



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI**

**SAMSUN TERSAKAN ÇAYI'NDAN YAKALANAN ALTI
BALIK TÜRÜNÜN OTOLİT MORFOMETRİSİ VE ŞEKİL
ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ceren ÇETİN

Danışman
Prof. Dr. Savaş YILMAZ

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI**



**SAMSUN TERSAKAN ÇAYI'NDAN YAKALANAN ALTI
BALIK TÜRÜNÜN OTOLİT MORFOMETRİSİ VE ŞEKİL
ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ceren ÇETİN

Danışman
Prof. Dr. Savaş YILMAZ

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Ceren ÇETİN tarafından, Prof. Dr. Savaş YILMAZ danışmanlığında hazırlanan “SAMSUN TERSAKAN ÇAYI’NDAN YAKALANAN ALTI BALIK TÜRÜNÜN OTOLİT MORFOMETRİSİ VE ŞEKİL ANALİZİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 28.9.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Savaş YILMAZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyoloji Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Derya BOSTANCI Ordu Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Özgür BAYTUT Ondokuz Mayıs Üniversitesi Biyoloji Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

21/06 / 2023
Ceren ÇETİN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : SAMSUN TERSAKAN ÇAYI'NDAN YAKALANAN ALTI BALIK TÜRÜNÜN OTOLİT MORFOMETRİSİ VE ŞEKİL ANALİZİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 21.06.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

21/06 / 2023
Prof. Dr. Savaş YILMAZ

ÖZET

SAMSUN TERSAKAN ÇAYI'NDAN YAKALANAN ALTI BALIK TÜRÜNÜN OTOLİT MORFOMETRİSİ VE ŞEKİL ANALİZİ

Ceren ÇETİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Biyoloji Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Eylül/2023
Danışman: Prof. Dr. Savaş YILMAZ

Otolit morfolojisinin türe özgü olduğu bilindiğinden, bu yapılar uzun zamandır balık tanımlama ve ayrımı için kullanışlı araçlar olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, Samsun ili (Türkiye) Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı Cypriniform balık türünün (*Barbus tauricus*, *Capoeta tinca*, *Abramis brama*, *Alburnoides kurui*, *Scardinius erythrophthalmus* ve *Squalius cephalus*) lagenar (asteriskus) ve utrikular (lapillus) otolit morfolojisi taramalı elektron mikroskobu görüntülerine dayanarak tanımlanmıştır. Ayrıca otolit şeklindeki türler-arası farklılıklar şekil indeksleri, eliptik Fourier katsayıları ve dalgacık dönüşümü ile değerlendirilmiştir.

Otolitlerin morfolojik analizi, lapillusların asteriskuslara göre daha fazla türe özgü tanısal karaktere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tür ayrımında otolit şekil analizinin morfometrik analizden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek sınıflandırma başarısı %90.6 ile lapillus otolitlerine uygulanan dalgacık dönüşümü tekniğinde elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, otolit şeklinin türe özgü olduğunu doğrulayarak, Cypriniform balık türlerinin ayrımı için otolit morfolojisinin kullanışlılığını göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Otolit morfolojisi, Şekil indeksleri, Eliptik Fourier analizi, Dalgacık dönüşümü, Cypriniform balık, Tersakan Çayı

ABSTRACT

OTOLITH MORPHOMETRY AND SHAPE ANALYSIS OF SIX FISH SPECIES CAUGHT FROM TERSAKAN STREAM IN SAMSUN PROVINCE

Ceren ÇETİN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Biology

Master, September/2023

Supervisor: Prof. Dr. Savaş YILMAZ

Because otolith morphology is known to be species-specific, these structures have long been considered useful tools for fish identification and discrimination. In this study, lagenar (asteriscus) and utricular (lapillus) otolith morphology of six Cypriniform fish species (*Barbus tauricus*, *Capoeta tinca*, *Abramis brama*, *Alburnoides kurui*, *Scardinius erythrophthalmus* and *Squalius cephalus*) obtained from Tersakan Stream in Samsun province (Türkiye) were described based on scanning electron microscopy images. In addition, interspecies differences in otolith shape were evaluated with shape indices, elliptic Fourier coefficients and wavelet transform.

Morphological analysis of otoliths revealed that lapilli have more species-specific diagnostic characters than asterisci. Otolith shape analysis was found to be more effective than morphometric analysis in species discrimination. However, the highest classification success was achieved in the wavelet transform technique applied to lapillus otoliths with 90.6%. The results of this study suggest the usefulness of otolith morphology for differentiation of Cypriniform fish species, confirming that the otolith shape is species-specific.

Keywords: Otolith morphology, Shape indices, Elliptic Fourier analysis, Wavelet transform, Cypriniform fish, Tersakan Çayı

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca her aşamada, değerli görüş ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Savaş YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman destekçim oldukları gibi, yüksek lisans sürecimde de daima yanımda olan AİLEME çok teşekkür ederim.

Ceren ÇETİN



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	7
2.1. Cyprinidae ve Leuciscidae Üyesi Balıkların Otolit Morfolojisi.....	7
2.2. Diğer Balıklarda Otolit Morfolojisi ve Tür Ayrımı	10
3. MATERYAL VE METOT.....	14
3.1. Araştırma Alanı	14
3.2. Çalışma Materyali	15
3.2.1. <i>Barbus tauricus</i> Kessler, 1877	15
3.2.2. <i>Capoeta tinca</i> (Heckel, 1843)	16
3.2.3. <i>Abramis brama</i> (L., 1758).....	17
3.2.4. <i>Alburnoides kurui</i> Turan, Kaya, Bayçelebi, Bektaş & Ekmekçi, 2017.....	18
3.2.5. <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758).....	18
3.2.6. <i>Squalius cephalus</i> (L., 1758).....	19
3.3. Örneklerin Yakalanması ve Laboratuvarda Yapılan İşlemler.....	20
3.4. Otolitlerin Fotoğraflanması.....	20
3.5. Otolit Morfolojisi	21
3.5.1. Otolit Morfometrisi.....	23
3.5.2. Otolit Şekil Analizi.....	25
4. BULGULAR.....	31
4.1. Otolit Morfolojisinin Tanımlanması.....	31
4.2. Otolit Morfometrisi	36
4.3. Otolit Şekil Analizi.....	41
4.3.1. Eliptik Fourier Katsayıları	41
4.3.2. Dalgacık Katsayıları	48
5. TARTIŞMA.....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

ANCOVA	: Kovaryans Analizi
ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi
BYO	: Boy-Yükseklik Oranı
BGO	: Boy-Genişlik Oranı
CDA	: Kanonik Ayrım Analizi
DAİ	: Dairesellik
DİK	: Dikdörtgensellik
EF	: Eliptik Fourier
FG	: Fourier Güç
KITAM	: Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
N	: Birey Sayısı
AA	: Asteriskus Alanı
AH	: Asteriskus Yüksekliği
AL	: Asteriskus Uzunluğu
AP	: Asteriskus Çevresi
LL	: Lapillus Uzunluğu
LW	: Lapillus Genişliği
LP	: Lapillus Çevresi
LA	: Lapillus Alanı
OVA	: Ovallık
PCA	: Ana Bileşen Analizi
SH	: Standart Hata
SS	: Standart Sapma
ŞF	: Şekil Faktörü
TB	: Total Boy
YUV	: Yuvarlaklık
D	: Dorsal
V	: Ventral
L	: Lateral
M	: Medial
A	: Anteriyor
P	: Posteriyor

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Teleost balık otolitleri. A- <i>Moreno americana</i> (Campana, 2004), B- <i>Carassius auratus</i> (Takabayashi and Ohmura-Iwasaki, 2003).....	3
Şekil 3.1. Tersakan Çayı'nın haritası	14
Şekil 3.2. <i>Barbus tauricus</i> türünün genel görünümü (28.6 cm TB).....	16
Şekil 3.3. <i>Capoeta tinca</i> türünün genel görünümü (27.4 cm TB).....	17
Şekil 3.4. <i>Abramis brama</i> türünün genel görünümü (24.1 cm TB)	17
Şekil 3.5. <i>Alburnoides kurui</i> türünün genel görünümü (10.9 cm TB).....	18
Şekil 3.6. <i>Scardinius erythrophthalmus</i> türünün genel görünümü (14.8 cm TB).....	19
Şekil 3.7. <i>Squalius cephalus</i> türünün genel görünümü (17.0 cm TB).....	20
Şekil 3.8. Lagenar ve utrikular otolitlerin morfolojik karakterleri ve terminoloji. (A) Sağ asteriskus, (B) Sağ lapillus (tip I), (C) Sağ lapillus (tip II)	22
Şekil 3.9. Sağ asteriskusun distal (a) ve sağ lapillusun dorsal (b) görünümü ve alınan morfometrik ölçümler. AL-asteriskus uzunluğu, AH-asteriskus yüksekliği, AP-asteriskus çevresi, AA-asteriskus alanı, LL-lapillus uzunluğu, LW-lapillus genişliği, LP-lapillus çevresi, LA-lapillus alanı, D-dorsal, V-ventral, L-lateral, M-medial, A-anteriyor, P-posterior, Ölçek=1 mm	23
Şekil 3.10. Asteriskus için dalgacık fonksiyonlarını elde etme prosedürünü gösteren şema .	28
Şekil 3.11. Lapillus için dalgacık fonksiyonlarını elde etme prosedürünü gösteren şema	29
Şekil 4.1. Tersakan Çayı'ndan altı balık türünün sağ asteriskus otolitlerinin distal ve proksimal görünüşleri. (a)- <i>Barbus tauricus</i> (29.5 cm TB), (b)- <i>Capoeta tinca</i> (27.4 cm TB), (c)- <i>Abramis brama</i> (24.1 cm TB), (d)- <i>Alburnoides kurui</i> (10.9 cm TB), (e)- <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (15.0 cm TB), (f)- <i>Squalius cephalus</i> (18.5 cm TB), D-dorsal, V-ventral, A-anterior, P-posterior, Ölçek: 1 mm	34
Şekil 4.2. Tersakan Çayı'ndan altı balık türünün sağ lapillus otolitlerinin dorsal ve ventral görünüşleri. (a)- <i>Barbus tauricus</i> (29.5 cm TB), (b)- <i>Capoeta tinca</i> (27.4 cm TB), (c)- <i>Abramis brama</i> (24.1 cm TB), (d)- <i>Alburnoides kurui</i> (10.9 cm TB), (e)- <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (15.0 cm TB), (f)- <i>Squalius cephalus</i> (18.5 cm TB), D-dorsal, V-ventral, A-anterior, P-posterior, Ölçek: 1 mm	35
Şekil 4.3. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus şekil indekslerinin kanonik ayrım analizi grafiği.....	40
Şekil 4.4. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için lapillus şekil indekslerinin kanonik ayrım analizi grafiği.....	41
Şekil 4.5. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus EF katsayılarının kanonik ayrım analizi grafiği.....	45
Şekil 4.6. Her bir türde lagenar otolitlerin ortalama şekli. (a) <i>Barbus tauricus</i> , (b) <i>Capoeta tinca</i> , (c) <i>Abramis brama</i> , (d) <i>Alburnoides kurui</i> , (e) <i>Scardinius erythrophthalmus</i> , (f) <i>Squalius cephalus</i>	45
Şekil 4.7. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için lapillus EF katsayılarının kanonik ayrım analizi grafiği.....	47
Şekil 4.8. Her bir türde utrikular otolitlerin ortalama şekli. (a) <i>Barbus tauricus</i> , (b) <i>Capoeta tinca</i> , (c) <i>Abramis brama</i> , (d) <i>Alburnoides kurui</i> , (e) <i>Scardinius erythrophthalmus</i> , (f) <i>Squalius cephalus</i>	47

Şekil 4.9. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus otolitinin dalgacık 5 fonksiyon katsayılarının kanonik ayrım analizi grafiği.....	48
Şekil 4.10. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için asteriskus otolitlerinin dalgacık 5 sinyalleri. Renkler sinyaller arasındaki benzerliği göstermektedir	50
Şekil 4.11. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için lapillus otolitinin dalgacık 5 fonksiyon katsayılarının kanonik ayrım analizi grafiği.....	51
Şekil 4.12. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için lapillus otolitlerinin dalgacık 5 sinyalleri. Renkler sinyaller arasındaki benzerliği göstermektedir	53



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Tez materyali olarak kullanılan balıkların taksonomik konumları.....	15
Tablo 3.2. Yakalanan balık türlerinin örnek sayıları (N) ve total boy dağılımları (SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum)	20
Tablo 3.3. Asteriskus ve lapillus otolitler için hesaplanan şekil indeksleri ve formülleri	24
Tablo 4.1. Asteriskus ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri (Ort-ortalama, SH-standart hata, SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum).....	36
Tablo 4.2. Lapillus ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri (Ort-ortalama, SH-standart hata, SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum).....	37
Tablo 4.3. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için asteriskus otolit şekil indekslerinin standartlaştırılmış değerleri (ortalama±standart sapma). Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)	37
Tablo 4.4. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için lapillus otolit şekil indekslerinin standartlaştırılmış değerleri (ortalama±standart sapma). Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)	38
Tablo 4.5. Asteriskus şekil indeksleri ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.	39
Tablo 4.6. Lapillus şekil indeksleri ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı yüzdeleri. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.....	40
Tablo 4.7. Asteriskus EF katsayılarının ortalama ve standart sapma (parantez içi) değerleri ve türler arasında karşılaştırılması. Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)	42
Tablo 4.8. Lapillus EF katsayılarının ortalama ve standart sapma (parantez içi) değerleri ve türler arasında karşılaştırılması. Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)	43
Tablo 4.9. Asteriskus EF katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.	44
Tablo 4.10. Lapillus EF katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.	46
Tablo 4.11. Asteriskus dalgacık 5 katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.	49
Tablo 4.12. Lapillus dalgacık 5 katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.	52

1. GİRİŞ

Ostariophysi, Teleost balıkların en büyük ikinci üsttakımıdır ve üyelerine Ostaryofizyanlar denilmektedir (Nelson et al., 2016). Bu üsttakım, bilinen tüm balıkların (36422) yaklaşık %32'sine ve tatlısu balıklarının (18463) yaklaşık %63'üne tekabül eden 11609 tür ile temsil edilmektedir (Fricke et al., 2023). Ostaryofizyanlar Antarktika, Grönland ve Yeni Zelanda hariç tüm kıtalarda ve büyük kara kütlelerinde bulunurlar. Bu grubun üyeleri, insanlar için gıda, spor, akvaryum endüstrisi ve bilimsel araştırmalar için önemli olan balıklardır. Ostariophysi üsttakımı Anotofiz ve Otofiz olmak üzere iki seriye ayrılır (Nelson et al., 2016). Gonorynchiformes takımı üyelerinden oluşan Anotofizanlar, 4 familya, 7 cins ve 38 türle temsil edilmektedir (Fricke et al., 2023). Bu takımdaki balıklar Güneydoğu Asya, Afrika ve Hint-Pasifik'in deniz ve tatlı su ortamlarında geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir. Otofiz serisini Cypriniformes, Characiformes, Siluriformes, Gymnotiformes takımları oluşturur. Otofizan balıkların temel özelliklerinden biri Weber aygıtına sahip olmalarıdır. Weber aparatı, işitme sistemini balıkların gaz kesesine bağlayan ve Weber kemikçikleri olarak bilinen bir dizi kemikten oluşur (Nelson et al., 2016). Otofizanlar, 96 familyada 1332 cins ve 11571 tür barındırır (Fricke et al., 2023). Bu serideki balıkların neredeyse tamamı birincil tatlısu sakinleridir ve Avustralya hariç tüm kıtalarda görülürler (Berra, 2001).

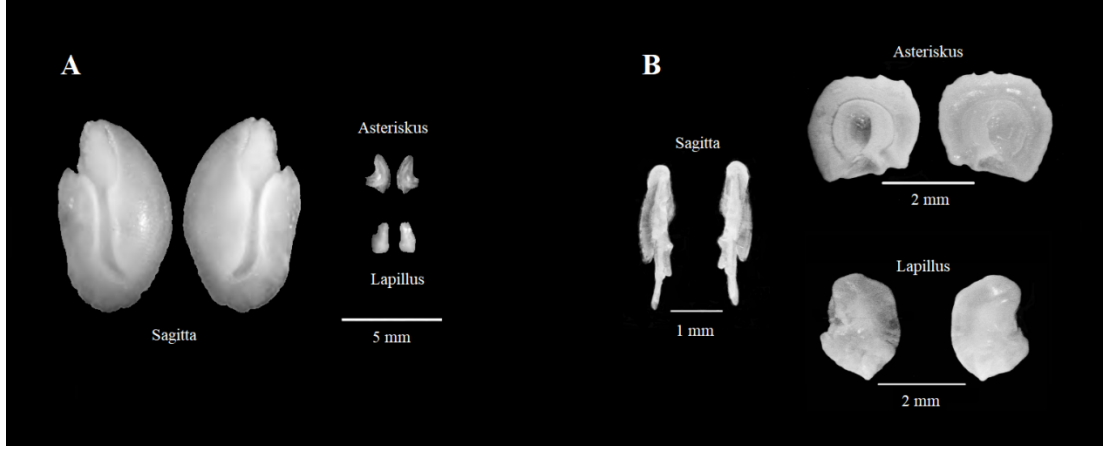
Cypriniformes takımı, 4800 türle (Fricke et al., 2023) tatlısu balıklarının çeşitliliği en yüksek grubudur. Bu balıklar biyoloji, ekonomi ve kültürde yoğun ilgi görmektedir. Kuzey Amerika, Afrika, Avrupa ve Asya'da dağılım gösteren Cypriniformlar, farklı tatlısu habitatlarının baskın üyeleridir (Nelson et al., 2016). Hatta bazıları mağaralar ve asidik turba bataklıkları gibi ekstrem habitatlara bile uyum sağlamıştır (Romero ve Paulson, 2001; Kottelat et al., 2006). Tür çeşitliliğinin en fazla olduğu bölge Güneydoğu Asya'dır. Avustralya ve Güney Amerika'da doğal olarak bulunmazlar (Nelson et al., 2016). Cypriniformes takımı 23 familya içermektedir. Bu familyalardan biri olan Cyprinidae (1783 tür) tür sayısı bakımından ait olduğu takımın en geniş familyası iken, tüm balık familyaları arasında Gobiidae'den sonra ikinci en büyük familyadır (Fricke et al., 2023). Cypriniformes takımının ikinci en geniş familyası olan Leuciscidae ise 687 türle temsil edilmektedir (Fricke et al., 2023). Bu familyanın üyeleri daha önceleri Cyprinidae familyasının Leuciscinae altfamilyası altında sınıflandırılırken (Nelson et al., 2016), 2018 yılında

yapılan bir çalışma söz konusu balıkların familya seviyesinde ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur (Schönhuth et al., 2018).

Güncel verilere göre, Türkiye tatlısu balık faunasında 20 takım ve 34 familyaya dahil toplam 384 tür bulunmaktadır (Çiçek vd., 2020). Mevcut balık türlerinin %72.4 (278)'ünü barındıran Cypriniformes, en baskın takımdır. Leuciscidae (122 tür, %31.8) ve Cyprinidae (59 tür, %15.4), en yüksek tür çeşitliliğine sahip familyalardır (Çiçek vd., 2020).

Balık türlerinin taksonomisi ve filogenisi morfometrik ölçümler, meristik veriler, tanımlayıcı özellikler, renklenme, moleküler ve genetik veriler gibi çeşitli karakterlerden yararlanılarak çalışılabilmektedir (Bani et al., 2013). Bununla birlikte, moleküler ve genetik yaklaşımlar maliyetli, zaman alıcı ve özel laboratuvar olanakları gerektirir (Turan et al., 2015). Diğer taraftan otolit, pul ve çeşitli kemikler gibi vücudun sert kısımlarının morfolojisi de balık türlerinin tanımlanması için oldukça değerlidir (Masson et al., 2011; Tuset et al., 2012; Chollet-Villalpando et al., 2014; Kontaş et al., 2020).

Otolitler, tüm kemikli balıkların (Osteichthyes) iç kulağında yer alan sert kalsifiye yapılardır (Mendoza, 2006). Sagitta, asteriskus ve lapillus adı verilen üç çift otolit vardır (Das, 1994). Bir protein matrisinde aragonit formundaki kalsiyum karbonattan oluşan otolitler, kafatasının her iki yanında otik kapsüllerde membranöz labirentler içinde bulunurlar (Harvey et al., 2000). İşitme ve denge organı olarak görev yapan bu yapılar (Popper et al., 2005), boyut ve şekil bakımından farklılık gösterir. Teleost balıkların çoğunda (otofizan olmayanlar) sagitta en büyük otolit iken lapillus en küçüğüdür (Şekil 1A). Buna karşılık oftofizan balıklarda asteriskus ve/veya lapillus, kırılğan ve ok şeklindeki sagittadan daha büyüktür (Şekil 1B) (Campana, 2004; Schulz-Mirbach and Plath, 2012).



Şekil 1. Teleost balık otolitleri. A-*Moreno americana* (Campana, 2004), B-*Carassius auratus* (Takabayashi and Ohmura-Iwasaki, 2003)

Otolit şeklindeki farklılıklar filogeniyi ve gelişimi yansıtmaya eğilimindedir. Ancak türler arası ve tür içi önemli farklılıklar da vardır. Şekildeki türler arası farklılıkların hem genetik hem de çevresel etkilerden kaynaklandığı görülmektedir (Wright et al., 2002; Vignon and Morat, 2010). Türler arası şekil varyasyonları nedeniyle, otolitlerin taksonomide yararlı olduğu (Tuset et al., 2008; Schwarzhans, 2014; Davoodi and Rahimian, 2016) ve kısmen sindirilmiş kalıntılardan besin ağlarının incelenmesine izin verdiği bulunmuştur (Pierce et al., 1991; Bryd et al., 2020; Belfethi and Moulaï, 2022). Benzer şekilde, arkeolojik ve paleontolojik buluntulardan elde edilen otolitler de paleoçevre ve paleofaunanın yeniden inşasında kullanılmıştır (Reichenbacher and Kowalke, 2009; Agiadi et al., 2018; Schwarzhans, 2019).

Otofizan olmayan Teleost balıklarda en fazla morfolojik varyasyona sahip otolit çeşidi olarak kabul edilen sagittalar tür tanımlama çalışmalarında yaygın şekilde kullanılmasına rağmen (Campana, 2004; Tuset et al., 2008; Lin and Al-Abdulkader, 2019; Yedier and Bostancı, 2022), diğer iki otolit tipinin de türler arasında dikkate değer ölçüde şekil değişimi sergilediğini ortaya koyan bazı araştırmalar vardır (Assis, 2003; 2005; Schulz-Mirbach et al., 2011; Schulz-Mirbach and Plath, 2012). Buna karşılık ofofizan balıklarda asteriskus ve/veya lapillus otolitlerin çeşitliliğini gösteren ve tanımlayan çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir (Assis, 2003; 2005; Schulz-Mirbach et al., 2006; Yılmaz vd., 2015; Avigliano et al., 2018; Pavlov, 2022; Arroyo-Zúñiga et al., 2022; Farooq and Panhwar, 2023).

Otolit morfolojisi kavramı, hem boyutu hem de şekli tanımlar (Yu et al., 2014). Boyuta dair ölçümler için “morfometri” terimi kullanırken, otolit kontur (dış hat) yapısının tanımlanması “şekil analizi” ile ifade edilir. Otolit morfolojisi genellikle morfometri ve şekil analizine dayalı olarak incelenir (Song et al., 2018). Otolitlerin uzunluk, genişlik, yükseklik, alan ve çevre gibi ölçümleri ya da bu ölçümler vasıtası ile hesaplanan çeşitli şekil indeksleri (şekil faktörü, dairesellik, yuvarlaklık, dikdörtgensellik, ovallık vs.), otolit morfometrisi çalışmalarının temelini oluşturur (Deepa et al., 2019; Yıldız ve Yılmaz, 2021; Akbay vd., 2022; Alfergani et al., 2023). Buna karşılık, eliptik Fourier dönüşümü (Pavlov, 2016; Mapp et al., 2017; Barhoumi et al., 2018; Moreira et al., 2019; Bakkari et al., 2020; Mereles et al., 2021; Çöl ve Yılmaz, 2022; Santos et al., 2022; Yazici, 2023) ve dalgacık dönüşümü (Sadighzadeh et al., 2014; Tuset et al., 2015; Abaad et al., 2016; Tuset et al., 2019; Bot Neto et al., 2020; Ugrin et al., 2021; Saltalamacchia et al., 2022; Yedier et al., 2023) en yaygın kullanılan şekil analizi yöntemleridir.

Tez materyalini teşkil eden balıklardan *Abramis brama*, *Alburnoides kurui*, *Scardinius erythrophthalmus* ve *Squalius cephalus* türleri Leuciscidae familyasının üyeleri iken *Barbus tauricus* ve *Capoeta tinca* türleri ise Cyprinidae familyasının temsilcileridir. *A. brama* (Çapak balığı), cinsin tek türüdür. Bentopelajik olan bu balık, Avrupa ve Asya kıtalarında geniş bir dağılıma sahiptir (Kottelat and Freyhof, 2007). Türkiye’deki varlığı Marmara, Ege ve Karadeniz havzaları ile Kura-Aras nehir havzasından rapor edilmiştir (Çiçek vd., 2020). *A. kurui* (Noktalı inci balığı), 2017 yılında Ordu ilindeki Tifi deresinden tanımlanmıştır. Yeşilırmak drenajında dağılım gösteren bu tür, ülkemizin endemik balıklarından birisidir (Turan vd., 2017). *S. erythrophthalmus* (kızılkanat), Avrasya’da geniş bir dağılım göstermektedir (Kottelat and Freyhof, 2007). Ülkemizde ise Orta ve Kuzey Anadolu ile Trakya bölgesindeki tatlısularda bulunmaktadır (Geldiay ve Balık, 2009). *S. cephalus* (Tatlısu kefalı), bentopelajik bir balıktır. Avrupa ve Asya kıtalarında geniş bir yayılım alanına sahip olan bu tür (Kottelat and Freyhof, 2007), Türkiye’deki birçok içsu sisteminde yaşamaktadır (Geldiay ve Balık, 2009). *B. tauricus* (Bıyıklı balık) türünün doğal yayılım alanı Avrupa’da Kırım Yarımadası (Karadeniz ve Azak Denizi havzaları) ile sınırlıdır (Kottelat and Freyhof, 2007). Türün Asya kıtasındaki dağılımı Türkiye kıyılarından Karadeniz’e dökülen dereleri kapsamaktadır (Turan vd., 2018). *C. tinca* (Siraz balığı), Türkiye’nin kuzey havzalarında yaşayan endemik bir balık

türüdür (Çiçek vd., 2020). Bu türler *Esox lucius* (Turna balığı), *Perca fluviatilis* (Tatlısu levreği), *Sander lucioperca* (Sudak), *Silurus glanis* (Yayın balığı) gibi balıklar (Argillier et al., 2012; Yazıcıoğlu vd., 2016; Yazıcıoğlu vd., 2018; Yazıcı, 2018), *Phalacrocorax carbo* (Karabatak) gibi kuşlar (Belfethi and Moulaï, 2022) ve *Lutra lutra* (Su samuru) gibi memeliler (Toyran ve Albayrak, 2019) için potansiyel avlardır.

Piskivor hayvanların diyetindeki av balığın tanımlanması ve boyutunun belirlenmesi çok önemli bir husustur (Pierce and Boyle, 1991). Bununla birlikte, av türlerinin teşhisi ve miktarının belirlenmesi genellikle zordur. Çoğu durumda av balıklar kısmen veya tamamen sindirilmiş olduğundan mide, bağırsak ve dışkıdaki sert kalıntılar (otolit, pul, kemikler) dikkate alınabilecek tek teşhis materyalidir (Battaglia et al., 2010). Özellikle otolitler, sindirime karşı oldukça dirençlidir ve birçok beslenme çalışmasında av türlerin sınıflandırılması için önemli bir araçtır (Pierce et al., 1991; Granadeiro and Silva, 2000). Bu nedenle ve türler arasında yüksek morfolojik değişkenlik göstermelerinden dolayı, balık otolitleri ile ilgili çeşitli anahtarlar ve tanımlama kılavuzları yayınlanmıştır (Campana, 2004; Tuset et al., 2008; Bremm and Schulz, 2014; Kasapoglu and Duzgunes, 2015). Bu tür yayınlar sadece trofik ekoloji çalışmalarını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda paleontolojik araştırmalarda (Nolf, 1995) antik faunaların otolit bazlı fosil balık türlerinin doğrulanması için de faydalıdır.

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde; tez çalışmasına konu olan altı balıktan *Abramis brama* (Yılmaz vd., 2015), *Scardinius erythrophthalmus* (Tarkan vd., 2007; Yılmaz vd., 2015), *Squalius cephalus* (Bostancı, 2009; Kurucu ve Bostancı, 2018; Zengin Özpiçak vd., 2018; Ozpicak vd., 2018) ve *Barbus tauricus* (Kontas and Bostancı, 2015; Ozpicak, 2020) türlerinin otolit şekli ve morfometrisi ile ilgili çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmaların tümünde adı geçen balıklara ait asteriskus, lapillus veya her iki otolitin çeşitli ölçümleri ile balık boyu arasındaki ilişkiler verilmiştir. Bir kısmında ise ilişkilere ilaveten otolit morfolojisi ışık veya elektron mikroskobu görüntülerine dayalı olarak tanımlanmaya çalışılmıştır (Kontas ve Bostancı, 2015; Yılmaz vd., 2015; Kurucu ve Bostancı, 2018). Az bir kısmında ise otolit şekil indekslerinin populasyon ayırımındaki etkinliği incelenmiştir (Ozpicak vd., 2018; Ozpicak, 2020). Diğer taraftan, *Alburnoides kurui* ve *Capoeta tinca* türlerinin otolit morfolojisi üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla,

bu tez çalışmasının amaçları: (1) Samsun Tersakan Çayı'ndaki simpatrik altı balık türünün lagenar ve utrikular otolitlerinin morfolojisini taramalı elektron mikroskobu görüntülerine dayalı olarak tanımlamak, (2) ışık mikroskobunda çekilen otolit fotoğraflarını kullanarak her bir türde asteriskus ve lapillus otolitlerin morfometrisini ve şeklini analiz etmek, (3) morfometri ve şekil analizi yöntemlerinin tür ayrımındaki etkinliğini test etmektir. Ayrıca bu çalışma *Alburnoides kurui* ve *Capoeta tinca* türlerinin otolit morfolojisi ile ilgili ilk verileri sağlar.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Tezin bu bölümünde, çalışma materyalini teşkil eden balık türleri veya ait oldukları familyaların diğer üyelerinin otolit morfolojisi ile ilgili çalışmalara kronolojik sıra takip edilerek yer verilmiştir. Ayrıca otolit morfolojisinin tanımlandığı, morfometri ve şekil analizi yöntemleri kullanılarak balık türlerinin ayırt edildiği araştırmalar da özetlenmiştir.

2.1. Cyprinidae ve Leuciscidae Üyesi Balıkların Otolit Morfolojisi

Escot ve Granado-Lorencio (1998), *Barbus sclateri* türünün otolitlerini morfolojik olarak tanımlamışlardır.

Schulz-Mirbach ve Reichenbacher (2006), Cypriniform balıkların günümüzde yaşayan taksonlarında lapillus otolitlerin morfolojisini detaylı analiz etmişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri verileri, çeşitli Avrupa ülkeleri ve Anadolu'dan topladıkları fossil balık otolitleri ile kıyaslayarak geçmiş dönemlerde yaşayan balık türlerini tanımlamaya çalışmışlardır.

Gümüş vd. (2007), Bafra Balık Gölleri'nde yaşayan *Scardinius erythrophthalmus* türünde lagenar ve utrikular otolit boyutları ile balık çatal boyu arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır.

Tarkan vd. (2007), av-avcı çalışmaları için 11 Cyprinidae üyesi balığın kemik ve otolit ölçümlerinin balık boyutu ile olan ilişkilerini test etmişlerdir.

Bostancı (2009), dört balık türünde (*Carassius gibelio*, *Cyprinus carpio*, *Squalius cephalus*, *Sander lucioperca*) otolit biyometrisi-vücut uzunluğu ilişkileri üzerine çalışmıştır.

Bostancı ve Polat (2011), Van Gölü'nün endemik bir balık türü olan *Alburnus tarichi*'nin yaş ve büyümesini inceledikleri çalışmalarında asteriskus ölçümleri-çatal boy ilişkilerini hesaplamışlardır.

Başusta vd. (2013), Hazar Gölü'nde yaşayan *Alburnus heckeli* populasyonunda otolit biyometrisi-total boy ilişkileri üzerinde durmuşlardır.

Emre vd. (2014), Menzelet Barajı ve Fırnız Çayı'ndan yakalanan *Capoeta angorae* türünün yaş, büyüme ve otolit morfometrisi üzerine çalışmışlardır.

Bostancı vd. (2015), Türkiye iç sularındaki dört *Alburnus* türünün (*A. chalcoides*, *A. escherichii*, *A. mossulensis*, *A. tarichi*) tayininde otolit şekil ve morfometrisinin kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Kontas ve Bostancı (2015), *Barbus tauricus* türünün otolit morfolojisi ve biyometrik karakterlerini, ışık ve elektron mikroskobunda incelemişlerdir.

Yılmaz vd. (2015), Ladik Gölü'nden elde edilen beş cyprinid balık türü için balık boyu-otolit boyutu ilişkilerini vermişlerdir.

Yedier vd. (2016), Kangal Balıklı Çermik kaynağında yaşayan genç ve yetişkin *Garra rufa* bireylerinde asteriskus ve lapillus otolitlerin morfolojisini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir.

Saygın vd. (2017), Van Gölü havzasındaki dört gölden yakaladıkları *Alburnus tarichi* örneklerinde asteriskus otolitinin morfometrik ilişkilerini karşılaştırmalı olarak çalışmışlardır.

Kurucu ve Bostancı (2018), *Capoeta banarescui* ve *Squalius cephalus* türlerinin otolit morfolojisini taramalı elektron mikroskobunda çalışmışlar ve balık boyu-otolit ölçümleri ilişkilerini hesaplamışlardır.

Ozpiçak vd. (2018), Orta Karadeniz Bölgesi'ndeki dört *Squalius cephalus* popülasyonunu asteriskus ve lapillus otolit şekil analizini kullanarak ayırt etmeye çalışmışlardır.

Zengin Özpiçak vd. (2018), *Squalius cephalus*'un lagenar ve utrikular otolit ölçümlerinin balık total boyu ile olan ilişkilerini tanımlamışlardır.

Emre (2019), Türkiye iç sularından toplanan yedi cyprinid balık türünün asteriskus otolit boyutu ile balık total boyu arasındaki biyometrik ilişkiler üzerine araştırma yapmıştır.

Rani et al. (2019), *Puntius sophore* türünün sagittal otolitinin morfometrik analizini gerçekleştirmişlerdir.

Kontaş vd. (2020), Dicle-Fırat havzasındaki endemik balık *Cyprinion macrostomum* türünde lagenar ve utrikular otolitlerin morfolojisini incelemişlerdir.

Ozpicak (2020), Karadeniz Bölgesi'ndeki beş *Barbus tauricus* populasyonunda lagenar ve utrikular otolitlerin morfolojik varyasyonlarını inceleyerek otolit boyutları-balık boyu ilişkilerini tespit etmiştir.

Saygın vd. (2020), Samsun'daki Terme ve Terice çaylarından örnekledikleri *Rhodeus amarus*'un total uzunluğu ile otolit boyutları arasındaki ilişkileri araştırmışlar ve otolit şeklini tanımlamışlardır.

Chen et al. (2021), Tibet Platosu'ndaki 3 akarsu ve 8 gölden yakaladıkları *Gymnocypris selincuoensis* (Cyprinidae) türünde populasyon ayrımı için lapillus otolit şeklinin etkinliğini test etmişlerdir.

Özpiçak vd. (2021), Akarçay Havzası Selevir Baraj Gölü'ndeki *Alburnus escherichii*'de asteriskus ve lapillus otolitlerinin tür içi varyasyonu ilk kez rapor etmişlerdir.

Akbay vd. (2022), Samsun ilindeki Altinkaya Baraj Gölü, Bafra Balık Gölleri, Ladik Gölü ve Simenit Gölü'nden toplanan *Carassius gibelio*'nun lagenar otolit (asteriskus) morfometrisini araştırmışlardır.

Aydın vd. (2022), Altinkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden örneklenmiş olan Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*)'nın otolit şekli ve biyometrisindeki varyasyonları ortaya koymuşlardır.

Jawad ve Mahé (2022), Irak nehirlerinden toplanan *Cyprinus carpio* örneklerinin asteriskus otolitlerindeki dalgalı asimetriyi araştırmışlar ve bu durumun çevresel faktörlerle olan ilişkisini irdelemişlerdir.

Qiao et al. (2022), Qinghai-Tibet Platosu'ndaki Amdo Tsonak Co gölünde yaşayan *Schizopygopsis thermalis* (Cyprinidae)'in lapillus otolit morfolojik ölçümleri ile balık boyu arasındaki ilişkileri tahmin ederek, planktivor ve bentivor bireyler arasında otolit morfolojik farklılıkları tespit etmişlerdir.

Rai ve Rani (2022), Hindistan sularından 4 cyprinid türün asteriskus otolit morfolojisi ve morfometrinini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

Pavlov (2022), *Carassius gibelio* ve *Carassius carassius* türlerinin otolit morfolojisini karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Araştırmacı, otolit morfolojisinin *Carassius* türlerinin ayırımında ilave bir karakter olabileceği sonucuna ulaşmıştır.

2.2. Diğer Balıklarda Otolit Morfolojisi ve Tür Ayrımı

Tuset et al. (2003), *Serranus* cinsine ait üç simpatrik türün sakkular otolit morfolojisindeki farklılıkları araştırmışlardır.

Stransky ve MacLellan (2005), *Sebastes* cinsine ait türleri ayırt etmede otolit şekil varyasyonlarının etkinliğini test etmişlerdir.

De La Cruz-Agüero et al. (2012), Meksika'nın Pasifik kıyılarından elde ettikleri Gerreidae üyesi türleri tanımlamada sagittal otolit morfolojisini kullanmışlardır.

Kumar et al. (2012), Hindistan'ın kuzeybatı kıyısı boyunca gözlemlenen sciaenidlerin karşılaştırmalı otolit morfolojisi üzerinde durmuşlardır.

Lord et al. (2012), Yeni Kaledonya ve Vanuatu'dan üç *Sicyopterus* türünü otolit şekil analizi yöntemini kullanarak ayırt etmişlerdir.

Sadighzadeh et al. (2012), Basra Körfezi'nden toplanan *Lutjanus* cinsine ait türleri tanımlamada farklı otolit şekil tanımlayıcıları ve morfometrik ölçümlerin etkinliğini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir.

Tuset et al. (2012), lesepsiye balık türlerini tanımlamada sagittal otolitin kullanımı üzerine çalışmışlardır.

Bani et al. (2013), Hazar Denizi'nden 3 simpatrik kayabalığı türünü ayırt etmek için sagittal otolit şekil analizinden yararlanmışlardır.

Wakefield et al. (2014), otolit morfometrisinin kullanımıyla iki kriptik *Etelis* türünün (*Etelis carbunculus* ve *Etelis marshi*) hızlı ve güvenilir bir şekilde ayırt edilebileceğini rapor etmişlerdir.

Yu et al. (2014), Çin'in kuzeyindeki kıyı sularından örneklenen beş kaya balığı (Gobiidae) türünün tanımlamasında otolit şekil analizi yöntemini kullanmışlardır.

Tuset et al. (2015), Kuzeydoğu Pasifik'ten toplanan 11 balık türünün sagittal otolit şeklindeki farklılıklardan yararlanarak tür tanımlaması yapmışlardır.

Zhuang et al. (2015), Kuzeybatı Pasifik'te Bohai Denizi ve Sarı Deniz'den örneklenen *Sebastes* cinsine ait türlerde otolit şekil analizinin tür ayrımındaki uygulanabilirliğini araştırmışlardır.

Pavlov (2016), *Upeneus* (Mullidae) cinsine ait üç türün otolit şekil analizine bağlı olarak farklılaşması üzerine çalışmıştır.

See et al. (2016), Malezya'dan örneklenen sekiz kefal balığının ayırımında ve boyutlarının geri hesaplanmasında otolit morfometrisinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Vélez et al. (2016), *Micropogonias manni* ve *M. altipinnis* (Sciaenidae) türleri arasındaki otolit şekil farklılıklarını araştırmışlardır.

Zischke et al. (2016), Avustralya'daki dört uskumru türünün (*Scomberomorus spp.*) otolit morfolojisini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir.

Bănaru et al. (2017), Kuzeybatı Karadeniz'deki üç gobiid türünün otolit şekil analizi ve *Neogobius melanostomus* türünün yerel populasyonlarının karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır.

Zhang et al. (2017), Çin kıyılarından toplanan beş *Pampus* türünü sagittal otolit morfolojisine dayanarak tanımlamışlardır.

Avigliano et al. (2018), Arjantin'deki Atlantik Yağmur Ormanı'ndan üç simpatrik ve morfolojik olarak benzer *Astyanax* türünün tanımlanmasında otolit morfometrisinin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

He et al. (2018), üç *Scomber* türünde otolit morfolojisinin karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmişlerdir.

Lombarte et al. (2018), Akdeniz'deki kayabalıklarının (Gobiidae) sagittal otolitlerini inceleyerek filogenetik soylar arasındaki değişkenliğe dikkat çekmiştir.

Chollet-Villalpando et al. (2019), Gerreidae türlerinde sagittal otolitin sulcus acusticusunun boyut ve şeklindeki değişimi geometrik morfometri ile analiz etmişlerdir.

Lin ve Al-Abdulkader (2019), 5 familyadan 16 balık türünü otolit şekil analizi ile tanımlamaya çalışmış ve tanımlama sürecini etkileyen faktörleri irdelemiştir.

Teimori et al. (2019), Basra Körfezi'nden toplanan 16 balık türünde sagittal otolit morfolojisinin özelliklerini inceleyerek otolit şekli üzerindeki filogenetik etkiyi göstermeye çalışmışlardır.

La Mesa et al. (2020), farklı istatistiksel sınıflandırma yöntemleri ile 3 buz balığı türünde (*Chionodraco*) otolit morfolojisini karşılaştırmışlardır.

Mitsui et al. (2020), Japonya sularından 12 clupeid türün otolit morfolojisi inceleyerek tür tanımlama klavuzu hazırlamışlardır.

Vu ve Kartavtsev (2020), *Hypomesus japonicus* ve *H. Nipponensis* türlerinin ayırımında otolit şeklinin uygunluğunu araştırmışlardır.

Cerda et al. (2021), morfometrik analiz yöntemini kullanarak *Auchenionchus crinitus* ve *Auchenionchus microcirrhis* türlerinin sagittal otolitini tanımlamışlar ve bu iki simpatrik balığın ayırımında otolit şeklinin etkinliğini değerlendirmişlerdir.

Osman et al. (2021), Kızıldeniz’den toplanan *Lethrinus lentjan* ve *L. Microdon* türlerini otolit şekil analizi ile ayırt etmişlerdir.

Pavlov (2021), Scorpaenoidei alt takımına ait çeşitli balık türlerinin otolit morfolojisi ve morfometrik ilişkileri üzerine çalışmıştır.

Ugrin et al. (2021), Adriyatik Denizi’nden yakaladıkları *Lepidorhombus boscii* ve *Lepidorhombus whiffiagonis* türlerinin ayırt edilmesinde otolit morfolojisi ve morfometrisinin etkinliğini analiz etmişlerdir.

Dizaj et al. (2022), İran sularındaki 20 clupeid türün otolitlerini baz alarak bir tanımlama klavuzu hazırlamışlardır. Ayrıca araştırmacılar her bir türün otolit morfolojisi hakkında detaylı bilgiler vermişlerdir.

Marval-Rodríguez et al. (2022), otolit şekli ve genetik analizlerle *Lutjanus campechanus* ve *Lutjanus purpureus* türlerinin farklılaşmasını değerlendirmişlerdir.

Mejri et al. (2022), Tunus Boughrara lagününde yaşayan *Liza aurata* ve *Chelon ramada* (Mugilidae) arasında sagittal otolit şekli bakımından fark olup olmadığını eliptik Fourier analizi ile test etmişlerdir.

Moore et al. (2022), morfolojik açıdan benzer olan *Macrourus caml* ve *M. whitsoni* türlerini ayırt etmede otolit şeklinin rolü üzerine çalışmışlardır.

Santos et al. (2022), *Stellifer punctatissimus* tür kompleksinin 3 farklı kriptik türden oluştuğunu ve bu türlerin otolit şekil analizi gibi tamamlayıcı araçlarla ayırt edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Yedier ve Bostancı (2022), Türkiye denizlerinde yaşayan *Scorpaena* türlerinin moleküler ve otolit şekil analizi teknikleri ile ayırt edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Arroyo-Zúñiga et al. (2022), Kuzeydoğu Pasifik'ten toplanan deniz yayın balıklarının (Ariidae: Siluriformes) tanımlanmasında, taksonomik bir karakter olarak lapillus otolitinin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar otolit şekline bağlı olarak tanımlama anahtarları geliştirmişlerdir.

Farooq ve Panhwar (2023), Pakistan'daki 9 simpatrik kedibalgı (Ariidae) türünde lapillus otolitlerin morfolojik özelliklerini tanımlayarak, balık morfolojik karakterlerine dayalı tür tanımlama çalışmalarını destekleyeceğini dile getirmiştir.

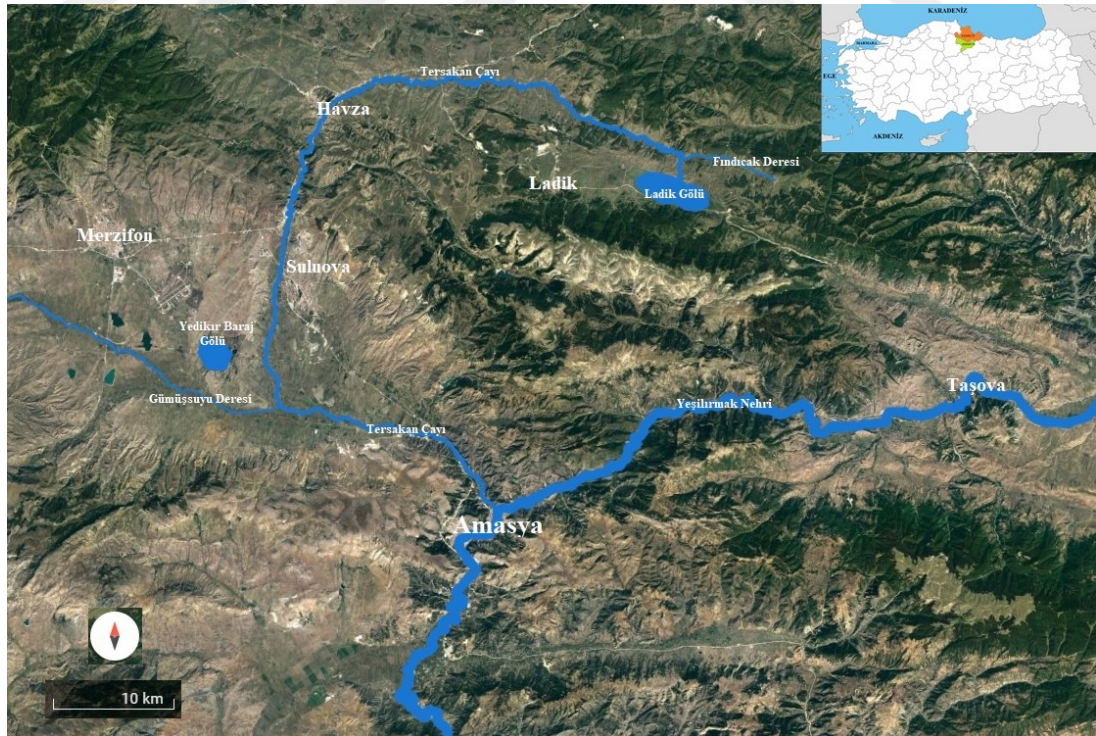
Yedier vd. (2023), Ege Denizi'ndeki *Lepidorhombus* türlerinde sagittal otolitlerin morfolojisi, morfometrisi ve kontur şekil değişimlerini kapsayan bir çalışma yapmışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırma Alanı

Tersakan Çayı (Şekil 3.1), Samsun ilinin Ladik ilçesinde bulunan Ladik Gölü'nden doğar. Kuzey yönde yaklaşık 2 km aktıktan sonra Fındıcak Deresi ile birleşir ve kuzeybatı istikametinde ilerleyerek Havza ilçesine ulaşır. Sonrasında güneye doğru kıvrılarak Amasya ilinin Suluova ilçesinde Gümüşsuyu Deresi'ni bünyesine alan Tersakan Çayı, güneydoğu yönünde akışına devam ederek Amasya'nın kuzeyinde Yeşilirmak Nehri'ne dökülür. Membadan mansaba 100 km'lik bir uzunluğa sahiptir.

Tersakan Çayı'nın balık faunasında *Barbus tauricus*, *Capoeta sieboldii*, *Capoeta tinca*, *Chondrostoma angorense*, *Squalius cephalus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Oxynoemacheilus kosswigi*, *Oxynoemacheilus banarescui*, *Perca fluviatilis* türlerinin bulunduğu bildirilmiştir (Uğurlu vd., 2009). Bununla birlikte örnekleme çalışmaları esnasında araştırma alanında *Abramis brama*, *Alburnoides kurui*, *Rhodeus amarus*, *Esox lucius*, *Carassius gibelio* türlerinin de varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Tersakan Çayı'nın haritası

3.2. Çalışma Materyali

Çalışma materyali olarak Tersakan Çayı'ndan elde edilen *Barbus tauricus*, *Capoeta tinca*, *Abramis brama*, *Alburnoides kurui*, *Scardinius erythrophthalmus* ve *Squalius cephalus* olmak üzere altı balık türü seçilmiştir. Söz konusu türlerin taksonomik pozisyonu Van der Laan (2020)'da verilen kategoriler esas alınarak Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Tez materyali olarak kullanılan balıkların taksonomik konumları

Superkingdom	Eukaryota
Kingdom	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Craniota
Infraphylum	Gnathostomata
Megaclass	Osteichthyes
Superclass	Actinopterygii
Class	Actinopteri
Infraclass	Teleostei
Ordo	Cypriniformes
Familia 1	Cyprinidae
Subfamilia	Barbinae
Genus 1	<i>Barbus</i>
Species	<i>Barbus tauricus</i>
Genus 2	<i>Capoeta</i>
Species	<i>Capoeta tinca</i>
Familia 2	Leuciscidae
Subfamilia	Leuciscinae
Genus 1	<i>Abramis</i>
Species	<i>Abramis brama</i>
Genus 2	<i>Alburnoides</i>
Species	<i>Alburnoides kurui</i>
Genus 3	<i>Scardinius</i>
Species	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
Genus 4	<i>Squalius</i>
Species	<i>Squalius cephalus</i>

3.2.1. *Barbus tauricus* Kessler, 1877

Fusiform vücut tipine sahip olan bu türde baş, uzun yapılı ve üst tarafı hafif kabarıktır (Şekil 3.1). Gözler küçük, başın iyice gerisinde ve enseye daha yakındır. Ağız büyük, ventral konumlu ve yarım ay şeklindedir. Dudaklar etlidir. Maksilla, mandibuldan daha uzundur. Bir çifti burun ucundan ve bir çifti ağız köşelerinden çıkan iki çift bıyık bulunur. Burun uca doğru sivrilir. İki çift burun deliği vardır. Burun delikleri birbirine bitişiktir ve göze oldukça yakın konumdadırlar. Pulları orta büyüklükte, deriye gömülü, baş ve yüzgeçler hariç vücudun her tarafını kaplar.

Ventral yüzgeçlerin kaide kısmında üçgenimsi şekilde birer adet koltuk pulu mevcuttur. Linea lateral tamdır, vücudun tam ortasında yer alır ve kavis yapmamıştır. Dorsal yüzgecin konumu vücudun ortasına denk gelir. Dorsal yüzgecin sonuncu basit ışıınının serbest kenarı tırtıklı ve ucu esnektir. Anal yüzgecin sonuncu basit ışıınının serbest kenarında tırtıklar bulunmaz. Ventral ve dorsal yüzgeç başlangıcı aynı hizadadır. Anal yüzgecin serbest kenarı dışbükeydir. Dorsal yüzgecin serbest kenarı içbükeydir. Kuyruk yüzgeci derin girintilidir ve lopların serbest ucu biraz sivridir. Sırt yüzgeci siyah-kahverengi, karın yüzgeci beyaz açık sarı renklidir. Anal ve ventral yüzgeçler saydamdır. Diğer yüzgeçler portakal sarısı rengindedir. Ventral bölge hariç basın üstünde, yanlarda, yüzgeçlerin üzerinde bol miktarda, gelişi güzel dağılmış küçük siyah kahverengi benekler mevcuttur (Uğurlu, 2006).



Şekil 3.2. *Barbus tauricus* türünün genel görünümü (28.6 cm TB)

3.2.2. *Capoeta tinca* (Heckel, 1843)

Vücut fusiform biçimindedir (Şekil 3.3). Gözler küçüktür. Ventral konumlu ve at nalı şeklinde bir ağza sahiptir. Dudaklar iyi gelişmemiş olup, alt dudak keskin kenarlı ve keratinleşmiş iken üst dudak ince yapılı ve keratinleşmemiştir. Birbirine bitişik iki çift burun deliği vardır. Farinks dişleri kısa, kalın ve ucu kesik görünümlüdür. Bir çifti burun ucundan bir çifti ağız köselerinden çıkan, iki çift bıyık bulunur. Vücut küçük sikloit pullarla kaplıdır. Her pulda siyah renkli pigment taneleri mevcuttur. Ventral yüzgeç kaidesinde koltuk pulu vardır. Linea lateral tam olup, vücudun ortasında yer alır. Dorsal yüzgecin başlangıcı daima ventral yüzgecin başlangıcından biraz daha öndedir. Dorsal yüzgecin sonuncu basit ışıını zayıf kemikleşmiştir ve posterior kenarının 2/3'ü tırtıklıdır. Kaudal yüzgeç girintisi normal olup, loplar uca doğru gittikçe sivrileşir. Vücut rengi dorsal bölgede siyah, gri ya da kahverengidir. Karın bölgesi genellikle kirli sarı beyaz renktedir. Yüzgeçler saydam

ve siyah pigmentlidir. Periton siyahtır. Erkek bireylerde üreme döneminde preorbital alanında ve yüzgeçlerinde tüberkül oluşumu gözlenir (Uğurlu, 2006).



Şekil 3.3. *Capoeta tinca* türünün genel görünümü (27.4 cm TB)

3.2.3. *Abramis brama* (L., 1758)

Vücut yanlardan iyice yassılaştırmış ve oldukça yüksek görünümlüdür (şekil 3.4). Gözler iridir. Ağız küçük, protraktıl yapıda, terminal konumlu, at nalı biçiminde ve bıyiksızdır. Gözlerin hemen önünde birbirine yakın iki çift burun deliği vardır. Farinks dişlerinin ucu çengel biçiminde içe dönüktür. Linea lateral tamdır ve ventrale doğru hafif kavislidir. Anal yüzgeç ile ventral yüzgeç arasında pullu karina vardır. İri sikloit pulları küçük siyah pigmentlidir. Dorsal ve anal yüzgecin serbest kenarı içbükeydir. Ventral yüzgeç kaidesinde koltuk pulu bulunur. Anal yüzgeç kaidesi uzundur. Kaudal yüzgeç derin girintili olup lopların ucu sivridir. Kaudal yüzgecin alt lobu daha uzundur. Renk, sırt ve başın üst kısmında siyah, koyu gri, kahverengi, yeşilimsi, yanlarda metal parlaklığında ve karın tarafında ise sedef beyazıdır. Başın üstü ve yüzgeçler küçük siyah pigmentlerle kaplıdır. Dorsal, kaudal ve anal yüzgeçler koyu gri, pektoral ve ventral yüzgeçler açık gridir (Uğurlu, 2006).



Şekil 3.4. *Abramis brama* türünün genel görünümü (24.1 cm TB)

3.2.4. *Alburnoides kurui* Turan, Kaya, Bayçelebi, Bektaş & Ekmekçi, 2017

Bu türde vücut, orta derecede derin ve yanlardan hafif basıktır (Şekil 3.5). Dorsal görünüş dışbükey, ventral görünüş dorsal görünüşten daha az dışbükeydir. Pelvik yüzgeç orijini ile anal yüzgeç orijini arasındaki mesafe, pektoral yüzgeç orijini ile pelvik yüzgeç orijini arasındaki mesafenin 1.1–1.5 katıdır. Baş kısa, dorsal yüzgeç kaynaklı vücut derinliğinin yaklaşık 0,8-0,9 katıdır. Kuyruk sapı derinliği uzunluğunun 1.4–2.2 katıdır. Burun ucu hafif sivri, burun uzunluğu neredeyse göz çapına eşit, ancak interorbital genişlikten daha kısadır. Ağız hafifçe subterminaldir. Üst dudağın ucu alt dudağın biraz ötesine çıkıntı yapar. Ventral karina iyi gelişmiş ve pulsuz veya nadiren karinanın ön kısmını kaplayan 1 pul içerir. Anal yüzgeç ışınlarında ve erkeklerin baş kısmında çok sayıda küçük tüberkül vardır. Yan çizginin üstünde, solungaç kapaklarının üst kenarından kuyruk yüzgecinin tabanına kadar uzanan ve genişliği göz çapı kadar olan siyah bir şerit bulunur. Dorsal ve kaudal yüzgeçleri koyu gri iken pektoral, pelvik ve anal yüzgeçler sarımsıdır. Tüm yüzgeç ışınlarında az veya çok sayıda siyah pigment hücresi mevcuttur. Yuvarlak kaya parçaları ve çakıl taşlarının olduğu hızlı ve berrak akan sularda yaşarlar (Turan vd., 2017).



Şekil 3.5. *Alburnoides kurui* türünün genel görünümü (10.9 cm TB)

3.2.5. *Scardinius erythrophthalmus* (L., 1758)

Türün vücudu kısa, yüksek yapılı ve yanlardan yassılaştırmıştır (Şekil 3.6). Baş küçük, gözler iri ve burun yuvarlaktır. Küçük ve terminal konumlu olan ağız, protraktil yapıdadır ve bıyık barındırmaz. Dudaklar incedir ve keratinleşme yoktur. Farinks dişlerinin dizilimi 3.5-5.3 şeklinde olup, içe bakan yüzeylerinde küçük çentikler bulunur. Birbirine bitişik iki çift burun deliği vardır. Orta büyüklükteki sikloit pullar bol miktarda küçük siyah pigment içerir. Ventral yüzgeç kaidesinde

koltuk pulu mevcuttur. Linea lateral tam olup karın kısmına daha yakındır. Ventral ve anal yüzgeçler arasında bir karina bulunur. Dorsal yüzgeç başlangıcından indirilen dikme, ventral yüzgeç başlangıcının gerisinde kalır. Anal yüzgeç serbest kenarı içbükey, dorsal yüzgecin serbest kenarı düzdür. Anal yüzgeç başlangıcı ile dorsal yüzgeç kaidesinin sonundan indirilen dikme hemen hemen aynı hizadadır. Kaudal yüzgeç derin girintilidir ve lopların ucu sivridir. Vücut genel olarak parlak gümüş renginde olup sırt bölgesi siyah-gri renklidir. Kaudal, anal ve ventral yüzgeçler kırmızı renklidir. Üreme döneminde erkeklerin baş bölgesinde tüberkül oluşumu gözlenir. Türün peritonu gümüş beyazıdır. Peritonda küçük siyah pigmentler bulunabilir (Uğurlu, 2006).



Şekil 3.6. *Scardinius erythrophthalmus* türünün genel görünümü (14.8 cm TB)

3.2.6. *Squalius cephalus* (L., 1758)

Fusiform vücut tipine sahip olan bu türün ağzı büyük, bıyıksız, terminal konumlu ve at nalı görünümlüdür. Dudaklar, keskin kenarlı ve keratinleşmemiştir. Burun yuvarlak ve gözler iridir. Birbirine bitişik iki çift burun deliği vardır. Farinks dişleri 5-5 şeklinde dizilmiş olup, içbükey kenarları tırtıklı bir görünümündedir. Vücut büyük sikloit pullarla örtülüdür. Vücudu örten her bir pulun özellikle posterior kısımlarında küçük ve siyah renkli pigment taneleri bulunur. Yan çizgi tamdır ve karın kısmına doğru belirgin kavis yapmıştır. Ventral yüzgeç kaidesinde üçgenimsi koltuk pulu bulunur. Dorsal yüzgecin serbest kenarı düz, anal yüzgecin serbest kenarı ise yuvarlaktır. Ventral yüzgecin başlangıcından geçen dikme dorsal yüzgecin başlangıcının önünde kalır. Anal yüzgeç başlangıcı, dorsal yüzgeç sonundan indirilen düşey hattın gerisinde yer alır. Kaudal yüzgeç az girintilidir, lopların ucu yuvarlaktır. Vücudun sırt kısmı koyu olup, mavi-yeşil renkte yansımalar görülebilir. Renk yan taraflara doğru gittikçe açılır ve karın kısmı gümüş rengindedir. Genellikle dorsal, kaudal, pektoral yüzgeçler renksiz ve siyah pigmentlidir. Buna karşılık, ventral ve

anal yüzgeçler portakal sarısı renginde ve pigmentsizdir. Solungaç kapağının arkasında, pectoral yüzgeçlerin kaidesi üzerinde, genellikle belirgin siyah leke göze çarpar. Türün peritonu siyahtır (Uğurlu, 2006).



Şekil 3.7. *Squalius cephalus* türünün genel görünümü (17.0 cm TB)

3.3. Örneklerin Yakalanması ve Laboratuvarda Yapılan İşlemler

Altı balık türüne ait toplam 120 örnek, 03 Kasım 2022 tarihinde SAMUS 725MP marka elektroşok cihazı ile yakalanmıştır. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji Araştırma Laboratuvarına getirilen balık örnekleri musluk suyunda yıkanmış ve kurulanmıştır. Her bir bireyin total boyu (TB) ± 0.1 cm hassasiyetle ölçülerek kaydedilmiştir (Tablo 3.2). Lagenar (asteriskus) ve utrikular (lapillus) otolitler çıkarılmış, temizlenmiş ve kuru olarak ependorf tüplerinde saklanmıştır.

Tablo 3.2. Yakalanan balık türlerinin örnek sayıları (N) ve total boy dağılımları (SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum)

Familya	Tür	N	Total Boy (cm)	
			Ortalama $\pm$ SS	Min-Mak
Cyprinidae	<i>Barbus tauricus</i>	14	23.99 $\pm$ 3.75	18.5-29.5
	<i>Capoeta tinca</i>	17	21.41 $\pm$ 2.95	17.2-27.4
	<i>Abramis brama</i>	26	19.21 $\pm$ 2.10	16.1-24.1
Leuciscidae	<i>Alburnoides kurui</i>	17	10.38 $\pm$ 0.37	9.8-11.0
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	19	13.35 $\pm$ 1.39	10.7-15.3
	<i>Squalius cephalus</i>	27	17.78 $\pm$ 0.89	14.6-18.5

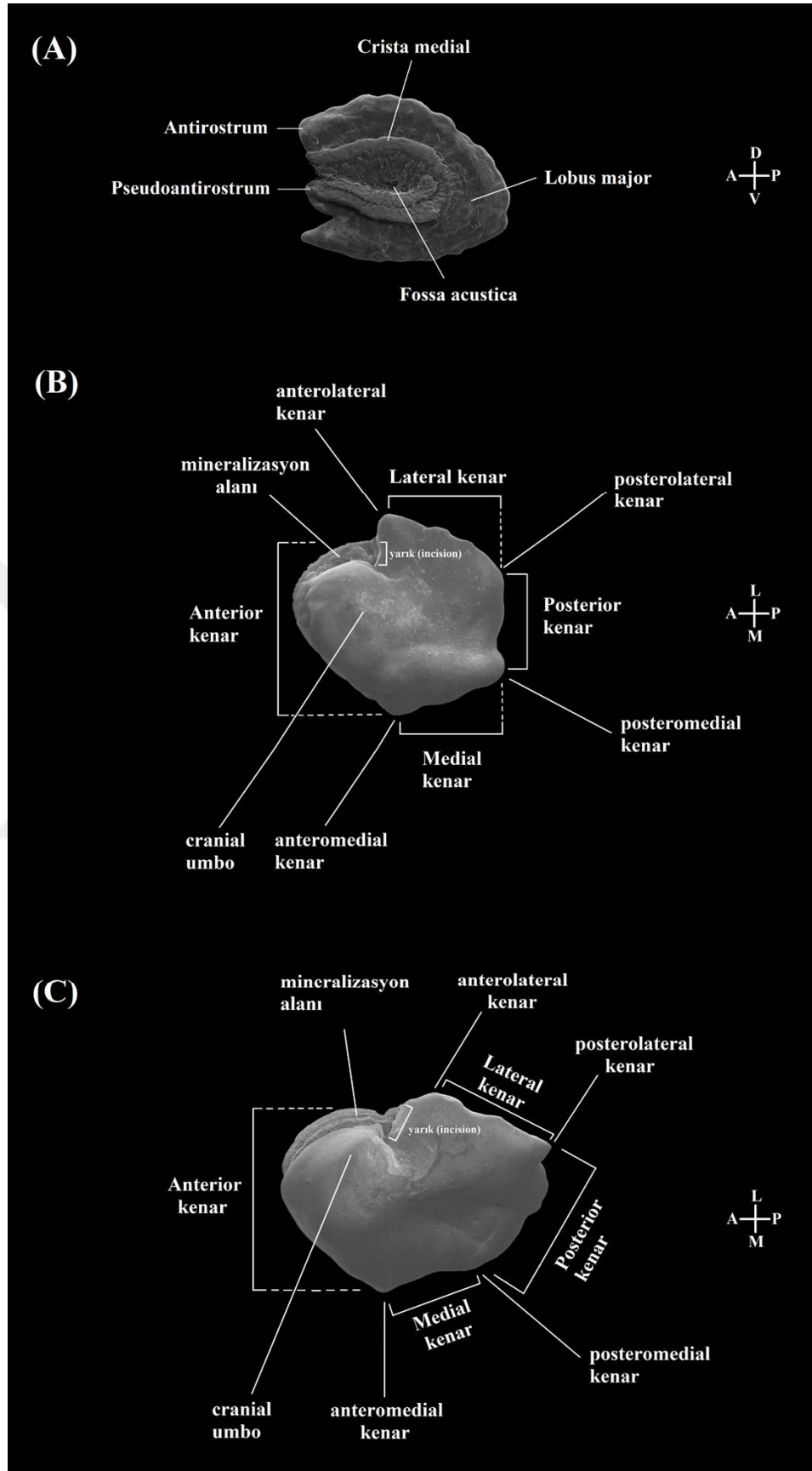
3.4. Otolitlerin Fotoğraflanması

Her bir türün sağ otolitleri, distal (asteriskus için) ve dorsal (lapillus için) yüzeyleri gözlemciye bakacak şekilde yerleştirilerek Leica S8APO marka binoküler mikroskoba bağlı Leica DFC295 dijital kamera ile fotoğraflanmıştır. Otolit fotoğrafları alttan aydınlatma yapılarak maksimum ışık seviyesinde çekilmiştir.

Böylelikle beyaz zeminde siyah otolit silüetleri elde edilmiştir. Tüm fotoğraflar JPEG formatında kaydedilmiş, sonrasında bilgisayar ortamında gerekli düzenlemelerden geçirilmiş ve ileride yapılacak olan analizlerde kullanılmak üzere BMP ve PNG formatlarına dönüştürülerek saklanmıştır. Ayrıca otolitlerin morfolojik yönden tanımlanabilmesi için asteriskusların distal ve proksimal, lapillusların dorsal ve ventral yüzeylerinden taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JSM 7001 F, KITAM) ile fotoğrafları çekilmiştir.

3.5. Otolit Morfolojisi

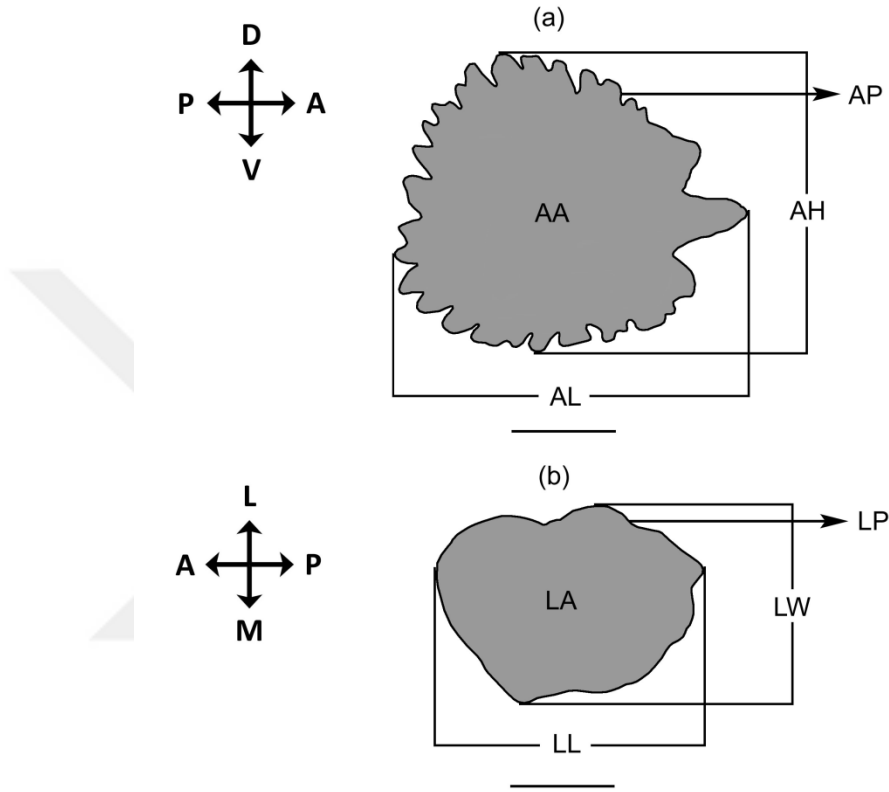
Altı balık türünün lagenar ve utrikular otolitlerinin morfolojisi Assis (2003), Schulz-Mirbach ve Reichenbacher (2006), Yılmaz vd. (2015)'nde verilen terminolojiye göre tanımlanmış (Şekil 3.8), morfometri ve şekil yönünden analiz edilmiştir.



Şekil 3.8. Lagenar ve utrikular otolitlerin morfolojik karakterleri ve terminoloji. (A) Sağ asteriskus, (B) Sağ lapillus (tip I), (C) Sağ lapillus (tip II)

3.5.1. Otolit Morfometrisi

Asteriskus uzunluğu (AL, mm), asteriskus yüksekliği (AH, mm), asteriskus çevresi (AP, mm), asteriskus alanı (AA, mm²), lapillus uzunluğu (LL, mm), lapillus genişliği (LW, mm), lapillus çevresi (LP, mm) ve lapillus alanı (LA, mm²) ImageJ (version 1.53t) programı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sağ asteriskusun distal (a) ve sağ lapillusun dorsal (b) görünümü ve alınan morfometrik ölçümler. AL-asteriskus uzunluğu, AH-asteriskus yüksekliği, AP-asteriskus çevresi, AA-asteriskus alanı, LL-lapillus uzunluğu, LW-lapillus genişliği, LP-lapillus çevresi, LA-lapillus alanı, D-dorsal, V-ventral, L-lateral, M-medial, A-anteriyor, P-posteriyor, Ölçek=1 mm

Balık boyu türler arasında farklılık gösterdiğinden (ANOVA, $P < 0.001$), morfometrik ölçümlerin tümü aşağıdaki denklem yardımıyla standart hale getirilmiştir (Leonart et al., 2000).

$$M_s = M_o \left(\frac{\bar{x}}{x} \right)^b$$

Denklemden M_s standartlaştırılan otolit ölçümünü, M_o orijinal otolit ölçümünü, $\bar{x}$ altı türe ait tüm bireylerin ortalama total boyunu (asteriskus için 17.134 cm ve

lapillus için 16.913 cm), x her bir bireyin total boyu, b ise $\log x$ ile $\log M_0$ arasındaki doğrusal ilişkinin eğimini göstermektedir.

Her bir tür için standartlaştırılan otolit morfometrik ölçümler kullanılarak 6 şekil indeksi (Tablo 3.3) hesaplanmıştır. Şekil faktörü, yüzey alanı düzensizliğini tahmin etmenin bir yoludur. Mükemmel bir daire durumunda 1, düzensiz olduğunda <1 değer alır. Boy-yükseklik (genişlik) oranı, şeklin eğilimini (dairesele veya uzun) ifade eder. Yuvarlaklık ve dairesellik, sırasıyla minimum 1 ve 4π (12.57) değerini alarak çeşitli özelliklerin mükemmel bir daireye olan benzerliği hakkında bilgi sağlar. Dikdörtgensellik, alana göre uzunluk ve yükseklik (genişlik) değişikliklerini tanımlar. Kusursuz bir kare durumunda 1 değerini alır. Son olarak ovallik, eksenlerdeki değişikliklerin orantılı olup olmadığını gösterir (Tuset et al., 2021).

Tablo 3.3. Asteriskus ve lapillus otolitler için hesaplanan şekil indeksleri ve formülleri

İndeks Adı	Kısaltma	Formül	
		Asteriskus	Lapillus
Şekil Faktörü	ŞF	$4\pi AA/AP^2$	$4\pi LA/LP^2$
Boy-Yükseklik (Genişlik) Oranı	BYO/BGO	AL/AH	LL/LW
Dairesellik	DAİ	AP^2/AA	LP^2/LA
Yuvarlaklık	YUV	$4AA/\pi AL^2$	$4LA/\pi LL^2$
Dikdörtgensellik	DİK	$AA/(AL \times AH)$	$LA/(LL \times LW)$
Ovallik	OVA	$(AL-AH)/(AL+AH)$	$(LL-LW)/(LL+LW)$

Standartlaştırılan otolit şekil indeksleri, normal dağılım (Levene's testi) ve varyans eşitliği (Shapiro-Wilk testi) testlerinden geçirilmiştir. Daha sonra uygun bir ikili karşılaştırma testi seçilerek, tek yönlü ANOVA ya da Kruskal-Wallis testi ile türler arasında kıyaslanmıştır. Asteriskus ve lapillus otolitler için hesaplanan şekil indeksleri birbirleriyle önemli ölçüde ilişkili (çoklu doğrusallık) olduğundan gruplar arası varyans-kovaryans matrisi kullanılarak ana bileşen analizi (principal component analysis, PCA) yapılmış ve bu sayede tür ayrımı amacıyla ileride yapılacak olan kanonik ayrım analizi (canonical discriminant analysis, CDA) için yeni bir veri seti (ana bileşen skorları) elde edilmiştir (Song et al., 2018). Varyansın büyük bir kısmını açıklayan PC sayısını tespit etmek için yamaç eğim (scree plot) grafiğine bakılmış ve kırık-çubuk (broken-stick) modeli kullanılmıştır. Ana bileşen skorları ile CDA yapılmış ve tür ayrımının doğruluğu tespit edilmiştir. Grup kovaryans matrisleri farklı olduğundan (Box's M testi, $P < 0.001$) karesel CDA uygulanmıştır. Türler arası otolit şekil farklılığı parametrik olmayan tek yönlü PERMANOVA testi (Anderson, 2001) ile belirlenmiştir. PERMANOVA testinde öklit uzaklığı ve 9999 permütasyon

kullanılmıştır. Türler arası benzerlik ve farklılıkları tespit etmek için ikili karşılaştırma yapılmıştır.

3.5.2. Otolit Şekil Analizi

Lagenar ve utrikular otolitlerin şekli, hem eliptik Fourier analizi (Kuhl and Giardina, 1982) hem de dalgacık (wavelet) analizi (Parisi-Baradad et al., 2005, 2010) yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Eliptik Fourier analizi, harmonikler olarak bilinen çeşitli bileşenleri baz alarak şeklin ana hatlarını ortaya çıkarır. Her harmonik, şekil konturunun her bir noktasının (x) ve (y) eksenlerine yansıtılmasının bir sonucu olarak 4 katsayı (a, b, c, d) verir. Eliptik Fourier (EF) katsayılarının hesaplanmasında Shape 1.3 programı (Iwata and Ukai, 2002) kullanılmıştır. Her otolit için 20 harmonik analiz edilmiş ve toplam 80 EF katsayısı üretilmiştir. Bu katsayılar ilgili programda ilk harmoniğe göre normalleştirilerek boyut, yön ve kontur başlangıç noktasındaki farklılıklara karşı değişmez hale getirilmiştir. Ancak bu işlem ilk üç katsayının sabit değerlere ($a_1=1$, $b_1=c_1=0$) dönüşmesine neden olmuştur (Kuhl and Giardina, 1982; Iwata and Ukai, 2002). Otolit ana hattını en iyi şekilde yeniden yapılandırılmasında gerekli olan optimum harmonik sayısını belirlemek için aşağıdaki denklem yardımıyla Fourier Güç (FG) spektrumu hesaplanmıştır (Crampton, 1995).

$$FG_n = \frac{a_n^2 + b_n^2 + c_n^2 + d_n^2}{2}$$

Denklemden $a_n - d_n$, n . harmoniğin Fourier katsayılarıdır. Daha sonra sırasıyla yüzde FG ve yüzde kümülatif FG hesabı yapılmıştır.

$$\%FG_n = \left(\frac{FG_n}{\sum_1^n FG_n} \right) \times 100$$

$$\%KFG_n = \sum_1^n \%FG_n$$

Kümülatif gücün %99.99'u asteriskus için ilk üç ve lapillus için ilk beş harmonik tarafından tanımlandığından, çalışılan türlerin lagenar otolit şekli 12, utrikular otolit şekli ise 20 EF katsayısı ile özetlenmiştir. Ancak normalizasyon sürecinde ilk üç katsayı (a_1, b_1, c_1) bozulduğundan dolayı EF katsayısı, asteriskus

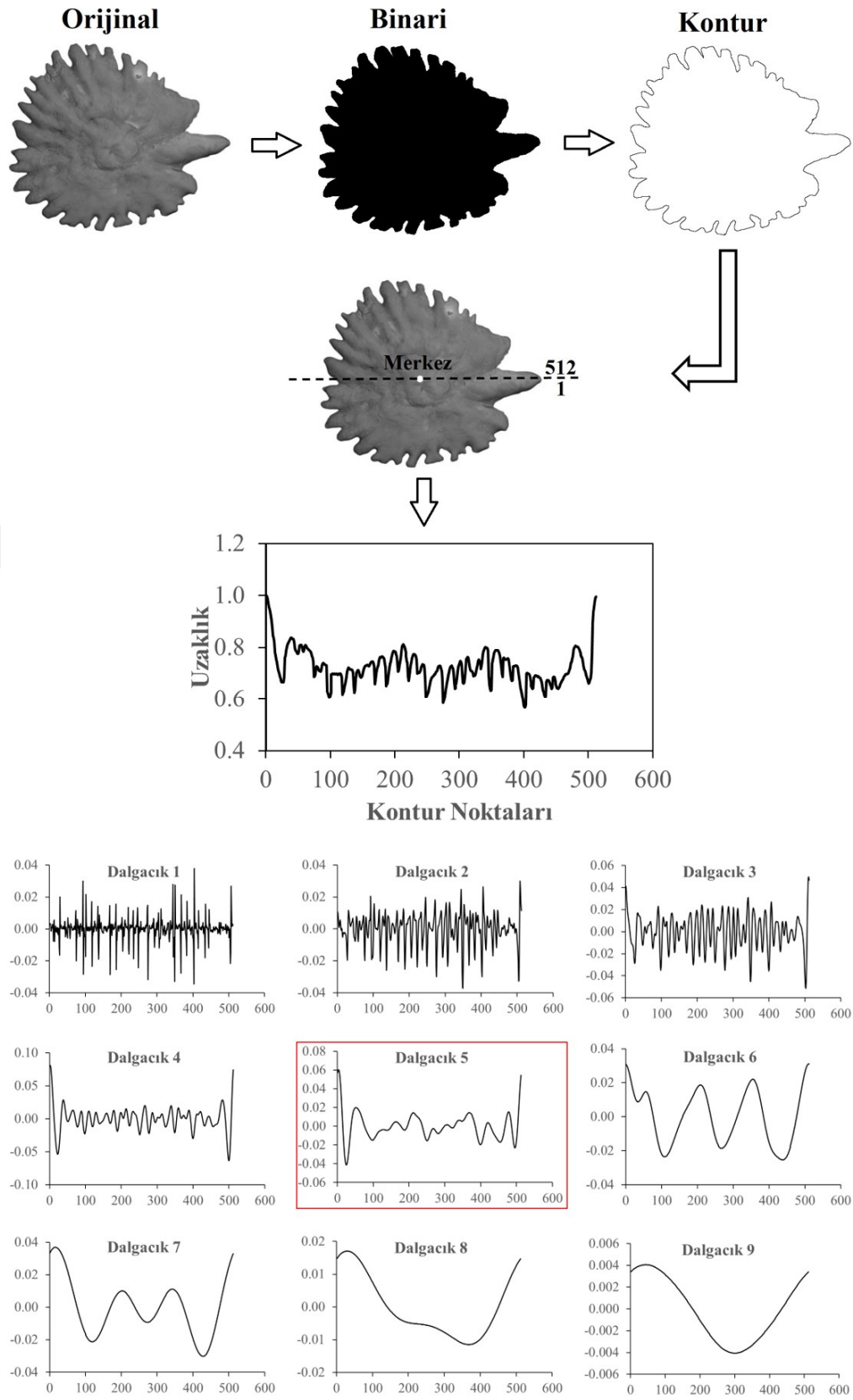
için 9 (3×4-3) ve lapillus için 17 (5×4-3) olarak belirlenmiştir. EF katsayılarının her biri bağımsız bir değişken olarak ele alınmıştır.

EF katsayılarına balık boyunun etkisini kontrol etmek için ANCOVA testi uygulanmıştır (Song et al., 2019). Bu test yapılırken faktör olarak tür, kovaryet olarak balık boyu (TB) alınmıştır. ANCOVA testi sonucunda “tür×TB” etkileşiminin önemli olması halinde ilgili değişken doğru bir şekilde standartlaştırılmayacağından sonraki analizlere dahil edilmemiştir (Begg and Brown, 2000). Geriye kalan EF katsayılarının balık boyu ile olan doğrusal ilişkilerine bakılmış ve önemli ilişki sergileyen katsayılar $Y_i^* = Y_i + b(x_0 - x_i)$ denklemi (Cardinale et al., 2004) yardımıyla standart hale getirilmiştir. Denklemden Y_i^* standartlaştırılan parametre, Y_i orijinal değişken, x_0 ortalama balık boyu (asteriskus için 17.134 cm ve lapillus için 16.913 cm), x_i her bir bireyin total boyu ve b ilgili değişken ile balık boyu arasındaki doğrusal ilişkinin regresyon katsayısını temsil etmektedir. Standartlaştırılan ve standartlaştırılmayan EF katsayılarının birbirleriyle olan ilişkilerinde çoklu doğrusallık durumu olmadığından, değişken sayısını azaltmak ve etkili değişkenleri tespit etmek amacıyla varyans-kovaryans matrisi kullanılarak PCA yapılmıştır. Sonrasında etkin EF katsayılarının orijinal değerleri ile CDA başarılmış ve tür farklılığının doğruluğu belirlenmiştir. Grup kovaryans matrisleri benzer olmadığından (Box's M testi, $P < 0.001$) karesel CDA uygulanmıştır. Ayrıca lagenar ve utrikular otolit şeklinin türler arasında farklı olup olmadığı çok değişkenli analiz testi (tek yönlü PERMANOVA) ile kontrol edilmiştir.

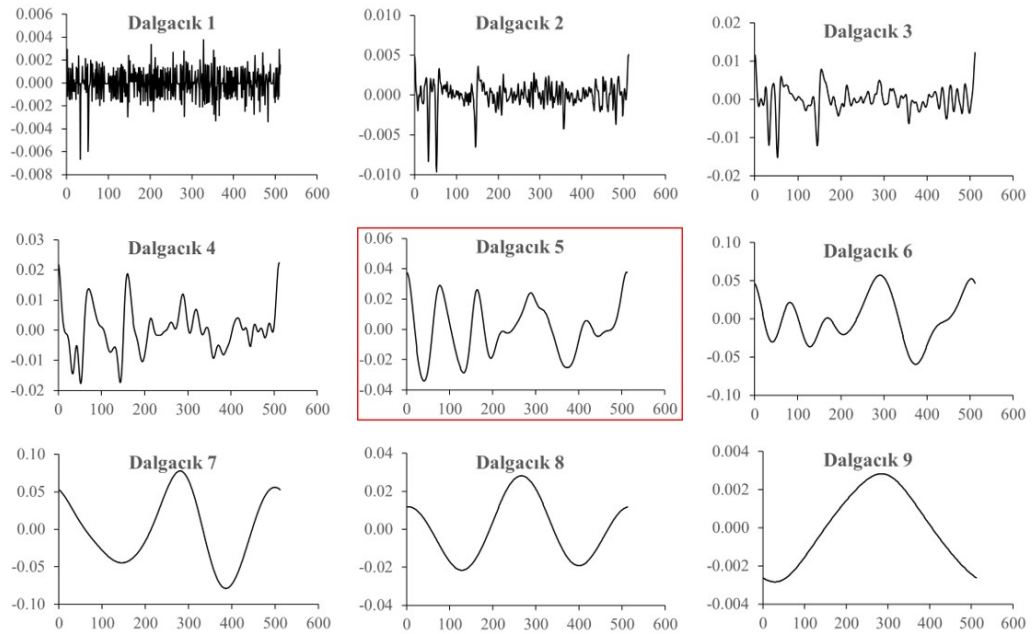
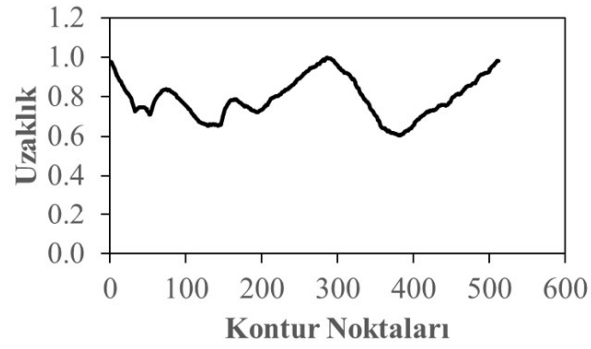
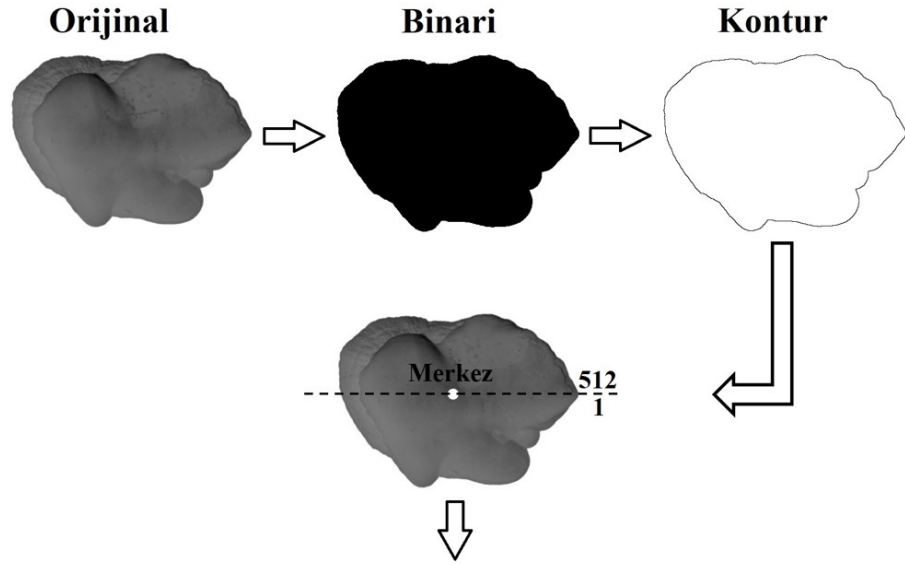
Dalgacık (wavelet) analizi, şekil konturunu ana dalgacık olarak bilinen benzersiz bir fonksiyonun genişlemeleri ve ötelemeleri olarak elde edilen bir fonksiyonlar ailesine genişletmeye dayanır. Bu fonksiyonlar hem uzayda hem de dalga sayısında eğrinin en belirgin özelliklerini (keskin geçişler) tanımlar. Dalgacıkların sinyalleri farklı genliklere sahiptir. Bu nedenle küçük (düşük) dalga sayıları (frekanslar) düzgün bir şekilde değişen bir konturla ilişkilendirilirken, büyük dalga sayıları küçük bir uzamsal ölçekteki varyasyonla ilişkilendirilir (Parisi-Baradad et al., 2005, 2010). Otolit konturunu elde etmek için bir nesnenin dikey görüntüsü olan ortogonal izdüşümlerinin her biri üzerinde toplam 512 eşit mesafeli kartezyen koordinat, AFORO sitesinin çevrimiçi uygulaması (<http://aforo.cmima.csic.es>, Lombarte et al., 2006) kullanılarak çıkarılmıştır. Her bir konturdan otolit detayının derecesine bağlı olarak dokuz dalgacık elde edilmiştir. Dalgacık 1-3 otolit

konturundaki küçük varyasyonların detaylarını verirken, dalgacık 7-9 konturun birkaç özelliğini gösterir. Bu nedenle, otolit konturunu temsilen dalgacık 5 seçilmiştir (Şekil 3.10-Şekil 3.11). Birçok çalışma, dalgacık 5'in otolit konturunun spesifik özelliklerini daha iyi tanımladığını göstermiştir (Sadighzadeh et al., 2014; Tuset et al., 2015, 2020, 2021; Kumar et al., 2022).





Şekil 3.10. Asteriskus için dalgacık fonksiyonlarını elde etme prosedürünü gösteren şema



Şekil 3.11. Lapillus için dalgacık fonksiyonlarını elde etme prosedürünü gösteren şema

Asteriskus ve lapillus otolitlerin herbiri için elde edilen dalgacık 5 fonksiyonuna ait 512 veri noktasının boyutunu, herhangi bir bilgi kaybı olmadan azaltmak ve aynı zamanda çoklu doğrusallık probleminden de kaçınmak için varyans-kovaryans matrisine dayalı bir PCA yapılmıştır (Sadighzadeh et al., 2014; Tuset et al., 2021). Otolit konturundaki değişkenliği en fazla açıklayan ana bileşenler kırık-çubuk (broken-stick) yöntemi ile belirlenmiştir. Türler arası varyasyonların balık boyundan kaynaklanabileceği gözönüne alınarak etkin ana bileşenler ile balık total boyu arasındaki korelasyonlar test edilmiştir. Balık boyunun etkisi doğrusal model kullanılarak bertaraf edilmiştir. Oluşturulan yeni PCA matrisi ile CDA yapılmış ve tür tanımlamanın doğruluğu tespit edilmiştir. Grup kovaryans matrislerindeki farklılıktan dolayı (Box's M testi, $P < 0.001$), karesel CDA kullanılmıştır. Parametrik olmayan çok değişkenli analiz yöntemi PERMANOVA (Anderson, 2001) ile otolit şekil varyasyonları türler arasında kıyaslanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Otolit Morfolojisinin Tanımlanması

Tersakan Çayı'ndan yakalanan 6 balık türünün tamamında lagenar otolitlerin (asteriskus) utrikular otolitlerden (lapillus) daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Asteriskuslar, disk şeklinde ve kenarları tırtıklıdır. Distal (lateral) yüzeyleri pürüzsüz ve hafif dışbükeydir. Proksimal (medial) yüzey hafif içbükeydir ve bir akustik çukura (fossa acustica) sahiptir. Fossa acustica daha büyük bir lob (lobus major) ile çevrilidir. Fossa acustica ve lobus major, göze çarpan bir medial tepe (crista medial) ile ayrılır. Daha küçük lobun (lobus minör) aşırı küçülmesine bağlı olarak, asteriskusun anterior kenarının ortasında sıklıkla büyük bir girinti (pseudoexcisura) oluşur. Bu girinti, antirostrum ve psödoantirostrum veya medial tepenin dorsal ve ventral uçları ile sınırlıdır (Şekil 4.1).

Barbus tauricus'ta antirostrum genellikle yuvarlak veya hafif sivridir. Pseudoantirostrum genelde belirgin ve yuvarlaktır. Antirostrum çoğunlukla pseudoantirostrumdan daha uzun veya aynı hizadadır. Antirostrumla pseudoantirostrum arasında derinliği az olan bir girinti vardır. Medial tepenin dorsal ve ventral uçları sırasıyla antirostrum ve pseudoantirostrum istikametinde ilerler. Özellikle ventral uç pseudoantirostrumu tamamen kaplar (Şekil 4.1a).

Capoeta tinca'da antirostrum hafif sivri veya yuvarlaktır. Pseudoantirostrum çoğunlukla yuvarlak veya hafif sivri uçludur. Antirostrum daima pseudoantirostrumdan daha uzundur. İkisi arasında derinliği fazla olmayan bir girinti bulunur. Medial tepenin dorsal ve ventral uçları sırasıyla antirostrum ve pseudoantirostrum yönünde ilerler (Şekil 4.1b).

Abramis brama'da antirostrum hafifçe yuvarlaktır. Psödoantirostrum genellikle sivri uçludur. Antirostrum genellikle psödoantirostrumun daha gerisinde veya aynı hizadadır. Antirostrum ve psödoantiostrum arasında nispeten derin bir girinti vardır. Medial tepenin dorsal ve ventral uçları sırasıyla antirostrum ve psödoantiostrum yönünde hafifçe devam eder (Şekil 4.1c).

Alburnoides kurui'de antirostrum hafif yuvarlaktır. Pseudoantirostrum hafif yuvarlak veya genelde sivri uçludur. Antirostrum her zaman pseudoantirostrumun gerisindedir ve aralarında küçük bir girinti bulunur. Medial tepenin dorsal ucu

antirostrumun alt kısmında sonlanırken, ventral uç pseudoantirostrum yönünde ilerleyerek büyük ölçüde kaplar (Şekil 4.1d).

Scardinius erythrophthalmus'ta antirostrum daha belirgin, uzun ve hafif sivridir. Büyük örneklerde daha geniştir. Psödoantirostrum genellikle daha az belirgindir, ancak küçük örneklerde daha belirgindir ve antirostruma çok yakındır. Aralarında derinliği çok az olan bir girinti vardır. Medial tepenin dorsal ucu antirostruma doğru ilerlerken ventral ucu psödoantirostrumu tamamen kaplar (Şekil 4.1e).

Squalius cephalus'ta antirostrum ve pseudoantirostrum genelde yuvarlak veya hafif sivridir. Pseudoantirostrum büyük çoğunlukta antirostrumdan daha kısadır ve aralarında nispeten derin sayılabilecek bir girinti mevcuttur. Medial tepenin dorsal ve ventral uçları sırasıyla antirostrum ve pseudoantirostrum istikametinde ilerler ve özellikle ventral uç pseudoantirostrumu tamamen örter (Şekil 4.1f).

Lapillusun dorsal bölgesi dışbükey-içbükey ve pürüzsüzdür. Anterior kısmında bir tümsek (cranial umbo), posterior kısmında hafif belirgin bir çukurluk vardır. Lapillusun ventral bölgesi dışbükey ve engebelidir. Posterior ucu V şeklinde olabilir. Anterior ve lateral kenarın birleştiği yerde bir yarık (kesi) görünür (Şekil 4.2).

B. tauricus'ta lapillusun genel şekil, anterior kısımda kare veya yuvarlaktır. Posterior kısma doğru gittikçe inceler. Anteromedial kenar küçük bir tümsektir. Anterolateral ve posterolateral kenarlar köşeli ve belirgindir. Posteromedial kenar bazı örneklerde belirgin değildir. Posterior kenar genelde düzdür. Ayrıca derin bir yarık (kesi) ta önemli bir karakterdir (Şekil 4.1a).

C. tinca'da lapillusun şekli anterior bölgede karesel bir yapı gösterirken, posterior bölgeye doğru hafif incelme gösterir. Çoğunlukla anterior kenar dikey yönde düz bir şekilde uzanır ve sonlandığı yerde anteromedial kenar yer alır. Anteriolateral ve posteriolateral kenarlar oldukça belirgin olup, aralarında uzanan lateral kenar düz ya da hafif yuvarlaktır. Posteromedial kenarın konumu genelde net değildir. Posterior kenar çoğunlukla içbükeydir. Medial kenarda da hafif içbükeylik söz konusudur. Ayrıca derin bir yarık (kesi) da mevcuttur (Şekil 4.2b). Bu tür ile *B. tauricus*'un lapillusları benzerlik gösterir. Fakat *B. tauricus*'un lapillusu daha uzun ve oval yapılıdır.

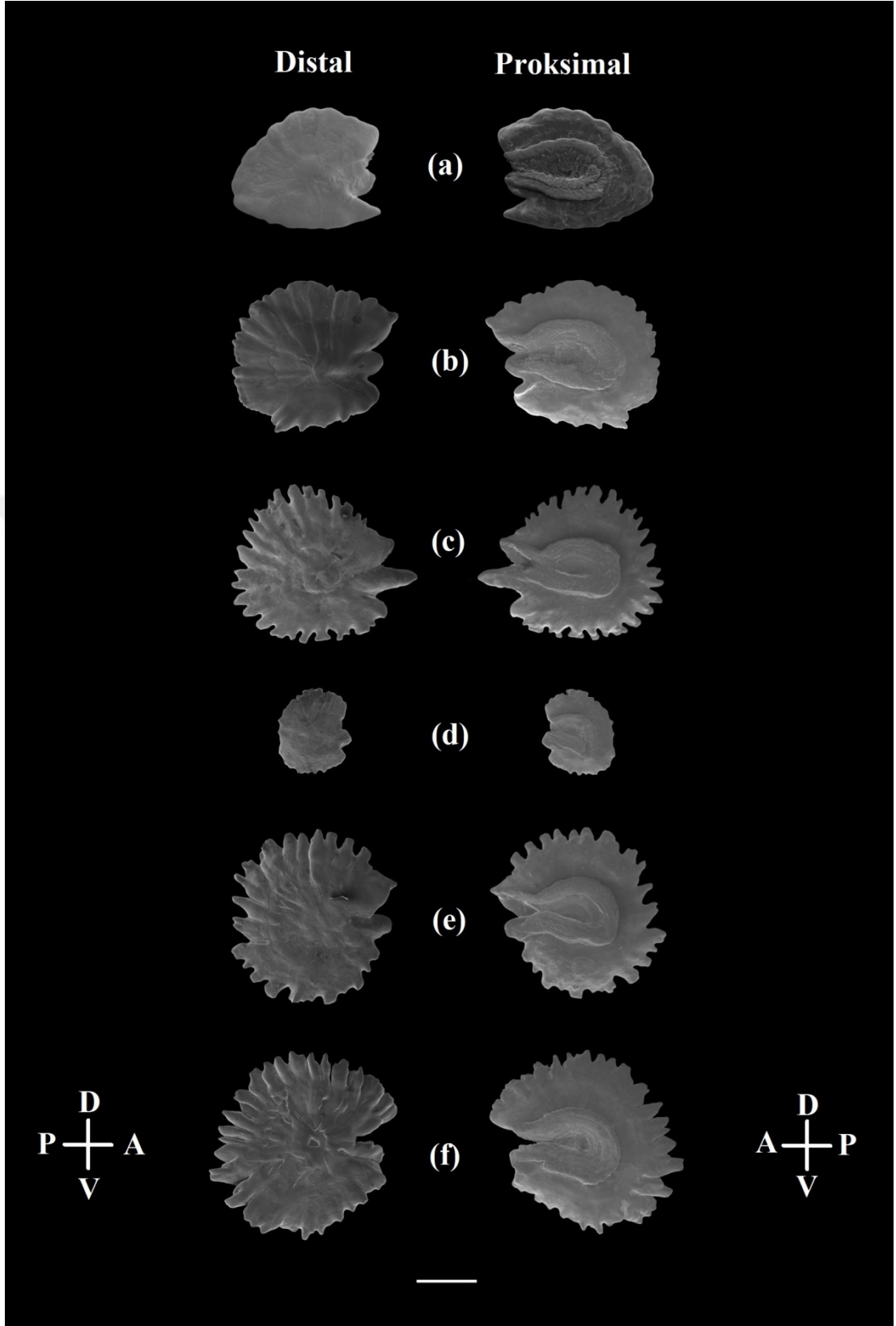
A. brama'da lapillusun genel şekli uzun, oval veya neredeyse eşkenar dörtgendir (tip II). Anterolateral ve anteromedial kenarlar benzer şekilde gelişmiş,

yuvarlak ve belirgindir. Posteromedial kenar nispeten daha az gelişmiş ve yuvarlaktır. Posterolateral kenar daha sivridir. Medial kenar genellikle kavisli ve dalgalıdır. Bununla birlikte, düz de olabilir. Posterior kenar belirgin bir içbükeylik gösterir. Lateral kenar genellikle düzdür ancak hafif yuvarlak da olabilir (Şekil 4.2c).

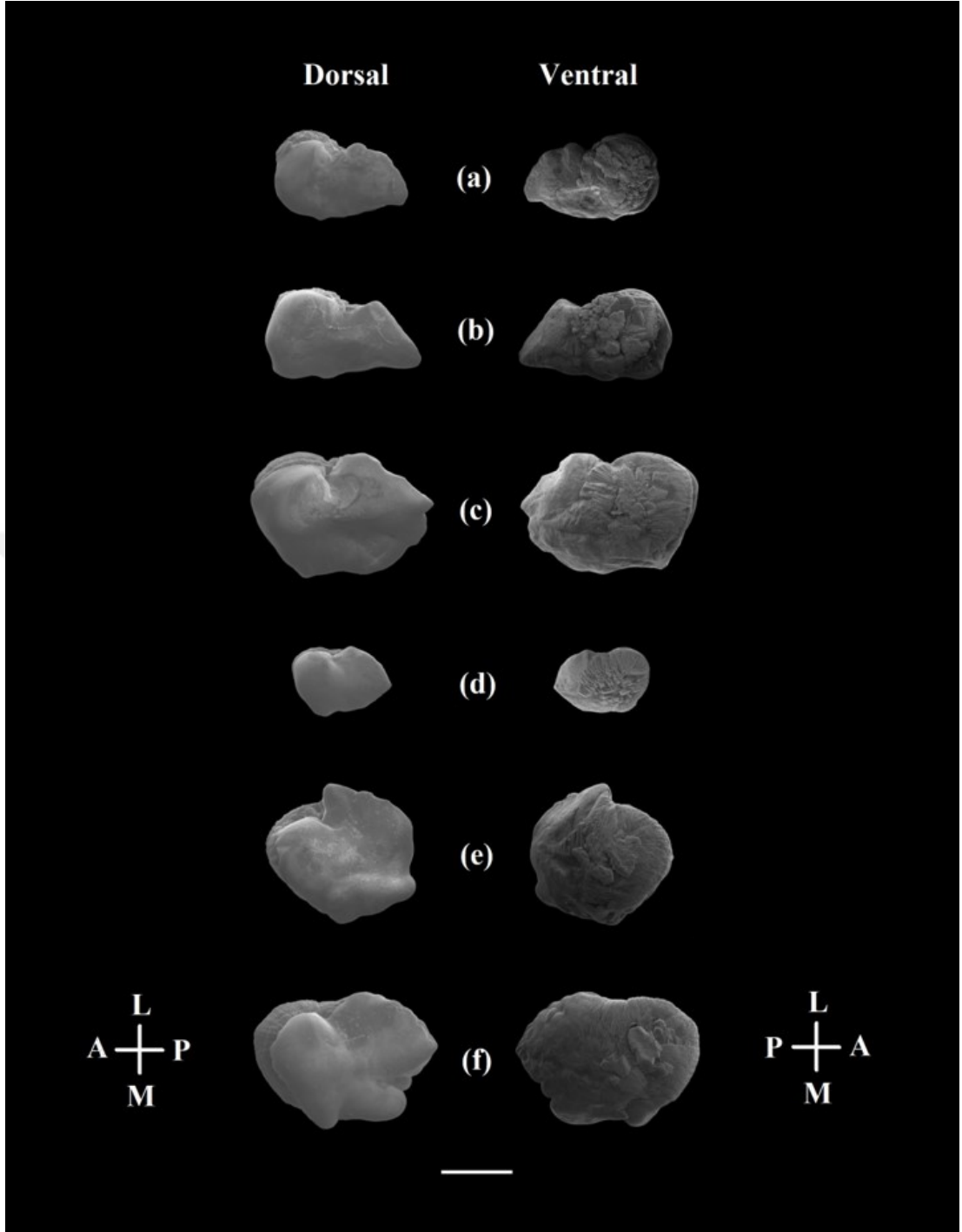
A. kurui'de lapillus genel olarak uzun ve ovaldir (tip II). Tüm kenarlar oldukça belirgindir. Bazı örneklerde anteromedial kenar, sağlam bir şekilde uzamıştır. Medial kenar düz ya da hafif içbükeydir. Posterior kenar genelde düzdür veya içbükeydir. Lateral kenar yuvarlaktır (Şekil 4.2d). Bu türün lapillusu *A. brama*'nın lapillusuna benzerlik göstermekle birlikte boyutu, daha uzun ve oval yapısı ile ondan ayrılmaktadır.

S. erythrophthalmus'ta lapillusun genel şekli, anterior kısımda yarım daire ve posterior kısımda yamuk şeklindedir (tip I). Dört kenar iyi gelişmiştir. Genellikle lateral ve medial kenarlar düzdür. Posterior kenarda belirgin bir içbükeylik göze çarpar. Bu türün lapillusu, *S. cephalus*'un lapillusuna benzer ancak geniş dikdörtgen şekli ile ondan ayrılır (Şekil 4.2e).

S. cephalus'ta lapillusun genel şekli ovalden dikdörtgene değişkendir (tip I). Genellikle lateral ve medial kenarlar birbirine simetrik uzanır ve ikisi arasında dik bir şekilde alçalan posterior kenar vardır. Tüm kenarlar büyük oranda iyi gelişmiştir. Bu türün lapillusu ile *S. erythrophthalmus*'un lapillusu benzerdir ancak *S. cephalus* daha uzun bir lapillusu sahiptir (Şekil 4.2f).



Şekil 4.1. Tersakan Çayı'ndan altı balık türünün sağ asteriskus otolitlerinin distal ve proksimal görüşleri. (a)-*Barbus tauricus* (29.5 cm TB), (b)-*Capoeta tinca* (27.4 cm TB), (c)-*Abramis brama* (24.1 cm TB), (d)-*Alburnoides kurui* (10.9 cm TB), (e)-*Scardinius erythrophthalmus* (15.0 cm TB), (f)-*Squalius cephalus* (18.5 cm TB), D-dorsal, V-ventral, A-anterior, P-posterior, Ölçek: 1 mm



Şekil 4.2. Tersakan Çayı'ndan altı balık türünün sağ lapillus otolitlerinin dorsal ve ventral görüşleri. (a)-*Barbus tauricus* (29.5 cm TB), (b)-*Capoeta tinca* (27.4 cm TB), (c)-*Abramis brama* (24.1 cm TB), (d)-*Alburnoides kurui* (10.9 cm TB), (e)-*Scardinius erythrophthalmus* (15.0 cm TB), (f)-*Squalius cephalus* (18.5 cm TB), D-dorsal, V-ventral, A-anterior, P-posterior, Ölçek: 1 mm

4.2. Otolit Morfometrisi

Tersakan Çayı'ndan yakalanan 6 balık türünün sağ asteriskus ve lapillus otolitlerinden alınan 4 farklı morfometrik ölçümün tanımlayıcı istatistikleri sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Asteriskus ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri (Ort-ortalama, SH-standart hata, SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum)

Tür	N	Değişken	Ort	SH	SS	Min	Mak
<i>Barbus tauricus</i> (Bt)	14	AL	2.35	0.06	0.26	1.94	2.84
		AH	1.91	0.05	0.22	1.59	2.23
		AP	8.09	0.30	1.13	6.41	10.33
		AA	3.38	0.17	0.65	2.37	4.43
<i>Capoeta tinca</i> (Ct)	17	AL	2.59	0.07	0.29	2.14	3.03
		AH	2.30	0.06	0.26	1.89	2.75
		AP	10.02	0.37	1.52	7.88	12.94
		AA	4.30	0.21	0.89	3.13	5.71
<i>Abramis brama</i> (Ab)	26	AL	3.12	0.04	0.24	2.70	3.56
		AH	2.73	0.03	0.20	2.32	3.09
		AP	13.14	0.26	1.34	10.71	16.12
		AA	5.94	0.16	0.82	4.46	7.80
<i>Alburnoides kurui</i> (Ak)	17	AL	1.38	0.01	0.08	1.27	1.55
		AH	1.59	0.01	0.06	1.46	1.73
		AP	5.41	0.05	0.23	5.03	5.81
		AA	1.68	0.03	0.13	1.48	1.90
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Se)	19	AL	2.14	0.05	0.22	1.63	2.61
		AH	2.27	0.04	0.20	1.84	2.64
		AP	9.99	0.28	1.23	8.39	12.24
		AA	3.59	0.14	0.64	2.27	4.94
<i>Squalius cephalus</i> (Sc)	27	AL	2.34	0.03	0.16	2.07	2.85
		AH	2.20	0.02	0.12	2.02	2.70
		AP	9.60	0.13	0.72	8.39	12.24
		AA	3.74	0.07	0.40	3.15	5.03

Tablo 4.2. Lapillus ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri (Ort-ortalama, SH-standart hata, SS-standart sapma, Min-minimum, Mak-maksimum)

Tür	N	Değişken	Ort	SH	SS	Min	Mak
<i>Barbus tauricus</i> (Bt)	11	LL	1.79	0.06	0.19	1.54	2.08
		LW	1.21	0.05	0.16	1.00	1.47
		LP	5.21	0.18	0.60	4.36	6.19
		LA	1.64	0.11	0.36	1.17	2.28
<i>Capoeta tinca</i> (Ct)	17	LL	1.95	0.05	0.19	1.71	2.21
		LW	1.40	0.04	0.16	1.14	1.64
		LP	5.95	0.15	0.63	4.95	6.90
		LA	2.10	0.11	0.44	1.44	2.81
<i>Abramis brama</i> (Ab)	26	LL	2.41	0.04	0.19	2.06	2.81
		LW	1.82	0.03	0.17	1.49	2.19
		LP	7.19	0.11	0.55	6.18	8.49
		LA	3.30	0.10	0.52	2.47	4.65
<i>Alburnoides kurui</i> (Ak)	17	LL	1.40	0.01	0.06	1.31	1.52
		LW	0.98	0.02	0.07	0.91	1.15
		LP	4.06	0.05	0.21	3.82	4.62
		LA	1.03	0.02	0.10	0.90	1.25
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Se)	19	LL	1.96	0.04	0.19	1.56	2.36
		LW	1.67	0.05	0.23	1.23	2.09
		LP	6.10	0.16	0.70	4.65	7.46
		LA	2.38	0.12	0.54	1.36	3.52
<i>Squalius cephalus</i> (Sc)	27	LL	2.16	0.02	0.12	1.90	2.50
		LW	1.71	0.02	0.12	1.46	1.91
		LP	6.54	0.07	0.39	5.75	7.39
		LA	2.64	0.05	0.27	2.07	3.34

Tersakan Çayı'ndan elde edilen 6 balık türünün sağ otolitlerinden alınan morfometrik ölçümlerin standartlaştırılmış değerleri kullanılarak hesaplanan şekil indeksleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için asteriskus otolit şekil indekslerinin standartlaştırılmış değerleri (ortalama±standart sapma). Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)

Tür	Şekil İndeksleri					
	ŞF	BYO	DAİ	YUV	DİK	OVA
Bt	0.70±0.07 ^c	1.10±0.11 ^{abc}	18.23±2.04 ^a	0.89±0.10 ^{abcd}	0.76±0.03 ^d	0.04±0.05 ^{ab}
Ct	0.57±0.07 ^c	1.04±0.08 ^{abc}	22.50±2.69 ^c	0.89±0.09 ^{ab}	0.73±0.03 ^{bc}	0.02±0.04 ^{ab}
Ab	0.44±0.05 ^a	1.10±0.06 ^a	28.62±3.44 ^e	0.81±0.06 ^{cd}	0.70±0.02 ^a	0.05±0.03 ^a
Ak	0.65±0.02 ^d	1.04±0.05 ^c	19.34±0.62 ^b	0.91±0.06 ^a	0.74±0.02 ^c	0.02±0.02 ^b
Se	0.43±0.04 ^a	1.03±0.05 ^{bc}	29.40±2.53 ^e	0.89±0.06 ^{ab}	0.72±0.02 ^b	0.02±0.03 ^b
Sc	0.50±0.04 ^b	1.10±0.05 ^a	25.15±2.10 ^d	0.83±0.05 ^{bd}	0.72±0.02 ^b	0.05±0.02 ^a

Asteriskus şekil indekslerinden 3'ünde (ŞF, DAİ, DİK) normal dağılım varsayımı ihlal edilirken (Shapiro-Wilk testi, $P<0.05$), 3'ünde (BYO, YUV, OVA) normal dağılım sağlanmıştır (Shapiro-Wilk testi, $P>0.05$). Ayrıca DİK indeksi hariç

diğer şekil indekslerinde varyans eşitliği gözlenmemiştir (Levene's testi, $P<0.05$). Asteriskus şekil indeksleri türler arasında farklılıklar göstermiştir (Kruskal-Wallis testi, ŞF, DAİ, DİK için $P<0.001$; ANOVA testi, BYO, YUV, OVA için $P<0.001$).

Tablo 4.4. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için lapillus otolit şekil indekslerinin standartlaştırılmış değerleri (ortalama±standart sapma). Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)

Tür	Şekil İndeksleri					
	ŞF	BGO	DAİ	YUV	DİK	OVA
Bt	0.76±0.01 ^b	1.47±0.09 ^{ab}	16.54±0.26 ^c	0.65±0.04 ^c	0.75±0.02 ^{ab}	0.19±0.03 ^{ab}
Ct	0.74±0.02 ^a	1.39±0.08 ^{bc}	16.98±0.49 ^d	0.70±0.06 ^{bc}	0.76±0.02 ^a	0.16±0.03 ^{bc}
Ab	0.80±0.02 ^d	1.33±0.04 ^{cd}	15.78±0.36 ^a	0.72±0.02 ^b	0.75±0.02 ^a	0.14±0.02 ^{cd}
Ak	0.76±0.02 ^b	1.50±0.07 ^a	16.56±0.37 ^c	0.65±0.03 ^c	0.77±0.02 ^a	0.20±0.02 ^a
Se	0.78±0.01 ^c	1.21±0.07 ^e	16.13±0.23 ^b	0.77±0.04 ^a	0.73±0.02 ^{bc}	0.09±0.03 ^e
Sc	0.76±0.02 ^b	1.28±0.08 ^d	16.46±0.49 ^c	0.72±0.04 ^b	0.72±0.02 ^c	0.12±0.03 ^d

Lapillus şekil indekslerinden ŞF ve DAİ normal dağılım varsayımı ihlal ederken (Shapiro-Wilk testi, $P<0.05$), BGO, YUV, DİK ve OVA normal dağılım göstermiştir (Shapiro-Wilk testi, $P>0.05$). Ayrıca BGO, DİK ve OVA indeksleri varyans eşitliği sağlamıştır (Levene's testi, $P>0.05$). Lapillus şekil indeksleri balık türleri arasında farklılıklar göstermiştir (Kruskal-Wallis testi, ŞF, DAİ, için $P<0.001$; ANOVA testi, BGO, YUV, DİK, OVA için $P<0.001$).

Asteriskus şekil indeksleri ile yapılan PCA'da 5 PC elde edilmiş ve ilk iki PC varyansın %99.99'unu açıklamıştır (PC1 için %99.98 ve PC2 için %0.01). PC1, DAİ ($R=0.99$) indeksine göre türleri farklılaştırmıştır. Buna karşılık BYO ($R=0.68$) ve YUV ($R=0.65$) indeksleri PC2'deki varyasyondan sorumlu olmuştur.

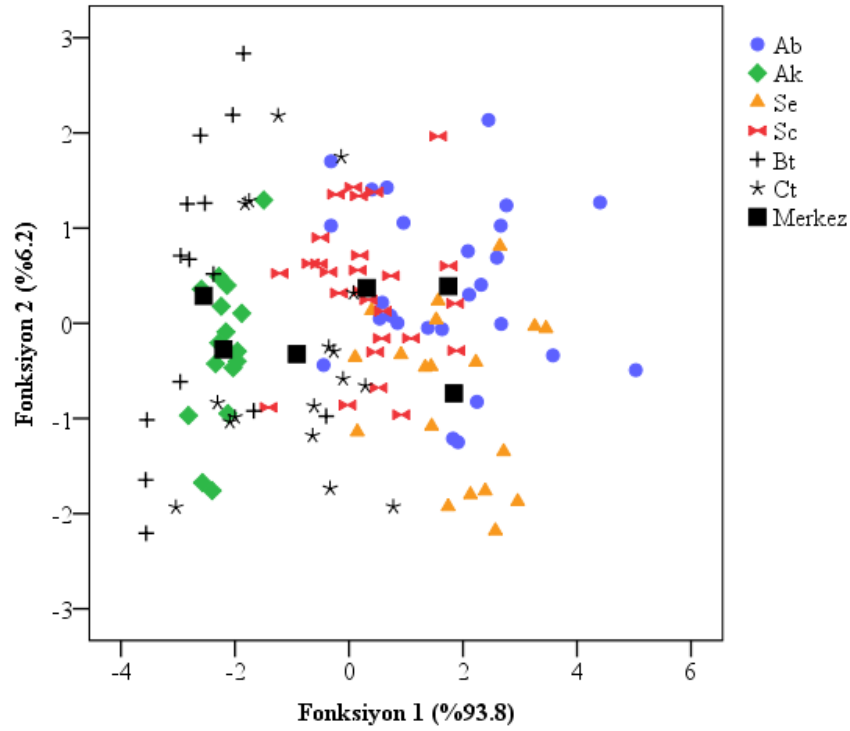
Lapillus şekil indeksleri kullanılarak gerçekleştirilen PCA neticesinde 5 PC üretilmiş ve ilk 2 PC varyansın %99.90'mı temsil etmiştir (PC1 için %93.27 ve PC2 için %6.63). PC1, DAİ ($R=0.98$) indeksine dayalı olarak balık türlerini ayırtmıştır. Diğer taraftan BGY ($R=0.86$), YUV ($R=0.34$) ve OVA ($R=0.31$) indeksleri PC2'deki değişkenliğin kaynağı olmuştur.

Asteriskus PC skorları ile yapılan CDA sonuçları Tablo 4.5'de ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Asteriskus şekil indeksleri ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	78.6 (11)	14.3 (2)	0 (0)	7.1 (1)	0 (0)	0 (0)
Ct	11.8 (2)	17.6 (3)	0 (0)	29.4 (5)	5.9 (1)	35.3 (6)
Ab	0 (0)	3.8 (1)	42.3 (11)	0 (0)	19.2 (5)	34.6 (9)
Ak	11.8 (2)	0 (0)	0 (0)	88.2 (15)	0 (0)	0 (0)
Se	0 (0)	5.3 (1)	21.1 (4)	0 (0)	57.9 (11)	15.8 (3)
Sc	0 (0)	11.1 (3)	11.1 (3)	0 (0)	7.4 (2)	70.4 (19)

CDA’da ilk iki kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-2 için $\lambda=0.213$, $P=0.000$ ve fonksiyon 2 için $\lambda=0.837$, $P=0.000$). Fonksiyon 1 ($E=2.927$) varyansın %93.8’ini açıklamıştır ve PC1 ($R=0.981$) ile oldukça yüksek korelasyonludur. Bu fonksiyon Ab, Se ve Sc türlerini diğer üç türden iyi bir şekilde ayırmıştır. Fonksiyon 2 ($E=0.194$) varyansın %6.2’sini açıklamış ve PC2 ($R=0.999$) ile yakından ilişkilidir. Fakat bu fonksiyon tür ayırımında başarılı olamamıştır (Şekil 4.3). Asteriskus şekil indeksleri ile balık türlerinin ayırımında toplam sınıflandırma başarı oranı %58.3 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı Ak için elde edilirken bu türü sırasıyla Bt, Sc, Se, Ab ve Ct takip etmiştir (Tablo 4.5). Parametrik olmayan çok değişkenli analiz CDA sonuçlarını doğrulamıştır. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=64.31$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırma sadece Ab-Se ($P=1.000$) ve Ak-Bt ($P=0.5475$) arasında fark bulunmadığını ortaya koymuştur. Diğer ikili karşılaştırmaların tümünde önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.015$).



Şekil 4.3. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus şekil indekslerinin kanonik ayırım analizi grafiği

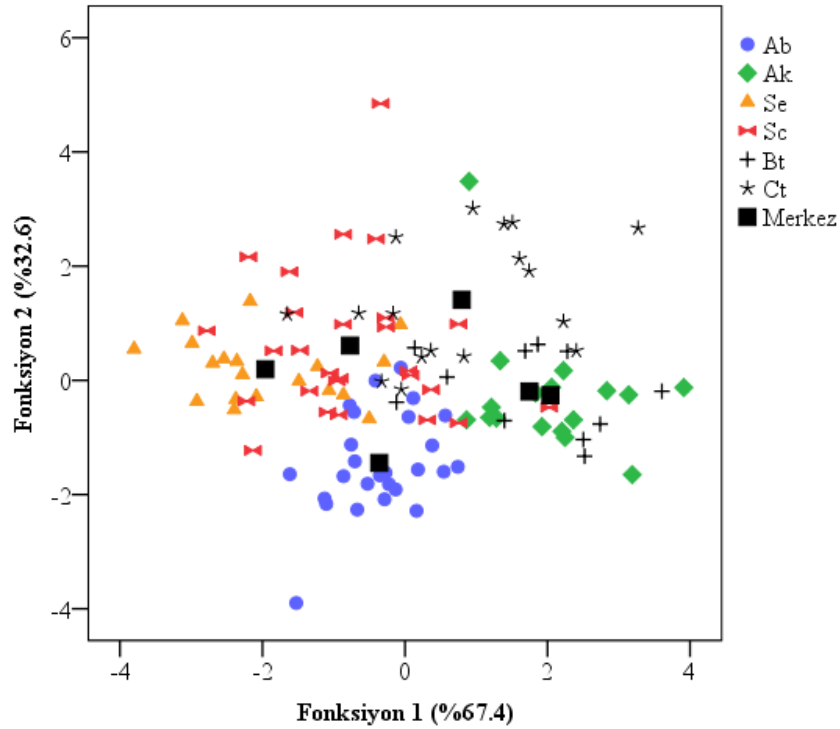
Lapillus PC skorları ile yapılan CDA sonuçları Tablo 4.6'de sunulmuş ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Lapillus şekil indeksleri ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı yüzdeleri. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	27.3 (3)	9.1 (1)	9.1 (1)	54.5 (6)	0 (0)	0 (0)
Ct	5.9 (1)	58.8 (10)	5.9 (1)	11.8 (2)	0 (0)	17.6 (3)
Ab	0 (0)	0 (0)	88.5 (23)	0 (0)	3.8 (1)	7.7 (2)
Ak	58.8 (10)	5.9 (1)	0 (0)	35.3 (6)	0 (0)	0 (0)
Se	0 (0)	5.3 (1)	5.3 (1)	0 (0)	78.9 (15)	10.5 (2)
Sc	11.1 (3)	3.7 (1)	7.4 (2)	0 (0)	33.3 (9)	44.4 (12)

CDA'da ilk iki kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-2 için $\lambda=0.183$, $P=0.000$ ve fonksiyon 2 için $\lambda=0.525$, $P=0.000$). Fonksiyon 1 ($E=1.870$) varyansın %67.4'ünü açıklamıştır. Bu fonksiyon PC1 ($R=0.407$) ve PC2 ($R=0.654$) ile yakından ilişkilidir. Fonksiyon 1 Ak, Bt ve Ct türlerini diğer türlerden iyi bir şekilde ayırmıştır. Fonksiyon 2 ($E=0.905$) varyansın %32.6'sını açıklamıştır. Bu fonksiyon PC1 ($R=0.913$) ve PC2 ($R=-0.757$) ile yakından korelasyonludur. Fonksiyon 2, Ab türünü Ct, Se ve Sc'den ayırabilmiştir (Şekil 4.4). Lapillus şekil indeksleri ile balık türlerinin ayırımındaki toplam sınıflandırma başarı oranı %59

olarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı Ab için elde edilirken bu türü sırasıyla Se ve Ct takip etmiştir (Tablo 4.6). Parametrik olmayan çok değişkenli analiz CDA sonuçlarını teyit etmiştir. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=23.92$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırmada Ab'nin diğer tüm türlerden farklı olduğu ($P<0.0035$) belirlenmiştir. Bu türü 4 türden farklılık gösteren ($P<0.0035$) Se ve 3 türden farklılık gösteren ($P<0.015$) Ct takip etmiştir.



Şekil 4.4. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için lapillus şekil indekslerinin kanonik ayrım analizi grafiği

4.3. Otolit Şekil Analizi

4.3.1. Eliptik Fourier Katsayıları

Asteriskus otolitleri için elde edilen 9 EF katsayısından üçü (d_1 , d_2 , c_3) balık boyuna bağlı olarak türleri arasında farklılık gösterdiğinden (ANCOVA testi, $P<0.05$) sonraki analizlere dahil edilmemiştir. Geriye kalan 6 EF katsayısından ikisi (b_2 , c_2) balık boyu ile önemli korelasyon sergilediğinden doğrusal modellerle standartlaştırılmıştır. EF katsayılarının türler arasında kıyaslanmasının sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir. EF katsayılarından a_2 ve d_3 normal dağılım göstermemiştir (Shapiro-Wilk testi, $P<0.05$). Normal dağılıma sahip katsayılardan sadece a_3 'te

varyans eşitliği sağlanmıştır (Levene's testi, $P>0.05$). Kruskal-Wallis testi, a2 katsayısında türler arası farklılık tespit ederken, d3 katsayısında farklılık olmadığını göstermiştir. Diğer taraftan ANOVA testi, dört katsayının türler arasında varyasyon sergilediğini ortaya koymuştur.

Tablo 4.7. Asteriskus EF katsayılarının ortalama ve standart sapma (parantez içi) değerleri ve türler arasında karşılaştırılması. Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)

Değişken	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc	P
a2	-0.0540 ^a (0.0448)	0.0236 ^b (0.0515)	0.0048 ^b (0.0318)	-0.0087 ^b (0.0292)	-0.0358 ^a (0.0286)	0.0392 ^c (0.0305)	0.000
b2	0.0006 ^{abc} (0.0383)	0.0145 ^{ab} (0.0512)	0.0025 ^{ab} (0.0287)	-0.0306 ^c (0.0136)	0.0205 ^a (0.0200)	-0.0070 ^b (0.0337)	0.000
c2	0.0154 ^{ab} (0.0537)	0.0107 ^{ab} (0.0522)	-0.0387 ^c (0.0242)	-0.0006 ^b (0.0228)	-0.0033 ^b (0.0199)	0.0252 ^a (0.0185)	0.000
a3	0.0173 ^a (0.0155)	-0.0164 ^b (0.0288)	0.0034 ^{ab} (0.0344)	-0.0112 ^b (0.0172)	0.0028 ^{ab} (0.0302)	0.0137 ^a (0.0234)	0.001
b3	0.0012 ^{ab} (0.0121)	0.0170 ^a (0.0230)	-0.0135 ^b (0.0384)	-0.0015 ^{ab} (0.0140)	0.0044 ^{ab} (0.0144)	-0.0005 ^{ab} (0.0218)	0.006
d3	0.0022 (0.0135)	0.0087 (0.0166)	-0.0002 (0.0243)	0.0013 (0.0089)	-0.0062 (0.0244)	-0.0029 (0.0159)	0.050

Lapillus otolitler için elde edilen 17 EF katsayısından biri (a5) balık boyuna bağlı olarak türleri arasında farklılık gösterdiğinden (ANCOVA testi, $P<0.05$) sonraki analizlere dahil edilmemiştir. Geriye kalan 16 EF katsayısından yedisi (d1, a2, d2, a3, a4, c4, b5) balık boyu ile önemli korelasyon sergilediğinden doğrusal modelle standartlaştırılmıştır. EF katsayılarının türler arasında karşılaştırmasının sonuçları Tablo 4.8'de sunulmuştur. Lapillus EF katsayılarından üçü (c2,d2,c5) normal dağılım göstermemiştir (Shapiro-Wilk testi, $P<0.05$). Normal dağılım sergileyen EF katsayılarından dördünde (a2, a4, b4, c5) varyans homojenitesi sağlanmamıştır (Levene's testi, $P<0.05$). Normal dağılım göstermeyen katsayılardan c2 ve d2, türler arasında farklı (Kruskal-Wallis testi, $P<0.05$) iken d5 farklı çıkmamıştır. ANOVA testi sonuçlarına göre, 8 EF katsayısı (d1, a2, b2, a3, b3, c3, a4, d4) türler arasında farklılık sergilemiştir.

Tablo 4.8. Lapillus EF katsayılarının ortalama ve standart sapma (parantez içi) değerleri ve türler arasında karşılaştırılması. Üst simgesi aynı olan ortalamalar arasında fark yoktur ($P>0.05$)

Değişken	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc	P
d1	-0.0524 ^b (0.0251)	-0.0668 ^{bc} (0.0351)	0.0377 ^a (0.0216)	-0.0832 ^c (0.0258)	0.0601 ^a (0.0281)	0.0372 ^a (0.0259)	0.000
a2	0.0233 ^a (0.0261)	-0.0388 ^b (0.0301)	0.0156 ^a (0.0151)	0.0155 ^a (0.0152)	-0.0262 ^b (0.0283)	0.0085 ^a (0.0171)	0.000
b2	-0.0011 ^{abc} (0.0161)	-0.0067 ^{cd} (0.0217)	0.0156 ^{ab} (0.0196)	0.0214 ^a (0.0146)	0.0014 ^{bc} (0.0238)	-0.0248 ^d (0.0231)	0.000
c2	-0.0124 ^a (0.0109)	-0.00001 ^{abc} (0.0148)	0.0066 ^c (0.0110)	0.0077 ^c (0.0126)	-0.0093 ^{ab} (0.0203)	0.0004 ^{bc} (0.0165)	0.001
d2	-0.0091 ^a (0.0083)	0.0075 ^b (0.0093)	-0.0026 ^{ab} (0.0114)	0.0042 ^b (0.0095)	-0.0039 ^{ab} (0.0157)	0.0015 ^{ab} (0.0120)	0.005
a3	-0.0094 ^b (0.0079)	-0.0016 ^b (0.0109)	0.0097 ^a (0.0141)	-0.0025 ^b (0.0102)	-0.0033 ^b (0.0106)	-0.0006 ^b (0.0113)	0.000
b3	0.0052 ^a (0.0080)	-0.0006 ^a (0.0131)	-0.0017 ^a (0.0102)	-0.0026 ^a (0.0085)	-0.0042 ^a (0.0111)	0.0046 ^a (0.0108)	0.034
c3	0.0074 ^a (0.0065)	-0.0007 ^{ab} (0.0066)	-0.0003 ^{ab} (0.0092)	-0.0044 ^b (0.0074)	0.0002 ^{ab} (0.0116)	0.0003 ^{ab} (0.0108)	0.057
d3	-0.0035 (0.0090)	0.0023 (0.0120)	-0.0002 (0.0069)	-0.0021 (0.0072)	-0.0001 (0.0086)	0.0016 (0.0085)	0.438
a4	-0.0021 ^b (0.0047)	-0.0016 ^{ab} (0.0078)	0.0032 ^a (0.0046)	-0.0020 ^{ab} (0.0059)	0.0023 ^{ab} (0.0068)	-0.0015 ^{ab} (0.0093)	0.008
b4	0.0021 (0.0081)	-0.0020 (0.0082)	0.0017 (0.0050)	0.0009 (0.0042)	0.0019 (0.0060)	-0.0032 (0.0084)	0.126
c4	0.0033 (0.0051)	-0.0005 (0.0061)	-0.0017 (0.0071)	0.0017 (0.0044)	0.0016 (0.0080)	-0.0016 (0.0064)	0.120
d4	-0.0044 ^{bc} (0.0050)	0.0014 ^{abc} (0.0066)	0.0021 ^a (0.0053)	0.00001 ^{abc} (0.0057)	-0.0038 ^c (0.0055)	0.0015 ^{ab} (0.0057)	0.001
b5	-0.0002 (0.0041)	0.0012 (0.0051)	0.0004 (0.0050)	0.0012 (0.0059)	0.0003 (0.0063)	-0.0020 (0.0054)	0.351
c5	-0.0008 (0.0021)	0.0004 (0.0049)	-0.0001 (0.0034)	-0.0002 (0.0031)	0.0015 (0.0068)	-0.0008 (0.0059)	0.776
d5	-0.0017 (0.0028)	0.0018 (0.0060)	-0.0009 (0.0044)	-0.0012 (0.0032)	0.0013 (0.0056)	0.0003 (0.0036)	0.122

Asteriskus EF katsayıları ile yapılan PCA’da 5 PC elde edilmiş ve ilk iki PC varyansın %77.65’ini açıklamıştır (PC1 için %53.86 ve PC2 için %23.79). PC1, a2 ($R=0.98$) katsayısına göre balık türlerini farklılaştırmıştır. Buna karşılık PC2’deki varyasyondan sorumlu olan katsayı c2 ($R=0.92$)’dir. Tür ayrımı için etkinliği tespit edilen bu iki katsayının orijinal değerleri kullanılarak CDA yapılmıştır.

Lapillus EF katsayıları kullanılarak gerçekleştirilen PCA neticesinde 5 PC üretilmiş ve ilk 2 PC varyansın %92.36’sını temsil etmiştir (PC1 için %78.64 ve PC2 için %13.72). PC1, d1 ($R=0.99$) indeksine dayalı olarak balık türlerini ayırtmıştır. Diğer taraftan a2 ($R=0.95$) katsayısı PC2’deki değişkenliğin kaynağı olmuştur. Etkin

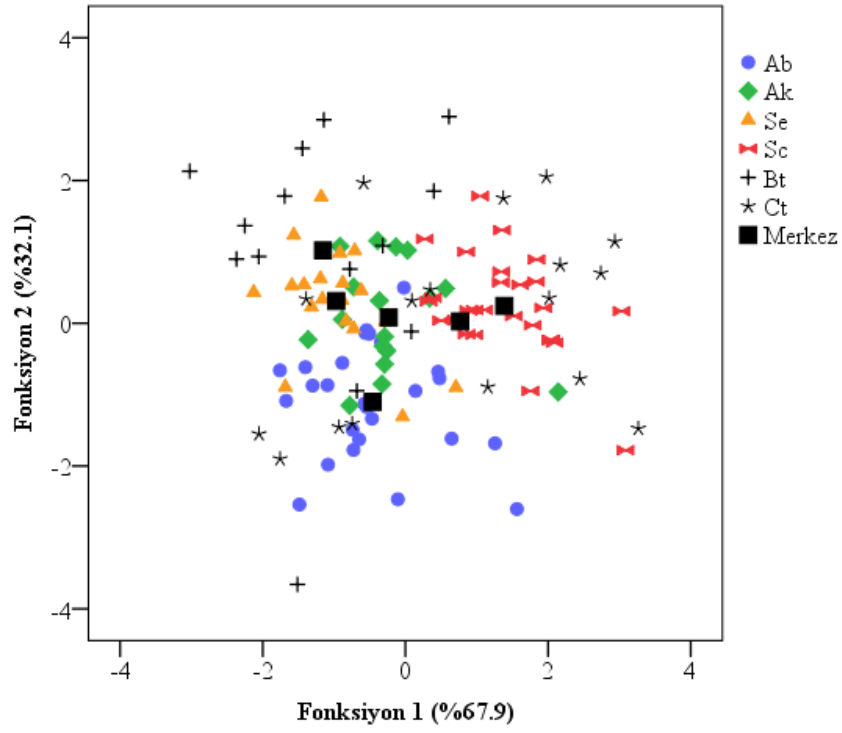
katsayılar olarak belirlenen bu iki EF katsayısının orijinal değerleri ile CDA'ya gidilmiştir.

Asteriskus otolithin etkin EF katsayıları ile gerçekleştirilen CDA sonuçları Tablo 4.9 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

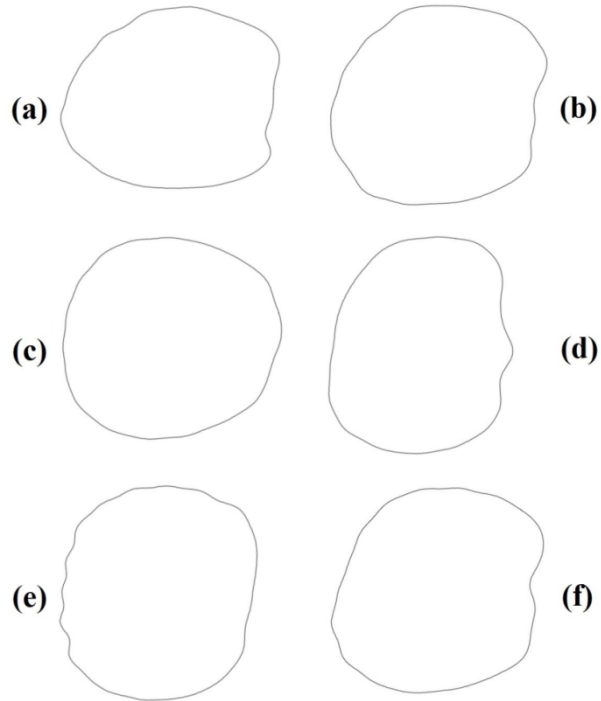
Tablo 4.9. Asteriskus EF katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	64.3 (9)	0 (0)	7.1 (1)	14.3 (2)	14.3 (2)	0 (0)
Ct	5.9 (1)	35.3 (6)	23.5 (4)	11.8 (2)	5.9 (1)	17.6 (3)
Ab	0 (0)	3.8 (1)	69.2 (18)	15.4 (4)	11.5 (3)	0 (0)
Ak	0 (0)	0 (0)	11.8 (2)	52.9 (9)	23.5 (4)	11.8 (2)
Se	5.3 (1)	0 (0)	15.8 (3)	5.3 (1)	73.7 (14)	0 (0)
Sc	0 (0)	11.1 (3)	0 (0)	11.1 (3)	0 (0)	77.8 (21)

CDA'da ilk iki kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-2 için $\lambda=0.363$, $P=0.000$ ve fonksiyon 2 için $\lambda=0.697$, $P=0.000$). Fonksiyon 1 ($E=0.920$) varyansın %67.9'unu açıklamıştır ve a2 katsayısı ($R=0.874$) ile oldukça yüksek korelasyonludur. Bu fonksiyon Ct ve Sc türlerini diğer dört türden iyi bir şekilde ayırmıştır. Fonksiyon 2 ($E=0.436$) varyansın %32.1'ini açıklamış ve c2 ($R=0.917$) ile yakından ilişkilidir. Bu fonksiyonla Ab türü Bt, Sc ve Se'den ayrılmıştır (Şekil 4.5). Asteriskus EF katsayıları ile balık türlerinin ayırımında toplam sınıflandırma başarı oranı %64.2 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı Sc için elde edilirken bu türü sırasıyla Se, Ab, Bt, Ak ve Ct takip etmiştir (Tablo 4.9). Parametrik olmayan çok değişkenli analiz, CDA sonuçlarını doğrulamıştır. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=15.36$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırma sadece Bt-Se ($P=0.139$), Ct-Ak ($P=0.057$) ve Ct-Sc ($P=0.188$) arasında fark bulunmadığını ortaya koymuştur. Diğer ikili karşılaştırmaların tümünde önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.0103$). Herbir tür için ortalama EF katsayıları kullanılarak elde edilen ortalama asteriskus konturu Şekil 4.6'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus EF katsayılarının kanonik ayırma analizi grafiği



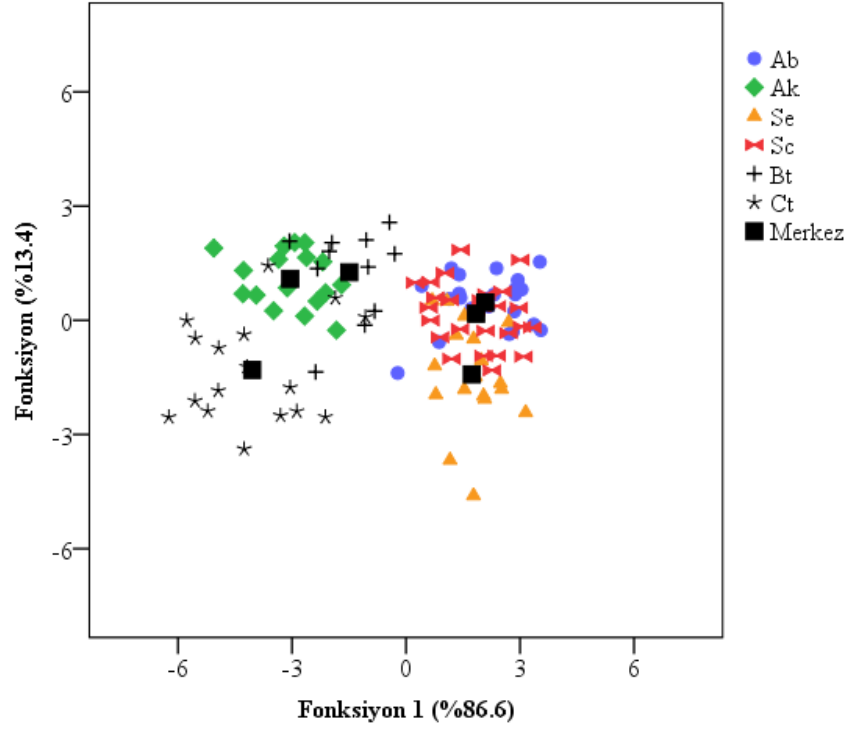
Şekil 4.6. Her bir türde lagenar otolitlerin ortalama şekli. (a) *Barbus tauricus*, (b) *Capoeta tinca*, (c) *Abramis brama*, (d) *Alburnoides kurui*, (e) *Scardinius erythrophthalmus*, (f) *Squalius cephalus*

Lapillus otolithin etkin EF katsayıları ile gerçekleştirilen CDA sonuçları Tablo 4.10 ve Şekil 4.7’de sunulmuştur.

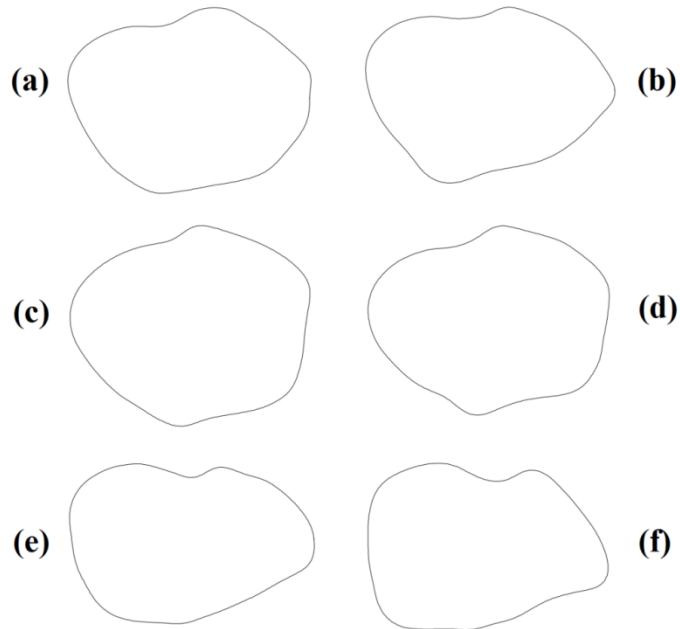
Tablo 4.10. Lapillus EF katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	72.7 (8)	9.1 (1)	0 (0)	18.2 (2)	0 (0)	0 (0)
Ct	11.8 (2)	82.4 (14)	0 (0)	5.9 (1)	0 (0)	0 (0)
Ab	3.8 (1)	0 (0)	61.5 (16)	0 (0)	3.8 (1)	30.8 (8)
Ak	11.8 (2)	0 (0)	0 (0)	88.2 (15)	0 (0)	0 (0)
Se	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	68.4 (13)	31.6 (6)
Sc	0 (0)	0 (0)	29.6 (8)	0 (0)	18.5 (5)	51.9 (14)

CDA’da ilk iki kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-2 için $\lambda=0.066$, $P=0.000$ ve fonksiyon 2 için $\lambda=0.499$, $P=0.000$). Fonksiyon 1 ($E=6.512$) varyansın %86.6’sını açıklamıştır. Bu fonksiyon d1 katsayısı ($R=0.806$) ile yakından ilişkilidir. Fonksiyon 1 Ak, Bt ve Ct türlerini diğer türlerden iyi bir şekilde ayırmıştır. Fonksiyon 2 ($E=1.004$) varyansın %13.4’ünü açıklamıştır. Bu fonksiyon a2 ($R=0.993$) ile yakından korelasyonludur. Fonksiyon 2, Ct ve Se’yi Ab, Ak ve Bt’den ayırabilmiştir (Şekil 4.7). Lapillus EF katsayıları ile balık türlerinin ayırımındaki toplam sınıflandırma başarı oranı %68.4 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı Ak için elde edilirken en düşük oran Sc için elde edilmiştir (Tablo 4.10). Parametrik olmayan çok değişkenli analiz, CDA sonuçlarını teyit etmiştir. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=70.88$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırmada Ab-Sc ($P=1.000$) ve Ak-Ct ($P=0.113$) çiftleri hariç diğer tüm ikili gruplarda fark olduğu ($P<0.002$) belirlenmiştir. Herbir tür için ortalama EF katsayıları kullanılarak elde edilen ortalama lapillus konturu Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



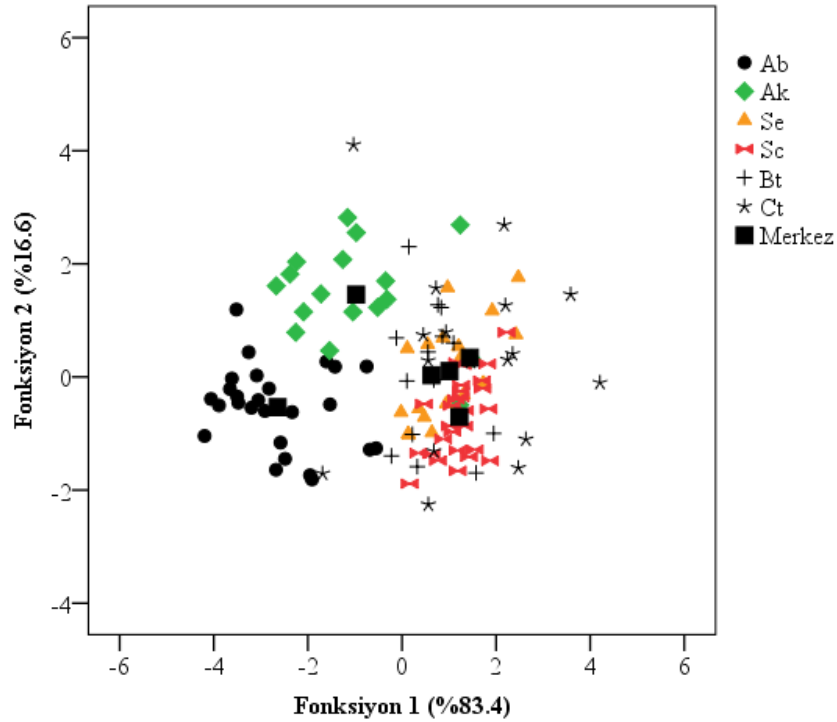
Şekil 4.7. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için lapillus EF katsayılarının kanonik ayrım analizi grafiği



Şekil 4.8. Her bir türde utrikular otolitlerin ortalama şekli. (a) *Barbus tauricus*, (b) *Capoeta tinca*, (c) *Abramis brama*, (d) *Alburnoides kurui*, (e) *Scardinius erythrophthalmus*, (f) *Squalius cephalus*

4.3.2. Dalgacık Katsayıları

Asteriskusların dalgacık 5 fonksiyonuna ait 512 katsayı ile yapılan PCA'da 5 PC elde edilmiş ve ilk 2 PC, CDA'ya uyarlanmıştır. Bu PC'ler varyansın %80.19'unu açıklamıştır (PC1 için %63.67 ve PC2 için %16.52). CDA'da ilk iki kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-2 için $\lambda=0.182$, $P=0.000$ ve fonksiyon 2 için $\lambda=0.658$, $P=0.000$). Fonksiyon 1 ($E=2.616$) varyansın %83.4'ünü açıklamıştır. Bu fonksiyon Ab ve Ak türlerini diğer türlerden iyi bir şekilde ayırmıştır (Şekil 4.9). Fonksiyon 1, PC2 ($R=0.852$) ve PC1 ($R=-0.576$) ile yakından ilişkilidir. Fonksiyon 2 ($E=0.519$) varyansın %16.6'sını açıklamıştır. Bu fonksiyon Ab ve Sc türlerini Ak ve Ct türlerinden ayırabilmiştir. Fonksiyon 2, PC1 ($R=0.818$) ve PC2 ($R=0.523$) ile korelasyonludur (Şekil 4.9).



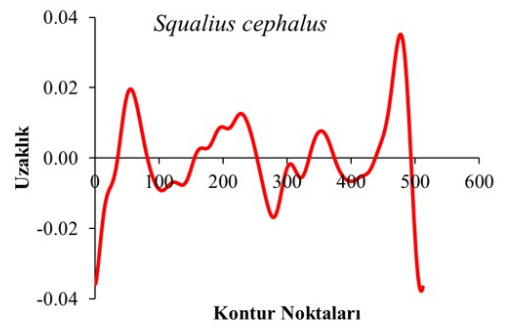
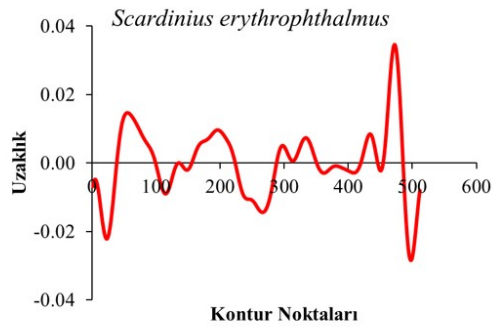
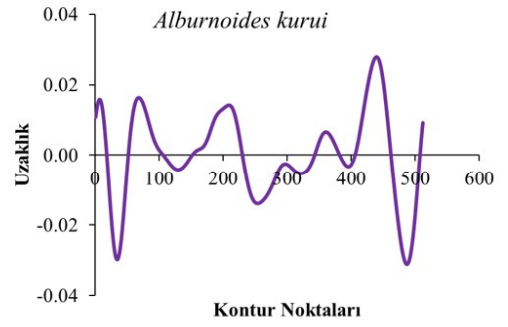
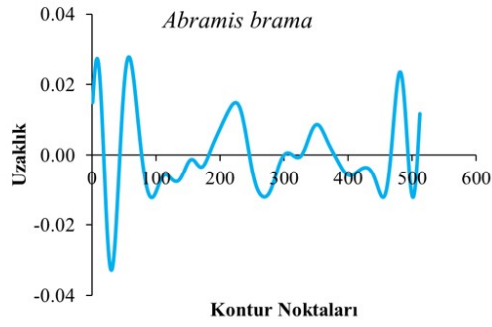
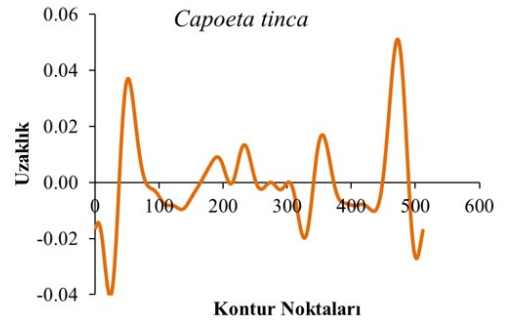
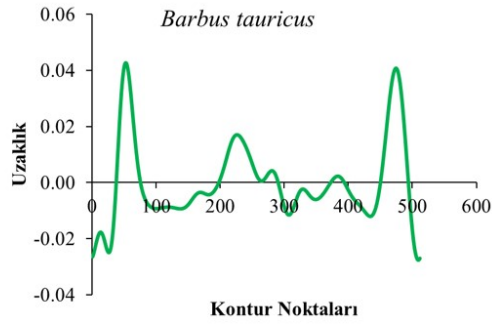
Şekil 4.9. Tersakan Çayı'ndan elde edilen altı balık türü için asteriskus otolitinin dalgacık 5 fonksiyon katsayılarının kanonik ayırım analizi grafiği

Asteriskusların dalgacık 5 katsayıları ile tür ayırımında toplam sınıflandırma başarısı %68.3 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sınıflandırma oranı Ab için elde edilirken, en düşük başarı oranı Bt'de gözlenmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Asteriskus dalgacık 5 katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

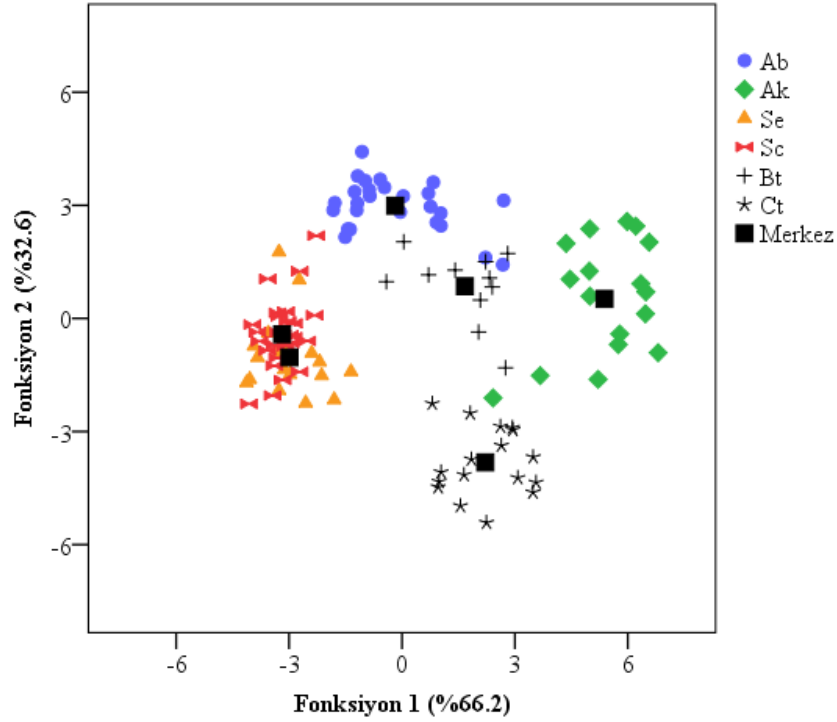
Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	35.7 (5)	0 (0)	0 (0)	7.1 (1)	35.7 (5)	21.4 (3)
Ct	17.6 (3)	47.1 (8)	5.9 (1)	0 (0)	17.6 (3)	11.8 (2)
Ab	0 (0)	0 (0)	88.5 (23)	7.7 (2)	3.1 (1)	0 (0)
Ak	0 (0)	5.9 (1)	0 (0)	82.4 (14)	5.9 (1)	5.9 (1)
Se	15.8 (3)	5.3 (1)	0 (0)	0 (0)	52.6 (10)	26.3 (5)
Sc	0 (0)	3.7 (1)	0 (0)	0 (0)	14.8 (4)	81.5 (22)

Parametrik olmayan çok değişkenli analiz, CDA sonuçlarını teyit etmiştir. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=32.91$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırmada Se-Sc ($P=1.000$) çifti hariç diğer tüm ikili gruplarda fark olduğu ($P<0.002$) belirlenmiştir. Her bir balık türü için dalgacık 5 fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için asteriskus otolitlerinin dalgacık 5 sinyalleri. Renkler sinyaller arasındaki benzerliği göstermektedir.

Lapillusların dalgacık 5 fonksiyonuna ait 512 katsayı ile yapılan PCA’da 5 PC elde edilmiş ve ilk 3 PC ile CDA’ya gidilmiştir. Bu PC’ler varyansın %95.74’ünü açıklamıştır (PC1 için %45.90, PC2 için %32.25 ve PC3 için %17.59). CDA’da ilk üç kanonik ayırım fonksiyonu kullanılmıştır (Fonksiyon 1-3 için $\lambda=0.015$, $P=0.000$, fonksiyon 2-3 için $\lambda=0.151$ ve fonksiyon 3 için $\lambda=0.863$, $P=0.001$). Fonksiyon 1 ($E=9.464$) varyansın %66.2’sini açıklamıştır. Bu fonksiyon Ak, Bt ve Ct türlerini Ab, Se ve Sc’den iyi bir şekilde ayırmıştır (Şekil 4.11). Fonksiyon 1, PC1 ($R=-0.727$) ve PC2 ($R=0.444$) ile yakından ilişkilidir. Fonksiyon 2 ($E=4.663$) varyansın %32.6’sını açıklamıştır. Bu fonksiyon Ab, Ak ve Bt türlerini diğer üç türden iyi bir şekilde ayırmıştır. Fonksiyon 2, PC3 ($R=-0.770$) ve PC2 ($R=0.673$) ile yakından korelasyonludur (Şekil 4.11).



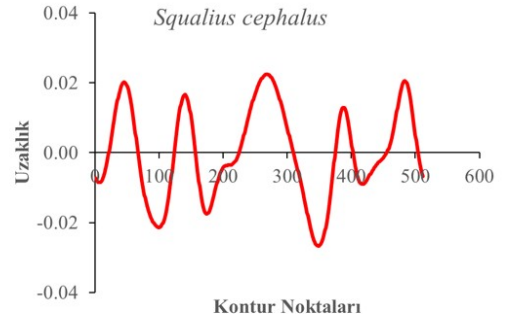
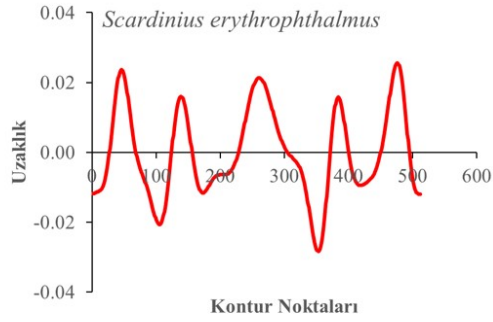
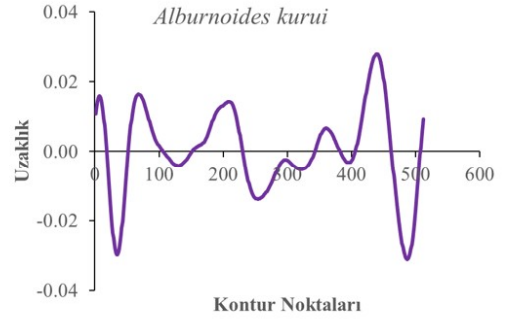
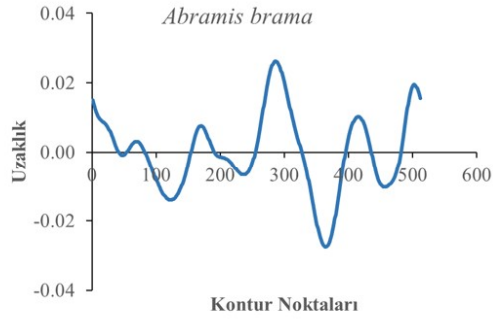
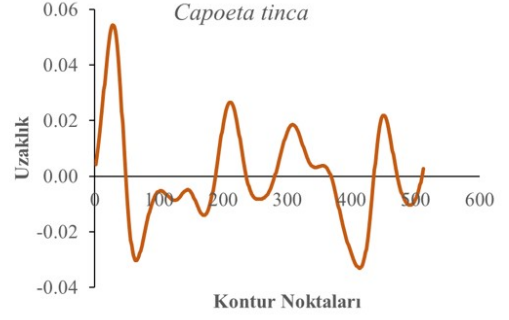
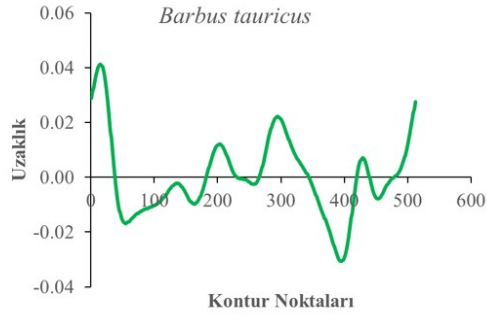
Şekil 4.11. Tersakan Çayı’ndan elde edilen altı balık türü için lapillus otolitinin dalgacık 5 fonksiyon katsayılarının kanonik ayırım analizi grafiği

Lapillusların dalgacık 5 katsayıları ile tür ayırımında toplam sınıflandırma başarısı %90.6 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sınıflandırma oranı Bt, Ct ve Ak için elde edilirken, en düşük başarı oranı Se ve Sc için hesaplanmıştır (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Lapillus dalgacık 5 katsayıları ile balık türlerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranları. Parantez içerisinde örnek sayıları gösterilmiştir.

Tür	Bt	Ct	Ab	Ak	Se	Sc
Bt	100 (11)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Ct	0 (0)	100 (17)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Ab	3.8 (1)	0 (0)	96.2 (25)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Ak	0 (0)	0 (0)	0 (0)	100 (17)	0 (0)	0 (0)
Se	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	68.4 (13)	31.6 (6)
Sc	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	14.8 (4)	85.2 (23)

Parametrik olmayan çok değişkenli analiz, CDA sonuçlarını doğrulamıştır. Tek yönlü PERMANOVA testi, türler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($F=93.22$, $P=0.0001$). İkili karşılaştırmada Se-Sc ($P=1.000$) çifti hariç diğer tüm ikili gruplarda fark olduğu ($P<0.002$) tespit edilmiştir. Her bir balık türü için lapillusların dalgacık 5 fonksiyonunun grafiksel gösterimi Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Tersakan Çayı'ndan altı balık türü için lapillus otolitlerinin dalgacık 5 sinyalleri. Renkler sinyaller arasındaki benzerliği göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Teleost balıkların asteriskusları, diğer karakterlerin yanısıra fossa acustica'nın şekli, yönü ve konumu açısından vertikal, horizontal ve gyro olmak üzere 3 morfolojik tipe ayrılmıştır. Otofizan türlerde bulunan gyro tipi, otolit'in orta kısmını çevreleyen ve fossa acustica'nın etrafını yaklaşık 360 derece dönebilen iyi gelişmiş bir lobus major; aşırı küçülmüş veya hiç olmayan bir lobus minor; kavisli bir fossa acustica; az ya da çok göze çarpan bir anterior pseudoexcisura ve mevcut olduğunda her zaman anteriorda olan bir pseudoantirostrum ile karakterize edilmektedir (Assis, 2003). Bu çalışmada incelenen balıkların asteriskus morfolojisi gyro tip ile örtüşmektedir. Bununla birlikte, asteriskus otolitlerin az sayıda ve benzer morfolojik özellikleri çalışılan türleri tam olarak ayırt etmeyi zorlaştırmaktadır. Nitekim Assis (2003), asteriskusların tür tanımlamada kullanımının zorluklarına değinerek mevcut sınırlamaların yakın türler arasında kesin bir ayırım yapmayı sağlayacak morfolojik değişkenleri belirlemeye izin vermediğini dile getirmiştir.

Literatürde, çalışma materyalini oluşturan balıklardan *B. tauricus* (Kontas ve Bostancı, 2015; Ozpicak, 2020), *S. cephalus* (Bostancı, 2009; Kurucu ve Bostancı, 2018; Ozpicak vd., 2018), *A. brama* ve *S. erythrophthalmus* (Yılmaz vd., 2015) türlerine ait asteriskus otolitlerin görselleri ve kısmi morfolojik tanımlamaları mevcut iken *A. kurui* ve *C. tinca* türlerinin asteriskus görsellerine ve morfolojik tanımlamalarına rastlanmamıştır. Bu nedenle adı geçen son iki balık türünün asteriskusları ilk defa bu çalışmada morfolojik olarak analiz edilmiştir.

İncelenen balıklarda lapillus otolitlerin asteriskuslara oranla biraz daha fazla sayıda morfolojik karaktere sahip olduğu gözlenmiştir. Lapillusun genel şekli (kenarların eğriliği ve dört kenarın gelişmişliği), anterior bölgedeki tümsek (cranial umbo), mineralizasyon alanı ve yarık (incision) en önemli karakterler olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, belirli bir taksonun spesifik lapillus fenotipini ortaya koymak için tüm karakterlerin kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Aynı bulgular, Assis (2005), Schulz-Mirbach ve Reichenbacher (2006) tarafından da rapor edilmiştir. Bu çalışmadaki mevcut balık türleri, lapillus morfolojisine göre 3 gruba ayrılabilir. Oval şekilli lapillusa sahip olan *A. brama* ve *A. kurui* ilk grubu oluştururken, nispeten dikdörtgen biçimli lapillusları bulunan *S. erythrophthalmus* ve *S. cephalus* ikinci grubu teşkil eder. Lapillusları birbirine benzeyen *B. tauricus* ve *C. tinca* ise üçüncü

grupta yer alır. Söz konusu sınıflandırma, Schulz-Mirbach ve Reichenbacher (2006)'ın vermiş olduğu gruplandırma ile uyum göstermektedir.

Çalışılan türlerden *B. tauricus*, *S. cephalus*, *A. brama* ve *S. erythrophthalmus*'da lapillus otolitlerinin şekli ve sınırlı tanımlamaları bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Bostancı, 2009; Yılmaz vd., 2015; Ozpicak vd., 2018; Ozpicak, 2020). Ancak *A. kurui* ve *C. tinca* türlerinin lapillusları ilk defa bu çalışmada incelenmiş ve morfolojik karakterlere dayalı olarak tanımlanmıştır.

Otolit şekil indekslerini incelenmek ve yorumlamak zor olsa da, genel morfolojik karakterlere göre yapılan tanımlamaları destekler (Tuset et al., 2003). Bu çalışmada uygulanan univaryet testler, hem asteriskus hem de lapillus şekil indekslerinin tamamında türler arası farklılık olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte mültivaryet testler dairesellik, boy-yükseklik/genişlik oranı, yuvarlaklık ve ovallik indekslerini ön plana çıkarmıştır. Ancak söz konusu bu indekslerle tür ayırımında %58.3 (asteriskus) ve %59 (lapillus) gibi düşük denilebilecek toplam sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Asteriskus şekil indeksleri *A. kurui* (%88.2), *B. tauricus* (%78.6) ve *S. cephalus* (%70.4) türlerini diğerlerinden daha yüksek oranda ayırırken; lapillus şekil indeksleri ile *A. brama* (%88.5) ve *S. erythrophthalmus* (%78.9) türleri diğerlerinden farklılaşmıştır. Klasik şekil indekslerinin tür ayırımında sergilemiş olduğu bu başarısızlık, asteriskus ve lapillus morfolojik özelliklerinin çalışılan türlerde örtüşme gösterdiğine işaret etmektedir. Bu durum da otolitlerin morfolojik tanımlamaları esnasında tespit edilen karakter benzerliğini doğrulamaktadır. Nitekim Tuset et al. (2021), geleneksel şekil indekslerinin balık türlerini tanımlamada yetersiz kaldığını vurgulayarak kullanılmasını önermediklerini rapor etmişlerdir.

Tersakan Çayı'ndan yakalanan 6 balık türü, kullanılan otolit tipine (asteriskus ve lapillus) ve uygulanan şekil analizi yöntemine (EF analizi ve dalgacık analizi) bağlı olarak farklı oranlarda ayrılmıştır. Asteriskus şekil analizinde; EF katsayılarının toplam sınıflandırma başarısı %64.2 olarak gerçekleşirken, dalgacık 5 katsayılarının toplam sınıflandırma başarısı %68.3 olarak elde edilmiştir. EF analizinde en yüksek oranla ayrılan türler sırasıyla *S. cephalus* (%77.8), *S. erythrophthalmus* (%73.7) ve *A. brama* (%69.2) iken, dalgacık analizinde sırasıyla *A. brama* (%88.5), *A. kurui* (%82.4) ve *S. cephalus* (%81.5) türleridir. Lapillus şekil analizinde; EF katsayıları %68.4 oranında toplam ayırım başarısı gösterirken,

dalgacık 5 katsayılarının toplam sınıflandırma başarı oranı %90.6 olarak tespit edilmiştir. EF analizi ile *A. kurui* (%88.2), *C. tinca* (%82.4) ve *B. tauricus* (%72.7) türleri yüksek oranda farklılaşırken, dalgacık analizi ile hemen hemen tüm türler ileri düzeyde ayırma (> %68) sergilemiştir. Sonuç olarak, hem asteriskus hem de lapillus otolitler için dalgacık dönüşümü, eliptik Fourier tanımlayıcılarına üstünlük sağlamıştır. Mevcut durumun, söz konusu şekil analizi tekniklerinin özellikleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Nitekim eliptik Fourier analizinin orijinal şekle ve dış hat değişkenliğine genel bir yaklaşım sağladığı ve otolit belirlenim bölgelerini tespit edemediği bildirilirken (Parisi-Baradad et al., 2005; Song et al., 2018), dalgacık analizinin kontur boyunca belirli morfolojik noktaların tanımlanmasına izin verdiği rapor edilmiştir (Parisi-Baradad et al., 2005, Lombarte et al., 2006; Parisi-Baradad et al., 2010). Bu nedenle, balık türlerinin tanımlanması amacıyla dalgacık analizi yönteminin kullanımı son yıllarda artış göstermiştir (Sadighzadeh et al., 2014; Tuset et al., 2015; Lin and Al-Abdulkader, 2019; Tuset et al., 2020; D'Iglio et al., 2021; Ugrin et al., 2021; Marval-Rodriguez et al., 2022; Yedier et al., 2022; Morales et al., 2023).

Bu çalışmanın sonuçları, otolit şekil analizinin morfometriye göre tür ayırımında daha etkili olduğunu göstermiştir. Aynı bulguya önceki birçok çalışmada rastlanmıştır (Yu et al., 2014; Avigliano et al., 2018; Tuset et al., 2021). Ancak literatürde morfometrik analizin daha başarılı olduğu çalışmalar da mevcuttur (He et al., 2018; Mereles et al., 2021). Araştırmacılar böyle bir durumu otolitlerin düzenli bir şekle sahip olmalarına ve şekil analizi yöntemlerinin daha karmaşık şekle sahip otolitlerde daha iyi sonuçlar verdiğine bağlamışlardır.

Otolit şeklinin hem genetik hem de çevresel faktörlerin kontrolü altında olduğu bilinmektedir (Cardinale et al., 2004; Vignon and Morat, 2010). Bu çalışmada kullanılan balıklar aynı akarsuda yaşadığından, çevresel değişkenler tümü için ortaktır. Bu durumda otolit morfolojisindeki türler arası değişkenlik genetik farklılıklara atfedilebilir. Çalışılan balıklar farklı familya ve cinslere ait olduklarından genetik heterojinite nedeniyle yüksek düzeyde otolit şekil varyasyonu sergilemeleri beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte Leuciscidae familyasının üyeleri olan *S. erythrophthalmus* ve *S. cephalus* türlerindeki otolit şekil benzerliği ve buna bağlı olarak elde edilen düşük ayırma oranları, aynı familyanın diğer üyelerine

göre bu iki türün genetik açıdan daha yakın olduklarını işaret etmektedir. Nitekim, moleküler filogeni çalışmaları (Briolay et al., 1998) bu durumu teyit etmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Samsun Tersakan Çayı'nda yaşayan altı Cypriniform balık türünün lagenar (asteriskus) ve utrikular (lapillus) otolitleri morfolojik olarak tanımlanmış, geleneksel morfometri (şekil indeksleri) ve şekil analizi (eliptik Fourier katsayıları ve dalgacık dönüşümü) yöntemleri uygulanarak otolitlerin tür ayrımındaki etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel çıktıları ve sonraki çalışmalar için bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Asteriskus otolitlerin az sayıda ve benzer morfolojik özellikleri mevcut türleri tanımlamada yetersiz kalmıştır. Buna karşılık, lapillusların daha fazla fenotipik karaktere sahip olduğu ve tür tanımlama amacıyla bu karakterlerin tümünün dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, otolit morfolojisine dayalı daha doğru tür tanımlanabilmesi için her iki otolit karakterlerinin birleştirilmesi önerilmektedir.

2. Geleneksel morfometrik analiz yöntemi, balık türlerinin ayrımında beklenen başarıyı gösterememiştir. Bu nedenle Cypriniform balıkların ayrımında otolit şekil indekslerinin kullanımı tavsiye edilmemiştir. Bununla birlikte, morfometrik yaklaşımda başarı ihtimalini artırmak için daha fazla ve farklı morfometrik değişkenlerin analizlere eklenmesi önerilmektedir.

3. Otolit şekil analizi yönteminin tür ayrımında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Lapillus otolitlere uygulanan dalgacık dönüşümü tekniği en yüksek sınıflandırma oranlarını vermiştir. Dolayısıyla söz konusu türlerin tanımlanmasında lapillus otolitler ve dalgacık analizinin kullanımı tavsiye edilmektedir.

4. Her ne kadar bu tez çalışmasında yapılmasa da, farklı otolit tipleri ve onlara uygulanan yöntemlerin kombine edilmesi tür ayrım başarısını geliştireceği kanaatini oluşturmuştur. Bu nedenle sonraki araştırmacılara farklı otolit tipleri ve yöntemlerinden elde edilen değişkenleri birleştirerek ayrım analizleri yapmaları önerilmektedir.

5. Bu tez çalışmasında Cypriniformes takımından iki familyaya ait 6 farklı cinsin türleri analiz edilmiştir. Aynı takımın daha fazla familyası, cinsi ve türleri ile yapılacak ilerideki çalışmalar, Cypriniform balıkların otolit morfolojisine dayalı filogenetik ilişkilerinin daha net bir şekilde ortaya koyulmasına ışık tutacaktır.

6. Bu çalışma, *Alburnus kurui* ve *Capoeta tinca* türlerinin otolit morfolojisi üzerine ilk referansdır ve sonraki araştırmalara karşılaştırılabilir veriler sunmaktadır.

7. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının bulguları Cypriniform balıkların taksonomisi ile ilgilenen ihtiyologlara, piskivor hayvanların beslenme alışkanlıklarını çalışan araştırmacılara ve geçmiş dönemlerde yaşamış Cypriniform balık türlerinin belirlenmesi üzerine uğraş veren paleoihtiyologlara yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abaad, M., Tuset, V. M., Montero, D., Lombarte, A., Otero-Ferrer, J. L., and Haroun, R. (2016). Phenotypic plasticity in wild marine fishes associated with fish-cage aquaculture. *Hydrobiologia*, 765, 343-358.
- Afanasyev, P.K., Orlov, A.M. and Rolsky, A.Y. (2017). Otolith shape analysis as a tool for species identification and studying the population structure of different fish species. *Biology Bulletin*, 44, 952-959.
- Agiadi, K., Girone, A., Koskeridou, E., Moissette, P., Cornee, J. J., and Quillévéré, F. (2018). Pleistocene marine fish invasions and paleoenvironmental reconstructions in the eastern Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, 196, 80-99.
- Akbay, R., Yilmaz, S., Ozpicak, M., Saygin, S., and Polat, N. (2022). Lagenar otolith morphometry of gibel carp, *Carassius gibelio* (Cyprinidae): Comparisons among four populations in Samsun Province (Turkey). *Journal of Ichthyology*, 62(5), 770-776.
- Alfergani, E., El-Mabrok, M., Ahmed, R., and Mostafa, S. (2023). Morphometric traits of the sagittae of Big Scaled Silverside (*Atherina boyeri* (Risso, 1810)) captured from the East Coast of Libya. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 6(1), 59-64.
- Amouei, F. V. (2014). Age determination and morphology of otolith in *Alburnus chalcoides* (Guldenstaedt, 1772) in the southern Caspian Sea. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 205-214.
- Amouei, F., Valinassab, T. and Haitov, A. (2013). Age determination and morphological study using otoliths in *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 in the Southern Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 759-769.
- Anderson, M. J (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32-46.
- Argillier, C., Barral, M., and Irz, P. (2012). Growth and diet of the pikeperch *Sander lucioperca* (L.) in two French reservoirs. *Fisheries & Aquatic Life*, 20(3), 191-200.
- Arroyo-Zúñiga, K. I., Pacheco-Ovando, R., Granados-Amores, E., Granados-Amores, J., González Ramírez, J. and Díaz-Santana-Iturrios, M. (2022). Lapillus otolith shape, a useful taxonomic feature for the identification of sea catfishes (Ariidae: Siluriformes) from the north-eastern Pacific. *Journal of Fish Biology*, 101(5), 1262-1269.
- Assis, C. A. (2003). The lagenar otoliths of teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematics. *Journal of Fish Biology*, 62(6), 1268-1295.
- Assis, C. A. (2005). The utricular otoliths, lapilli, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Scientia Marina*, 69(2), 259-273.
- Avigliano, E., Rolón, M. E., Rosso, J. J., Mabragna, E. and Volpedo, A. V. (2018). Using otolith morphometry for the identification of three sympatric and morphologically similar species of *Astyanax* from the Atlantic Rain Forest (Argentina). *Environmental Biology of Fishes*, 101(9), 1319-1328.
- Aydın, A., Özpiçak, M., Saygin, S., Hançer, E., Yılmaz, S. ve Polat, N. (2022). Altınkaya Baraj Gölü ve Bafra Balık Gölleri'nden örneklenmiş olan sazan balığı (*Cyprinus carpio* L., 1758)'nın otolit şekil ve biyometrisindeki varyasyonlar. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 1041-1053.
- Bakkari, W., Mejri, M., Mohamed, S. B., Chalh, A., & Trabelsi, M. (2020). Shape and symmetry in the otolith of two different species *Mullus barbatus* and *Mullus surmuletus* (Actinopterygii: perciformes: Mullidae) in Tunisian waters. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 50(2), 151-159.
- Bănar, D., Morat, F. and Creteanu, M. (2017). Otolith shape analysis of three gobiid species of the Northwestern Black Sea and characterization of local populations of *Neogobius melanostomus*. *Cybium*, 41(4), 325-333.
- Bani, A., Poursaeid, S. and Tuset, V. M. (2013). Comparative morphology of the sagittal otolith in three species of south Caspian gobies. *Journal of Fish Biology*, 82(4), 1321-1332.

- Barhoumi, M., Khoufi, W., Kalai, S., Ouerhani, A., Essayed, S., Zaier, G., ... and Fehri-Bedoui, R. (2018). The use of Fourier analysis as a tool for *Oblada melanura* (Linnaeus, 1758) stock unit separation in the south central Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(7), 1725-1732.
- Başusta, A., Bal, H. and Aslan, E. (2013). Otolith biometry-total length relationships in the population of Hazar Bleak, *Alburnus heckeli* (Battalgil, 1943) inhabiting Lake Hazar, Elazig, Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 45(1), 1180-1182.
- Battaglia, P., Malara, D., Romeo, T. and Andaloro, F. (2010). Relationships between otolith size and fish size in some mesopelagic and bathypelagic species from the Mediterranean Sea (Strait of Messina, Italy). *Scientia Marina*, 74(3), 605-612.
- Begg, G. A. and Brown, R. W. (2000). Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(4), 935-945.
- Belfethi, L., and Moulai, R. (2022). Diet, prey selection and biomass consumption of the great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) in Algeria. *Zoodiversity*, 56(1), 57-66.
- Berra, T. M. (2001). Freshwater fish distribution. Academic Press, San Diego, USA.
- Bostancı, D. (2009). Otolith biometry-body length relationships in four fish species (chub, pikeperch, crucian carp, and common carp). *Journal of Freshwater Ecology*, 24(4), 619-624.
- Bostancı, D. and Polat, N. (2011). Age and growth of *Alburnus tarichi* (Güldenstädt, 1814): an endemic fish species of Lake Van (Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 27(6), 1346-1349.
- Bostancı, D., Polat, N., Kurucu, G., Yedier, S., Konaş, S. and Darçin, M. (2015). Using otolith shape and morphometry to identify four *Alburnus* species (*A. chalcoides*, *A. escherichii*, *A. mossulensis* and *A. tarichi*) in Turkish inland waters. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(6), 1013-1022.
- Bot Neto, R. L., Carvalho, B. M., Schwarz Junior, R., and Spach, H. L. (2020). Ontogenetic variation in the sagitta otolith of *Centropomus undecimalis* (Actinopterygii: Perciformes: Centropomidae) in a tropical estuary. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 50(4), 433-443.
- Bremm, C. Q. and Schulz, U. H. (2014). Otolith atlas of fish of the Sinos River. *Brazilian Journal of Biology*, 74, 274-282.
- Briolay, J., Galtier, N., Brito, R. M. and Bouvet, Y. (1998). Molecular phylogeny of cyprinidae inferred from cytochrome b DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 9(1), 100-108.
- Byrd, B. L., Hohn, A. A., & Krause, J. R. (2020). Using the otolith sulcus to aid in prey identification and improve estimates of prey size in diet studies of a piscivorous predator. *Ecology and Evolution*, 10(8), 3584-3604.
- Campana, S. E. (2004). *Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*. NRC Research Press, 284, Ottawa.
- Cardinale, M., Doering-Arjes, P., Kastowsky, M. and Mosegaard, H. (2004). Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(2), 158-167.
- Cerda, J. M., Palacios-Fuentes, P., Díaz-Santana-Iturrios, M. and Ojeda, F. P. (2021). Description and discrimination of sagittae otoliths of two sympatric labrisomid blennies *Auchenionchus crinitus* and *Auchenionchus microcirrhus* using morphometric analyses. *Journal of Sea Research*, 173, 102063.
- Chen, K., He, D., Ding, C., Jia, Y. and Chen, Y. (2021). Evaluation of the Lapillar otolith shape as a tool for discrimination of stock of Naked Carp, *Gymnocypris selincuoensis* in the Tibetan Plateau. *Pakistan Journal of Zoology*, 53(6), 2337-2349.
- Chollet-Villalpando, J. G., De La Cruz-Agüero, J., and Garcia-Rodriguez, F. J. (2014). Comparison of urohyal bone morphology among gerreid fish (Perciformes: Gerreidae). *Italian Journal of Zoology*, 81(2), 246-255.
- Chollet-Villalpando, J. G., García-Rodríguez, F. J., De Luna, E. and De La Cruz-Agüero, J. (2019). Geometric morphometrics for the analysis of character variation in size and

- shape of the sulcus acusticus of sagittae otolith in species of Gerreidae (Teleostei: Perciformes). *Marine Biodiversity*, 49, 2323-2332.
- Crampton, J. S. (1995). Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia*, 28(2), 179-186.
- Çiçek, E., Sungur, S., and Fricke, R. (2020). Freshwater lampreys and fishes of Turkey; a revised and updated annotated checklist 2020. *Zootaxa*, 4809(2), 241-270.
- Çöl, O. and Yılmaz, S. (2022). The effect of ontogenetic diet shifts on sagittal otolith shape of European perch, *Perca fluviatilis* (Actinopterygii: Percidae) from Lake Ladik, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 46(4), 385-396.
- Das, M. (1994). Age determination and longevity in fishes. *Gerontology*, 40(2-4), 70-96.
- Davoodi, P. and Rahimian, H. (2016). Identifying *Neogobius* species from the southern Caspian Sea by otolith shape (Teleostei: Gobiidae). *Zootaxa*, 4205(1), 81-86.
- De La Cruz-Agüero, J., García-Rodríguez, F. J., De la Cruz-Agüero, G. and Díaz-Murillo, B. P. (2012). Identification of Gerreid species (Actinopterygii: Perciformes: Gerreidae) from the Pacific coast of Mexico based on sagittal otolith morphology analysis. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 42(4).
- Deepa, K. P., Kumar, K. A., Kottanis, O., Nikki, R., Bineesh, K. K., Hashim, M., Saravanane, N. and Sudhakar, M. (2019). Population variations of Opal fish, *Bembrops caudimacula* Steindachner, 1876 from Arabian Sea and Andaman Sea: Evidence from otolith morphometry. *Regional Studies in Marine Science*, 25, 100466.
- D'Iglio, C., Albano, M., Famulari, S., Savoca, S., Panarello, G., Di Paola, D., ... and Capillo, G. (2021). Intra-and interspecific variability among congeneric *Pagellus* otoliths. *Scientific Reports*, 11(1), 16315.
- Duque Velez, L. M., Bearez, P. and Cornette, R. (2016). Otolith shape differences between *Micropogonias manni* and *M. altipinnis* (Sciaenidae). *Cybium*, 40(1), 67-73.
- Emre, N. (2019). Biometric relation between asteriscus otolith size and fish total length of seven cyprinid fish species from inland waters of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(3), 171-175.
- Emre, Y., Ayyıldız, H., Özen, Ö. and Yağcı, A. (2014). Age, growth and otolith morphometry of *Capoeta angorae* (Cyprinidae) collected from Menzelet Reservoir and Fırnız Stream (Turkey). *Su Ürünleri Dergisi*, 31(2), 79-85.
- Farooq, N. and Panhwar, S. K. (2023). Taxonomic and otolith shape parameters of nine sympatric catfishes commercially harvested in Pakistan. *Croatian Journal of Fisheries*, 81(1), 23-32.
- Fashandi, A., Valinassab, T., Kaymaram, F. and Fatemi, R. (2019). Morphometric parameters of the sagitta otolith among four carangids species in the Persian Gulf. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 547-561.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. and Van der Laan, R. (eds) (2023). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. Retrived March 20, 2023 from <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- Geldiay, R. ve Balık S. 2009. *Türkiye tatlısu balıkları* (Altıncı Baskı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 644, İzmir.
- Granadeiro, J. P. and Silva, M. A. (2000). The use of otoliths and vertebrae in the identification and size-estimation of fish in predator-prey studies. *Cybium*, 24(4), 383-393.
- Gümüş, A., Bostancı, D., Yılmaz, S. and Polat, N. (2007). Age determination of *Scardinius erythrophthalmus* (Cyprinidae) inhabiting Bafra Fish Lakes (Samsun, Turkey) based on otolith readings and marginal increment analysis. *Cybium*, 31(1), 59-66.
- Harvey, J. T., Loughlin, T. R., Perez, M. A. and Oxman, D. S. (2000). Relationship between fish size and otolith length for 63 species of fishes from the Eastern North Pacific Ocean. NOAA Technical Report NMFS 150, U.S. Department of Commerce Seattle, Washington.
- He, T., Cheng, J., Qin, J. G., Li, Y. and Gao, T. X. (2018). Comparative analysis of otolith morphology in three species of *Scomber*. *Ichthyological Research*, 65, 192-201.

- Iwata, H. and Ukai, Y. (2002). SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*, 93(5), 384-385.
- Jawad, L. and Mahé, K. (2022). Fluctuating asymmetry in asteriscii otoliths of common carp (*Cyprinus carpio*) collected from three localities in Iraqi Rivers linked to environmental factors. *Fishes*, 7 (2), 91.
- Kasapoglu, N., and Duzgunes, E. (2015). Otolith atlas for the Black Sea. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16(1), 133-144.
- Kontas, S. and Bostanci, D. (2015). Morphological and biometrical characteristics on otolith of *Barbus tauricus* Kessler, 1877 on light and scanning electron microscope. *International Journal of Morphology*, 33(4), 1380-1385.
- Kontas, S., Yedier, S., and Bostanci, D. (2020). Otolith and scale morphology of endemic fish Cyprinion macrostomum in Tigris–Euphrates Basin. *Journal of Ichthyology*, 60, 562-569.
- Kottelat, M. and Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat and Freyhof, 646, Cornol and Berlin.
- Kottelat, M., Britz, R., Tan, H.H. and Witte, K. E. (2006). *Paedocypris*, a new genus of Southeast Asian cyprinid fish with a remarkable sexual dimorphism, comprises the world's smallest vertebrate. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 895–899.
- Kuhl, F. P. and Giardina, C. R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, 18(3), 236-258.
- Kumar, K. A., Rajeeshkumar, M. P., Hashim, M., Deepa, K. P., Otero-Ferrer, J. L., Saravanane, N., ... and Tuset, V. M. (2022). Inferring ecological strategies of *Psenopsis spp.*(Teleostei: Centrolophidae) inhabiting Indian waters from morphological features. *Marine Biology Research*, 18(3-4), 292-305.
- Kumar, P., Chakraborty, S. K. and Jaiswar, A. K. (2012). Comparative otolith morphology of sciaenids occurring along the north-west coast of India. *Indian Journal of Fisheries*, 59(1), 19-27.
- Kurucu, G. and Bostanci, D. (2018). Using scanning electron microscopy and length-otolith size relationship for otolith morphological description of *Capoeta banarescui* Turan et al., 2006 and *Squalius cephalus* (L., 1758) (Actinopterygii: Cyprinidae) from Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 70(1), 83-88.
- La Mesa, M., Guicciardi, S., Donato, F., Riginella, E., Schiavon, L. and Papetti, C. (2020). Comparative analysis of otolith morphology in icefishes (Channichthyidae) applying different statistical classification methods. *Fisheries Research*, 230, 105668.
- Lin, Y.J. and Al-Abdulkader, K. (2019). Identification of fish families and species from the western Arabian Gulf by otolith shape analysis and factors affecting the identification process. *Marine and Freshwater Research*, 70 (12), 1818-1827.
- Lleonart, J., Salat, J. and Torres, G. J. (2000). Removing allometric effects of body size in morphological analysis. *Journal of Theoretical Biology*, 205, 85-93.
- Lombarte, A., Chic, Ò., Parisi-Baradad, V., Olivella, R., Piera, J. and García-Ladona, E. (2006). A web-based environment for shape analysis of fish otoliths. The AFORO database. *Scientia Marina*, 70(1), 147-152.
- Lombarte, A., Miletić, M., Kovačić, M., Otero-Ferrer, J. L. and Tuset, V. M. (2018). Identifying sagittal otoliths of Mediterranean Sea gobies: variability among phylogenetic lineages. *Journal of Fish Biology*, 92(6), 1768-1787.
- Lord, C., Morat, F., Lecomte-Finiger, R. and Keith, P. (2012). Otolith shape analysis for three *Sicyopterus* (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae) species from New Caledonia and Vanuatu. *Environmental Biology of Fishes*, 93, 209-222.
- Mapp, J., Hunter, E., Van Der Kooij, J., Songer, S., and Fisher, M. (2017). Otolith shape and size: the importance of age when determining indices for fish-stock separation. *Fisheries Research*, 190, 43-52.
- Marval-Rodríguez, A., Renán, X., Galindo-Cortes, G., Acuña-Ramírez, S., Jiménez-Badillo, M. D. L., Rodulfo, H., Montero-Muñoz, J., Brulé, T. and De Donato, M. (2022).

- Assessing the speciation of *Lutjanus campechanus* and *Lutjanus purpureus* through otolith shape and genetic analyses. *Fishes*, 7(2), 85.
- Masson, L., Almeida, D., Tarkan, A. S., Önsöy, B., Miranda, R., Godard, M. J., and Copp, G. H. (2011). Diagnostic features and biometry of head bones for identifying *Carassius* species in faecal and archaeological remains. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(5), 1286-1290.
- Mejri, M., Bakkari, W., Allagui, F., Rebaya, M., Jmil, I., Mili, S., Basyouny Shahin, A.A., Quignard, J.P., Trabelsi, M. and Faleh, A.B. (2022). Interspecific and intersexual variability of the sagitta otolith shape between *Liza aurata* and *Chelon ramada* (Mugiliformes: Mugilidae) inhabiting the Boughrara lagoon, Tunisia. *Thalassas: International Journal of Marine Sciences*, 38, 1357-1369.
- Mendoza, R. P. R. (2006). Otoliths and their applications in fishery science. *Croatian Journal of Fisheries*, 64(3), 89-102.
- Mereles, M. A., Sousa, R. G., Barroco, L. S., Campos, C. P., Pouilly, M., and Freitas, C. E. (2021). Discrimination of species and populations of the genus *Cichla* (Cichliformes: Cichlidae) in rivers of the Amazon basin using otolith morphometry. *Neotropical Ichthyology*, 19(4), e200149.
- Mitsui, S., Strüßmann, C. A., Yokota, M. and Yamamoto, Y. (2020). Comparative otolith morphology and species identification of clupeids from Japan. *Ichthyological Research*, 67, 502-513.
- Moore, B. R., Parker, S. J. and Pinkerton, M. H. (2022). Otolith shape as a tool for species identification of the grenadiers *Macrourus caml* and *M. whitsoni*. *Fisheries Research*, 253, 106370.
- Morales, C. J. C., Barnuevo, K. D. E., Delloro Jr, E. S., Cabebe-Barnuevo, R. A., Calizo, J. K. S., Lumayno, S. D. P. and Babaran, R. P. (2023). Otolith morphometric and shape distinction of three redfin species under the genus *Decapterus* (Teleostei: Carangidae) from Sulu Sea, Philippines. *Fishes*, 8(2), 95.
- Moreira, C., Froufe, E., Vaz-Pires, P. and Correia, A. T. (2019). Otolith shape analysis as a tool to infer the population structure of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus*, in the NE Atlantic. *Fisheries Research*, 209, 40-48.
- Nelson, J. S., Grande, T. C. and Wilson, M. V. H. (2016). *Fishes of the world* (Fifth Edition). John Wiley and Sons, Incorporated, Canada.
- Nolf, D. (1995). *Recent developments in fish otolith research*. University of South Carolina Press, 513-544, Columbia, South Carolina.
- Osman, Y. A. and Makkey, A. F. (2021). Otolith shape analysis of *Lethrinus lentjan* (Lacepède, 1802) and *L. microdon* (Valenciennes, 1830) from the Red Sea. *International Journal of Aquatic Biology*, 9(3), 159-166.
- Ozpicak, M. (2020). Otolith shape and characteristics as a morphological approach to the stock identification in *Barbus tauricus* (Cyprinidae). *Journal of Ichthyology*, 60, 716-724.
- Ozpicak, M., Saygin, S., Aydin, A., Hancer, E., Yilmaz, S. and Polat, N. (2018). Otolith shape analyses of *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) (Actinopterygii: Cyprinidae) inhabiting four inland water bodies of the middle Black Sea region, Turkey. *Iranian Journal of Ichthyology*, 5(4), 293-302.
- Özpiçak, M., Saygin, S., Yilmaz, S. and Polat, N. (2021). Otolith phenotypic analysis for the endemic Anatolian fish species, Caucasian bleak *Alburnus escherichii* Steindachner, 1897 (Teleostei, Leuciscidae), from Selevir Reservoir, Akarçay Basin, Turkey. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 50(4), 430-440.
- Parisi-Baradad, V., Lombarte, A., García-Ladona, E., Cabestany, J., Piera, J. and Chic, O. (2005). Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 795-804.
- Parisi-Baradad, V., Manjabacas, A., Lombarte, A., Olivella, R., Chic, Ò., Piera, J. and García-Ladona, E. (2010). Automated Taxon Identification of Teleost fishes using an otolith online database—AFORO. *Fisheries Research*, 105(1), 13-20.

- Pavlov, D. A. (2016). Differentiation of three species of the genus *Upeneus* (Mullidae) based on otolith shape analysis. *Journal of Ichthyology*, 56, 37-51.
- Pavlov, D. A. (2021). Otolith morphology and relationships of several fish species of the suborder Scorpaenoidei. *Journal of Ichthyology*, 61, 33-47.
- Pavlov, D. A. (2022). Otolith morphology in gibel carp *Carassius gibelio* and crucian carp *C. carassius* (Cyprinidae). *Journal of Ichthyology*, 62(6), 1067-1080.
- Pierce, G. J. and Boyle, P. R. (1991). A review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 29, 409-486.
- Pierce, G. J., Boyle, P. R. and Diack, J. S. W. (1991). Identification of fish otoliths and bones in faeces and digestive tracts of seals. *Journal of Zoology*, 224:2, 320-328.
- Ponton, D. (2006). Is geometric morphometrics efficient for comparing otolith shape of different fish species? *Journal of Morphology*, 267 (6), 750-757.
- Popper, A. N., Ramcharitar, J. and Campana, S. E. (2005). Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 497-504.
- Purrafee Dizaj, L., Esmaili, H. R. and Teimori, A. (2022). Comparative otolith morphology of clupeids from the Iranian brackish and marine resources (Teleostei: Clupeiformes). *Acta Zoologica*, 103(1), 29-47.
- Qiao, J., Zhu, R., Chen, K., Zhang, D., Yan, Y. and He, D. (2022). Comparative otolith morphology of two morphs of *Schizopygopsis thermalis* Herzenstein 1891 (Pisces, Cyprinidae) in a headwater lake on the Qinghai-Tibet Plateau. *Fishes*, 7(3), 99.
- Rani, A., Rai, D. and Tyor, A.K. (2019). Morphometrics analysis of sagitta otolith in Pool Barb, *Puntius sophore* (Hamilton, 1822). *Journal of Morphological Sciences*, 36 (02), 085-090.
- Reichenbacher, B. and Kowalke, T. (2009). Neogene and present-day zoogeography of killifishes (*Aphanius* and *Aphanolebias*) in the Mediterranean and Paratethys areas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(1-2), 43-56.
- Romero, A. and Paulson, K.M. (2001). It's a wonderful hypogean life: a guide to the troglomorphic fishes of the world. *Environmental Biology of Fishes*, 62, 13-41.
- Sadighzadeh, Z., Tuset, V. M., Valinassab, T., Dadpour, M. R. and Lombarte, A. (2012). Comparison of different otolith shape descriptors and morphometrics for the identification of closely related species of *Lutjanus spp.* from the Persian Gulf. *Marine Biology Research*, 8(9), 802-814.
- Sadighzadeh, Z., Valinassab, T., Vosugi, G., Motallebi, A. A., Fatemi, M. R., Lombarte, A. and Tuset, V. M. (2014). Use of otolith shape for stock identification of John's snapper, *Lutjanus johnii* (Pisces: Lutjanidae), from the Persian Gulf and the Oman Sea. *Fisheries Research*, 155, 59-63.
- Saltalamacchia, F., Berg, F., Casini, M., Davies, J. C., and Bartolino, V. (2022). Population structure of European sprat (*Sprattus sprattus*) in the Greater North Sea ecoregion revealed by otolith shape analysis. *Fisheries Research*, 245, 106131.
- Santos, J. D. A., Menezes, R., Rosa, R. D. S. and Ramos, T. P. A. (2022). Otolith shape analysis supports three cryptic species in the *Stellifer punctatissimus* complex (Acanthuriformes: Sciaenidae). *Neotropical Ichthyology*, 20.
- Santos, J. D. A., Menezes, R., Rosa, R. D. S., and Ramos, T. P. A. (2022). Otolith shape analysis supports three cryptic species in the *Stellifer punctatissimus* complex (Acanthuriformes: Sciaenidae). *Neotropical Ichthyology*, 20(3), e220005.
- Saygin, S., Özpiçak, M., Yılmaz, S. and Polat, N. (2020). Otolith shape analysis and the relationships between otolith dimensions–total length of European Bitterling, *Rhodeus amarus* (Cyprinidae) sampled from Samsun Province, Turkey. *Journal of Ichthyology*, 60, 570-577.
- Schönhuth, S., Vukić, J., Šanda, R., Yang, L., and Mayden, R. L. (2018). Phylogenetic relationships and classification of the Holarctic family Leuciscidae (Cypriniformes: Cyprinoidei). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 127, 781-799.

- Schulz-Mirbach, T. and Plath, M. (2012). All good things come in threes – species delimitation through shape analysis of saccular, lagenar and utricular otoliths. *Marine and Freshwater Research*, 63(10), 934-940.
- Schulz-Mirbach, T. and Reichenbacher, B. (2006). Reconstruction of oligocene and neogene freshwater fish faunas-an actualistic study on cypriniform otoliths. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51(2), 283-304.
- Schulz-Mirbach, T., Riesch, R., de León, F. J. G. and Plath, M. (2011). Effects of extreme habitat conditions on otolith morphology—a case study on extremophile livebearing fishes (*Poecilia mexicana*, *P. sulphuraria*). *Zoology*, 114(6), 321-334.
- Schwarzans W. (2019). Reconstruction of the fossil marine bony fish fauna (Teleostei) from the Eocene to Pleistocene of New Zealand by means of otoliths. *Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo di Storia Naturale di Milano*, 46: 3-326.
- Schwarzans, W. (2014). Head and otolith morphology of the genera *Hymenocephalus*, *Hymenogadus* and *Spicomacrus* (Macrouridae), with the description of three new species. *Zootaxa*, 3888(1), 1-73.
- See, M., Marsham, S., Chang, C. W., Chong, V. C., Sasekumar, A., Dhillon, S. K. and Loh, K. H. (2016). The use of otolith morphometrics in determining the size and species identification of eight mullets (Mugiliformes: Mugilidae) from Malaysia. *Sains Malaysiana*, 45(5), 735-743.
- Song, J., Zhao, B., Liu, J., Cao, L. and Dou, S. (2019). Comparative study of otolith and sulcus morphology for stock discrimination of yellow drum along the Chinese coast. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(4), 1430-1439.
- Song, J., Zhao, B., Liu, J., Cao, L., and Dou, S. (2018). Comparison of otolith shape descriptors and morphometrics for stock discrimination of yellow croaker along the Chinese coast. *Journal of Oceanology and Limnology*, 36(5), 1870-1879.
- Stransky, C. and MacLellan, S. E. (2005). Species separation and zoogeography of redfish and rockfish (genus *Sebastes*) by otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(10), 2265-2276.
- Takabayashi, A., and Ohmura-Iwasaki, T. (2003). Functional asymmetry estimated by measurements of otolith in fish. *Biological Sciences in Space*, 17(4), 293-297.
- Tarkan, A. S., Gürsoy Gaygusuz, C., Gaygusuz, Ö. and Acıpinar, H. (2007). Use of bone and otolith measures for size-estimation of fish in predator-prey studies. *Folia Zoologica*, 56(3), 328.
- Teimori, A., Khajooei, A., Motamedi, M. and Hesni, M.A. (2019). Characteristics of sagittae morphology in sixteen marine fish species collected from the Persian Gulf: Demonstration of the phylogenetic influence on otolith shape. *Regional Studies in Marine Science*, 29, 100661.
- Toyran, K. and Albayrak, I. (2019). Distribution and ecology of *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758) in Kizilirmak River (Turkey). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(3), 871-880.
- Turan, C., Ergüden, D., Gürlek, M., Çevik, C., and Turan, F. (2015). Molecular systematic analysis of shad species (*Alosa spp.*) from Turkish marine waters using mtDNA genes. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 149-155.
- Turan, D., Kaya, C. Ü. N. E. Y. T., Geiger, M., and Freyhof, J. Ö. R. G. (2018). *Barbus anatolicus*, a new barbel from the Kızılırmak and Yeşilirmak River drainages in northern Anatolia (Teleostei: Cyprinidae). *Zootaxa*, 4461(4), 539-557.
- Turan, D., Kaya, C., Baycelebi, E., Bektaş, Y. U. S. U. F., and Ekmekçi, F. G. (2017). Three new species of *Alburnoides* from the southern Black Sea basin (Teleostei: Cyprinidae). *Zootaxa*, 4242(3), 565-577.
- Tuset, V. M., Azzurro, E. and Lombarte, A. (2012). Identification of Lessepsian fish species using the sagittal otolith. *Scientia Marina*, 76(2), 289-299.
- Tuset, V. M., Imondi, R., Aguado, G., Otero-Ferrer, J. L., Santschi, L., Lombarte, A. and Love, M. (2015). Otolith patterns of rockfishes from the Northeastern Pacific. *Journal of Morphology*, 276(4), 458-469.

- Tuset, V. M., Jurado-Ruzafa, A., Otero-Ferrer, J. L., and Santamaría, M. T. G. (2019). Otolith phenotypic variability of the blue jack mackerel, *Trachurus picturatus*, from the Canary Islands (NE Atlantic): Implications in its population dynamic. *Fisheries Research*, 218, 48-58.
- Tuset, V. M., Lombarte, A. and Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72(S1), 7-198.
- Tuset, V. M., Lombarte, A. G. J. A., González, J. A., Pertusa, J. F. and Lorente, M. A. J. (2003). Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus spp.* *Journal of fish biology*, 63(6), 1491-1504.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., Bariche, M., Maynou, F., and Azzurro, E. (2020). Otolith morphological divergences of successful Lessepsian fishes on the Mediterranean coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236, 106631.
- Tuset, V. M., Otero-Ferrer, J. L., Siliprandi, C., Manjabacas, A., Marti-Puig, P. and Lombarte, A. (2021). Paradox of otolith shape indices: routine but overestimated use. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(6), 681-692.
- Tuset, V. M., Rosin, P. L. and Lombarte, A. (2006). Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. *Fisheries Research*, 81(2-3), 316-325.
- Ugrin, N., Škeljo, F., Ferri, J., and Šifner, S. K. (2021). Use of otolith morphology and morphometry for species discrimination of megrims *Lepidorhombus spp.* in the Central Eastern Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 101(4), 735-741.
- Uğurlu, S. (2006). Samsun ili tatlı su balık faunasının tespiti. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, 398, Samsun.
- Uğurlu, S., Polat, N., and Kandemir, Ş. (2009). Changes in the Lake Ladik fish community (1972-2004) and ichthyofauna of its inlet and outlet streams (Samsun, Turkey). *Turkish Journal of Zoology*, 33(4), 393-401.
- Van der Laan, R. (2020). *Freshwater Fish List* (30th edition). ALMERE, The Netherlands.
- Vignon, M. and Morat, F. (2010). Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*, 411, 231-241.
- Vu, Q. T. and Kartavtsev, Y. P. (2020). Otolith shape analysis and its utility for identification of two smelt species, *Hypomesus japonicus* and *H. nipponensis* (Osteichthyes, Osmeridae) from the northwestern sea of Japan with inferences in stock discrimination of *H. japonicus*. *Russian Journal of Marine Biology*, 46, 431-440.
- Wakefield, C. B., Williams, A. J., Newman, S. J., Bunel, M., Dowling, C. E., Armstrong, C. A. and Langlois, T. J. (2014). Rapid and reliable multivariate discrimination for two cryptic *Eteline* snappers using otolith morphometry. *Fisheries Research*, 151, 100-106.
- Wright, P.J., Panfili, J., Morales-Nin, B. and Geffen, A.J. (2002). Types of calcified structures. A. Otoliths. In *Manual of fish sclerochronology*, Ifremer-IRD Coedition. Brest, France, pp. 31-57.
- Yazıcıoğlu, O., Yılmaz, S., Yazıcı, R., Erbaşaran, M. and Polat, N. (2016). Feeding ecology and prey selection of European perch, *Perca fluviatilis* inhabiting a eutrophic lake in northern Turkey. *Journal of Freshwater Ecology*, 31(4), 641-651.
- Yazici, R. (2023). Sex-linked variations in the sagittal otolith biometry of *Nemipterus randalli* (Russell, 1986) from the eastern Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 102, 241-247.
- Yazicioglu, O., Polat, N., and Yilmaz, S. (2018). Feeding biology of pike, *Esox lucius* L., 1758 inhabiting Lake Ladik, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(10), 1215-1226.
- Yedier, S. and Bostancı, D. (2022). Molecular and otolith shape analyses of *Scorpaena spp.* in the Turkish seas. *Turkish Journal of Zoology*, 46(1), 78-92.
- Yedier, S., Konaş Yalçınkaya, S., Bostancı, D., and Polat, N. (2023). Morphologic, morphometric and contour shape variations of sagittal otoliths of *Lepidorhombus spp.* in the Aegean Sea. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 52(2), 279-288.

- Yedier, S., Konaş, S., Bostancı, D. and Polat, N. (2016). Otolith and scale morphologies of doctor fish (*Garra rufa*) inhabiting Kangal Balıklı Çermik thermal spring (Sivas, Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(4), 1593-1608.
- Yıldız, R., and Yılmaz, S. (2021). Morphometric analysis of sagittal otoliths in Coruh trout (*Salmo coruhensis* Turan, Kottelat & Engin, 2010). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 270-277.
- Yılmaz, S., Yazıcıoğlu, O., Yazıcı, R. and Polat, N. (2015). Relationships between fish length and otolith size for five cyprinid species from Lake Ladik, Samsun, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 39(3), 438-446.
- Yu, X., Cao, L., Liu, J., Zhao, B., Shan, X. and Dou, S. (2014). Application of otolith shape analysis for stock discrimination and species identification of five goby species (Perciformes: Gobiidae) in the northern Chinese coastal waters. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 32(5), 1060-1073.
- Zengin Özpiçak, M., Saygın, S., Aydın, A., Hançer, E., Yılmaz, S. and Polat, N. (2018). The relationships between otolith dimensions-total length of chub (*Squalius cephalus*, L. 1758) sampled from some inland waters of the Middle Black Sea Region. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 4(1), 17-24.
- Zhang, C., Fan, Y., Ye, Z., Li, Z. and Yu, H. (2017). Identification of five *Pampus* species from the coast of China based on sagittal otolith morphology analysis. *Acta Oceanologica Sinica*, 36, 51-56.
- Zhuang, L., Ye, Z. and Zhang, C. (2015). Application of otolith shape analysis to species separation in *Sebastes* spp. from the Bohai Sea and the Yellow Sea, northwest Pacific. *Environmental Biology of Fishes*, 98, 547-558.
- Zischke, M.T., Litherland, L., Tilyard, BR, Stratford, NJ, Jones, EL and Wang, YG. (2016). Otolith morphology of four mackerel species (*Scomberomorus* spp.) in Australia: Species differentiation and prediction for fisheries monitoring and assessment. *Fisheries Research*, 176, 39-47.

ÖZ GEÇMİŞ

Ceren ÇETİN, İskenderun Cumhuriyet Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji Öğretmenliği bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2020 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Yüksek Lisans programına girdi, 2023 yılında bitirdi. Mezuniyetinden bu yana, çeşitli özel kurumlarda Biyoloji Öğretmenliği ve aynı zamanda tiyatro oyunculuğu yapan Ceren ÇETİN, orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları; sahne sanatları, yabancı dil öğrenme (21.06.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000 0003 3186 9924

Yayınlar:

1. Çetin, C., Yılmaz, S., Saygın, S. and Özpiçak, M. (2022). Evaluation of the length-weight and length-length relationships of *Carassius gibelio* population inhabiting Engiz Stream (Samsun, Turkey). Ege 7th International Conference on Applied Sciences, 24-25 December 2022, İzmir, pp. 464-472.