuzey, % 13 kuzey doğu ve % 15 kuzey batı) rüzgarlar görülmüştür (Anonim, 2019c).

3.1. Deneme Bölgeleri (Lokasyonlar)

2018 yılı Nisan ayı içerisinde, Konya'da şehir merkezi çevresinde 4 farklı bölgeye (Selçuklu İlçesi-Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Hayvancılık Araştırma ve Uygulama Çiftliği, Karatay İlçesi-Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Meram İlçesi-Hasanköy Mahallesi ve Selçuklu İlçesi-Sille Ak Mahalle) 5'er adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Yine Nisan ayında kırsal alanda 4 farklı bölgeye (Selçuklu İlçesi-Yükselen Mahallesi, Karapınar İlçesi-Erezyon Sahası, Hadim İlçesi ve Seydişehir İlçesi) 5'er adet bal arısı kolonisi olmak üzere 8 farklı yere (Şekil 3.1.) toplam 40 adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir.

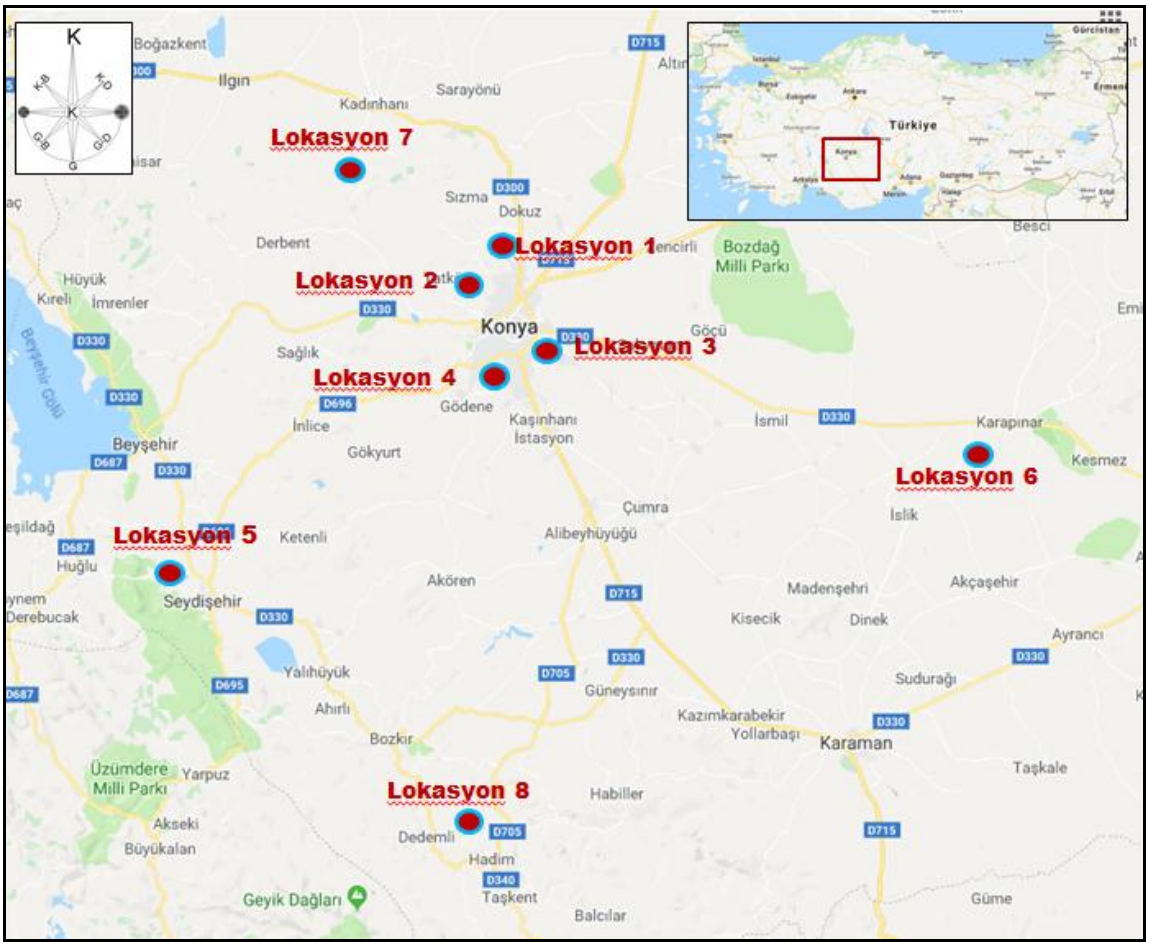
Arı kolonisi yerleştirilen her bir bölge "**lokasyon** (lokasyon 1, lokasyon 2, … ve lokasyon 8)" olarak ifade edilmiştir. Tüm lokasyonlarda flora yapısı multifloraldır. Lokasyonlar hakkında bazı bilgiler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Şehir çevresindeki bölgelere yerleştirilen arı kolonilerinin tüm bakım ve kontrolleri tarafımızdan yapılmış, kırsal alana yerleştirilen kolonilerin rutin bakım ve kontrolleri için ilgili bölgelerdeki birer arıcıdan destek alınmıştır.

3.2. Kovan ve Koloni Özellikleri

Araştırmada Langstroth tip plastik tabanlı ve polen tuzaklı arı kovanları (Şekil 3.2.) kullanılmıştır. Koloniler yeni kabartılmış petekli, 8 adet çerçeve arılı olacak

şekilde düzenlenmiş, bir yıllık yaşta ana arılı koloniler kullanılmış ve kolonilere ilave besleme yapılmamıştır.



Şekil 3.1. Bal arısı kolonilerinin bulunduğu lokasyonlar (deneme bölgeleri)



Şekil 3.2. Araştırmada kullanılan Langstroth tip, polen tuzaklı arı kovanları

Çizelge 3.1. Bal arısı kolonilerinin koyulduğu lokasyonların bazı özellikleri

Lokasyonlar (Deneme Bölgeleri)	Yeri	Enlem, Boylam ve Yüksekliği*	Genel Bazı Özellikleri
Lokasyon 1	Selçuklu İlçesi, Akademi Mah., S.Ü. Ziraat Fak. Hayvancılık Araştırma ve Uygulama Çiftliği	38°02'05" K 32°30'10" D 1180 m	Şehir çevresi lokasyonu. Şehrin kuzey tarafında, şehrin hakim rüzgar yönünde, tarımsal faaliyet çok az yapılmakta, Konya-Afyonkarahisar karayolunun 1210 m uzağında ve batısında, Ardıçlı ve Yükselen Mah. yolunun 180 m uzağında ve kuzeyinde, yakınında sanayi tesisi vs bulunmamaktadır.
Lokasyon 2	Selçuklu İlçesi, Sille Ak Mah. (Sille Mah. ve Sille Barajı Yolu Üzeri)	37°55'12" K 32°26'10" D 1140 m	Şehir çevresi lokasyonu. Şehrin kuzey batı tarafında, şehrin hakim rüzgar yönünde, tarımsal faaliyet çok az yapılmakta, Konya-Isparta karayolunun 4300 m uzağında ve kuzeyinde, Sille Mah. yolunun 170 m uzağında ve batısında, yakınında sanayi tesisi vs bulunmamaktadır.
Lokasyon 3	Karatay İlçesi, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü. (Ereğli Yolu Üzeri)	37°51'07" K 32°33'33" D 1010 m	Şehir çevresi lokasyonu. Şehrin güneydoğusu-sanayi bölgelerinin güneybatısı tarafında, hakim rüzgar yönü sanayi bölgeleri tarafından, tarımsal faaliyet yapılmakta, Konya-Ereğli karayolunun 1800 m uzağında ve güneyinde, Konya-Karaman-Antalya çevre yolunun 1300 m uzağında ve doğusundadır.
Lokasyon 4	Meram İlçesi, Hasanköy Mahallesi	37°49'12" K 32°28'45" D 1027 m	Şehir çevresi lokasyonu. Şehrin güney tarafında, hakim rüzgar yönü şehir tarafından, yakınında olmamakla birlikte hakim rüzgar yönünde sanayi tesisleri bulunmakta, tarımsal faaliyet yapılmakta, Konya-Antalya karayolunun 1000m uzağında ve güneyinde, Konya-Karaman karayolunun 3400 m uzağında ve batısındadır.
Lokasyon 5	Seydişehir İlçesi, Bahçelievler Mah.	37°28'16" K 31°48'56" D 1131 m	Kırsal alan lokasyonu. Tarımsal faaliyet az miktarda yapılmakta, Konya-Antalya karayolunun 4600 m uzağında ve kuzeybatısında, Seydişehir-Beyşehir karayolunun 700 m batısında, sanayi kuruluşu olarak 3750 m uzağında ve güney doğusunda sadece alüminyum işleme tesisi bulunmaktadır.
Lokasyon 6	Karapınar İlçesi, Erezyon Bölgesi Ağaçlandırma Sahası	37°42'05" K 33°31'20" D 1003 m	Kırsal alan lokasyonu. Tarımsal faaliyet az miktarda yapılmakta, Konya-Ereğli karayolunun 1400 m uzağında ve güneyinde, yakınında sanayi tesisi vs bulunmamaktadır.
Lokasyon 7	Selçuklu İlçesi, Yükselen Mah., Kale Mevkii	38°05'07" K 32°16'45" D 1630 m	Kırsal alan lokasyonu. Tarımsal faaliyet çok az yapılmakta, yakınında karayolu, sanayi tesisi vs bulunmamaktadır.
Lokasyon 8	Hadim İlçesi, Karabük Mevkii	36°58'38" K 32°22'51" D 1775 m	Kırsal alan lokasyonu. Tarımsal faaliyet çok az yapılmakta, yakınında karayolu, sanayi tesisi vs bulunmamaktadır.

*(Anonymous, 2019d), K: Kuzey, D: Doğu, m: metre

3.3. Örneklerin Alınması ve Muhafazası

Polen: Mayıs ve Haziran ayları içerisinde 15 günde bir üç kez kovanların polen tuzakları kullanılarak/aktif hale getirilerek polen toplanmış ve toplanan polenler güneş ışığı almayan bir ortamda kurutulmuştur (Şekil 3.3.). Her bir koloniden bir seferde toplanıp kurutulan 25'er g (toplam 75 g) polen alınıp karıştırılarak cam kavanozlara koyulmuş (Şekil 3.4.) ve analize kadar -18 ^{o}C'de muhafaza edilmiştir.

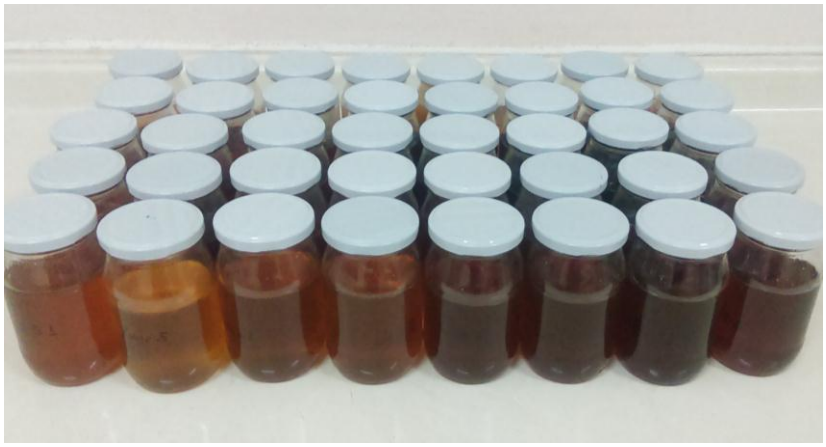


Şekil 3.3. Polen örneklerinin kurutulması



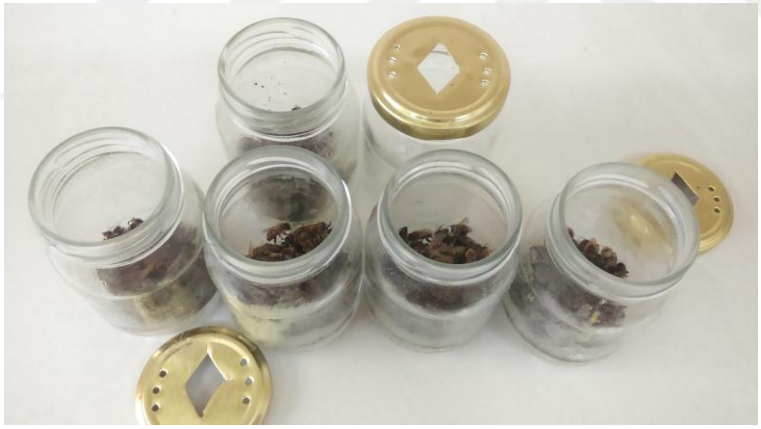
Şekil 3.4. Araştırmada kullanılan polen örnekleri

Bal: Arı kolonilerinin bulunduğu bölgelere göre değişmekle birlikte, 15 Temmuz - 15 Ağustos tarihleri arasında her bir koloninin balları körük/duman kullanılmadan ayrı ayrı hasat edilmiş ve her koloniden yaklaşık 500'er g bal cam kavanozlara koyulmuş (Şekil 3.5.), ballar analize kadar oda sıcaklığında ve karanlık ortamda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan bal örnekleri

Bal Arısı: 15 Ağustostan sonra, öğleden önce (saat 09:00 – 10:00 gibi) her bir koloninin giriş deliği kapatılmış, tarladan dönen 30 adet işçi arı plastik eldiven kullanılarak kovan girişinde yakalanmış ve cam kavanozlara koyulmuş (Şekil 3.6.), örnekler analize kadar -18 ^{o}C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan bal arısı örnekleri

3.4. Örneklerin Analizi

Ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) analizleri bal, polen ve bal arısı örneklerinde; renk, kül, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi analizleri bal ve polen örneklerinde; suda çözünür kuru madde, refraktif indeks, nem, pH, elektriksel iletkenlik ve serbest asitlik analizleri ise sadece bal örneklerinde yapılmıştır.

3.4.1. Ağır metallerin analizi

Oda sıcaklığında kurutulup -18 ^{o}C'de muhafaza edilen polen, homojen bir numune elde etmek için öğütülmüştür (Kaçar ve İnal, 2008).

Öğütülen polen numuneleri ve -18 ^{o}C'de muhafaza edilen arı örneklerinden yaklaşık 2'şer g alınıp analizde kullanmadan önce sabit ağırlığa gelinceye kadar 70°C'de etüvde (hava sirkülasyonlu kurutma dolabı) kurutulmuşlardır. Etüvde kurutma işlemi sonrası her bir lokasyondan elde edilen örneklerde farklı olmakla birlikte, polen örneklerinde ortalama % 4.92'lik, bal arısı örneklerinde ise ortalama % 68.88'lik ağırlık kaybı tespit edilmiştir.

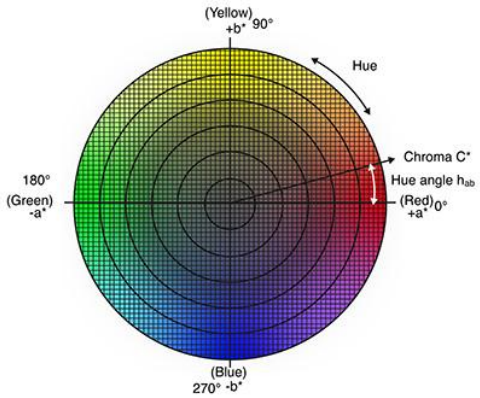
Ağır metallerin analizinde tüm lokasyonlardan elde edilen 5'er adet bal, polen ve arı (bütün arı olarak) numunelerinden ısıya dayanıklı teflon kaplar içine 0,2 g tartılmış, tartılan örneklerin üzerlerine 5 ml konsantre HNO_3 (Nitrit Asit) ve 2 ml H_2O_2 (Hidrojen Peroksit) (% 30 w/v) ilave edilmiş ve örnekler mikro dalga cihazında (Cem MARSXpress) yüksek ısı (210 °C) ve basınç (200 PSI) altında çözdürülmüştür. Analizin güvenilirliğini sağlamak için 40 hücrelik mikrodalga seti içerisine 1 kontrol (boş) ve 1 sertifikalı referans materyal (Peach Leaves, NIST, SRM 1547) ilave edilmiştir. Çözdürülen numunelerin hacimleri deiyonize su ile 20 ml'ye tamamlanıp mavi bantlı filtre kâğıdıyla süzülerek buzdolabında +4°C'de okuma yapılıncaya kadar muhafaza edilmiştir.

Örneklerin ağır metal içerikleri (toplam Pb, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni, Mn ve Fe) ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, Varian-Vista Model, Axial) cihazı ile tespit edilmiştir (USDA, 2004). Yapılan okuma sonucu elde edilen ham sonuçlar (okuma değerleri) her örnek için belirlenen katsayı (yakma sonrası tamamlanan hacim/başlangıçtaki örnek ağırlığı) ile çarpılmış ve böylece örnek içindeki element miktarları tespit edilmiştir. Örneklerin element miktarları Cd ve Cr için µg/kg cinsinden, diğer elementler için ise mg/kg cinsinden verilmiştir.

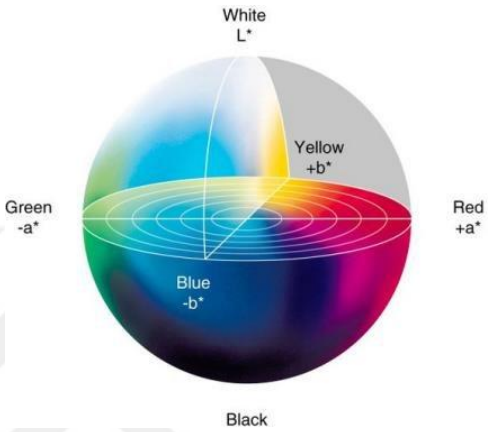
3.4.2. Renk tayini

Sekiz farklı lokasyondan elde edilen 5'er adet bal ve polen örneklerinin renk değerleri (L*, a*, b*, h ve C*) MINOLTA CM-5 (Japonya) model kolorimetre ile belirlenmiştir. Bal örneklerinde cihazın 10 mm'lik cam küveti (CM-A131), öğütülmüş polen örneklerinde ise cihazın petri kutusu/ölçüm hücresi (CR-A502) kullanılarak renk

ölçümleri yapılmıştır. L* (lightness, renk aydınlığı, 100: beyaz, 0: siyah), a* (+: kırmızı; -: yeşil), b* (+: sarı; -: mavi), C* (chroma, renk parlaklığı veya renk doygunluğu, +: parlak, –: mat veya soluk) ve h (hue açı) değerleri belirlenmiştir. Renk tayininden önce cihaz beyaz referans bir tabaka ile kalibre edilmiştir (Akbulut ve Coklar, 2008; Sağlam, 2015). Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de CIE renk alanı renksellik diyagramı ve küresi verilmiştir.



Şekil 3.7. CIE renk alanı renksellik diyagramı (Anonymous, 2019c)



Şekil 3.8. CIE renk alanı renksellik küresi (Anonymous, 2019b)

3.4.3. Briks (suda çözünür kuru madde)

Her bir lokasyondan elde edilen 5'er adet bal numunelerinin suda çözünür kuru madde miktarının belirlenmesi, refraktometre (Atago HSR-500) yardımıyla, 20 ± 2ºC sabit sıcaklıkta yapılmıştır. Bunun için analiz numunesinden bir miktar alınıp refraktometrenin prizması üzerine konulup, hava kabarcığı kalmayacak şekilde kapağı kapatılmış ve okuma yapılmıştır (Cemeroğlu, 1992).

3.4.4. Refraktif indeks

Sekiz farklı lokasyondan elde edilen 5'er adet bal örneğinin refraktif indeksi refraktometre (Atago, Japan) kullanılarak 20 ± 2 ºC sabit sıcaklıkta belirlenmiştir (AOAC, 1990).

3.4.5. Nem miktarı

Tüm lokasyondan elde edilen 5'er adet bal örneğinin % nem miktarının belirlenmesinde elde edilen refraktif indeks değerleri kullanılmış, indeks değerin karşılığı olan nem içeriği Wedmore tablosuna bakılarak verilmiştir (AOAC, 1990).

3.4.6. pH

Her bir lokasyondan elde edilen 5'er adet bal örneğinin pH değerlerini belirlemek için 10 g bal örneği saf su ile 50 g'a tamamlanarak (% 20'lik çözelti) manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmış ve WTW inoLab 720 (Weilheim, Almanya) cihazı kullanılarak pH değeri belirlenmiştir (AOAC, 1990).

3.4.7. Serbest asitlik

Farklı lokasyondan elde edilen 5'er adet bal örneğinin serbest asitliğini belirlemek için 10 g bal örneği saf su ile 50 g'a tamamlanarak %20'lik bal çözeltisi hazırlanmış, çözelti manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmış ve bal çözeltisi % 0.05 N (normal, normalite) NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile pH değeri 8.1 oluncaya kadar WTW inoLab 720 (Weilheim, Almanya) cihazı kullanılarak titre edilmiştir. Harcanan baz çözeltisi miktarından titrasyon asitliği, sitrik asit cinsinden hesaplanmıştır (AOAC, 1990; Cemeroğlu, 1992).

3.4.8. Elektriksel iletkenlik

Tüm lokasyondan elde edilen 5'er adet bal numunelerinin elektriksel iletkenliğinin belirlenmesi için 7 g bal saf su ile 35 g'a tamamlanarak % 20'lik bal çözeltisi hazırlanmıştır. WTW inoLab Ph/Cond Level 1 (Weilheim, Almanya) cihazı ile okuma yapılmış ve sonuçlar µS/cm olarak verilmiştir (AOAC, 1990).

3.4.9. Kül

Her bir lokasyondan elde edilen 5'er adet bal ve polen örneklerinin kül miktarlarının belirlenmesi için, porselen krozelere örneklerden 3'er g tartılmıştır.

Sıcaklığı ayarlanabilen kül fırınında (Nüve MF 120 Ankara, Türkiye) 550 ± 25 ºC'de örneklerin yakılmasıyla kül miktarları % olarak belirlenmiştir (AOAC, 1990).

3.4.10. Toplam fenolik madde

Toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemine göre belirlenmiştir.

Farklı lokasyonlardan elde edilen 5'er adet bal numunelerinden 2 g bal, saf su ile 20 g'a tamamlanarak seyreltilmiştir. Farklı lokasyonlardan elde edilen 5'er adet polen numunelerinden ise, 0,1 g alınıp 25 ml metanol ilave edilerek ultrasonik olarak ekstrakte edilmiş (% 50 güç, 35 kHz frekans, 37 ^{o}C'de 25 dk) ve 8000 rpm'de 5 dk santrifüj edilerek süpernatant alınmıştır.

Bal çözeltisi ve polen ekstraktlarından 250 µl alınarak üzerine 1250 µl 0.2 N Folin- Ciocalteu reaktifi ve 1000 µl $NaCO_3$ (sodyum karbonat) çözeltisi (75 g/L) ilave edilmiştir. Oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 2 saat inkübasyondan sonra 765 nm dalga boyunda saf suya karşı absorbans değeri okunmuştur. Sonuçlar hazırlanan gallik asit standardı kurvesine göre hesaplanmış ve bal örnekleri mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/kg olarak polen örnekleri ise mg GAE/g olarak verilmiştir (Singleton ve Rossi, 1965).

3.4.11. Antioksidan kapasitesi (DPPH)

Antioksidan kapasitesi analizi DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radikalinin bal örneğindeki antioksidan etkili bileşiklerce indirgenmesi sonucunda, 515 nm dalga boyundaki absorbans farkı sayesinde belirlenmiştir. Antioksidan kapasite analizinde her bir lokasyondan elde edilen 5'er adet bal ve polen örneği kullanılmıştır. Seyreltilmiş bal ve ekstrakte edilmiş polen örneklerinden 0.1 ml alınarak üzerine 3.9 ml DPPH çözeltisi ilave edilmiştir. 30 dk sonra 515 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuş ve sonuçlar hazırlanan troloks standardı kurvesine göre hesaplanarak mmol troloks eşdeğeri (TE)/kg olarak verilmiştir (Akbulut ve Coklar, 2008).

3.5. İstatistik Analizler

Sekiz adet farklı lokasyondan alınan 5'er adet bal arısı, bal ve polen örneklerinde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) miktarları belirlenmiştir. Ayrıca bal örneklerinde renk, kül, elektriksel iletkenlik, pH, serbest asitlik, briks, refraktif indeks, nem, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi ve polen örneklerinde de renk, kül, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi gibi bazı fiziko-kimyasal özellikler tespit edilmiştir.

Çalışma, tesadüf parselleri deneme tertibinde yürütülmüştür. Elde edilen verilere tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) uygulanmıştır. Gruplar arası farklılıkların belirlenmesi için Tukey testi kullanılmıştır. İstatistik analizler Minitab 16 paket programı yardımıyla yapılmıştır. Farklı lokasyonlardan elde edilen tüm örneklerin element değerleri ve fiziko-kimyasal özellik değerlerinin ortalamaları ve standart hataları araştırma sonuçları ve tartışma kısmında tablolarda verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Ağır Metal Analiz Sonuçları

4.1.1. Bal örneklerinde ağır metal sonuçları

Çalışmamızda 8 farklı lokasyondan elde edilen bal örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn ortalama değerleri ve standart hataları çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bal örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn içerikleri (Cd ve Cr µg/kg, diğerleri mg/kg; $\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Cd	Cr	Cu	Fe
Lokasyon 1	6.509±0.642	43.63 ± 3.634^{BC}	0.676 ± 0.073^{ABC}	6.880 ± 0.711^{B}
Lokasyon 2	5.849±0.853	42.77 ± 1.679^{BC}	0.950 ± 0.073^{A}	6.753 ± 0.580^{B}
Lokasyon 3	6.625±0.701	67.01 ± 6.194^{A}	0.612 ± 0.037^{BC}	10.000 ± 1.076^{AB}
Lokasyon 4	6.898±0.447	60.40 ± 4.943^{AB}	0.821 ± 0.050^{AB}	14.500 ± 1.577^{A}
Lokasyon 5	5.803±0.574	39.13 ± 1.864^{C}	0.541 ± 0.054^{BC}	7.915 ± 0.922^{B}
Lokasyon 6	4.861±0.645	42.57 ± 4.007^{BC}	0.446 ± 0.034^{C}	6.266 ± 0.514^{B}
Lokasyon 7	4.301±0.682	36.85 ± 3.217^{C}	0.395 ± 0.031^{C}	6.744 ± 0.656^{B}
Lokasyon 8	4.816±0.339	27.70 ± 2.187^{C}	0.533 ± 0.055^{BC}	6.326 ± 0.819^{B}

Çizelge 4.1.'in devamı

Lokasyon	Mn	Ni	Pb	Zn
Lokasyon 1	1.270 ± 0.116^{A}	0.185 ± 0.010^{ABC}	0.102±0.007	1.289 ± 0.071^{AB}
Lokasyon 2	0.712 ± 0.030^{C}	0.203 ± 0.012^{AB}	0.115±0.007	1.378 ± 0.069^{AB}
Lokasyon 3	0.784 ± 0.050^{BC}	0.216 ± 0.016^{A}	0.118±0.010	1.606 ± 0.114^{A}
Lokasyon 4	1.152 ± 0.110^{AB}	0.210 ± 0.021^{AB}	0.118±0.014	1.635 ± 0.116^{A}
Lokasyon 5	0.694 ± 0.058^{C}	0.137 ± 0.015^{BCD}	0.079±0.010	1.159 ± 0.054^{B}
Lokasyon 6	0.520 ± 0.058^{C}	0.137 ± 0.014^{BCD}	0.092±0.007	1.039 ± 0.070^{B}
Lokasyon 7	0.564 ± 0.041^{C}	0.124 ± 0.010^{CD}	0.079±0.005	1.148 ± 0.075^{B}
Lokasyon 8	0.710 ± 0.071^{C}	0.106 ± 0.011^{D}	0.073±0.009	1.158 ± 0.025^{B}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: $P<0.01$).

4.1.1.1. Kadmiyum (Cd)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Cd değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Lokasyonlarda Cd içeriği, 4.301 ile 6.898 µg/kg arasında değişiklik göstermektedir ve bal örneklerinin Cd içeriği bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal örneklerinin Cd değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.006 – 0.097 µg/kg değerlerinden, Pisani ve ark. (2008)' nın 1.92 – 4.25 µg/kg değerlerinden ve Manu Kumar ve ark. (2013)'nın 0 – 3 µg/kg değerlerinden

yüksek; Fredes ve Montenegro (2006)'nun 10 – 50 µg/kg değerlerinden, Przybylowski ve Wilczynska (2001)' nın 8 - 27 µg/kg değerlerinden ve Roman (2010)'ın 40 – 70 µg/kg değerlerinden düşük; Ahmida ve ark. (2013)'nın 4 – 5 µg/kg değerleri, Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'u 5 – 10 µg/kg değerleri ve Bogdanov ve ark. (2007)'nın 0 – 8 µg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Bazı araştırıcılar (Silici ve ark., 2016; Boussaid ve ark., 2018; El-Haskoury ve ark., 2018) ise çalışmalarında Cd tespit edememişlerdir.

Bu araştırmada lokasyonlar arasında bal örneklerinin Cd içeriği bakımından istatistik fark bulunmamakla birlikte, şehir çevresi lokasyonlarından elde edilen bal örneklerinin Cd içeriği mutlak olarak, kırsal alan lokasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Arslan ve Arıkan (2014)'ın arı ürünlerindeki ağır metal birikimine karayolundan uzaklığın etkisinin araştırıldığı çalışmalarında, en yüksek Cd miktarı karayoluna yakın istasyonlardan alınan bal örneklerinde tespit edilmiştir ($P<0.05$).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne göre (Anonim, 2011), Cd farklı sebzeler ve meyveler için en yüksek 0.05 ile 0.2 mg/kg değerlerinde ve farklı gıda takviyeleri için ise en yüksek 1.0 mg/kg ile 3.0 mg/kg değerlerinde olmalıdır. Çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin Cd değerleri bu değerlerden oldukça düşük bulunmuştur.

4.1.1.2. Krom (Cr)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Cr değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Cr içeriği, 67.01 µg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş; lokasyon 3 ile lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Cr içeriği, 27.70 µg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş; lokasyon 8 ile lokasyon 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$) fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal örneklerinin Cr değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 3.05 – 23.05 µg/kg değerlerinden, Tuzen ve ark. (2007)'nın 2.4 – 37.9 µg/kg değerlerinden ve Gül (2008)'ün 10 - 40 µg/kg değerlerinden yüksek; Yarsan ve ark. (2007)'nın 170 – 370 µg/kg değerlerinden, Leblebici ve Aksoy (2008)'un 90 – 1890 µg/kg değerlerinden ve Fredes ve Montenegro (2006)'nun 30 - 1920 µg/kg değerlerinden düşük; Conti ve Botre (2001)'nin 8.4 – 102 µg/kg değerleri ve Manu

Kumar ve ark. (2013)'nın 20 - 90 µg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Bazı araştırıcılar (Küçük ve ark., 2007; Taha ve ark., 2017) ise çalışmalarında Cr tespit edememişlerdir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Cr değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan, şehir çevresi lokasyonlarında bulunmuştur. Şehrin hakim rüzgar yönünde olan diğer iki lokasyon ve kırsal alan lokasyonlarının Cr değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Farklı lokasyonlardan elde edilen Cr değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel olduğu gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Leblebici (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, yerleşim alanlarına yakın bölgelerden alınan bal örneklerinin Cr içeriği kırsal bölgelere göre daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$).

4.1.1.3. Bakır (Cu)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Cu değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Cu içeriği, 0.950 mg/kg ile en yüksek lokasyon 2'de bulunmakla birlikte, lokasyon 2 ile lokasyon 1 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz; lokasyon 2 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Cu içeriği, 0.395 mg/kg ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile lokasyon 2 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen bal örneklerinin Cu değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.36 – 0.40 mg/kg değerlerinden, Demirezen ve Aksoy (2005)' un 0.15 – 0.66 mg/kg değerlerinden ve Gül (2008)'ün 0.09 – 0.45 mg/kg değerlerinden yüksek; Roman ve ark. (2011)'nın 0.45 – 2.43 mg/kg değerlerinden ve Ahmida ve ark. (2013)'nın 0.80 – 10.40 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 0.45 – 1.00 mg/kg değerleri, Yarsan ve ark. (2007)'nın 0.55 – 0.97 mg/kg değerleri, Roman (2010)'ın 0.40 – 1.23 mg/kg değerleri Gonzalez-Miret ve ark. (2005)'nın 0.42 – 1.60 mg/kg değerleri ve Manu Kumar ve ark. (2013)'nın 0.34 – 1.60 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Bal örneklerinde en yüksek Cu değeri şehrin hakim rüzgar yönünde olan şehir çevresindeki bir lokasyonda, en düşük Cu değerleri ise kırsal alandaki iki lokasyonda görülmekle birlikte, Cu değerleri bakımından şehir çevresi ve bazı kırsal alan lokasyonları arasında benzer değerler de bulunmuştur. Bu nedenle farklı lokasyonlardan elde edilen Cu değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel ve bitkisel

kaynaklı olabilir. Gurel ve ark. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, Cu içeriği bakımından farklı lokasyonlardan elde edilen bal örnekleri arasında önemli farklılık bulunduğu bildirilmiş (P<0.01), Demirezen ve Aksoy (2005) tarafından yapılan bir çalışmada da yerleşim alanlarına yakın bölgelerden alınan bal örneklerinin Cu içeriği kırsal bölgelere göre daha yüksek bulunmuştur (P<0.01). Silici ve ark. (2016) Muğla'da termik santral çevresinde ağır metal kontaminasyonunu belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada ise, termik santrale farklı mesafeleden alınan bal örneklerinin Cu değerleri arasında istatistik farklılık tespit edilmemiştir.

4.1.1.4. Demir (Fe)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Fe değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Fe içeriği, 14.500 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Fe içeriği, 6.266 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile sadece lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş (P<0.01), lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal örneklerinin Fe değerleri, Fredes ve Montenegro (2006)'nun 0.10 – 6.36 mg/kg değerlerinden, Gonzalez-Miret ve ark. (2005)'nın 1.84 – 5.60 mg/kg değerlerinden, El-Haskoury ve ark. (2018)'nın 0.71 – 4.68 mg/kg değerlerinden ve Gül (2008)'ün 1.99 – 6.10 mg/kg değerlerinden yüksek; Taha ve ark. (2017)'nın 13.00 – 44.00 mg/kg değerlerinden düşük; Silici ve ark. (2016)'nın 8.09 – 10.20 mg/kg değerleri, Citak ve ark. (2012)'nın 1.57 – 14.0 mg/kg değerleri ve Manu Kumar ve ark. (2013)'nın 4.45 – 12.99 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında Fe değeri en yüksek, şehir çevresi lokasyonlarından birisi ve hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan lokasyon 4'te bulunmuştur. Lokasyon 4'e benzerlik gösteren ve yine şehir çevresi lokasyonlarından birisi olan lokasyon 3 ve diğer lokasyonlar arasında ise farklılık bulunmamaktadır. Bu nedenle bal örneklerinde lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi çevresel ve bitkisel kaynaklı olabilir. Gurel ve ark. (1998) yaptıkları bir çalışmada, Fe konsantrasyonu bakımından farklı lokasyonlardan elde edilen bal örnekleri arasında önemli farklılık bulunduğunu bildirmişlerdir (P<0.01). Leblebici (2006) tarafından yapılan bir çalışmada da, şehir merkezine yakın lokasyonlardan alınan bal örneklerinin Fe içeriği şehir merkezine uzak

lokasyonların Fe içeriğinden daha yüksek bulunmuş ve Fe içeriği bakımından lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.05$).

4.1.1.5. Mangan (Mn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Mn değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Mn içeriği, 1.270 mg/kg ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş; lokasyon 1 ile lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Mn içeriği, 0.520 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 6 ile lokasyon 1 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen bal örneklerinin Mn değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.17 – 0.37 mg/kg değerlerinden, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.59 – 0.75 µg/kg değerlerinden ve Citak ve ark. (2012)'nın 0.10 – 0.82 mg/kg değerlerinden yüksek; Bogdanov ve ark. (2007)'nın 0.125 – 4.440 mg/kg değerlerinden, Gonzalez-Miret ve ark. (2005)'nın 1.23 – 8.76 mg/kg değerlerinden ve Küçük ve ark. (2007)'nın 0.59 – 9.69 mg/kg değerlerinden düşük; Leblebici (2006)'nin 0.02 – 1.56 mg/kg değerleri ve Pisani ve ark. (2008)'nın 0.19 – 1.70 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında Mn değerleri en yüksek, şehir çevresindeki iki lokasyonda tespit edilmiş, bu lokasyonlardan birisi (lokasyon 1) şehrin hakim rüzgar yönünde diğer lokasyonun (lokasyon 4) ise hakim rüzgar yönü şehir tarafındandır. Diğer şehir çevresi ve kırsal alan lokasyonlarından elde edilen bal örneklerinin Mn değerleri ise benzer bulunmuştur. Bu nedenle bal örneklerinde Mn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebinin çevresel ve bitkisel kaynaklı olabileceği tahmin edilmektedir. Arslan ve Arıkan (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, karayolundan farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden elde edilen bal örneklerinin Mn değerleri arasında önemli farklılık tespit edilmemiştir.

4.1.1.6. Nikel (Ni)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Ni değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Ni değeri, lokasyonlar içerisinde 0.216 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te

tespit edilmiş; lokasyon 3 ile lokasyon 1, 2 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunurken, lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Ni değeri, 0.106 mg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 8 ile lokasyon 5, 6 ve 7 arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz, lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen bal örneklerinin Ni değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.035 – 0.145 mg/kg değerlerinden, Citak ve ark. (2012)'nın 0.012 – 0.115 mg/kg değerlerinden ve El-Haskoury ve ark. (2018)'nın 0.02 – 0.15 mg/kg değerlerinden yüksek; Demirezen ve Aksoy (2005)'un 0.2 – 0.8 mg/kg değerlerinden, Yarsan ve ark. (2007)'nın 0.24 – 1.63 mg/kg değerlerinden ve Gül (2008)'ün 0.15 – 0.67 mg/kg değerlerinden düşük; (Nisbet ve ark., 2013)'nın 0.12 – 0.17 mg/kg değerleri ve (Boussaid ve ark., 2018)'nın 0.04 – 0.40 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Bal örneklerinde lokasyonlar arasında en yüksek Ni değerleri, şehir çevresi lokasyonlarından elde edilmiş, en düşük değerler ise kırsal alan lokasyonlarından elde edilmiştir. Bu nedenle bal örneklerinde Ni değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebinin çevresel kirlenmeden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Taha ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada, çimento fabrikasına farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden aldıkları bal örneklerinde, Ni değerleri bakımından fabrikaya uzaklığın etkisini istatistiki olarak önemli bulmuşlar ($P<0.05$); Demirezen ve Aksoy (2005) tarafından yapılan bir çalışmada da yerleşim alanlarına yakın bölgelerden alınan bal örneklerinin Ni içeriği kırsal bölgelere göre daha yüksek belirlenmiştir ($P<0.01$).

4.1.1.7. Kurşun (Pb)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Pb değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Lokasyonlarda Pb içeriği, 0.073 ile 0.118 mg/kg arasında değişiklik göstermektedir ve bal örneklerinin Pb içeriği bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen bal örneklerinin Pb değerleri, Conti ve Botre (2001)'nın 0.003 – 0.045 mg/kg değerlerinden, Roman (2010)'ın 0.05 – 0.07 mg/kg değerlerinden ve Ahmida ve ark. (2013) 'nın 0.02 - 0.06 mg/kg değerlerinden yüksek; Yahya ve ark. (2013)'nın 0.08 – 1.59 mg/kg değerlerinden, Roman ve ark. (2011)'nın 0.17 – 1.90 mg/kg değerlerinden ve Gül (2008)'ün 0.15 – 0.77 mg/kg değerlerinden

düşük; Tuzen ve ark. (2007)'nın 0.008 – 0.108 mg/kg değerleri, Fredes ve Montenegro (2006)'nun 0.01 – 0.11 mg/kg değerleri, Pisani ve ark. (2008)'nın 0.050 – 0.094 mg/kg değerleri ve Manu Kumar ve ark. (2013)'nın 0.08 – 0.11 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Bazı araştırıcılar (Taha ve ark., 2017; El-Haskoury ve ark., 2018) ise çalışmalarında Pb tespit edememişlerdir.

Bu çalışmada lokasyonlar arasında bal örneklerinin Pb içeriği bakımından istatistik fark bulunmamakla birlikte, şehir çevresi lokasyonlarından elde edilen bal örneklerinin Pb içeriği mutlak olarak, kırsal alan lokasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Roman (2010)'ın yaptığı bir çalışmada yerleşim yerlerinden elde edilen bal örneklerinin Pb içeriği, tarım ve ormanlık alanlardan elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$).

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne göre (Anonim, 2011) Pb, süt ve bebek formülleri için en yüksek 0.02 mg/kg, farklı sebzeler ve meyveler için en yüksek 0.1 ile 0.3 mg/kg değerlerinde ve gıda takviyeleri için ise en yüksek 3.0 mg/kg olmalıdır. Çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin Pb değerleri bu değerlerden oldukça düşük bulunmuştur.

4.1.1.8. Çinko (Zn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin Zn değerleri Çizelge 4.1. de verilmiştir. Zn içeriği, 1.635 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile lokasyon 1, 2 ve 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Zn içeriği, 1.039 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada çalışmada elde edilen bal örneklerinin Zn değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.15 – 0.30 mg/kg değerlerinden, Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.35 – 0.79 mg/kg değerlerinden ve Küçük ve ark. (2007)'nın 0.54 – 0.68 mg/kg değerlerinden yüksek; Yarsan ve ark. (2007)'nın 6.24 – 11.53 mg/kg değerlerinden, Przybylowski ve Wilczynska (2001)'nın 4.17 – 22.3 mg/kg değerlerinden ve Gonzalez-Miret ve ark. (2005)'nın 3.86 – 8.82 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 0.67 – 1.50 mg/kg değerleri, Pisani ve ark. (2008)'nın 1.01 – 1.87 mg/kg değerleri ve Boussaid ve ark. (2018)'nın 0.42 – 2.06 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Zn değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan, şehir çevresi lokasyonlarında bulunmuştur. Kırsal alan lokasyonlarının Zn değeri ise bu iki lokasyona göre düşük bulunmuştur. Bu nedenle bal örneklerinde Zn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi bitkisel kaynaklı olmaktan ziyade çevresel kaynaklı olabilir. Taha ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, çimento fabrikasına farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden alınan bal örneklerinde Zn değerleri bakımından fabrikaya uzaklığın etkisi istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.05$), Gül (2008) tarafından Türkiye'de farklı bölgelerden elde edilen bal örnekleri ile yapılan bir çalışmada da, Zn içeriği bakımından bölgeler arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

4.1.2. Polen örneklerinde ağır metal sonuçları

Çalışmamızda 8 farklı lokasyondan elde edilen polen örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn ortalama değerleri ve standart hataları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Polen örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn içerikleri (Cd ve Cr µg/kg, diğerleri mg/kg; $\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Cd	Cr	Cu	Fe
Lokasyon 1	10.426±0.981	69.71±3.475^{AB}	5.600±0.378^{ABC}	73.18±5.362^{AB}
Lokasyon 2	9.848±1.514	75.51±5.626^{AB}	5.685±0.223^{AB}	80.99±6.902^{AB}
Lokasyon 3	11.304±1.331	79.36±6.060^{A}	6.355±0.288^{AB}	95.32±8.379^{AB}
Lokasyon 4	10.567±0.712	75.76±8.980^{AB}	7.275±0.473^{A}	96.95±4.494^{A}
Lokasyon 5	9.343±0.694	64.96±4.808^{AB}	5.430±0.298^{BC}	89.93±6.951^{AB}
Lokasyon 6	9.328±1.127	58.08±3.582^{AB}	3.915±0.252^{C}	72.70±5.600^{AB}
Lokasyon 7	6.535±0.771	56.47±7.630^{AB}	5.260±0.318^{BC}	61.40±5.642^{B}
Lokasyon 8	8.983±1.023	46.10±3.855^{B}	5.405±0.227^{BC}	71.45±6.923^{AB}

Çizelge 4.2.'nin devamı

Lokasyon	Mn	Ni	Pb	Zn
Lokasyon 1	19.149±0.424^{A}	0.338±0.017^{AB}	0.108±0.004^{CD}	15.10±0.757^{B}
Lokasyon 2	10.153±0.623^{C}	0.321±0.030^{AB}	0.123±0.010^{BC}	18.75±0.760^{A}
Lokasyon 3	18.603±0.846^{A}	0.370±0.036^{AB}	0.171±0.012^{AB}	20.27±0.539^{A}
Lokasyon 4	13.312±0.494^{B}	0.384±0.032^{A}	0.180±0.009^{A}	19.52±0.376^{A}
Lokasyon 5	9.789±0.716^{C}	0.247±0.027^{AB}	0.097±0.012^{CD}	17.89±0.388^{AB}
Lokasyon 6	5.356±0.299^{D}	0.284±0.037^{AB}	0.101±0.009^{CD}	11.59±0.338^{C}
Lokasyon 7	5.746±0.454^{D}	0.218±0.018^{B}	0.083±0.008^{CD}	10.25±0.197^{C}
Lokasyon 8	7.137±0.424^{CD}	0.280±0.035^{AB}	0.059±0.005^{D}	10.48±0.788^{C}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: $P<0.01$).

4.1.2.1. Kadmiyum (Cd)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Cd değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Lokasyonlarda Cd içeriği, 6.535 ile 11.304 µg/kg arasında değişiklik göstermektedir ve polen örneklerinin Cd içeriği bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen polen örneklerinin Cd değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.152 – 0.197 µg/kg değerlerinden yüksek; Conti ve Botre (2001)'nin 15 – 90 µg/kg değerlerinden, Yahya ve ark. (2013)' nın 30 – 1380 µg/kg değerlerinden ve Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 10 – 150 µg/kg değerlerinden ise düşük bulunmuştur.

Lokasyonlar arasında polen örneklerinin Cd içeriği bakımından istatistik fark tespit edilmemiş fakat şehir çevresi lokasyonlarından elde edilen polen örneklerinin Cd içeriği mutlak olarak kırsal alan lokasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Conti ve Botre (2001) yaptıkları bir çalışmada, şehir içi lokasyondan elde edilen polen örneklerinde Cd içeriğini şehir çevresi lokasyonlardan daha yüksek bulmuşlar; Arslan ve Arıkan (2014)'ın arı ürünlerindeki ağır metal birikimine karayolundan uzaklığın etkisinin araştırıldığı çalışmalarında ise, karayoluna farklı uzaklıktaki bölgelerden alınan polen örneklerinin Cd içerikleri arasındaki farklılık istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne göre (Anonim, 2011), Cd farklı sebzeler ve meyveler için en yüksek 0.05 ile 0.2 mg/kg değerlerinde ve farklı gıda takviyeleri için ise en yüksek 1.0 mg/kg ile 3.0 mg/kg değerlerinde olmalıdır. Çalışmamızda elde edilen polen örneklerinin Cd değerleri bu değerlerden düşük bulunmuştur.

4.1.2.2. Krom (Cr)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Cr değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Cr içeriği, 79.36 µg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş; lokasyon 3 ile lokasyon 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Cr içeriği, 46.10 µg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 8 ile lokasyon 3

arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş (P<0.01), fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen polen örneklerinin Cr değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 11.65 – 12.01 µg/kg değerlerinden yüksek; Conti ve Botre (2001)'nin 30 – 112 µg/kg değerlerinden düşük bulunmuştur. Taha ve ark. (2017) ise çalışmalarında Cr tespit edememişlerdir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Cr değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan, şehir çevresindeki bir lokasyonda bulunmuş, en düşük Cr değeri ise kırsal alandaki bir lokasyonda tespit edilmiştir. Polen örneklerinde farklı lokasyonlardan elde edilen Cr değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel kaynaklı olabileceği gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Conti ve Botre (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, şehir içi lokasyondan elde edilen polen örneklerinde Cr içeriği şehir çevresi lokasyonlardan daha yüksek bulunmuştur.

4.1.2.3. Bakır (Cu)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Cu değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Cu içeriği, 7.275 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile lokasyon 1, 2 ve 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Cu içeriği, 3.915 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 6 ile lokasyon 5, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli (P<0.01) bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen polen örneklerinin Cu değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.014 – 0.018 mg/kg değerlerinden yüksek; Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 6.8 – 19.0 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 4.0 – 8.1 mg/kg değerleri ve Taha (2015)'nın 4.24 – 6.97 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Polen örneklerinde en yüksek Cu değeri şehir çevresindeki bir lokasyonda, en düşük Cu değeri de kırsal alandaki bir lokasyonda görülmekle birlikte, Cu değerleri bakımından diğer şehir çevresi lokasyonları ve kırsal alan lokasyonları arasında benzer değerler bulunmuştur. Bu nedenle farklı lokasyonlardan elde edilen Cu değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel kirlenmenin bir sonucu olabileceği gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Taha ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada, çimento

fabrikasına farklı uzaklıklarda yerleştirilen kolonilerden aldıkları polen örneklerinde Cu içeriği, fabrikaya yakın örneklerde daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$). Arslan ve Arıkan (2014) tarafından yapılan başka bir çalışmada da, karayolundan farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden elde edilen polen örneklerinin Cu değerleri arasında önemli farklılık tespit edilmiş ($P<0.05$) ve karayoluna yakın istasyonlardan alınan bal örneklerinin Cu içeriği daha yüksek bulunmuştur.

4.1.2.4. Demir (Fe)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Fe değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Fe içeriği, 96.95 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 7 arasında önemli istatistik fark tespit edilmiş ($P<0.01$), lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Fe içeriği, 61.40 mg/kg ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 7 ile sadece lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen polen örneklerinin Fe değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.142 – 0.285 mg/kg değerlerinden yüksek; Taha ve ark. (2017)'nın 348 - 439 mg/kg değerlerinden ve Taha (2015)'nın 338 – 562 mg/kg değerlerinden düşük; Yahya ve ark. (2013)'nın 20.33 – 95.60 mg/kg değerleri, Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 44 – 120 mg/kg değerleri ve Fuenmayor ve ark. (2014)'nın 23.2 – 126.6 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında polen örneklerinde Fe içeriği bakımından farklılık, sadece bir şehir çevresi ve bir kırsal alan lokasyonlarında görülmüş, diğer lokasyonlar arasında farklılık görülmemiştir. Bu nedenle polen örneklerinde Fe içeriği bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebinin çevresel kirlenmeden ziyade bitkisel kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Arslan ve Arıkan (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, karayolundan farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden elde edilen polen örneklerinin Fe değerleri arasında önemli farklılık tespit edilmemiş fakat Taha (2015) tarafından yapılan farklı bir çalışmada, Fe içeriği bakımından farklı bitkilerden elde edilen polenler arasında önemli istatistik fark bulunmuştur ($P<0.01$).

4.1.2.5. Mangan (Mn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Mn değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Mn içeriği, 19.149 mg/kg ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş; lokasyon 1 ile sadece lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Mn içeriği, 5.356 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 6 ile lokasyon 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen polen örneklerinin Mn değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'nın 0.034 – 0.036 mg/kg değerlerinden yüksek; Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 21 – 110 mg/kg değerlerinden ve Taha (2015)'nın 16.60 – 38.61 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 11.58 – 20 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Polen örneklerinde lokasyonlar arasında Mn değeri şehir çevresi lokasyonlarında kırsal alan lokasyonlarına göre yüksek çıkmakla birlikte, şehir çevresi lokasyonu olan lokasyon 2'nin Mn değeri kırsal alan lokasyonlarına benzerlik göstermiştir. Bu nedenle polen örneklerinde Mn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebinin çevresel ve bitkisel kaynaklı olabileceği tahmin edilmektedir. Taha ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada, çimento fabrikasına farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden aldıkları polen örneklerinde Mn değerleri bakımından fabrikaya uzaklığın etkisini istatistik olarak önemli bulmuşlardır ($P<0.05$).

4.1.2.6. Nikel (Ni)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Ni değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Ni değeri, 0.384 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$) bulunurken, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Ni değeri, 0.218 mg/kg ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 7 ile lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen polen örneklerinin Ni değerleri, Schmidt ve Buchman (1992)'ın ortalama 4.5 mg/kg değerinden ve (Taha ve ark., 2017)'nın 1.00 – 3.00 mg/kg değerlerinden düşük bulunmuştur.

Lokasyonlar arasında polen örneklerinde Ni içeriği bakımından farklılık, sadece bir şehir çevresi ve bir kırsal alan lokasyonunda görülmüş, diğer lokasyonlar arasında farklılık görülmemiştir. Bu nedenle polen örneklerinde Ni içeriği bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi çevresel ve bitkisel kaynaklı olabilir. Taha ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada, çimento fabrikasına farklı uzaklıklarda yerleştirilen kolonilerden aldıkları polen örneklerinde Ni içeriği, fabrikaya yakın örneklerde daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$).

4.1.2.7. Kurşun (Pb)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Pb değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Pb içeriği, 0.180 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Pb içeriği, 0.059 mg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 8 ile lokasyon 2, 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasında önemli istatistik fark tespit edilmemiştir.

Bu araştırmada elde edilen Polen örneklerinin Pb değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.004 – 0.005 mg/kg değerlerinden yüksek; Yahya ve ark. (2013)'nın 0.65 – 14.23 mg/kg değerlerinden ve Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 0.20 – 0.37 mg/kg değerlerinden düşük; (Conti ve Botre, 2001)'nin 0.020 – 0.335 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Taha ve ark. (2017) ise çalışmalarında Pb tespit edememişlerdir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Pb değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan, şehir çevresi lokasyonlarında bulunmuştur. Şehrin hakim rüzgar yönünde olan diğer iki lokasyon ve kırsal alan lokasyonlarının Pb değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Pb değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel kirlenmenin bir sonucu olabilir. Conti ve Botre (2001) tarafından yapılan çalışmada şehir merkezindeki kolonilerden alınan polen örneklerinin Pb içeriği şehir çevresindeki kolonilerden alınan örneklerden daha yüksek bulunmuştur.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne göre (Anonim, 2011) Pb, süt ve bebek formülleri için en yüksek 0.02 mg/kg, farklı sebzeler ve meyveler için en yüksek 0.1 ile 0.3 mg/kg değerlerinde ve gıda takviyeleri için ise en yüksek 3.0 mg/kg olmalıdır. Çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin Pb değerleri bu değerlerden oldukça düşük bulunmuştur.

4.1.2.8. Çinko (Zn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin Zn değerleri Çizelge 4.2. de verilmiştir. Zn içeriği, 20.27 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş; lokasyon 3 ile lokasyon 2, 4 ve 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunurken, lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Zn içeriği, 10.25 mg/kg ile en düşük lokasyon 7'de bulunmakla birlikte, lokasyon 7 ile lokasyon 6 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen polen örneklerinin Zn değerleri, Arslan ve Arıkan (2014)'ın 0.410 – 0.579 mg/kg değerlerinden yüksek; Taha (2015)'nın 31.92 – 44.18 mg/kg değerlerinden ve Fuenmayor ve ark. (2014)'nın 19.8 – 70.6 mg/kg değerlerinden düşük; Yahya ve ark. (2013)'nın 0.18 – 42.42 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Zn değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan, şehir çevresi lokasyonlarında bulunmuş, en düşük Zn değerleri ise kırsal alan lokasyonlarında bulunmakla birlikte; hem şehir çevresi hem de kırsal alan lokasyonları arasında benzerlikler de görülmektedir. Bu nedenle polen örneklerinde Zn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi bitkisel kaynaklı olabileceği gibi çevresel kaynaklı da olabilir. Arslan ve Arıkan (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, karayolundan farklı uzaklıklara yerleştirilen kolonilerden elde edilen polen örneklerinin Zn değerleri arasında önemli istatistik farklılık tespit edilmemiş, Taha (2015) tarafından yapılan farklı bir çalışmada ise, Zn içeriği bakımından farklı bitkilerden elde edilen polenler arasında önemli istatistik fark bulunmuştur ($P<0.01$).

4.1.3. Bal arısı örneklerinde ağır metal sonuçları

Çalışmamızda 8 farklı lokasyondan elde edilen bal arısı örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn ortalama değerleri ve standart hataları Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bal arısı örneklerinin Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn içerikleri (Cd ve Cr µg/kg, diğerleri mg/kg; $\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Cd	Cr	Cu	Fe
Lokasyon 1	17.48 ± 0.744^{AB}	66.30 ± 2.138^{B}	13.42 ± 1.059^{ab}	91.59 ± 1.579^{AB}
Lokasyon 2	18.50 ± 1.067^{A}	69.79 ± 5.443^{B}	14.77 ± 1.067^{ab}	100.39 ± 3.757^{A}
Lokasyon 3	19.20 ± 1.058^{A}	99.24 ± 3.247^{A}	17.18 ± 0.911^{a}	101.81 ± 2.102^{A}
Lokasyon 4	20.78 ± 0.916^{A}	98.54 ± 3.613^{A}	14.90 ± 1.128^{ab}	99.72 ± 3.318^{A}
Lokasyon 5	12.98 ± 0.623^{BC}	68.42 ± 3.421^{B}	13.93 ± 0.795^{ab}	96.34 ± 3.287^{AB}
Lokasyon 6	13.25 ± 0.706^{BC}	64.20 ± 3.452^{B}	12.18 ± 1.132^{b}	82.46 ± 4.651^{B}
Lokasyon 7	12.41 ± 0.786^{C}	58.24 ± 3.511^{B}	13.16 ± 0.710^{ab}	85.43 ± 2.737^{AB}
Lokasyon 8	9.52 ± 0.623^{C}	58.69 ± 4.119^{B}	13.01 ± 1.181^{ab}	85.31 ± 1.494^{AB}

Çizelge 4.3.'ün devamı

Lokasyon	Mn	Ni	Pb	Zn
Lokasyon 1	35.55 ± 1.759^{A}	0.362 ± 0.022^{AB}	0.320 ± 0.023^{AB}	42.01 ± 2.279^{A}
Lokasyon 2	24.31 ± 1.492^{BC}	0.372 ± 0.021^{AB}	0.330 ± 0.021^{AB}	35.25 ± 1.509^{AB}
Lokasyon 3	28.08 ± 1.429^{AB}	0.432 ± 0.021^{A}	0.358 ± 0.019^{A}	43.83 ± 2.529^{A}
Lokasyon 4	34.71 ± 2.140^{A}	0.417 ± 0.021^{AB}	0.333 ± 0.019^{AB}	44.58 ± 2.998^{A}
Lokasyon 5	25.67 ± 1.257^{B}	0.315 ± 0.017^{BC}	0.315 ± 0.020^{AB}	33.68 ± 1.433^{AB}
Lokasyon 6	15.63 ± 1.182^{C}	0.343 ± 0.022^{ABC}	0.251 ± 0.016^{BC}	35.12 ± 2.458^{AB}
Lokasyon 7	22.20 ± 1.699^{BC}	0.201 ± 0.017^{D}	0.231 ± 0.016^{BC}	32.73 ± 1.957^{AB}
Lokasyon 8	24.02 ± 1.653^{BC}	0.238 ± 0.017^{CD}	0.192 ± 0.020^{C}	29.93 ± 1.767^{B}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (a-c: $P<0.05$; A-C: $P<0.01$).

4.1.3.1. Kadmiyum (Cd)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Cd değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Cd içeriği, 20.78 µg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile lokasyon 1, 2 ve 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş; lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Cd içeriği, 9.52 µg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 8 ile lokasyon 5, 6 ve 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen bal arısı örneklerinin Cd değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.45 – 7.66 µg/kg değerlerinden ve Conti ve Botre (2001)'nin 2.87 – 4.23 µg/kg değerlerinden yüksek; Perugini ve ark. (2011)'nın 10 – 210 µg/kg değerlerinden,

Gutierrez ve ark. (2015)'nın 52 – 243 µg/kg değerlerinden ve Zhelyazkova (2012)'nın 50 – 140 µg/kg değerlerinden ise düşük bulunmuştur.

Bal arısı örneklerinde Cd değerleri, şehir çevresi lokasyonlarında kırsal alan lokasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Bal arısı örneklerinde farklı lokasyonlardan elde edilen Cd değerleri arasındaki farklılıklar, çevresel kirlenmeden kaynaklı olabilir. Conti ve Botre (2001) yaptıkları bir çalışmada, şehir içi lokasyondan elde edilen arı örneklerinde Cd içeriğini şehir çevresi lokasyonlardan daha yüksek bulmuşlar ve Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'da şehir çevresi ve endüstriyel alanlardan alınan arı örneklerinin Cd içeriğini, kontrol bölgelerinden alınan örneklerden daha yüksek bulmuşlardır.

4.1.3.2. Krom (Cr)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Cr değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Cr içeriği, 99.24 µg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te bulunmakla birlikte, lokasyon 3 ile lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Cr içeriği, 58.24 µg/kg ile en düşük lokasyon 7'de bulunmuş; lokasyon 7 ile lokasyon 3 ve 4 arasında önemli istatistik fark tespit edilmiş ($P<0.01$), fakat lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Bu araştırmada elde edilen bal arısı örneklerinin Cr değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 3.88 – 64.10 µg/kg değerlerinden yüksek bulunmuş; Conti ve Botre (2001)'nin 52 – 116 µg/kg değerleri ve Gutierrez ve ark. (2015)'nın 40 – 99 µg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Taha ve ark. (2017) ise bal arısı örneklerinde Cr tespit edememişlerdir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Cr değerleri, hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan şehir çevresindeki iki lokasyonda tespit edilmiş, şehrin hakim rüzgar yönünde olan diğer iki şehir çevresi lokasyonu ve kırsal alan lokasyonlarında ise daha düşük Cr tespit edilmiştir. Bu nedenle bal arısı örneklerinde farklı lokasyonlardan elde edilen Cr değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel kaynaklı olabilir. Gutierrez ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada şehir içi, endüstri bölgesi, tarımsal ve ormanlık alan olmak üzere farklı lokasyonlardan alınan bal arısı örneklerinin Cr içeiği arasında önemli istatistik fark tespit edilmiş ($P<0.01$), en yüksek Cr içeriği şehir merkezinden elde edilen örneklerde bulunmuştur.

4.1.3.3. Bakır (Cu)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Cu değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Cu içeriği, 17.18 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş; lokasyon 3 ile sadece lokasyon 6 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.05$), lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Cu içeriği, 12.18 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 6 ile lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.05$), fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal arısı örneklerinin Cu değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 5.94 – 10.40 mg/kg değerlerinden ve Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.11 – 0.82 mg/kg değerlerinden yüksek; Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 13.0 – 27.0 mg/kg değerlerinden ve Roman (2010)'ın 22.0 – 23.3 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 9.00 – 15.67 mg/kg değerleri ve Yahya ve ark. (2013)'nın 3.62 – 18.17 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Bal arısı örneklerinde en yüksek Cu değeri şehir çevresindeki bir lokasyonda, en düşük Cu değeri de kırsal alandaki bir lokasyonda görülmekle birlikte, Cu değerleri bakımından diğer şehir çevresi lokasyonları ve kırsal alan lokasyonları arasında benzer değerler bulunmuştur. Bu nedenle farklı lokasyonlardan elde edilen Cu değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel kaynaklı olduğu gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Roman (2010)'ın yaptığı bir çalışmada, yerleşim yerlerinden elde edilen bal arısı örneklerinin Cu içeriği, tarım ve ormanlık alanlardan elde edilenlerden daha yüksek bulunmuş, ($P<0.05$). Silici ve ark. (2016)'nın Muğla'da termik santral çevresinde ağır metal kontaminasyonunu belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada ise, termik santrale farklı mesafeleden alınan bal arısı örneklerinin Cu değerleri arasında istatistik farklılık tespit edilmemiştir.

4.1.3.4. Demir (Fe)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Fe değerleri Çizelge 4.3.' te verilmiştir. Fe içeriği, 101.81 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş; lokasyon 3 ile sadece lokasyon 6 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Fe içeriği, 82.46 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da bulunmakla birlikte,

lokasyon 6 ile lokasyon 2, 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal arısı örneklerinin Fe değerleri, Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.61 – 1.67 mg/kg değerlerinden yüksek; Taha ve ark. (2017)'nın 169.50 – 500.00 mg/kg değerlerinden, Yahya ve ark. (2013)'nın 73.00 – 336.33 mg/kg değerlerinden ve Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 100 – 410 mg/kg değerlerinden düşük; Silici ve ark. (2016)'nın 54.00 – 102.00 mg/kg değerleri ve Zhelyazkova (2012)'nın 75.7 – 109 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Bal arısı örneklerinde en yüksek Fe değerleri üç adet şehir çevresi lokasyonunda bulunmuş, en düşük Fe değeri ise bir adet kırsal alan lokasyonunda bulunmuştur. Farklı lokasyonlardan elde edilen Fe değerleri arasında farklılıklar olmasının sebebi çevresel olduğu gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Nisbet ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada, çevre ve flora özellikleri farklı olan lokasyonlardan aldıkları bal arısı örneklerinin Fe içeriklerinin bölgeden bölgeye değiştiğini bildirmişler ($P<0.05$), Taha ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada ise, çimento fabrikasına farklı uzaklıklarda yerleştirilen kolonilerden aldıkları polen örneklerinde Fe içeriği, fabrikaya yakın örneklerde daha yüksek bulmuşlardır ($P<0.05$).

4.1.3.5. Mangan (Mn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Mn değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Mn içeriği, 35.55 mg/kg ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş; lokasyon 1 ile lokasyon 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Mn içeriği, 15.63 mg/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 2, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu araştırmada elde edilen bal arısı örneklerinin Mn değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 4.47 – 18.70 mg/kg değerlerinden yüksek; Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 44 – 530 mg/kg değerlerinden ve Zhelyazkova (2012)'nın 30.69 – 113.94 mg/kg değerlerinden düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 12.00 – 41.00 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Bal arısı örneklerinde lokasyonlar arasında en yüksek Mn değerleri üç şehir çevresi lokasyonunda, en düşük Mn değerleri ise üç kırsal alan ve bir şehir çevresi

lokasyonunda görülmüştür. Mn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi çevresel ve bitkisel kaynaklı olabilir. Silici ve ark. (2016)'nın termik santral çevresinde ağır metal kontaminasyonunu belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, termik santrale farklı mesafeleden alınan bal arısı örneklerinin Mn değerleri arasında istatistik farklılık tespit edilmemiştir.

4.1.3.6. Nikel (Ni)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Ni değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Ni değeri, 0.432 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te bulunmuş; lokasyon 3 ile lokasyon 5, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$) bulunurken, lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Ni değeri, 0.201 mg/kg ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu çalışmada elde edilen bal arısı örneklerinin Ni değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.064 – 0.310 mg/kg değerinden ve Gutierrez ve ark. (2015)'nın 0.081 – 0.143 mg/kg değerinden yüksek; Taha ve ark. (2017)'nın 0.50 - 1.50 mg/kg değerinden ve Zhelyazkova (2012)'nın 0.98 – 1.33 mg/kg değerinden düşük; Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.05 – 0.82 mg/kg değeri ile benzer bulunmuştur.

Lokasyonlar arasında bal arısı örneklerinde en yüksek Ni içeriği şehir çevresi lokasyonlarında, en düşük Ni içeriği ise iki kırsal alan lokasyonunda bulunmuştur. Karayollarına kısmen yakın olan diğer iki kırsal alan lokasyonu ise Ni içeriği bakımından orta değer göstermiştir. Bal arısı örneklerinde Ni içeriği bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebinin çevresel kirlenmeden kaynaklı olduğu ve bitkisel kaynaklı da olabileceği tahmin edilmektedir. Nisbet ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada, çevre ve flora özellikleri farklı olan lokasyonlardan aldıkları bal arısı örneklerinin Ni içeriklerinin bölgeden bölgeye değiştiğini bildirmişlerdir ($P<0.05$).

4.1.3.7. Kurşun (Pb)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Pb değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Pb içeriği, 0.358 mg/kg ile en yüksek lokasyon 3'te tespit edilmiş;

lokasyon 3 ile lokasyon 6, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Pb içeriği, 0.192 mg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş olmakla birlikte, lokasyon 8 ile lokasyon 6 ve 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Bu araştırmada elde edilen bal arısı örneklerinin Pb değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 0.004 – 0.024 mg/kg değerlerinden ve Conti ve Botre (2001)'nin 0.52 – 1.25 µg/kg değerlerinden yüksek; Perugini ve ark. (2011)'nın 0.14 – 1.34 mg/kg değerlerinden ve Roman (2010)'ın 1.91 – 1.98 mg/kg değerlerinden düşük; Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.13 – 0.70 mg/kg değerleri ve Gutierrez ve ark. (2015)'nın 0.109 – 0.299 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir. Taha ve ark. (2017) ise çalışmalarında Pb tespit edememişlerdir.

Bal arısı örneklerinde lokasyonlar arasında en yüksek Pb değerleri şehir çevresi lokasyonlarında ve karayoluna kısmen yakın olan kırsal alandaki bir lokasyonda, en düşük Pb değeri ise diğer üç kırsal alan lokasyonunda bulunmuştur. Pb içeriği bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi çevresel kirlenmeden kaynaklı olabilir. Roman (2010)'ın yaptığı bir çalışmada, yerleşim yerlerinden elde edilen bal arısı örneklerinin Pb içeriği, tarım ve ormanlık alanlardan elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur.

4.1.3.8. Çinko (Zn)

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinin Zn değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Zn içeriği, 44.58 mg/kg ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Zn içeriği, 29.93 mg/kg ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş; lokasyon 8 ile lokasyon 1, 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bal arısı örneklerinin Zn değerleri, Silici ve ark. (2016)'nın 8.56 – 17.00 mg/kg değerlerinden ve Nisbet ve ark. (2013)'nın 0.43 – 0.87 mg/kg değerlerinden yüksek; Zhelyazkova (2012)'nın 58.23 – 111.00 mg/kg değerlerinden ve Fakhimzadeh ve Lodenius (2000)'un 55 - 101 mg/kg değerlerinden

düşük; Taha ve ark. (2017)'nın 18.00 – 100.00 mg/kg değerleri ve Yahya ve ark. (2013)'nın 13.80 – 77.95 mg/kg değerleri ile benzerlik göstermektedir.

Lokasyonlar arasında en yüksek Zn değerleri, üç şehir çevresi lokasyonunda, en düşük Zn değeri ise karayolları ve yerleşim alanlarına uzak bir kırsal alan lokasyonunda bulunmuştur. Bal arısı örneklerinde Zn değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi çevresel kirlenmenin bir sonucu olabileceği gibi bitkisel kaynaklı da olabilir. Nisbet ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada, çevre ve flora özellikleri farklı olan lokasyonlardan aldıkları bal arısı örneklerinin Zn değerlerinin bölgeden bölgeye değiştiğini bildirmişler ($P<0.05$), Taha ve ark. (2017) ise yaptıkları bir çalışmada, çimento fabrikasına farklı uzaklıklarda yerleştirilen kolonilerden aldıkları bal arısı örneklerinde Fe içeriğini, fabrikaya yakın örneklerde daha yüksek bulmuşlardır ($P<0.05$).

4.1.4. Bal, polen ve bal arısı örneklerinde ağır metal sonuçlarının karşılaştırılması

Bu çalışmada bal, polen ve bal arısı örneklerinin element (ağır metal) değerleri genel olarak şehir çevresi lokasyonlarında, özellikle de hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan lokasyonlarda (lokasyon 3 ve lokasyon 4) daha yüksek bulunmuş, kırsal alan lokasyonlarında ise daha düşük bulunmuştur. Demirezen ve Aksoy (2005) ve Bogdanov (2008) endüstriyel alanlarda, araç trafiğinin yoğun olduğu alanlarda, büyük yerleşim merkezlerine ve çöp yakma tesislerine yakın olan yerlerde ağır metal birikiminin fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Bu araştırmada ağır metal değerleri en yüksek bal arısı örneklerinde, sonra polen örneklerinde ve en düşük ise bal örneklerinde tespit edilmiştir. Yahya ve ark. (2013)'da yaptıkları çalışmada bal arısı, bal ve polende ağır metal içerikleri sıralamasını benzer bulmuşlardır.

Conti ve Botre (2001) baldan ziyade polen, propolis ve balmumu gibi arı ürünlerinin ve en önemlisi de bal arılarının çevresel kirlenmenin bir göstergesi olduğunu, Silici ve ark. (2016)'da bal arılarının ağır metal kirliliği bakımından baldan daha iyi bir gösterge olduğunu bildirmişlerdir. Fakhimzadeh ve Lodenius (2000) ise ağır metal kirliliği bakımından bal ve polenin iyi bir gösterge olmadığını fakat bal arılarının iyi bir gösterge olabileceğini ifade etmişlerdir.

Nisbet ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada ve yapılan diğer pek çok çalışmada arı ve arı ürünlerinin mineral içeriklerinin bölgenin florasına bağlı olarak değiştiğini bildirmişler, Matei ve ark. (2004)'da balda bulunan elementlerin bitkilerin yetiştiği toprak kompozisyonuna göre farklılık göstereceğini belirtmiştir.

Zhelyazkova (2012) yaptığı bir çalışmada, bütün arıya oranla arıların kalın bağırsak içeriğinin ağır metal konsantrasyonu daha yüksek bulunmuş, Leblebici (2006)'de bal arılarının bitkilerden aldığı metal kirliliğini tam olarak bala yansıtmadıklarını, bir çeşit doğal süzgeç görevi gördüğünü bildirmiştir.

Yukarıda belirtilen bilgilere göre, bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal, polen ve bal arısı örneklerinin ağır metal içerikleri arasındaki farklılıklarda, çevresel kirlenmenin etkisi olduğu gibi bitkisel kaynaklı da olabilirler.

4.2. Balların Fiziko-kimyasal Özellikleri

4.2.1. Renk

Farklı lokasyondan elde edilen bal örneklerinin ortalama L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri ve standart hataları çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bal örneklerinin L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri ($\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	L*	a*	b*	C*	h
Lokasyon 1	66.46 ± 1.905^{DE}	11.90 ± 1.605^{B}	64.65 ± 2.556^{AB}	65.45 ± 2.729^{AB}	79.56 ± 1.064^{DE}
Lokasyon 2	71.59 ± 1.554^{CD}	9.22 ± 1.536^{BC}	63.12 ± 3.214^{AB}	63.83 ± 3.401^{AB}	81.90 ± 0.961^{CD}
Lokasyon 3	75.36 ± 1.151^{BC}	6.88 ± 1.344^{BCD}	62.87 ± 3.373^{AB}	63.09 ± 3.584^{AB}	83.87 ± 0.933^{BCD}
Lokasyon 4	59.11 ± 1.697^{E}	19.98 ± 1.330^{A}	71.28 ± 0.692^{A}	74.75 ± 1.269^{A}	75.29 ± 0.862^{E}
Lokasyon 5	71.55 ± 1.484^{CD}	11.15 ± 1.633^{B}	67.26 ± 3.295^{A}	68.21 ± 3.507^{A}	80.80 ± 0.917^{CD}
Lokasyon 6	85.32 ± 0.648^{A}	-1.40 ± 0.201^{E}	38.60 ± 1.697^{C}	38.63 ± 1.690^{C}	91.86 ± 0.616^{A}
Lokasyon 7	81.11 ± 0.985^{AB}	1.55 ± 0.687^{DE}	43.61 ± 2.480^{C}	43.65 ± 2.502^{C}	88.14 ± 0.778^{AB}
Lokasyon 8	78.98 ± 0.979^{ABC}	4.34 ± 0.674^{CDE}	51.45 ± 2.368^{BC}	51.63 ± 2.423^{BC}	85.48 ± 0.681^{BC}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: $P<0.01$).

4.2.1.1. L* renk değeri

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin L* renk değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. L* değeri, 85.32 ile en yüksek lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). L* değeri 59.11 ile en düşük lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile

sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.01).

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin L* renk değerlerini, Gonzalez-Miret ve ark. (2005) 38.55 – 78.65 arasında, Çapar (2010) 20.10 – 24.59 arasında, Sağlam (2015) 63.34 – 81.13 arasında, Oroian (2012) 24.80 – 57.14 arasında, Kus ve ark. (2014) 41.5 – 86.2 arasında ve Akbulut ve ark. (2009) 20.01 – 24.59 arasında bulmuşlardır.

4.2.1.2. a* renk değeri

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin a* renk değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. a* değeri, 19.98 ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile diğer tüm lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). a* değeri -1.40 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.01).

Yaptıkları çalışmalarda bal örneklerinin a* renk değerlerini, Akbulut ve ark. (2009) -0.40 ile -0.58 arasında, Gonzalez-Miret ve ark. (2005) 7.29 – 27.63 arasında, Kus ve ark. (2014) -1.6 ile 31.9 arasında, Çapar (2010) -0.40 ile -0.58 arasında, Oroian (2012) -0.6 ile 7.9 arasında ve Sağlam (2015) 4.01 – 15.77 arasında bulmuşlardır.

4.2.1.3. b* renk değeri

Bu araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin b* renk değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. b* değeri, 71.28 ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile lokasyon 6, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli (P<0.01), lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. b* değeri 38.60 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.01).

Önceden yapılan çalışmalarda bal örneklerinin b* renk değerlerini, Gonzalez-Miret ve ark. (2005) 16.22 – 59.48 arasında, Çapar (2010) 0.62 – 1.89 arasında, Sağlam (2015) 55.58 – 76.03 arasında, Oroian (2012) 2.3 – 23.1 arasında, Kus ve ark. (2014) 19.6 – 69.2 arasında ve Akbulut ve ark. (2009) 0.62 – 1.84 arasında bulmuşlardır.

4.2.1.4. C* renk değeri

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin C* renk değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. C* değeri, 74.75 ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile lokasyon 6, 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. C* değeri 38.63 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 7 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Yaptıkları çalışmalarda bal örneklerinin C* renk değerlerini, Çapar (2010) 0.77 – 1.93 arasında, Oroian (2012) 2.6 – 24.1 arasında, Gonzalez-Miret ve ark. (2005) 23.98 – 63.25 arasında ve Sağlam (2015) 55.73 – 77.66 arasında bulmuşlardır.

4.2.1.5. h renk değeri

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin h renk değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir. h değeri, 91.86 ile en yüksek lokasyon 6'da bulunmakla birlikte, lokasyon 6 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). h değeri 75.29 ile en düşük lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin h renk değerlerini, Çapar (2010) 53.43 – 78.05 arasında, Gonzalez-Miret ve ark. (2005) 40.33 – 82.13 arasında ve Sağlam (2015) 78.29 – 85.27 arasında bulmuşlardır.

Sekiz farklı lokasyondan elde edilen bal örnekleri herhangi bir işleme tabi tutulmamış, aynı ortamda muhafaza edilmiş ve tüm örnekler alınınca, aynı anda renk tayini yapılmıştır. L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri için faklı lokasyonlardan elde edilen bal örnekleri arasında farklılıklar olmasının sebebi balların nektar yani botanik kaynağına bağlı olduğu gibi çevresel etkilere de bağlı olabilir.

Gonzales ve ark. (1999) ve Anupama ve ark. (2003) balın renginin nektar kaynağına, içerdiği kül miktarı ve mineral maddelerin oranlarına, polen ve fenolik madde içeriği gibi yapısındaki maddelerin çeşit ve miktarına göre birçok faktöre bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ötleş (1995), Tolon (1999) ve Şahinler ve ark. (2001)'da balın

renginin, yapısını oluşturan çeşitli maddelerin farklı dalga boylarındaki ışınları absorbe etmesi ile oluşan optik bir özellik olduğunu, balda renk oluşumunun, optik özellikten başka bileşiminde bulunan karoten, klorofil türevleri, ksantofil ve diğer bazı renk maddelerinden ileri geldiğini bildirmişlerdir.

4.2.2. Kül

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin kül oranları (%) Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Kül oranı % 0.204 ile en yüksek lokasyon 4'te belirlenmiş ve lokasyon 4 ile diğer tüm lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Kül oranı % 0.093 ile en düşük lokasyon 8'de tespit edilmiş; lokasyon 8 ile lokasyon 1, 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli (P<0.01) fakat lokasyon 8 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Bal örneklerinin kül, elektriksel iletkenlik, pH ve serbest asitlik değerleri ($\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Kül (%)	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	pH	Serbest Asitlik (g sitrik asit eşdeğeri/kg)
Lokasyon 1	0.145 ± 0.006^{BC}	490.8 ± 25.813^{CD}	3.952 ± 0.048^{AB}	24.42 ± 0.668^{CD}
Lokasyon 2	0.110 ± 0.004^{CD}	569.0 ± 27.714^{BC}	3.984 ± 0.039^{AB}	28.76 ± 0.526^{BC}
Lokasyon 3	0.167 ± 0.004^{B}	668.8 ± 44.350^{AB}	3.984 ± 0.029^{AB}	30.75 ± 0.786^{AB}
Lokasyon 4	0.204 ± 0.013^{A}	780.1 ± 27.263^{A}	4.064 ± 0.027^{A}	34.38 ± 2.196^{A}
Lokasyon 5	0.108 ± 0.007^{CD}	464.4 ± 38.340^{CD}	3.814 ± 0.017^{BC}	25.37 ± 0.960^{BCD}
Lokasyon 6	0.095 ± 0.003^{D}	324.4 ± 8.287^{D}	3.680 ± 0.037^{C}	18.04 ± 0.645^{E}
Lokasyon 7	0.105 ± 0.006^{D}	391.6 ± 28.684^{D}	3.934 ± 0.025^{AB}	20.86 ± 0.430^{DE}
Lokasyon 8	0.093 ± 0.006^{D}	375.6 ± 29.597^{D}	3.820 ± 0.043^{BC}	24.11 ± 0.721^{CD}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: P<0.01).

Yaptıkları çalışmalarda bal örneklerinin kül oranını, Gomes ve ark. (2010) % 0.07 – 0.35 arasında, Küçük ve ark. (2007) % 0.20 – 0.50 arasında, Alvarez-Suarez ve ark. (2018) % 0.18 – 0.46 arasında, Serem ve Bester (2012) % 0.01 – 0.65 arasında, Ahmida ve ark. (2013) % 0.14 – 0.43 arasında ve Aazza ve ark. (2014) % 0.15 – 0.58 arasında bulmuşlardır.

Bal örneklerinde kül oranı, şehir çevresi lokasyonlarında kırsal alan lokasyonlarına göre yüksek bulunmakla birlikte, şehir çevresi lokasyonu olan lokasyon 2 değeri, kırsal alan lokasyonlarına benzerlik göstermiş, kırsal alan lokasyonu olan lokasyon 5 değeri de bazı şehir çevresi lokasyonlarına benzerlik göstermiştir. Bu nedenle bal örneklerinde kül değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen

farklılıkların sebebi bitkisel kaynaklı olduğu gibi çevresel kaynaklı da olabilir. Genç ve Dodoloğlu (2011) balların kül miktarlarının elde edildiği floranın çeşitliliğine bağlı olarak farklılık gösterdiğini bildirmiş; Crane (1975) ise, balın kül oranının fazla olmasının baldaki mineral maddelerin fazlalığıyla doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir.

Türk Standartları Enstitüsü Bal Standardına göre (Anonim, 2010), kül miktarının çiçek ballarında en çok % 0.6 olması gerektiği bildirilmiş, çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin kül oranı bu üst sınırın altında bulunmuştur.

4.2.3. Elektriksel iletkenlik

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Elektriksel iletkenlik değeri 780.1 µS/cm ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Elektriksel iletkenlik değeri 324.4 µS/cm ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş, lokasyon 6 ile lokasyon 2, 3 ve 4 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin elektriksel iletkenliklerini, Turan (2012) 390 – 1200 µS/cm arasında, Escriche ve ark. (2014) 170 – 1000 µS/cm arasında, Oroian (2012) 160 – 833 µS/cm arasında, Ahmida ve ark. (2013) 430 – 740 µS/cm arasında, Alvarez-Suarez ve ark. (2010) 100 – 600 µS/cm arasında ve Fredes ve Montenegro (2006) 110 – 970 µS/cm arasında bulmuşlardır.

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin elektriksel iletkenlik değeri, lokasyonlar arasında farklılık göstermekte ve bu farklılığın, balların kül içeriği ve dolayısıyla da balın bitkisel kaynağı ile ilişkili olduğu, ayrıca çevresel kaynaklı da olabileceği tahmin edilmektedir. Bogdanov ve Martin (2002) ve Güler ve ark. (2007) balların elektriksel iletkenliği ile kül içeriği arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu, elektriksel iletkenliğin, balın elde edildiği bitki kaynağını ve balın kül oranını belirlemede kullanılan önemli bir özelik oluğunu bildirmişlerdir.

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre (Anonim, 2012), genel olarak çiçek ballarında elektriksel iletkenlik değerlerinin en fazla 0,8 mS/cm (800 µS/cm) olması gerektiği bildirilmiş, çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri bu sınır dahilinde bulunmuştur.

4.2.4. pH

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin pH değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir. pH değeri 4.064 ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile lokasyon 5, 6 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. pH değeri 3.680 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 5 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasında önemli istatistik fark tespit edilmiştir ($P<0.01$).

Yapılan çalışmalarda bal örneklerinin pH değerlerini, Terrab ve ark. (2004) 3.56 – 4.79 arasında, Gomes ve ark. (2010) 3.7 – 4.3 arasında, Alvarez-Suarez ve ark. (2018) 4.76 – 3.20 arasında, Fredes ve Montenegro (2006) 3.79 – 5.08 arasında, Polat (2007) 3.62 – 5.13 arasında ve Aazza ve ark. (2014) 3.66 – 4.51 arasında bulmuşlardır.

Bal örneklerinin pH değeri, lokasyonlar arasında farklılık göstermekte ve bu farklılığın, balların kimyasal yapısı ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir. Lawless ve ark. (1996) balın pH değerinin, balın yapısındaki farklı asitlerin miktarı ve mineral içeriği ile ilişkili olduğunu, mineral tuzlar bakımından zengin olan balların genel olarak daha yüksek pH değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

TSE Bal Standardına göre (Anonim, 2010) ballarda pH, 3.4 – 6.1 arasında olması gerektiği bildirilmiş, çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin pH değerleri bu sınırlar arasında bulunmuştur.

4.2.5. Serbest asitlik

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin serbest asitlik değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Serbest asitlik değeri 34.38 g sitrik asit eşdeğeri/kg ile en yüksek lokasyon 4'te tespit edilmiş; lokasyon 4 ile sadece lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Serbest asitlik değeri 18.04 g sitrik asit eşdeğeri/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş, lokasyon 6 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin serbest asitlik değerlerini, Alvarez-Suarez ve ark. (2010) 16.8 – 27.7 meq/kg arasında, El-Haskoury ve ark. (2018) 11.00 – 42.50 meq/kg arasında, Gomes ve ark. (2010) 16 – 32 meq/kg arasında, Aazza ve ark. (2014) 12.0 – 30.4 meq/kg arasında, Küçük ve ark. (2007) 29.4 – 36.7 meq/kg arasında ve Turan (2012) 12 - 40 meq/kg arasında bulmuşlardır.

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin serbest asitlik değeri, lokasyonlar arasında farklılık göstermekte ve bu farklılık, balların kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır. Ötleş (1995) balın asitliğini belirleyen en önemli faktörlerin organik asitler, mineral maddeler, aminoasitler, peptitler ve karbonhidratlar olduğunu ve asitliğin, balın üretim bölgesi ve bitkisel kaynağına bağlı olarak baldan bala değiştiğini bildirmiştir. Crane (1975)'de balda bulunan enzimlerin asit oluşturduğunu ve yüksek oranda enzim içerin balların daha fazla asit içerebileceğini ifade etmiştir.

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre (Anonim, 2012), çiçek ve salgı ballarında serbest asitliğin en fazla 50 meq/kg olması gerektiği bildirilmiş, çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin serbest asitlik değerleri bu sınır dahilinde bulunmuştur.

4.2.6. Briks

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin briks değerleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Briks değeri, % 83.12 ile en yüksek lokasyon 1'de tespit edilmiş; lokasyon 1 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.05$), lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Briks değeri, % 81.50 ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.05$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin briks değerlerini, Terrab ve ark. (2004) 78.8 – 84.0 arasında, El-Haskoury ve ark. (2018) 76.55 – 84.15 arasında, Akbulut ve ark. (2009) 81.4 – 83.4 arasında, Oroian (2012) 79.80 – 81.94 arasında, Polat (2007) 78.0 – 83.0 arasında ve Sağlam (2015) 80.0 – 82.5 arasında bulmuşlardır.

Bu araştırmada, yalnızca iki lokasyondan elde edilen bal örneklerinin briks değerleri, farklılık göstermekte ve bu farklılık, balların kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır. Conti (2000) balların suda çözünür kuru madde değerlerinin %

78.8- 84.0 arasında ve ortalama olarak % 81.9 dolayında olduğunu ve balların nem ve şeker içeriği arasında da bir ilişki bulunduğunu bildirmiş; Cavia ve ark. (2007)'da balların suda çözünür kuru maddesinin yapısındaki diğer maddelerden daha çok içerdiği şekerlerden kaynaklandığını ifade etmiştir.

Çizelge 4.6. Bal örneklerinin briks, refraktif indeks ve nem değerleri ($\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Briks (%)	Refraktif İndeks	Nem (%)
Lokasyon 1	83.12 ± 0.213^{a}	1.4986 ± 0.0005^{A}	15.06 ± 0.204^{B}
Lokasyon 2	82.16 ± 0.291^{ab}	1.4966 ± 0.0009^{AB}	15.86 ± 0.371^{AB}
Lokasyon 3	82.02 ± 0.186^{ab}	1.4954 ± 0.0005^{AB}	16.34 ± 0.204^{AB}
Lokasyon 4	82.08 ± 0.529^{ab}	1.4952 ± 0.0011^{AB}	16.42 ± 0.427^{AB}
Lokasyon 5	82.06 ± 0.244^{ab}	1.4952 ± 0.0007^{AB}	16.42 ± 0.294^{AB}
Lokasyon 6	82.60 ± 0.200^{ab}	1.4970 ± 0.0004^{AB}	15.70 ± 0.179^{AB}
Lokasyon 7	81.50 ± 0.045^{b}	1.4944 ± 0.0005^{B}	16.74 ± 0.204^{A}
Lokasyon 8	82.12 ± 0.203^{ab}	1.4956 ± 0.0002^{AB}	16.26 ± 0.098^{AB}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (a-c: $P<0.05$; A-C: $P<0.01$).

4.2.7. Refraktif indeks

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin refraktif indeks değerleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Refraktif indeks değeri, 1.4986 ile en yüksek lokasyon 1'de tespit edilmiş; lokasyon 1 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Refraktif indeks değeri, 1.4944 ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuş ($P<0.01$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda bal örneklerinin refraktif indeks değerlerini, Polat (2007) 1.4854 – 1.4985 arasında, Çapar (2010) 1.4885 – 1.4976 arasında, Petretto ve ark. (2016) 1.4903 – 1.4930 arasında ve Akbulut ve ark. (2009) 1.4944 – 1.4996 arasında bulmuşlardır.

4.2.8. Nem

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin nem oranları (%) Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Nem oranı, % 16.74 ile en yüksek lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemli

bulunmuş (P<0.01), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Nem oranı, % 15.06 ile en düşük lokasyon 1'de tespit edilmiş; lokasyon 1 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemli (P<0.01), lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin nem oranlarını, Turan (2012) %14.2- 17.6 arasında, Escriche ve ark. (2014) % 15.03- 16.11 arasında, Küçük ve ark. (2007) % 17.0 – 19.7 arasında, Aazza ve ark. (2014) % 17.3- 20.0 arasında, Ahmida ve ark. (2013) % 13.3- 17.2 arasında ve Gomes ve ark. (2010) % 15.9 - 17.2 arasında bulmuşlardır.

Nem oranları, briks değerlerinden elde edilmektedir. Bu çalışmada, yalnızca iki lokasyondan elde edilen bal örneklerinin briks değeri ve nem oranı, farklılık göstermekte ve bu farklılığın, balların bitkisel kaynağı ve lokasyonlar arasındaki farklı çevre şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Conti (2000), balların nem ve şeker içeriği arasında da bir ilişki bulunduğunu bildirmiş; Ötleş (1995) ve Isengard ve Schulthei (2003)'de balın nem miktarı üzerine çevre koşuları, nektarın nem oranı yani bitki kaynağı, nektarın salgılanma hızı, nektarın olgunlaştırılması sırasındaki hava şartları, koloni büyüklüğü, hasat zamanı ve süzme işlemi gibi faktörlerin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre (Anonim, 2012), çiçek ve salgı ballarının nem oranının en fazla %20 olması gerektiği (püren balında en fazla %23) bildirilmektedir. Çalışmamızda elde edilen bal örneklerinin nem değerleri bu sınır dahilinde bulunmuştur.

4.2.9. Toplam fenolik madde

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin toplam fenolik madde miktarları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı 627.0 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/kg ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile lokasyon 1, 2 ve 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Toplam fenolik madde miktarı 283.9 mg GAE/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01).

Çizelge 4.7. Bal örneklerinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi ($\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Toplam Fenolik Madde (mg gallik asit eşdeğeri/kg)	Antioksidan Kapasite DPPH (mmol troloks eşdeğeri/kg)
Lokasyon 1	576.3 ± 31.511^{AB}	1.537 ± 0.152^{A}
Lokasyon 2	514.6 ± 27.826^{ABC}	0.856 ± 0.052^{B}
Lokasyon 3	459.4 ± 29.784^{BC}	0.702 ± 0.039^{B}
Lokasyon 4	627.0 ± 22.598^{A}	0.923 ± 0.052^{B}
Lokasyon 5	563.0 ± 36.595^{AB}	0.919 ± 0.059^{B}
Lokasyon 6	283.9 ± 8.663^{D}	0.591 ± 0.016^{B}
Lokasyon 7	415.2 ± 12.558^{CD}	0.587 ± 0.065^{B}
Lokasyon 8	458.6 ± 26.672^{BC}	0.853 ± 0.085^{B}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: $P<0.01$).

Daha önce yapılan çalışmalarda bal örneklerinin toplam fenolik madde miktarını, Oroian (2012) 192 – 827 mg GAE/kg arasında, Kus ve ark. (2014) 142.8 – 1113.0 mg GAE/kg arasında, Alvarez-Suarez ve ark. (2010) 213.9 – 595.8 mg GAE/kg arasında, Serem ve Bester (2012) 759.4 – 1267.1 mg GAE/kg arasında, Polat (2007) 921 – 7540 mg GAE/kg arasında ve Çapar (2010) 314.34 – 468.14 mg GAE/kg arasında bulmuşlardır.

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin toplam fenolik madde miktarı, farklılık göstermekte ve bu farklılığın, balların botanik kaynağı ve lokasyonlar arasındaki farklı çevre şartlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. (Kus ve ark., 2014), farklı monofloral bal örnekleri ile yapmış oldukları bir araştırmada, toplam fenolik madde içerikleri bakımından bal örnekleri arasında önemli farklılık tespit etmişlerdir.

4.2.10. Antioksidan kapasite

Bu araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinin antioksidan kapasite (DPPH) değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Antioksidan kapasitesi 1,537 mmol troloks eşdeğeri (TE)/kg ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş ve lokasyon 1 ile diğer tüm lokasyonlar arasında istatistik olarak önemli fark tespit edilmiştir ($P<0.01$). Antioksidan kapasitesi 0.587 mmol TE/kg ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 1 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda bal örneklerinin antioksidan kapasite (DPPH) miktarını, Çapar (2010) 1.70 – 3.13 mmol TE/kg arasında, Kus ve ark. (2014) 0.2 – 1.2 mmol TE/kg arasında, Alvarez-Suarez ve ark. (2018) 0.31 – 0.42 mmol TE/kg arasında, Petretto ve ark. (2016) 0.41 – 1.58 mmol TE/kg arasında ve Serem ve Bester (2012) 0.42 – 3.72 mmol TE/kg arasında bulmuşlardır.

Antioksidan kapasitesi bakımından farklı lokasyonlardan elde edilen bal örnekleri arasında farklılık görülmekte ve bu farklılığın, balların floral kaynağı ve lokasyonlar arasındaki farklı çevre şartlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Gheldof ve Engeseth (2002), balın antioksidan kapasitesinin büyük ölçüde floral kaynağa bağlı olmakla birlikte mevsimsel ve çevresel faktörlere ve proses koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini bildirmiş; Bertoncelj ve ark. (2007) ile Gheldof ve Engeseth (2002)' de balın antioksidan kapasitesinden balda bulunan fenolik bileşiklerin önemli derecede sorumlu olduğunu, balın antioksidan kapasitesi ile toplam fenolik asitlerin konsantrasyonu arasında güçlü bir ilişkinin bulunduğunu ifade etmişlerdir.

4.3. Polenlerin Fiziko-kimyasal Özellikleri

4.3.1. Renk

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin ortalama L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri ve standart hataları çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Polen örneklerinin L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri ($\bar{X}\pm S_{\bar{x}}$)

Lokasyon	L*	a*	b*	C*	h
Lokasyon 1	71.50 ± 0.418^{A}	3.78 ± 0.319^{D}	35.41 ± 0.198^{C}	35.58 ± 0.196^{C}	84.07 ± 0.422^{A}
Lokasyon 2	64.14 ± 0.288^{C}	9.82 ± 0.521^{AB}	37.64 ± 0.292^{BC}	38.91 ± 0.365^{BC}	75.39 ± 0.699^{C}
Lokasyon 3	70.55 ± 0.365^{A}	9.72 ± 0.453^{AB}	33.86 ± 0.642^{C}	35.23 ± 0.741^{C}	74.02 ± 0.430^{C}
Lokasyon 4	69.02 ± 0.531^{AB}	6.11 ± 0.687^{CD}	40.56 ± 1.378^{AB}	41.21 ± 1.290^{B}	81.24 ± 0.940^{AB}
Lokasyon 5	65.96 ± 0.303^{BC}	11.68 ± 0.176^{AB}	40.80 ± 0.381^{AB}	42.41 ± 0.388^{AB}	74.06 ± 0.239^{C}
Lokasyon 6	63.31 ± 0.437^{C}	5.60 ± 0.226^{CD}	25.71 ± 0.779^{D}	26.23 ± 0.841^{D}	77.32 ± 0.667^{BC}
Lokasyon 7	66.58 ± 0.429^{BC}	12.48 ± 0.865^{A}	44.67 ± 0.477^{A}	46.53 ± 0.570^{A}	74.84 ± 1.265^{C}
Lokasyon 8	68.22 ± 1.350^{AB}	8.58 ± 0.899^{BC}	37.66 ± 1.323^{BC}	38.69 ± 1.343^{BC}	77.32 ± 1.008^{BC}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: $P<0.01$).

4.3.1.1. L* renk değeri

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin L* renk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. L* değeri, 71.50 ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş; lokasyon 1 ile lokasyon 3, 4 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). L* değeri 63.31 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 2, 5 ve 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Daha önce yapılan çalışmalarda polen örneklerinin L* renk değerlerini, De-Melo ve ark. (2016) 42.8 – 58.4 arasında, Yook ve ark. (1998) ise ortalama 74.5 olarak bulmuşlardır.

4.3.1.2. a* renk değeri

Bu araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin a* renk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. a* değeri, 12.48 ile en yüksek lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile lokasyon 2, 3 ve 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). a* değeri 3.78 ile en düşük lokasyon 1'de tespit edilmiş; lokasyon 1 ile lokasyon 4 ve 6 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, fakat lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Yaptıkları çalışmalarda polen örneklerinin a* renk değerlerini, De-Melo ve ark. (2016) 8.4 – 11.3 arasında, Yook ve ark. (1998) ise ortalama 4.2 olarak bulmuşlardır.

4.3.1.3. b* renk değeri

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin b* renk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. b* değeri, 44.67 ile en yüksek lokasyon 7'de belirlenmiş; lokasyon 7 ile lokasyon 4 ve 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). b* değeri 25.71 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş ve lokasyon 6 ile diğer tüm lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Önceden yapılan çalışmalarda polen örneklerinin b* renk değerlerini, De-Melo ve ark. (2016) 43.7 – 56.1 arasında, Yook ve ark. (1998) ise ortalama 30.8 olarak bulmuşlardır.

4.3.1.4. C* renk değeri

Bu araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin C* renk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. C* değeri, 46.53 ile en yüksek lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile sadece lokasyon 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). C* değeri, 26.23 ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş ve lokasyon 6 ile diğer tüm lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

4.3.1.5. h renk değeri

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin h renk değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. h değeri, 84.07 ile en yüksek lokasyon 1'de bulunmuş; lokasyon 1 ile sadece lokasyon 4 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 1 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). h değeri 74.02 ile en düşük lokasyon 3'te belirlenmiş; lokasyon 3 ile lokasyon 1 ve 4 arasında önemli istatistik fark tespit edilmiş ($P<0.01$), fakat lokasyon 3 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur.

Sekiz farklı lokasyondan elde edilen polen örnekleri, polen tuzaklarından alınıp güneş ışığı almayan bir ortamda kurutulmuş, analizlere kadar -18 ^{o}C'de muhafaza edilmiş ve aynı anda renk tayini yapılmıştır. Kaynak araştırması yapılıken polen örneklerinde C* ve h renk değerleri, daha önce yapılan çalışmalarda bulunamamıştır. L*, a*, b*, C* ve h renk değerleri için faklı lokasyonlardan elde edilen polen örnekleri arasında farklılıklar olmasının sebebinin polenlerin kimyasal yapısına ve dolayısıyla botanik kaynağına bağlı olduğu düşünülmektedir. De-Melo ve ark. (2016) yaptıkları bir çalışmada, farklı bitkilerin çiçek açtığı nisan ve eylül aylarında toplamış oldukları arı polenlerinin L*, a* ve b* renk değerlerinin farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir.

4.3.2. Kül

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin kül oranları (%) Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Kül oranı, % 2.812 ile en yüksek lokasyon 4'te bulunmuş; lokasyon 4 ile lokasyon 1, 3 ve 5 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz; lokasyon 4 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Kül oranı, % 1.992 ile en düşük lokasyon 7'de tespit edilmiş; lokasyon 7 ile lokasyon 2, 6 ve 8 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, fakat lokasyon 7 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01).

Yaptıkları çalışmalarda polen örneklerinin kül oranını, Feas ve ark. (2012) % 2.0 – 4.0 arasında, Gabriele ve ark. (2015) % 2.55 – 2.85 arasında, Taha (2015) % 1.88 – 3.88 arasında, Kostic ve ark. (2015) % 1.18 – 3.32 arasında, De Arruda ve ark. (2013) % 2.77 – 3.24 arasında ve Fuenmayor ve ark. (2014) % 1.5 – 3.2 arasında bulmuşlardır.

Polen örneklerinin kül oranı, biri hariç şehir çevresi lokasyonlarında kırsal alan lokasyonlara göre yüksek bulunmuş, kırsal alan lokasyonlarında da yine bir lokasyon hariç şehir çevresi lokasyonlarına göre düşük bulunmuştur. Polen örneklerinde kül değerleri bakımından lokasyonlar arasında görülen farklılıkların sebebi bitkisel kaynaklı olduğu gibi çevresel kaynaklı da olabilir. Taha (2015) yaptığı bir çalışmada, farklı botanik kökenli bitkilerden elde edilen polen örneklerinin kül miktarları arasında önemli fark bulmuştur (P<0.01).

Çizelge 4.9. Polen örneklerinin kül miktarı, toplam fenolik maddesi ve antioksidan kapasitesi ($\bar{X}\pm S\bar{x}$)

Lokasyon	Kül (%)	Toplam Fenolik Madde (mg gallik asit eşdeğeri/g)	Antioksidan Kapasite DPPH (mmol troloks eşdeğeri/kg)
Lokasyon 1	2.722 ± 0.047^{A}	11.666 ± 0.339^{BC}	28.950 ± 0.465^{BC}
Lokasyon 2	2.344 ± 0.090^{BC}	15.961 ± 0.860^{A}	40.282 ± 2.720^{A}
Lokasyon 3	2.730 ± 0.093^{A}	13.903 ± 0.475^{AB}	32.094 ± 1.233^{B}
Lokasyon 4	2.812 ± 0.085^{A}	11.578 ± 0.380^{BC}	23.789 ± 1.868^{CD}
Lokasyon 5	2.692 ± 0.026^{AB}	10.543 ± 0.293^{C}	21.500 ± 1.369^{CDE}
Lokasyon 6	2.023 ± 0.038^{C}	9.176 ± 0.596^{C}	8.703 ± 0.146^{F}
Lokasyon 7	1.992 ± 0.060^{C}	9.862 ± 0.121^{C}	14.938 ± 0.326^{EF}
Lokasyon 8	2.098 ± 0.033^{C}	10.162 ± 0.195^{C}	16.711 ± 0.923^{DE}

Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (A-C: P<0.01).

4.3.3. Toplam fenolik madde

Bu çalışmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarları Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı 15.961 mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g ile en yüksek lokasyon 2'de belirlenmiş; lokasyon 2 ile sadece lokasyon 3 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, lokasyon 2 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Toplam fenolik madde miktarı 9.176 mg GAE/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile lokasyon 2 ve 3 arasındaki fark istatistik olarak önemli ($P<0.01$), lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

Daha önce yapılan çalışmalarda polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarını, Morais ve ark. (2011) 10.5 – 16.8 mg GAE/g arasında, Pascoal ve ark. (2014) 18.55 – 32.15 mg GAE/g arasında, De-Melo ve ark. (2016) 9.2 – 21.4 mg GAE/g arasında, Feas ve ark. (2012) 12.9 – 19.8 mg GAE/g arasında, Perez-Perez ve ark. (2012) 3.97 – 12.87 mg GAE/g arasında ve Gabriele ve ark. (2015) 13.53 – 24.75 mg GAE/g arasında bulmuşlardır.

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin toplam fenolik madde miktarları arasında farklılık görülmektedir. Bu farklılığın, polenlerin floral kaynağı ve lokasyonlar arasındaki farklı çevre şartlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Morais ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı bölgelerden elde edilen polenlerin toplam fenolik madde miktarı arasında önemli istatistik fark bulunmuştur ($P<0.05$).

4.3.4. Antioksidan kapasite

Bu araştırmada farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinin antioksidan kapasite (DPPH) değerleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Antioksidan kapasitesi, 40.282 mmol troloks eşdeğeri (TE)/kg ile en yüksek lokasyon 2'de bulunmuş ve lokasyon 2 ile diğer tüm lokasyonlar arasında istatistik olarak önemli fark tespit edilmiştir ($P<0.01$). Antioksidan kapasitesi, 8.703 mmol TE/kg ile en düşük lokasyon 6'da tespit edilmiş; lokasyon 6 ile sadece lokasyon 7 arasındaki fark istatistik olarak önemsiz, lokasyon 6 ile diğer lokasyonlar arasındaki fark ise istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).

Yapılan çalışmalarda polen örneklerinin antioksidan kapasite (DPPH) miktarını, De-Melo ve ark. (2016) 31.7 – 81.1 mmol TE/kg arasında bulmuşlardır. Bu çalışmada antioksidan kapasitesi verilerinin literatürde yer alan ve daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmasında, takip edilen antioksidan kapasitesi metodu ve antioksidan kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden dolayı güçlükler yaşanmaktadır. Örneğin De-Melo ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada ORAC ve DPPH antioksidan kapasitesi değerlerini karşılaştırmışlar, aynı polen örneklerinin ORAC değerlerini 310.1 – 559.3 mmol TE/kg arasında tespit etmişler, yani DPPH değerinden yaklaşık olarak 7-10 kat daha fazla bulmuşlardır.

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örnekleri arasında, antioksidan kapasitesi bakımından farklılık görülmekte ve bu farklılığın, polenlerin fenolik içeriği dolayısıyla floral kaynağı ve lokasyonlar arasındaki farklı çevre şartlarından ileri geldiği tahmin edilmektedir. Perez-Perez ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada, farklı bitkisel kaynaklı polen örneklerinin antioksidan kapasiteleri arasında önemli istatistik fark tespit etmişlerdir ($P < 0.05$).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen bu çalışmada, Konya'da 4'ü şehir merkezinin çevresinde 4'ü de kırsal alanda olmak üzere toplam 8 farklı lokasyona 5'er adet bal arısı kolonisi yerleştirilmiştir. Bu kolonilerden alınan bal arısı, bal ve polen örneklerindeki ağır metal miktarları tespit edilerek, yerleşim yeri ve endüstriyel alanlara yakın yerlerden elde edilenlerle kırsal alanlardan elde edilenler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı lokasyonlardan elde edilen bal ve polen örneklerinin bazı fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiş ve bu özellik değerlerinin gıda güvenliği bakımından sorun teşkil edip etmediğini tespit edilmeye çalışılmıştır.

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal arısı örneklerinde yapılan ağır metal analizlerinde, Cd 9.52 – 20.78 µg/kg, Cr 58.24 – 99.24 µg/kg, Cu 12.18 – 17.18 mg/kg, Fe 82.46 – 101.81 mg/kg, Mn 15.63 – 35.55 mg/kg, Ni 0.201 – 0.432 mg/kg, Pb 0.192 – 0.358 mg/kg ve Zn 29.93 – 44.58 mg/kg arasında bulunmuştur. Bal arısı örneklerinde lokasyonlar arasında Cu içeriği bakımından istatistik farklılık $P<0.05$ seviyesinde, diğer elementler bakımından ise lokasyonlar arasında $P<0.01$ seviyesinde önemli görülmüştür.

Bal örneklerinde yapılan ağır metal analizlerinde, Cd 4.301 – 6.898 µg/kg, Cr 27.70 – 67.01 µg/kg, Cu 0.395 – 0.950 mg/kg, Fe 6.266 – 14.500 mg/kg, Mn 0.520 – 1.270 mg/kg, Ni 0.106 – 0.216 mg/kg, Pb 0.073 – 0.118 mg/kg ve Zn 1.039 – 1.635 mg/kg arasında tespit edilmiştir. Bal örneklerinde Cd ve Pb bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, diğer elementler bakımından ise lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar görülmüştür ($P<0.01$).

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinde, ağır metal içerikleri Cd 6.535 – 11.304 µg/kg, Cr 46.10 – 79.36 µg/kg, Cu 3.915 – 7.275 mg/kg, Fe 61.40 – 96.95 mg/kg, Mn 5.356 – 19.149 mg/kg, Ni 0.218 – 0.384 mg/kg, Pb 0.059 – 0.180 mg/kg ve Zn 10.25 – 20.27 mg/kg arasında bulunmuştur. Polen örneklerinde sadece Cd bakımından lokasyonlar arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş, diğer elementler bakımından ise lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.01$).

Bal arısı, bal ve polen örneklerinde ağır metaller bakımından en yüksek değerler şehir çevresi lokasyonlarında ve özellikle hakim rüzgar yönü şehir tarafından olan

lokasyonlarda, en düşük değerler ise kırsal alan lokasyonlarında bulunmuştur. Kırsal alan lokasyonlarına göre şehir çevresi lokasyonlarında bal ve polen örneklerinin ağır metal değerleri daha yüksek olmakla birlikte, Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne uygun olduğu görülmüştür.

Çalışılan örneklerde ele alınan element (ağır metal) değerleri en yüksek bal arısı örneklerinde, daha sonra polen örneklerinde ve en düşük ise bal örneklerinde tespit edilmiştir.

Yapılan fizikokimyasal analizlerde farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinde kül miktarı % 0.093 – 0.204, elektriksel iletkenlik 324.4 – 780.1 µS/cm, pH değeri 3.680 – 4.064, serbest asitlik 18.04 – 34.38 g SAE/kg, briks % 81.50 – 83.12, refraktif indeks değeri 1.4944 – 1.4986, nem % 15.06 – 16.74, toplam fenolik madde 283.9 – 627.0 mg GAE/kg ve antioksidan kapasitesi 0.587 – 1.537 mmol TE/kg arasında bulunmuştur. Bal örneklerinin suda çözünür kuru maddesi bakımından lokasyonlar arasında istatistik farklılık $P<0.05$ seviyesinde, diğer özellikleri bakımından ise lokasyonlar arasında $P<0.01$ seviyesinde önemli istatistik farklılıklar tespit edilmiştir.

Farklı lokasyonlardan elde edilen bal örneklerinde yapılan renk analizlerinde L* değeri 59.11 – 85.32, a* değeri -1.40 – 19.98, b* değeri 38.60 – 71.28, C* değeri 38.63 – 74.75 ve h değeri 75.29 – 91.86 arasında bulunmuştur. Bal örneklerinin renk değerleri bakımından lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar görülmüştür ($P<0.01$).

Bal örnekleri, ele alınan fizikokimyasal özellikler yönünden Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne uygun bulunmuştur.

Yapılan analizlerde farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinde kül miktarı % 1.992 – 2.812, toplam fenolik madde miktarı 9.176 – 15.961 mg GAE/g ve antioksidan kapasitesi 8.703 – 40.282 mmol TE/kg arasında bulunmuştur. Polen örneklerinin kül miktarı, toplam fenolik maddesi ve antioksidan kapasitesi bakımından lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.01$).

Farklı lokasyonlardan elde edilen polen örneklerinde yapılan renk analizlerinde L* değeri 63.31 – 71.50, a* değeri 3.78 – 12.48, b* değeri 25.71 – 44.67, C* değeri 26.23 – 46.53 ve h değeri 74.02 – 84.07 arasında bulunmuştur. Polen örneklerinin renk değerleri bakımından lokasyonlar arasında önemli istatistik farklılıklar görülmüştür ($P<0.01$).

5.2 Öneriler

Günümüzde önemli bir sorun olan çevre kirliliği hava, su, toprak ve bitkilere yansımakta, doğrudan ya da dolaylı olarak gıdalarla insanlara ulaşmaktadır. Bal arıları kovanlarına nektar, polen, propolis ve su getirmek için konaklama yeri yani arılık çevresiyle sürekli bir ilişki içerisindedir. Arıların uçuş alanındaki hava, su, toprak ve bitkilerin özellikleri, hem bal arılarını hem de ürünlerini etkilemektedir. Bu nedenle bal arıları ve onların ürünleri, çevrenin toksik şartlarına doğrudan maruz kalan iyi bir biyolojik indikatördür.

Bal arılarından elde edilen ve en fazla tüketilen bal ve polen herhangi bir işleme tabi tutulmadan bir besin ve şifa olarak kullanılmakta ve bu ürünlerin güvenli olması, besin ve sağlık açısından da iyi özelliklerde olması gerekmektedir.

Arıların ve arı ürünlerinin sağlıklı olması için sabit ve gezginci arıcılar, kirlenmenin fazla olduğu ve arı ürünlerine bulaşma riskinin yüksek olabileceği yerleşim alanları, endüstriyel alanlar, otoyol kenarları, kirli su kaynakları ve yoğun tarımsal ilaç kullanılan alanlardan uzaklara kolonilerini yerleştirmelidirler.

Bu çalışmada, örneklerin alındığı tüm bölgelerdeki bitki yapısı birbirinden farklı ve bölge içerisinde de multifloral yapıdadır. Arı ve arı ürünlerinin mineral içerikleri hava, su, toprak ve bitki kaynaklı olabildiğinden ilerde yapılacak benzer çalışmalarda imkan dahilinde aynı bitkiden oluşan alanlardan örnekler alınabilir.

KAYNAKLAR

Aazza, S., Lyoussi, B., Antunes, D. ve Miguel, M. G., 2014, Physicochemical characterization and antioxidant activity of 17 commercial Moroccan honeys, *International journal of food sciences and nutrition*, 65 (4), 449-457.

Ahmida, M. H., Elwerfali, S., Agha, A., Elagori, M. ve Ahmida, N. H., 2013, Physicochemical, heavy metals and phenolic compounds analysis of Libyan honey samples collected from Benghazi during 2009-2010, *Food and Nutrition Sciences*, 4 (01), 33-40.

Akbulut, M. ve Coklar, H., 2008, Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels, *Journal of Food Process Engineering*, 31 (4), 488-502.

Akbulut, M., Özcan, M. M. ve Çoklar, H., 2009, Evaluation of antioxidant activity, phenolic, mineral contents and some physicochemical properties of several pine honeys collected from Western Anatolia, *International journal of food sciences and nutrition*, 60 (7), 577-589.

Aljadi, A. M. ve Kamaruddin, M. Y., 2004, Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys, *Food chemistry*, 85 (4), 513-518.

Almaraz-Abarca, N., Campos, M. d. G., Avila-Reyes, J. A., Naranjo-Jimenez, N., Herrera-Corral, J. ve Gonzalez-Valdez, L. S., 2004, Variability of antioxidant activity among honeybee-collected pollen of different botanical origin, *Interciencia*, 29 (10), 574-578.

Almeida-Muradian, L., Pamplona, L. C., Coimbra, S. l. ve Barth, O. M., 2005, Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets, *Journal of Food Composition and Analysis*, 18 (1), 105-111.

Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Diaz, D., Estevez, Y., Romandini, S., Giampieri, F., Damiani, E., Astolfi, P., Bompadre, S. ve Battino, M., 2010, Antioxidant and antimicrobial capacity of several monofloral Cuban honeys and their correlation with color, polyphenol content and other chemical compounds, *Food and Chemical Toxicology*, 48 (8-9), 2490-2499.

Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Brenciani, A., Mazzoni, L., Gasparrini, M., Gonzalez-Paramas, A. M., Santos-Buelga, C., Morroni, G., Simoni, S. ve Forbes-Hernandez, T. Y., 2018, Apis mellifera vs Melipona beecheii Cuban polifloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties, *LWT - Food Science and Technology*, 87, 272-279.

Anonim, 2010, Bal standardı, Standart No: 3036, Türk Standartları Enstitüsü**:** 1-24.

Anonim, 2011, Türk gıda kodeksi bulaşanlar yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 28157.

Anonim, 2012, Türk gıda kodeksi bal tebliği, Tebliğ No: 2012/58, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Resmî Gazete, Sayı : 28366.

Anonim, 2018a, Konya iline ait mevsim normalleri [online], Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KONYA, [Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2018].

Anonim, 2018b, Konya ili coğrafi konum [online], Konya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, https://www.konyakultur.gov.tr/index.php?route=pages/pages&page_id=2#, [Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2018].

Anonim, 2019a, Hayvancılık istatistikleri [online], Türkiye İstatistik Kurumu, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr, [Ziyaret Tarihi: 09 Temmuz 2019].

Anonim, 2019b, Çevre kirliliği [online], Çevre Online, http://cevreonline.com/cevre-kirliligi, [Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2019].

Anonim, 2019c, Konya rüzgar yönü [online], Weater Online İklim Robotu, https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?WMO=17244&CONT=trtr&LAND=TU&ART=WDR&LEVEL=162&MOD=tab, [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2019].

Anonymous, 2019a, Live Animals and Livestock Primary Statistics [online], Food and Agriculture Organization, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA and http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL, [Ziyaret Tarihi: 31 Temmuz 2019].

Anonymous, 2019b, CIE L*a*b* Color System [online], ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-system-4_fig3_329555404, [Ziyaret Tarihi: 08 Kasım 2019].

Anonymous, 2019c, Entendiendo El Espacio de Color CIE L*C*h* [online], Conica Minolta, http://sensing.konicaminolta.com.mx/2015/08/entiendiendo-el-espacio-de-color-cie-lch/, [Ziyaret Tarihi: 06 Kasım 2019].

Anonymous, 2019d, Google Haritalar [online], https://www.google.com/maps, [Ziyaret Tarihi: 06 Ağustos 2019].

Anupama, D., Bhat, K. K. ve Sapna, V. K., 2003, Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey, *Food Research International*, 36 (2), 183-191.

AOAC, 1990, Official methods of analysis, 15th Edition, Edited by Kenneth Helrich, *Association of Official Analytical Chemists. Inc*, Arlington, Virginia, USA, p. 1-684.

Arıkan, A., 2010, Arı ürünlerinde ağır metal birikimine trafiğin etkisi, Yüksek Lisans, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat, 1-50.

Arslan, S. ve Arıkan, A., 2014, Accumulation of heavy metals in bee products effect of distance from highway, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science Technology*, 1 (2), 90-93.

Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M. ve 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.

Bertoncelj, J., Dobersek, U., Jamnik, M. ve Golob, T., 2007, Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey, *Food chemistry*, 105 (2), 822-828.

Bogdanov, S. ve Martin, P., 2002, Honey authenticity, *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 93 (3), 232-254.

Bogdanov, S., Ruoff, K. ve Oddo, L. P., 2004, Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review, *Apidologie*, 35 (1), 4-17.

Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbühl, W. ve Gallmann, P., 2007, Minerals in honey: environmental, geographical and botanical aspects, *Journal of Apicultural Research*, 46 (4), 269-275.

Bogdanov, S., 2008, Contaminants of bee producs, *Uluslar Arası Muğla Arıcılık ve Çam Balı Kongresi*, Muğla, 25-27.

Boğa, A., 2007, Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 16 (3), 218-234.

Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G. ve Hamdi, S., 2018, Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia, *Arabian journal of chemistry*, 11 (2), 265-274.

Bozyiğit, R. ve Karaaslan, T., 1998, Çevre bilgisi, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, Türkiye, p. 1-154.

Branquinho, C., Gaio-Oliveira, G., Augusto, S., Pinho, P., Máguas, C. ve Correia, O., 2008, Biomonitoring spatial and temporal impact of atmospheric dust from a cement industry, *Environmental Pollution*, 151 (2), 292-299.

Bulut, L., 2007, Balda Depolama sırasında esmerleşme reaksiyonu kinetiğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-65.

Cavia, M. M., Fernandez-Muino, M. A., Alonso-Torre, S. R., Huidobro, J. F. ve Sancho, M. T., 2007, Evolution of acidity of honeys from continental climates: Influence of induced granulation, *Food chemistry*, 100 (4), 1728-1733.

Celli, G. ve Maccagnani, B., 2003, Honey bees as bioindicators of environmental pollution, *Bulletin of Insectology*, 56 (1), 137-139.

Cemeroğlu, B., 1992, Meyve ve sebze işleme endüstrisinde temel analiz metotları, *Biltav Yayınları*, Ankara, Türkiye, p. 1-381.

Citak, D., Silici, S., Tuzen, M. ve Soylak, M., 2012, Determination of toxic and essential elements in sunflower honey from Thrace Region, Turkey, *International Journal of Food Science Technology*, 47 (1), 107-113.

Conti, M. E., 2000, Lazio region (central Italy) honeys: a survey of mineral content and typical quality parameters, *Food Control*, 11 (6), 459-463.

Conti, M. E. ve Botre, F., 2001, Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination, *Environmental monitoring and assessment*, 69 (3), 267-282.

Costa-Silva, F., Maia, M., Matos, C. C., Calçada, E., Barros, A. I. ve Nunes, F. M., 2011, Selenium content of Portuguese unifloral honeys, *Journal of Food Composition Analysis*, 24 (3), 351-355.

Crane, E., 1975, Flowers honey comes from, *Honey: A Comprehensive Survey*, 608.

Çağlarırmak, N. ve Hepçimen, A. Z., 2010, Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi, *Akademik Gıda*, 8 (2), 31-35.

Çapar, D. D., 2010, Muğla ilinde üretilen çam ballarının fizikokimyasal özellikleri ve mineral içeriklerinin belirlenmesi ve depolamadaki değişimleri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-45.

De-Melo, A. A. M., Estevinho, M. L. M. F., Sattler, J. A. G., Souza, B. R., da Silva Freitas, A., Barth, O. M. ve Almeida-Muradian, L. B., 2016, Effect of processing conditions on characteristics of dehydrated bee-pollen and correlation between quality parameters, *LWT-Food Science and Technology*, 65, 808-815.

De Arruda, V. A. S., Pereira, A. A. S., De Freitas, A. S., Barth, O. M. ve De Almeida-Muradian, L. B., 2013, Dried bee pollen: B complex vitamins, physicochemical and botanical composition, *Journal of Food Composition and Analysis*, 29 (2), 100-105.

Demirezen, D. ve Aksoy, A., 2005, Determination of heavy metals in bee honey using by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), *Gazi University Journal of Science*, 18 (4), 569-575.

Denisow, B. ve Denisow-Pietrzyk, M., 2016, Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (13), 4303-4309.

Doğaroğlu, M., 2004, Modern arıcılık teknikleri, *Doğa Arıcılık Ticaret, 2. Basım*, Tekirdağ, Turkey, p. 1-295.

Dominguez-Valhondo, D., Bohoyo Gil, D., Hernandez, M. T. ve Gonzalez-Gomez, D., 2011, Influence of the commercial processing and floral origin on bioactive and

nutritional properties of honeybee-collected pollen, *International Journal of Food Science and Technology*, 46 (10), 2204-2211.

Draszawka, B. B., 2014, Effect of heavy metals on living organisms, *World Scientific News* (3), 26-34.

Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. ve Egwurugwu, J., 2007, Heavy metal pollution and human biotoxic effects, *International Journal of Physical Sciences*, 2 (5), 112-118.

El-Haskoury, R., Kriaa, W., Lyoussi, B. ve Makni, M., 2018, Ceratonia siliqua honeys from Morocco: Physicochemical properties, mineral contents, and antioxidant activities, *Journal of food and drug analysis*, 26 (1), 67-73.

Erkmen, O., 2010, Gıda kaynaklı tehlikeler ve güvenli gıda üretimi, *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 53 (3), 220-235.

Escriche, I., Kadar, M., Juan-Borras, M. ve Domenech, E., 2014, Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment, *Food chemistry*, 142, 135-143.

Fakhimzadeh, K. ve Lodenius, M., 2000, Honey, pollen and bees as indicator of heavy metal pollution, *Environmentalica*, 14, 13-20.

Feas, X., Vazquez-Tato, M. P., Estevinho, L., Seijas, J. A. ve Iglesias, A., 2012, Organic bee pollen: botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality, *Molecules*, 17 (7), 8359-8377.

Fredes, C. ve Montenegro, G., 2006, Heavy metals and other trace element contents in Chilean honey, *Cien. Inv. Agr*, 33 (1), 50-58.

Fuenmayor, B., Zuluaga, D., Diaz, M., Quicazan de C, M., Cosio, M. ve Mannino, S., 2014, Evaluation of the physicochemical and functional properties of Colombian bee pollen, *Revista MVZ Córdoba*, 19 (1), 4003-4014.

Gabriele, M., Parri, E., Felicioli, A., Sagona, S., Pozzo, L., Biondi, C., Domenici, V. ve Pucci, L., 2015, Phytochemical composition and antioxidant activity of Tuscan bee pollen of different botanic origins, *Italian Journal of Food Science*, 27 (2), 248-259.

Genç, F. ve Dodoloğlu, A., 2011, Arıcılığın temel esasları, *Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 931*, Erzurum, Turkey, p. 1-386.

Gheldof, N. ve Engeseth, N. J., 2002, Antioxidant capacity of honeys from various floral sources based on the determination of oxygen radical absorbance capacity and inhibition of in vitro lipoprotein oxidation in human serum samples, *Journal of agricultural and food chemistry*, 50 (10), 3050-3055.

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

Gonzales, A. P., Burin, L. ve Pilar Buera, M., 1999, Color changes during storage of honeys in relation to their composition and initial color, *Food Research International*, 32 (3), 185-191.

Gonzalez-Miret, M. L., Terrab, A., Hernanz, D., Fernandez-Recamales, M. A. ve Heredia, F. J., 2005, Multivariate correlation between color and mineral composition of honeys and by their botanical origin, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53 (7), 2574-2580.

Görmez, K., 2003, Çevre sorunları ve Türkiye, *Gazi Kitapevi*, Ankara, Türkiye, p. 1-190.

Gurel, F., Karkacier, M. ve Ozdemir, F., 1998, Identification of sugar honey, multifloral honey and honeydew honey based on mineral content, total ash, pH and acidity, *Apiacta*, 33, 42-45.

Gutierrez, M., Molero, R., Gaju, M., Josef, V. D. S., Porrini, C. ve Ruiz, J. A., 2015, Assessment of heavy metal pollution in Córdoba (Spain) by biomonitoring foraging honeybee, *Environmental Monitoring Assessment*, 187 (10), 651-665.

Gül, A., 2008, Türkiye'de üretilen bazı balların yapısal özelliklerinin gıda güvenliği bakımından araştırılması, Doktora Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 1-228.

Güler, A., Bakan, A., Nisbet, C. ve Yavuz, O., 2007, Determination of important biochemical properties of honey to discriminate pure and adulterated honey with sucrose (Saccharum officinarum L.) syrup, *Food chemistry*, 105 (3), 1119-1125.

Günbey, B., 2009, Yayla balı ile salgı balının yapısal özellikleri, *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 1, 26-29.

Gürel, F., Karslı, B. A. ve Cilavdaroğlu, E., 2015, Arı poleninin kalite kriterleri ve organik üretim potansiyeli. Doğu Karadeniz II. Organik Tarım Kongresi Pazar, Rize**:** 76-83.

Hennessy, S. n., Downey, G. ve O'Donnell, C. P., 2010, Attempted confirmation of the provenance of corsican PDO honey using FT-IR spectroscopy and multivariate data analysis, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58 (17), 9401-9406.

Isengard, H. D. ve Schulthei, D., 2003, Water determination in honey—Karl Fischer titration, an alternative to refractive index measurements, *Food chemistry*, 82 (1), 151-154.

Kaçar, B. ve İnal, A., 2008, Bitki Analizleri, *Nobel Yayınları*, Ankara, Türkiye, p. 1-1241.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2004, Metallerin çevresel etkileri-1, *Metalurji Dergisi*, 136, 1-12.

Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S., 2004, Metallerin çevresel etkileri - 2, *Metalurji Dergisi*, 137, 1-12.

Kostic, A. Z., Barac, M. B., Stanojevic, S. P., Milojkovic-Opsenica, D. M., Tesic, Z. L., Sikoparija, B., Radisic, P., Prentovic, M. ve Pesic, M. B., 2015, Physicochemical composition and techno-functional properties of bee pollen collected in Serbia, *LWT-Food Science and Technology*, 62 (1), 301-309.

Kumova, U. ve Korkmaz, A., 2001, Arı yetiştiriciliği, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Yayınları ve Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi Yayınları*, Adana, Türkiye, p. 1-71.

Kus, P. M., Congiu, F., Teper, D., Sroka, Z., Jerkovic, I. ve Tuberoso, C. I. G., 2014, Antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six Polish unifloral honey types, *LWT-Food Science and Technology*, 55 (1), 124-130.

Küçük, M., Kolaylı, S., Karaoğlu, Ş., Ulusoy, E., Baltacı, C. ve Candan, F., 2007, Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia, *Food chemistry*, 100 (2), 526-534.

Lawless, H. T., Horne, J. ve Giasi, P., 1996, Astringency of organic acids is related to pH, *Chemical Senses*, 21 (4), 397-403.

Leblebici, Z., 2006, Kayseri yöresinde bulunan bazı bal örneklerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 1-59.

Leblebici, Z. ve Aksoy, A., 2008, Determination of Heavy Metals in Honey Samples from Central Anatolia Using Plasma Optical Emission Spectrofotometry (ICP-OES), *Polish Journal of Environmental Studies*, 17 (4), 549-555.

Leita, L., Muhlbachova, G., Cesco, S., Barbattini, R. ve Mondini, C., 1996, Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination, *Environmental monitoring and assessment*, 43 (1), 1-9.

Manu Kumar, H. M., Ananda, A. P. ve Vishwanathan, D., 2013, Study of Physicochemical parameters and Antioxidant in Honey collected from different locations of India, *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*, 4 (12).

Marghitas, L. A., Dezmirean, D., Popescu, O., Maghear, O., Moise, A. ve Bobis, O., 2008, Correlation between ash content and electrical conductivity in honeydew honey from Romania. 1st World Honeydew Honey Symposium. Tzarevo, Bulgaria**:** 30.

Matei, N., Birghila, S., Dobrinas, S. ve Capota, P., 2004, Determination of C vitamin and some essential trace elements (Ni, Mn, Fe, Cr) in bee products, *Acta Chimica Slovenica*, 51, 169-175.

Morais, M., Moreira, L., Feas, X. ve Estevinho, L. M., 2011, Honeybee-collected pollen from five Portuguese Natural Parks: Palynological origin, phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity, *Food and Chemical Toxicology*, 49 (5), 1096-1101.

Nagai, T., Sakai, M., Inoue, R., Inoue, H. ve Suzuki, N., 2001, Antioxidative activities of some commercially honeys, royal jelly, and propolis, *Food chemistry*, 75 (2), 237-240.

Nicholls, J. ve Miraglio, A. M., 2003, Honey and healthy diets, *Cereal foods world*, 48 (3), 116.

Nisbet, C., Güler, A., Yarım, G. F., Cenesiz, S. ve Ardalı, Y., 2013, Çevre ve flora kaynaklarının arı ürünlerinin mineral madde içerikleri ile ilişkisi, *Turkish Journal of Biochemistry/Turk Biyokimya Dergisi*, 38 (4), 494-498.

Nizamlıoğlu, N. M. ve Nas, S., 2010, Meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşikler; yapıları ve önemleri, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5 (1), 20-35.

Nogueira, C., Iglesias, A., Feas, X. ve Estevinho, L. M., 2012, Commercial bee pollen with different geographical origins: a comprehensive approach, *International Journal of Molecular Sciences*, 13 (9), 11173-11187.

Oliveira, K. C., Moriya, M., Azedo, R. A., Almeida-Muradian, L. B. d., Teixeira, E. W., Alves, M. L. ve Moreti, A. C., 2009, Relationship between botanical origin and antioxidants vitamins of bee-collected pollen, *Química Nova*, 32 (5), 1099-1102.

Oroian, M., 2012, Physicochemical and rheological properties of Romanian honeys, *Food Biophysics*, 7 (4), 296-307.

Ötleş, S., 1995, Bal ve bal teknolojisi (kimyası ve analizleri), *Alaşehir Meslek Yüksekokulu Yayınları, Yayın No:2*, Manisa, p. 1-89.

Özbolat, G. ve Tuli, A., 2016, Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25 (4), 502-521.

Özey, R., 2005, Çevre Sorunları, *Aktif Yayınevi*, İstanbul, Türkiye, p. 1-256.

Pascoal, A., Rodrigues, S., Teixeira, A., Feas, X. ve Estevinho, L. M., 2014, Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory, *Food and Chemical Toxicology*, 63, 233-239.

Perez-Perez, E. M., Vit, P., Rivas, E., Sciortino, R., Sosa, A., Tejada, D. ve Rodriguez-Malaver, A. J., 2012, Antioxidant activity of four color fractions of bee pollen from Merida, Venezuela, *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 62 (4), 375.

Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M. C., Tarasco, R. ve Amorena, M., 2011, Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators, *Biological Trace Element Research*, 140, 170-176.

Petretto, G. L., Tuberoso, C. I. G., Vlahopoulou, G., Atzei, A., Mannu, A., Zrira, S. ve Pintore, G., 2016, Volatiles, color characteristics and other physico–chemical parameters of commercial Moroccan honeys, *Natural product research*, 30 (3), 286-292.

Pisani, A., Protano, G. ve Riccobono, F., 2008, Minor and trace elements in different honey types produced in Siena County (Italy), *Food chemistry*, 107 (4), 1553-1560.

Pohl, P., Sergiel, I. ve Prusisz, B., 2011, Direct analysis of honey for the total content of Zn and its fractionation forms by means of flame atomic absorption spectrometry with solid phase extraction and ultrafiltration approaches, *Food chemistry*, 125 (4), 1504-1509.

Polat, G., 2007, Farklı lokasyon ve orijinlere sahip balların reolojik, fizikokimyasal karakteristikleri ve mineral içeriklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-51.

Porrini, C., Sabatini, A. G., Girotti, S., Ghini, S., Medrzycki, P., Grillenzoni, F., Bortolotti, L., Gattavecchia, E. ve Celli, G., 2003, Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination, *Apiacta*, 38 (1), 63-70.

Przybylowski, P. ve Wilczynska, A., 2001, Honey as an environmental marker, *Food chemistry*, 74 (3), 289-291.

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J. ve Paganga, G., 1996, Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids, *Free radical biology and medicine*, 20 (7), 933-956.

Roman, A., 2010, Levels of copper, selenium, lead, and cadmium in forager bees, *Polish Journal of Environmental Studies*, 19 (3), 663-669.

Roman, A., Madras-Majewska, B. ve Popiela-Pleban, E., 2011, Comparative study of selected toxic elements in propolis and honey, *Journal of Apicultural Science*, 55 (2), 97-105.

Sağlam, F., 2015, Muğla yöresi çam ballarının depolamaya bağlı olarak bazı kinetik parametrelerinin belirlenmesi ve raf ömrünün tahmini, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-130.

Sangsrichan, S. ve Wanson, W., 2008, The antioxidant capacity of honey samples collected in the north part of Thailand in relationship with its total polyphenol, *Kmitl Science Journal*, 8 (2), 68-73.

Schmidt, J. O. ve Buchman, S. L., 1992, The hive and the honey bee, Edited by Joe M. Graham, *Bookcrafters*, Michigan, U.S.A., p. 930.

Serem, J. C. ve Bester, M. J., 2012, Physicochemical properties, antioxidant activity and cellular protective effects of honeys from southern Africa, *Food chemistry*, 133 (4), 1544-1550.

Seven, T., Can, B., Darende, B. N. ve Ocak, S., 2018, Hava ve toprakta ağır metal kirliliği, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2), 91-103.

Seyyednjad, S., Majdian, K., Koochak, H. ve Niknejad, M., 2011, Air pollution tolerance indices of some plants around industrial zone in south of Iran, *Asian Journal of Biological Science*, 4 (3), 300-305.

Silici, S., Uluozlu, O. D., Tuzen, M. ve Soylak, M., 2016, Honeybees and honey as monitors for heavy metal contamination near thermal power plants in Mugla, Turkey, *Toxicology Industrial Health*, 32 (3), 507-516.

Singleton, V. L. ve Rossi, J. A., 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *American journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144-158.

Soetan, K. O., Olaiya, C. O. ve Oyewole, O. E., 2010, The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants-A review, *African journal of food science*, 4 (5), 200-222.

Szczesna, T., Rybak-Chmielewska, H. ve Chmielewski, W., 2002, Sugar composition of pollen loads harvested at different periods of the beekeeping season, *Journal of Apicultural Science*, 46 (2).

Şahinler, N., Şahinler, S. ve Gül, A., 2001, Hatay yöresi ballarının bileşimi ve biyokimyasal analizi, *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6 (2), 93-108.

Taha, E.-K. A., 2015, Chemical composition and amounts of mineral elements in honeybee-collected pollen in relation to botanical origin, *Journal of Apicultural Science*, 59 (1), 75-81.

Taha, E.-K. A., Al-Jabr, A. M. ve Al-Kahtani, S. N., 2017, Honey bees, bee-collected pollen and honey as monitors of environmental pollution at an industrial cement area in Saudi Arabia, *Journal of the Kansas Entomological Society*, 90 (1), 1-10.

Terrab, A., Diez, M. J. ve Heredia, F. J., 2003, Palynological, physico-chemical and colour characterization of Moroccan honeys: I. River red gum (Eucalyptus camaldulensis Dehnh) honey, *International journal of food science & technology*, 38 (4), 379-386.

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

Tolon, B., 1999, Muğla ve yöresi çam ballarının biyokimyasal özellikleri üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Biimleri enstitüsü*, İzmir, 1-117.

Tosi, E., Ciappini, M., Re, E. ve Lucero, H., 2002, Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content, *Food chemistry*, 77 (1), 71-74.

Turan, F., 2012, Kırklareli izole bölgesinde yaşayan Trakya Arısı (Apis mellifera carnica) kolonilerinden elde edilen balların kalite özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1-70.

Tutkun, E., 2006, Arıcılık tekniği, *Önder Matbaacılık*, Ankara, Turkey, p. 1-320.

Tuzen, M., Silici, S., Mendil, D. ve Soylak, M., 2007, Trace element levels in honeys from different regions of Turkey, *Food chemistry*, 103 (2), 325-330.

Türközü, D. ve Şanlıer, N., 2014, Gıdalardaki ağır metal kontaminasyonları: Bulaşma kaynakları, sağlık riskleri ve ulusal/uluslararası standartlar, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9 (3), 29-46.

Uluozlu, O. D., Tuzen, M., Mendil, D. ve Soylak, M., 2007, Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey, *Food chemistry*, 104 (2), 835-840.

USDA, N. R. C. S., 2004, Soil survey laboratory methods manual, *Soil survey investigations report*, 42.

Ünlütürk, A. ve Turantaş, F., 1998, Gıda mikrobiyolojisi, *Mengi Tan Basımevi*, İzmir, p. 605.

Üren, A., 1999, Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri, *Gıda (The Journal of Food)*, 24 (3), 193-200.

Yahya, A. A.-N., Naiem, A. E.-S., Seif, A. I. ve Mona, M. H., 2013, Honey bees and their products as a bio-indicator of environmental pollution with heavy metals, *Mellifera*, 13 (26), 10-20.

Yarsan, E., Karacal, F., Ibrahim, I. G., Dikmen, B., Koksal, A. ve Das, Y. K., 2007, Contents of some metals in honeys from different regions in Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 79 (3), 255-258.

Yılmaz, N., 1996, İzmit yöresinden toplanan bal ve polen örneklerinde element analizi ile bal örneklerinde polen analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-53.

Yook, H.-S., Lim, S.-I. ve Byun, M.-W., 1998, Changes in microbiological and physicochemical properties of bee pollen by application of gamma irradiation and ozone treatment, *Journal of food protection*, 61 (2), 217-220.

Zhelyazkova, I., 2012, Honeybees–bioindicators for environmental quality, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18 (3), 435-442.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Hüseyin BAYIR
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Alanya, 01.03.1976
Telefon	**:**	0 533 6317571
Faks	**:**	0 332 2410108
e-mail	**:**	hbayir@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:**	Alanya İmam Hatip Lisesi, Alanya, Antalya	1993
Ön Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi Taşkent Meslek Yüksekokulu, Arıcılık Programı, Taşkent, Konya	1996
Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, Selçuklu, Konya	2000
Yüksek Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya	2005
Doktora	**:**	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zootekni Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2000-2006	Selçuk Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2006-2018	Selçuk Üniversitesi	Uzman
2018-	Selçuk Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Bal Arısı Yetiştiriciliği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Bayır, H. ve Boztepe, S., 2009, Bal arısı (*Apis Mellifera* L.) kolonilerinde farklı polen tuzağı tiplerinin ve farklı sürelerde tuzak kullanımının performans üzerine etkileri, Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 23 (47), 1-7. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).

Bayır, H. ve Boztepe, S., 2008, Polen üretimi, Konya Ticaret Borsası, 30, 54-59.

Bayır, H. ve Atalay, E., 2016, Organik tarım, Editör: M. Yorgancılar, Atlas Akademi, Konya, p. 57-71.