



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE'DEKİ AVRUPA YILAN BALIĞI STOKLARININ
AYRIMINDA OTOLİT ŞEKİL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UTKU CAN AY

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ŞÜKRAN YALÇIN ÖZDİLEK

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE'DEKİ AVRUPA YILAN BALIĞI STOKLARININ
AYRIMINDA OTOLİT ŞEKİL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UTKU CAN AY

Tez Danışmanı

PROF. DR. ŞÜKRAN YALÇIN ÖZDİLEK

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Utku Can AY

22/08/2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Şükran YALÇIN ÖZDİLEK'e, arazi çalışmalarında bana yardımcı olan değerli hocam Dr. Nurbanu PARTAL'a laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan değerli hocam Arş.Gör.Dr. Selin ERTÜRK GÜRKAN'a, istatistik programlarında yaşadığım sorunları çözmeme yardımcı olan değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Burcu MESTAV'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda beni tek başına bu günlere getiren annem Olcay KARATAŞ'a, her zaman örnek aldığım, ve bana rol model olmuş dayım Hidayet ŞEKERCİ'ye, her zaman sevgilerini arkamda hissettiğim anneannem ve dedem Muazzez ŞEKERCİ ve Adem ŞEKERCİ'ye ve hayatın tüm zorluklarına göğüs gererken yanımda olan kız arkadaşım Dilan IŞIK'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Utku Can Ay
Çanakkale, Ağustos 2022

ÖZET

TÜRKİYE'DEKİ AVRUPA YILAN BALIĞI STOKLARININ AYRIMINDA OTOLİT ŞEKİL ANALİZİ

Utku Can AY

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Şükran Yalçın ÖZDİLEK

31/08/2022, 30

Avrupa yılan balığı (*Anguilla anguilla* (L.)), Baltık Denizi'nden Kuzey Afrika'ya kadar geniş bir dağılım alanına sahip, morfolojik değişim geçiren ve hayatında bir kez döl veren bir türdür. En son çalışmalar Avrupa yılan balığının dünyadaki popülasyonunun hala düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle stokların izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Otolitler, balıkların iç kulağındaki kalsiyum karbonat birikintileridir ve balıkların biyolojik ve ekolojik özellikleri hakkında bilgi toplamak için önemli bir araçtır. Günlük büyüyen otolitlerin şekillerinin balığın yaşadığı ortama göre farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Otolit şekil analizi yöntemi ile stok tahminlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada otolit şekil analiz yöntemi kullanılarak Türkiye'de Çanakkale, Muğla ve Bafa havzalarından toplanan yılan balığı otolitlerinin stok ayırımında kullanılıp kullanılmayacağını test etmek amaçlandı. *ShapeR* paketi kullanılarak bu üç popülasyondan alınan otolit örneklerinin şekil analizi yapıldı ve gruplar arasındaki farklılıkların önem derecesi PERMANOVA ve CAP (Kanonik Koordinatlar Analizi) yöntemleri ile test edildi. Yapılan analizler sonucunda birbirine daha yakın olan Muğla ve Bafa havzalarından toplanan yılan balıklarının otolit şekilleri arasında anlamlı bir farklılık bulunamadı ($P>0,05$). Bu istasyonların örnekleri birleştirilip Çanakkale örnekleri ile kıyaslandığında ise bu iki grup arasında istatistik olarak anlamlı farklılık bulundu ($P<0,05$). Analiz sonuçlarına göre yılan balıklarında otolit şekil analizi yönteminin birbirine nispeten uzak olan istasyonlardaki popülasyonları ayırt etmek için kullanılabilmesi söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: *Anguilla anguilla*, *ShapeR*, Muğla, Bafa, Çanakkale

ABSTRACT

OTOLITH SHAPE ANALYSIS IN DIFFERENTIATION OF EUROPEAN EEL STOCKS IN TURKEY

Utku Can AY

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Biology

Advisor: Prof. Dr. Şükran YALÇIN ÖZDİLEK

31/08/2022, 30

The European eel (*Anguilla anguilla* (L.)) is a species that has a wide distribution area from the Baltic Sea to North Africa, undergoes morphological changes, and gives offspring once in its lifetime. The latest studies show that the world population of the European eel is still on a downward trend. For this reason, it is of great importance to monitor stocks. Otoliths are calcium carbonate deposits in the inner ear of fish and are an important tool for gathering information about the biological and ecological characteristics of fish. It is known that the shapes of the otoliths that grow daily vary according to the environment in which the fish live. It is widely used in stock estimates with the otolith shape analysis method. The goal of this study was to see if eel otoliths collected from Turkey's Çanakkale, Muğla, and Bafa basins could be used for stock separation using the otolith shape analysis method. Shape analysis of otolith samples taken from these three populations was performed using the ShapeR package, and differences between groups were searched by ANOVA-like Permutation test (PERMANOVA) and CAP (Canonical Analysis of Principle Coordinates) methods. As a result of the analysis, no significant difference was found between the otolith shapes of eels collected from Muğla and Bafa basins, which are closer to each other ($P > 0.05$). A statistically significant difference ($p > 0.05$) was found between the two groups when the samples from these stations were combined and compared to the samples from Çanakkale. According to the results of the analysis, it can be said that the otolith shape analysis method in eels can be used to distinguish populations in stations that are relatively far from each other.

Keywords: *Anguilla anguilla*, ShapeR, Muğla, Bafa, Çanakkale

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

1.1. Avrupa yılan balığı (<i>Anguilla anguilla</i> (L.))	2
1.1.1. Sistematik	2
1.1.2. Avrupa Yılan Balığı Yaşam Döngüsü	3
1.2. Otolit ve Otolit Şekil Analizi	5

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

6

2.1. Otolit Şekil Analizi ile İlgili Stok Tahmini Çalışmaları	7
2.2. Avrupa Yılan Balığı Stok Ayırımında Kullanılan Yöntemler ve Çalışma Örnekleri	7
2.3. Avrupa Yılan Balığı Otolit Şekli ile İlgili Önceki Çalışmalar	8
2.4. Türkiye’de Yapılan Otolit Şekil Analizi Çalışmaları	9

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

11

3.1. Çalışma Alanları	11
3.1.1. Kumkale – Karamenderes Çayı	12
3.1.2. Muğla – Güllük, Köyceğiz, Dalaman	12
3.1.3. Bafa – Bafa Gölü	12
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	12
3.2.1. Alınan Ölçümler ve Teşhisler	12
3.2.2. Otolitlerin Çıkarılması	13
3.2.3. Otolitlerin Fotoğrafının Çekimi	13
3.3. Verilerin Değerlendirilmesi	13

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Hassasiyet Testi	16
4.2. Otolit şekillerinin istasyonlara göre kalitatif karşılaştırılması	17
4.3. Otolit şekillerinin istasyonlara göre kantitatif karşılaştırılması	18
4.4. Otolit şekillerinin istatistik olarak karşılaştırılması	19
4.5. Wavelet katsayılarının kanonik analizi	20

BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	23
ÖZGEÇMİŞ	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

IUCN	Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği
mm	Milimetre
cm	Santimetre
m	Metre
km	Kilometre
%	Yüzde oranı
g	Gram
CAP	Canonical Analysis of Principal Coordinates
ort.	Ortalama
Ss	Standart Sapma
N	Örnek Sayısı

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	İstasyon, örnek Sayısı, total boy aralığını, ortalamaları ve standart sapmaları gösteren tablo.	15
Tablo 2	Tablo 1: PERMANOVA testi sonuçları.(df: serbestlik derecesi, F: Yapay F değeri , p: olabilirlik derecesi ($\alpha = 0,05$))	19



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Avrupa Yılan balığı dağıtım alanı. (Dekker, 2002'den alınmıştır.)	1
Şekil 2	A: Sarı Yılan Balığı, B: Gümüş Yılan Balığı	3
Şekil 3	Avrupa Yılan Balığının yaşam alanlarına göre yaşam döngüsü (Cresci, 2020'den değiştirilerek alınmıştır).	4
Şekil 4	Çalışmanın yapıldığı istasyonları gösteren harita.	11
Şekil 5	Siyah zemin üzerinde çekilmiş bir otolit fotoğrafı ve program tarafından dış hattı çıkarılmış bir otolit fotoğrafı.	16
Şekil 6	Her istasyondan otolit örnekleri.	16
Şekil 7	Wavelet ve Fourier seviyelerine göre kontur modellemesinde ulaşılan hassasiyet seviyelerini gösteren grafik.	17
Şekil 8	Ortala istasyon şekillerinin görselleştirilmesi ve kıyaslanması.	18
Şekil 9	Wavelet katsayılarının ortalaması ve standart sapması (Noktarlar) ile korelasyon sınıflandırması (Düz çizgi).	19
Şekil 10	Örneklenen üç alan için Wavelet'in temel koordinatlarının kanonik analizi.	20

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Büyüme aşamasında Avrupa ve Afrika'nın Akdeniz kıyılarında geniş bir dağılım alanına sahip olan (Şekil 1) Avrupa yılan balığı (*Anguilla anguilla* (L.)), (Schmidt, 1909; Dekker, 2003) özellikle Avrupa ve uzak doğu ülkeleri tarafından çokça tüketilen bir balık türüdür. IUCN Kırmızı Listesinde kritik olarak nesli tehdit altındaki türler arasında (Pike vd., 2020) yer alan bu türe ait stokların, güvenli biyolojik sınırlar dışında olduğu belirtilmiştir. En son çalışmalar Avrupa yılan balığının dünyadaki popülasyonunun hala düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu sebeple *Anguilla anguilla* popülasyonun izlenmesine dair çok fazla çalışma yapılmasına rağmen özellikle ülkemizde popülasyon büyüklüğü, biyolojik ve ekolojik özellikleri konusunda çok sınırlı çalışmalar bulunmaktadır. Stok ayırımı bize hem türün hareket mekanizmalarını anlamlandırmaya ve tanımaya olanak sağlar. Bu da o türün stoklarının korumasını hem balıkçılık hem de ekolojik anlamda korumamızı sağlar. Ülkemizde yılan balığı hakkında besin değeri, gıda işlenmesi, yapay koşullarda beslenmesi konularında yapılmış çalışmalar bulunsa da özellikle yılan balığının stoklarını tahmin etmek için gerekli biyolojik veriler oldukça sınırlıdır (Özdemir, 2001; Toku, 2005; Ünlüsayın, 1999; Algan, 2009; Özoğul, 2012; Yalçın Özdilek vd., 2006; Yalçın Özdilek ve Solak, 2007; Yalçın Özdilek vd., 2018).



Şekil 1. Avrupa Yılan balığı dağıtım alanı. (Dekker, 2002'den alınmıştır.)

Avrupa yılan balığı ülkemizde Edirne'den Hatay'a kadar oldukça uzun bir kıyı şeridinde yayılış göstermektedir. Farklı çevresel faktörlerin etkisi altında yılan balıklarının ülkemizdeki büyüme özellikleri mekânsal farklılık gösterebilir ve bu stokların sürdürülebilir yönetilmesinde önemli bir özelliktir. Bu tez çalışmasında otolit şeklinin çevresel etkenlerden etkilenmesi nedeniyle habitatlar arasında farklılık gösterebileceğinden yola çıkılarak ülkemizde yılan balığı stoklarının biyolojik özelliklerinin mekânsal olarak farklılık gösterip göstermeyeceğini ve alt stokların ayrılmasında kullanılıp kullanılmayacağını tahmin etmek planlanmıştır.

Avrupa yılan balıkları yaşamları boyunca tuzlu deniz habitatlarından başlayarak lagün ve tatlı sular gibi oldukça değişken habitatlarda büyüme evresini geçirmektedirler. Bu süreçte çevresel parametrelere göre otolit şekillerinde farklılık olabilir. Bu farklılıklar alt stokları ayırmak için kullanılabilir. Böylece stok tahminleri daha doğru ve güvenilir yapılabileceği gibi balıkçılık yönetiminde de uygun tedbirler alınabilir. Bu yapılacak araştırmada ülkemizdeki Avrupa yılan balığı habitatları arasından seçilen üç havza bazında otolit şekillerinde farklılık olup olmadığını araştırmak, amaçlanmıştır.

Genel olarak dünyada Avrupa Yılan Balığı türünde daha geniş ölçekte otolit şekli karşılaştırılırken, yakın ölçekte, başka deyişle yakın havzalar esas alınarak böyle bir karşılaştırmaya rastlanmamıştır. Bu durum göz önüne alındığı zaman oldukça değerli olan bu türle ilgili stok tahminlerinin doğru yapılması gerekmektedir ancak ülkemizde Avrupa Yılan balığının stok tahmini ile ilgili güncel çalışmalar bulunmamaktadır. Stok ayırımı yapmak için otolit şekil analizi verimli bir yöntemdir (L'Abée-Lund, 1988; Dawson, 1991). Ülkemiz sularında da böyle bir çalışmanın yapılması balıkçılık yönetimi ve akademik çalışmalara katkı sağlaması açısından önemlidir.

1.1. Avrupa yılan balığı (*Anguilla anguilla* (L.)).

1.1.1. Sistematik

Anguilla anguilla'nın sistematik sınıflandırılması Jacoby ve Gollock (2014)'e göre yapılmıştır:

Kingdom: Animalia

Phylum: Chordata

Class: Actinopterygii
Order: Anguilliformes
Family: Anguillidae
Genus: *Anguilla*
Species: *Anguilla anguilla* L., 1758

1.1.2. Avrupa Yılan Balığı Yaşam Döngüsü

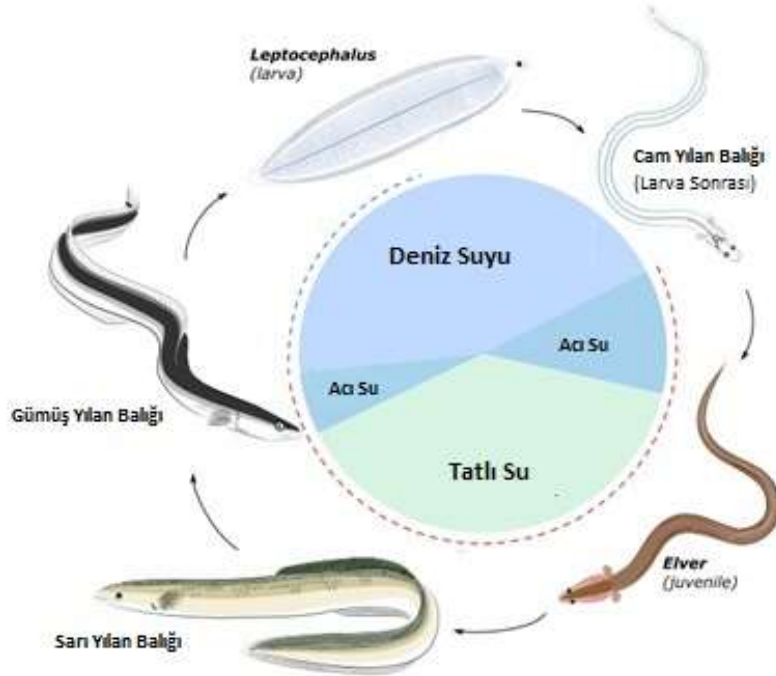
Avrupa yılan balığı göçmen, metamorfoza uğramış, fakültatif katadrom bir türdür (Tesch, 2003). Avrupa tatlı su yılan balığı olarak bilinen türün yaşam döngüsünün *Leptocephalus*, cam yılan balığı, elver, sarı yılan balığı ve gümüş yılan balığı olmak üzere beş ana aşamadan oluştuğunu belirtmiştir (Bertin, 1956). Sarı ve gümüş yılan balığı evreleri iç sularda geçmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: A: Sarı Yılan Balığı, B: Gümüş Yılan Balığı

Yılan balığının yaşama evreleri Şekil 3’de özetlenmiştir. *A. anguilla* ‘nın yumurtlama bölgesi Sargasso Denizi’nde yer almaktadır (Schmidt, 1922) *Leptocephalus* larvaları 1 ile 3 yıl içinde Gulf Stream akıntıları üzerinde sürüklenerek Kuzey Atlantik Akıntısı ile Atlantik Okyanusu'na taşınır. (Schmidt, 1922; Boe’tius, 1985). Tüm okyanus aşamasında *leptocephalus* larvası halinde olan yılan balıkları batı Avrupa ve Afrika kıyıları ile Akdeniz’e girerek Akdeniz’e dökülen akarsuların girişinde metamorfoz geçirerek cam yılan balığına

(glass eel) dönüşür. Bu safhada hala şeffaf olup şekilleri yetişkin yılan balığı ile benzerdir. Cam yılan balıklarında su sıcaklığının artmaya başladığı İlkbahar mevsiminde nehir ağızlarında pigmentleşme başlar ve akarsuların yukarı kısımlarına çıkmaya ya da nehir ağızlarına doğru göç etmeye başlarlar (Arai vd., 2000). Bu evrede elver olarak adlandırılırlar. Cam yılan balığının boyu yaklaşık 75 mm ve ağırlığı 0,3 gramdır. Avrupa kıyıları boyunca deniz veya acı su ortamlarında ya da tamamen tatlı suda suyun akışının tersi yönünde akarsuların üst kısımlarına doğru çıkarak büyümeye devam ederler. Bu süreçte önce sarı yılan balığı evresinde kalır, daha sonra tekrar metamorfoz ile gümüşü forma dönüşürler. Dış görünüş bakımından, sarı yılan balıklarının göç eden pigmentli gümüşü yılan balıklarından ayırmak güçtür, ancak gümüşü yılan balıkları 30 cm'nin üzerinde olup, gözleri daha iri, pectoral yüzgeçleri daha koyu, kuyruk yüzgeçlerinin uçları siyah, yanıl çizgi daha belirgindir (Tesch, 1977). Sarı yılan balıkları 8-18 yıl akarsuda kaldıktan sonra gümüşü yılan balığına dönüşür ve Sargasso Denizi'ndeki yumurtlama alanlarına doğru yolculuğuna başlar ve önce nehirlerin aşağı kısımlarına sonra da okyanusa doğru göç ederler (Tesch, 2003). Yılan balıklarının akarsulardaki evreleri 'beslenme evresi' veya "büyüme evresi" olarak da adlandırılır (Tesch, 2003).



Şekil 3: Avrupa Yılan Balığının yaşam alanlarına göre yaşam döngüsü (Cresci, 2020'den değiştirilerek alınmıştır).

1.2. Otolit ve Otolit Şekil Analizi

Otolitler, balıkların iç kulağındaki kalsiyum karbonat birikimleri olup balıkların biyolojik ve ekolojik özellikleri hakkında bilgi toplanmasını sağlayan önemli bir araçtır. Yaygın olarak yaş tayini yapılmak suretiyle balıkların biyolojik özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır (Jearld, 1983). Filogenetik ve paleontolojik besin ağları, eko-morfolojik, paleoekoloji ve hatta cinsiyet tanımlama için de kullanılmaktadır. Otolit kimyası bir balığın yaşamı boyunca habitat kullanımını, popülasyon yapısı ve büyümesini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Otolitler esas olarak stokların ve türlerin tanımlanmasında da kullanılmıştır (Gaemers, 1984; Nolf, 1985; Fitch ve Brownell, 1968; Cartes vd., 2017; Tzeng vd., 1997; Daverat vd., 2005; Bird vd., 1986; Schmidt, 1969).

Biyoinorganik minerallerden oluşan otolitler tüm kemikli balıkların iç kulağında bulunur ve protein ve mineral açısından zengin günlük değişen bantlar oluşturarak büyürler (Thomas vd., 2019). Otolit şekilleri bu büyüme sürecinde en, boy, kıvrım vb. bakımından tür içi farklılık gösterebilir. Kulakta üç çift otolit vardır; Sagittae ve lapilli genellikle disk şeklindedir ve balıkların gelişiminin erken dönemlerinde benzer boyutlara sahiptir. Asteriskus, tipik olarak gelişimde daha sonra oluşur, ancak aynı zamanda başlangıçta disk şeklindedir, ancak sagitta türler arasında yüksek morfolojik değişkenlik ile karakterize (Platt ve Popper, 1981), en önemli morfolojik değişkenliğe sahip olan otolittir ve bu nedenle en çok çalışılanıdır. Diğerlerine göre daha büyüktür (Pierce vd., 1991), bu da morfolojisinin daha iyi gözlemlenmesine izin verir ve sürece zarar vermez. (Casselman, 1981). Endojen ve eksojen faktörler otolitin hem genel şeklini hem de büyüme modellerini belirler (Lombarte vd., 2003) ve hayvanların çevresel faktörlerin kombinasyonlarına maruz kalmasının kalıcı kaydedicileri olarak düşünülebilir (Jones, 1992). Başka deyişle otolitler balıkların her gün yazdıkları günlükleri olarak düşünülebilir. Buradan hareketle otolit morfolojisi, karşılaştırmalı genetik veriler mevcut olmadığında balık stokları, popülasyonları ve türleri arasında ayırım yapmak için etkili bir araçtır (Castonguay vd., 1991; Campana ve Casselman, 1993; Cardinale vd., 2004). Böylece otolit şekli çevreye bağlı varyasyonları incelemek için kullanılabilir gibi, nesli tükenmekte olan türlerin balıkçılık yönetiminde iyi bir fenotipik belirteç olarak işlev görürler (Begg vd., 1999). İtalya'da üç farklı çevresel özelliğe sahip olan lagün ve akarsudan aldıkları yılan balığı örneklerinde otolit şekillerini karşılaştırmışlar ve büyük otolitlerde daha heterojen yapıya rastlamışlardır (Lenaz vd., 2006).

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hayvansal organizmalar büyüme sürecinde çevrelerinden almış oldukları besin maddelerinin disimilasyonu ile hem enerji ihtiyacını karşılar hem de aldıkları besin öğelerinin yapı taşlarını asimilasyon ile vücudunda biriktirirler (Pearl ve Reed, 1923). Bu birikimin nasıl ve ne kadar olacağı canlının kalıtım materyalinin molekül yapısı ve çevresel değişkenlere göre şekillenebilen işlevine göre, başka deyişle türe özgü olarak değişir, böylece türlerin taksonomik olarak belirleyici morfolojik karakterleri ortaya çıkar (Brody, 1945). Türü tanımlayan bu morfolojik karakterlerden biri de balıkların iç kulağında bulunan otolitlerdir (Platt ve Popper, 1981).

Otolit kimyasal yapısına spesifik elementlerin katılmasının pH, tuzluluk, sıcaklık ve konsantrasyonlarından etkilendiği (Mugiya ve Tanaka, 1995; Elsdon vd., 2008), bir bireyin fizikokimyasal ortamındaki değişikliklerin hem inorganik hem de organik matriste bulunan bazı iz elementlerle ilişkili olduğu bilinmektedir (Sturrock vd., 2014). Bu değişimler otolit belirlenir bir yönde büyümesine veya büyümemesi minimum yasaından kaynaklı olabilir (Liebig, 1855) ve çevredeki herhangi bir değişkenin eksikliği otolit büyüme yönünü ve/veya kıvrım şeklini sınırlayabilir.

Fakültatif katadrom olan ve yaşam evresinde farklı habitatları kullanan Avrupa yılan balığının (Tsukamoto vd., 1998, Tesch, 2003) otolit kimyasının mekânsal farklılık gösterdiği bilinmektedir (Lin vd., 2011) ve otolit şekillerinin de mekânsal olarak farklılık gösterdiğine dair çalışmalar bulunmaktadır (Capoccioni vd., 2011).

Her ne kadar örneklem alanı olarak seçilen havzalar birbirine yakın olsa da akarsu havzalarının fizikokimyasal içeriklerinin kendilerine özel ve eşsiz olduğu (Horton, 1932) bilgisinden hareketle, Türkiye’de seçilen bu üç havzada lagün ve akarsularda yaşayan Avrupa yılan balığı otolit şekillerinin farklı olması beklenir. Zira sıcaklık, pH, oksijen miktarı ve tuzluluk gibi yılan balığının davranış ve büyümesinde etkili olduğu bilinmektedir (Ezzat ve El-Seraffy, 1977; Yalçın Özdilek vd., 2006).

2.1. Otolit Şekil Analizi ile İlgili Stok Tahmini Çalışmaları

Otolitler, hayvanların maruz kaldığı çevresel faktörlerin kaydedicileri olarak düşünülebilirler. (Jones, 1992) Otolit şekil analizi ile stok belirlemede bazı önemli çalışmalar;

- 1991 yılında Castonguay ve arkadaşlarının yayınladığı makalede otolit şeklinin karma balıkçılıkta iki grup arasında ayırım yapıp yapmadığını değerlendirmek için Kuzeybatı Atlantik'ten iki grup (yumurtlama grupları) ve Kuzeybatı Atlantik ve Kuzey Denizi'nden gelen stoklar arasında Atlantik uskumrusunun (*Seornber scombrus*) otolit şekillerini karşılaştırılmış. Çalışma sonucunda otolit şekline bakarak Yaş grupları ve Yıl-Sınıf grupları arasında önemli farklılık belirlenmiştir (Castonguay vd., 1991).

- 1993 yılında Campana ve Casselman otolit şeklinin stok kimliğinin gösterdiğini kanıtlamayı amaçlamış. Bu çalışmada kuzeybatı Atlantik boyunca yumurtlama alanı bulunan Atlantik Morina balığı ile çalışılmıştır. Çalışmada yaş ve cinsiyet açısından farklılıklar yakalanırken yine bu çalışmada sagital otolitlerin, lapiller ve asteriscal otolirlere göre daha iyi stok ayırımı yaptığı kanıtlandı (Campana ve Casselman, 1993).

- 2004 yılında Cardinale ve arkadaşları Faroe Adalarında Atlantik Morina otolitlerinin şekillerini cinsiyet, stok ve çevre etkileri üzerine karşılaştırdı. Faroe Bank ve Faroe Plateau şeklinde iki farklı istasyondan toplanan balık stokları arasında farklılıklar yakalanırken, otolit şeklinin belirlenmesinde stok ve çevresel etkilerin önemli olduğu ispatlanmış oldu (Cardinale vd., 2004).

2.2 Avrupa Yılan Balığı Stok Ayırımında Kullanılan Yöntemler ve Çalışma Örnekleri

- 2014 yılında Van De Wolfshaar ve diğerleri Hollanda'da dinamik demografik modeller ile stok ayırımı yapmayı uygun bulmamış ve stok ayırımı yapmada Su Çerçeve Direktifi ve statik CBS yaklaşımını birleştirerek stok ayırımlarını yapmışlardır (Van De Wolfshaar vd., 2014).

- 2018 yılında Kullmann ve diğerleri Avrupa yılan balığı stoklarını tahmin etmek için yaşlanmaya dayalı stok tahmini yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemle balıkları esaret altında kimyasal ile işaretleyip daha sonrasında bu işaretlerin okunması stok tahminleri yapılmıştır (Kullmann vd., 2018).

- 2018 yılında Bornarel ve diğerleri cam yılan balıkları üzerine yaptıkları çalışmada Avrupa genelinde geçmiş verilerin toplanması ile stok bilgileri – zaman indeksi ile cam yılan balığı stoklarının ayırımını yapmışlardır (Bornarel vd., 2018).

2.3 Avrupa Yılan Balığı Otolit Şekli ile İlgili Önceki Çalışmalar

- 1978 yılında Appelbaum ve Hecht 29 elver ve 51 sarı yılan balığının toplam uzunlukları ile otolit uzunluklarını karşılaştırdı ve balıkların benzer uzunluklarda olmaları nedeni ile korelasyon bulamadılar. Bu da tek başına otolit uzunluklarının ayırt edici olmadığını gösterdi (Appelbaum ve Hecht, 1978).

- Doering ve Ludwig 1990 yılında Yılan Balıkları üzerine yaptığı şekil analizi sonucunda yılan balıklarının yaşlandıkça otolit şeklinin çukurlaştığını, bu farklılıkların forier tanımlayıcılar ile ölçülebileceğini ispat etmiştir. Aynı zamanda yılan balığı otolit şekillerinin belirli yaş gruplarına ayırabileceğimiz hipotezinde bulunmuştur (Doering ve Ludwig, 1990).

- Capoccioni ve arkadaşları 2011 yılında iki acı lagün ve bir nehirden topladıkları yılan balığı otolitlerini analiz etmişlerdir. Çalışmada acı lagünlerin ve nehirlerin otolitler üzerinde belirgin etkileri olduğu ortaya çıkmakla birlikte daha küçük boylu otolitlerin daha anlamlı veriler verdiği ortaya çıkmıştır (Capoccioni vd., 2011).

- 2018 yılında Kanjuh ve diğerleri uzunlukları 11-80 cm arasında değişen yılan balıkları ile çalıştılar. Yaptıkları çalışmada %91,4 değişkenlikle balık boyu ile sagital otolit uzunluğu arasında ilişki olduğunu buldular (Kanjuh vd., 2018).

- Yılan balığı üzerine yapılmış güncel çalışmalardan birisi de 2021 yılında Milošević ve arkadaşlarının yaptığı otolit şekil analizi çalışmasıdır. Bu çalışmada Hırvatistan

ve Karadağ'daki Adriyatik Havzası'ndan nehir ve göl stokları arasındaki yılan balığı otolitlerindeki 14 farklı elementin otolit şekillerini ve mikro-kimya bilgilerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada farklı habitatlardan Avrupa yılan balığı stoklarını tahminleri yapıldı. Ayrıca Avrupa yılan balıklarının otolitlerinin türe özgü olduğu görülmüştür. (Milošević vd., 2021)

- 2022 yılında Moura ve diğerleri Minho Nehrinde farklı çevre parametreleri ile çalışarak otolit şekil analizi karşılaştırması yapmışlardır. İki havza arasında cinsiyet ve evre faktörlerini de kullanarak stok ayrımlarını yapmışlardır (Moura vd., 2022).

2.4 Türkiye'de Yapılan Otolit Şekil Analizi Çalışmaları

- 2015 yılında Zengin ve arkadaşları Aralık 2013 ve Şubat 2014 yıllarında Karadeniz ve Marmara Denizinden topladıkları hamsi örneklerinin; otolitlerini total boy ile otolit uzunluğu, total boy ile otolit genişliği, total boy ile otolit ağırlıklarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda balık boyu tahmini için en iyi yöntemin otolit boyu olduğunu bulmuşlardır (Zengin vd., 2015).

- 2019 yılında Özpiçak ve arkadaşları kefal örneklerinin popülasyon içi ve popülasyonlar arası varyasyonlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda otolit şekil analizi kefal popülasyonlarını ayırt etmek için uygun olduğunu bulmuşlardır (Özpiçak vd., 2019).

- 2020 yılında Saygın ve arkadaşları iki farklı istasyon olan Terne ve Terice Derelerinden topladıkları *Rhodeus amarus* türü balıklar üzerine çalışmışlardır. Balık total boyu ve otolit boyunu karşılaştırdıklarında istasyonlar arası fark olduğu ortaya çıkmıştır.

- 2021 yılında Başusta ve Khan doğu Akdenizden topladıkları minekop türü balıkların total boy ve otolit boylarını karşılaştırmışlardır. Çalışma çinekop türü balıkların boylarını tahmini için otolit boyu regresyonunun kullanılabileceğini ve cinsiyetler arası ayırım yapılabileceğini ortaya koymuştur (Başusta, ve Khan, 2021).

- 2022 yılında Yedier ve Bostancı Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz'den topladıkları beş farklı *Scorpaena* türünü hem moleküler hem de şekil analizi ile karşılaştırmışlardır. Araştırma sonuçları otolit şekil analiz ve moleküler analizin uyumlu olduğunu göstermiştir.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanları

Şekil analizi yapılacak örnekler üç istasyona bölünmüştür. Bunlar Şekil 4’de de görüleceği üzere; Kuzey’den Güney’e doğru Karamenderes Çayı (Kumkale, Çanakkale), Bafa Gölü (Aydın), Dalaman, Güllük ve Köyceğiz (Muğla)’dan oluşmaktadır. Bu istasyonlardan Dalaman Güllük ve Köyceğiz aynı havzada buldukları ve aralarında istatistik sel anlamlı farklılık bulunmadığı ($P>0,05$) için birleştirilip Muğla istasyonu oluşturulmuştur. Muğla istasyonları ve Bafa Gölü istasyonları birbirine nispeten daha yakınken (126 km) Çanakkale’deki Kumkale istasyonuna daha uzakta (Bafa Gölü’ne 292 km, Muğla’ya 399 km) bulunmaktadır.



Şekil 4: Çalışmanın yapıldığı istasyonları gösteren harita. Kumkale (Karamenderes Çayı, Çanakkale), Bafa gölü (Aydın), Güllük, Köyceğiz ve Dalaman (Muğla)

3.1.1. Kumkale – Karamenderes Çayı (Çanakkale)

Karamenderes Nehri'nin kaynağı Kaz Dağları'ndadır, Kumkale Ovası'ndan Boğaz'a akar ve yaklaşık 109 km uzunluğundadır. (Sarı vd., 2006). İstasyonlar Karamenderes Nehri'nin Kumkale'deki ağızları ve Kırkgözler kanalındaki istasyonlardır. Denizden yaklaşık 15 km içeride bir tatlı su kaynağından çıkan Kırkgözler Kanalı, 1.5-2 m derinliğinde ve 15-20 m genişliğindedir.

3.1.2. Bafa Gölü (Aydın)

Bafa Gölü, Türkiye'nin batısındaki Ege bölgesindeki en önemli göllerden biridir. Büyük Menderes Deltası'nın değişiminden oluşmuş, yaklaşık yüzölçümü 60 km² olan gölün maksimum derinliği 21 m'dir. Gölün deniz suyu ve jeotermal kökenli suyun deşarjı nedeniyle tuzludur. (Küçüksümbül vd., 2020).

3.1.3. Güllük, Köyceğiz, Dalaman (Muğla)

Köyceğiz Gölü Havzası; Batıda Uludümen ve Değirmen dağları, 19 tepenin önünde Kargıcak nehri ve Çamlı nehri (güney yamaçlarında) ve Akdeniz kıyısında Dalyan ilçesinin oluşturduğu alüvyon yelpazeleri olan Köyceğiz Gölü, Dalyan Suyu adı verilen bir kanalla Akdeniz'e bağlanır (Erten, 2019).

Dalaman havzası batıdan 6, kuzeyden 4 tepe, doğudan Bayram Dağı, Kızlan Dağı ve Oltutaş Dağı, güneyden Akdeniz ile çevrilidir. Türkiye'nin güneybatısındaki en uzun nehir olan Tersakan Nehri, Karasu Çayı ve Dalaman Nehri Akdeniz'e dökülüyor. Bölgedeki göller Küçükdalyan Gölü, Kocagöl ve Kükürtlü Gölü'dür (Erten, 2019).

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

3.2.1. Alınan Ölçümler ve Teşhisler

Yılan balığı otolit örnekleri önceki çalışmalarda (TUBITAK 111Y280, FBA-2019-2906) toplanmış ve -20 °C dondurucuda saklanan bireylerin başlarından çıkarılarak temin edilmiştir. Bu bireylere ait ölçülmüş olan tam boy ve ağırlık ölçümleri ($\pm 0,001$ mm) kullanılmıştır.

3.2.2 Otolitlerin Çıkarılması

Derin dondurucudan çıkarılıp çözünen balık başlarının alt çeneleri kesilip damağa tam erişim sağlandı. Daha sonrasında damak neşter yardımı ile dik bir şekilde kesildi ve göz yuvasının arkasındaki ceplerden otolitler çıkarıldı.

3.2.3 Otolitlerin Fotoğrafının Çekimi

Çıkarılıp temizlenen otolitlerin fotoğrafları kameralı bir mikroskop (Zeiss Axio: Scope A1, Kamera: Axio Cam 305 Color) kullanılarak üst aydınlatma ile çekildi. Çekim esnasında otolit dış hatlarının net çıkması için alt zeminin siyah olmasına dikkat edildi. Aynı zamanda fotoğraflarda otolitlerin daha parlak çıkmaları için otolitler gliserin içerisine gömülmüş bir şekilde fotoğraflar çekildi. Mikroskop kamerasının minimum büyütme oranı 5x olduğu için kadrage sığmayan büyük otolitlerin iki farklı fotoğrafları çekildi ve bu fotoğraflar fotoğraf düzenleme uygulamaları (Adobe Photoshop ve Microsoft Paint) ile birleştirildi ve yine bu uygulamalarda ışık geçişleri düzenlendi.

3.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Otolit şekil analizi R programlama dilinde yazılan *ShapeR* paketi kullanılarak değerlendirilmiştir (Libungan ve Pálsson, 2015). *ShapeR* paketi, kullanıcıların otolit şekil verilerini kolayca toplamasına ve analiz etmesine olanak tanır ve *gplots*, *ipred*, *jpeg*, *pixmap* ve *wavethresh* paketleri ile birlikte çalışır. Paket, şekil analizi yaparken otolitlerin dış hatlarını çıkarır ve bu dış hatları Fourier veya Wavelet katsayılarına göre kıyaslamasını yapar. Wavelet ve Fourier dönüşümleri temelde alınan sinyalleri anlamlandırmaya yarayan yöntemlerdir. Wavelet dönüşümü, bir sinyalin zaman-frekans analizi için kullanılan bir dönüşüm türüdür. (Öner vd., 2017) Paket Wavelet tipi analiz yaparken otolit yatay çizilebilen en uzun eksenini yatay eksen olarak konumlandırır. Alan her otolit için eşitlenir. Daha sonra kutupsal koordinatlar otolit merkezinden sağa doğru otolit dış hattının 0° açısına karşılık gelen bir kutup eksenini çizilerek toplanır. Wavelet katsayıları *wavethresh* paketindeki *wd* ve *wr* fonksiyonları kullanılarak elde edilir. Fourier için ise Normalize Edilmiş Eliptik Fourier Tekniği kullanılır. Normalize Edilmiş Eliptik Fourier Tekniği *iefourier* ve *efourier* fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu fonksiyonlar hem otolitleri boyut ve dönüş açısından normalize eder hem de katsayıları toplar (Libungan ve Pálsson, 2015).

ShapeR paketi kullanılarak öncelikle otolitlerin dış hatları çıkarıldı ve bu dış hatlar Wavelet ve Fourier kat sayılarına dönüştürüldü. Wavelet ve Fourier oranları, allometrik büyümenin otolit formu üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için regresyona dayalı bir normalizasyon tekniği kullanılarak ölçüklendi ve ardından popülasyonlar ve arasında anlamlı bir korelasyon gösteren katsayılar ($P < 0.05$) otomatik olarak hariç tutuldu. ShapeR paketinin çıktısı gibi, kalan oranlar da doğrudan R yazılımındaki analiz paketlerine aktarıldı. (Libungan ve Palsson 2015). Otolit dış hatlarından popülasyonlar arasındaki şekil farklılıkları hakkında daha ayrıntılı bilgi elde etmek için Wavelet dönüşümünün Fourier dönüşümünden daha faydalı olduğu gösterilmiştir (Libungan vd., 2015). Daha sonra popülasyonlar arası otolit şekil farklarını göstermek için her istasyonun ortalama şekli Wavelet katsayıları ile oluşturuldu. Bu şekiller üzerinden popülasyonlar arası farklılıkların ortaya koyulması için birbirleri üzerine birleştirildi ve görselleştirme tamamlandı.

PERMANOVA testi için R programlama dilinde bulunan Vegan paketi kullanıldı. Popülasyonlar arasındaki farklılıkların önemini incelemek için tek değişkenli bir şekil tanımlayıcısı olarak yarıçapların uzunluğu kullanıldı. Bu test ile hem üç istasyon arasındaki farklılaşmalara hem de istasyonların ikili gruplar halinde, kendi aralarındaki farklılaşmalar incelendi.

Popülasyonlar arasında otolit şeklindeki varyasyonu değerlendirmek için, veriler standartlaştırıldı, Wavelet katsayıları temel koordinatlara dönüştürüldü ve kanonik analize tabi tutuldu. Ayrıca, CAP sonuçlarının kümelenmesini CAP1 ve CAP2 olmak üzere iki ayırt edici eksende görselleştirmek için Wavelet katsayıları kullanıldı (CAP, Anderson ve Willis 2003).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

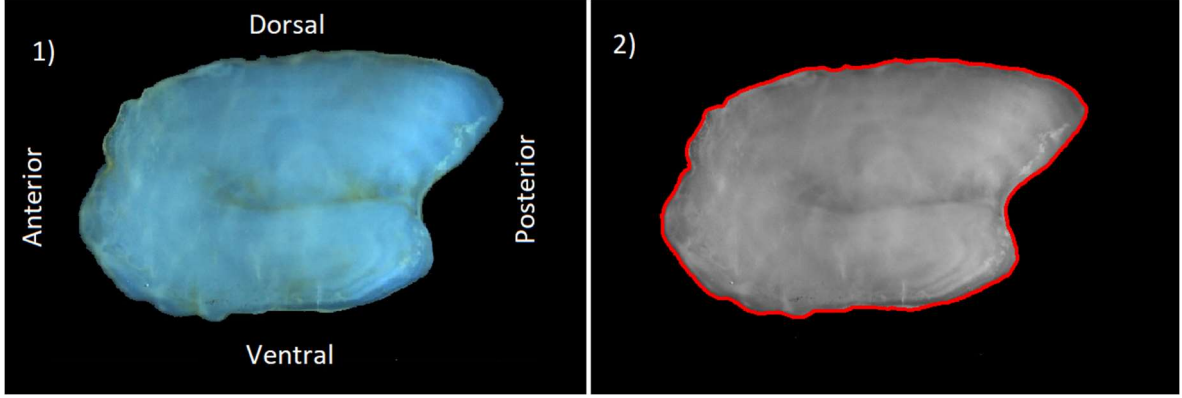
ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Kumkale'den 34, Muğla'dan 44, Bafa'dan 17 olmak üzere toplamda 95 yılan balığı örneği kullanıldı. Tablo 1'de istasyonlardan toplanmış örneklerin tam boy aralığı ve bu verilerin ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Tabloya bakıldığında zaman zaman Bafa örneklerinin en küçük, en büyük değerinin ve ortalamalarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Standart sapmasının ise diğerlerinden küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 2: İstasyon, örnek Sayısı, tam boy aralığını, ortalamaları ve standart sapmaları gösteren tablo

İstasyon	N	Tam Boy ort \pm ss (cm)	Tam Boy Aralığı (cm)
Kumkale	34	49.60 \pm 9.89	35.0-67.0
Muğla	44	51.53 \pm 9.88	33.4-72.2
Bafa	17	75.92 \pm 3.85	67.8-81.3

İstasyonlardan toplanan yılan balıklarının otolitleri çıkarıldıktan sonra çekilen dış hattı çıkarılmış fotoğraflar Şekil 5'te gösterilmiştir. Her üç istasyondan toplanan örneklerin otolit şekilleri çekilen mikroskopik görüntülerde birbirine benzerlik göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 5: Siyah zemin üzerinde çekilmiş bir otolit fotoğrafı ve program tarafından dış hattı çıkarılmış bir otolit fotoğrafı.

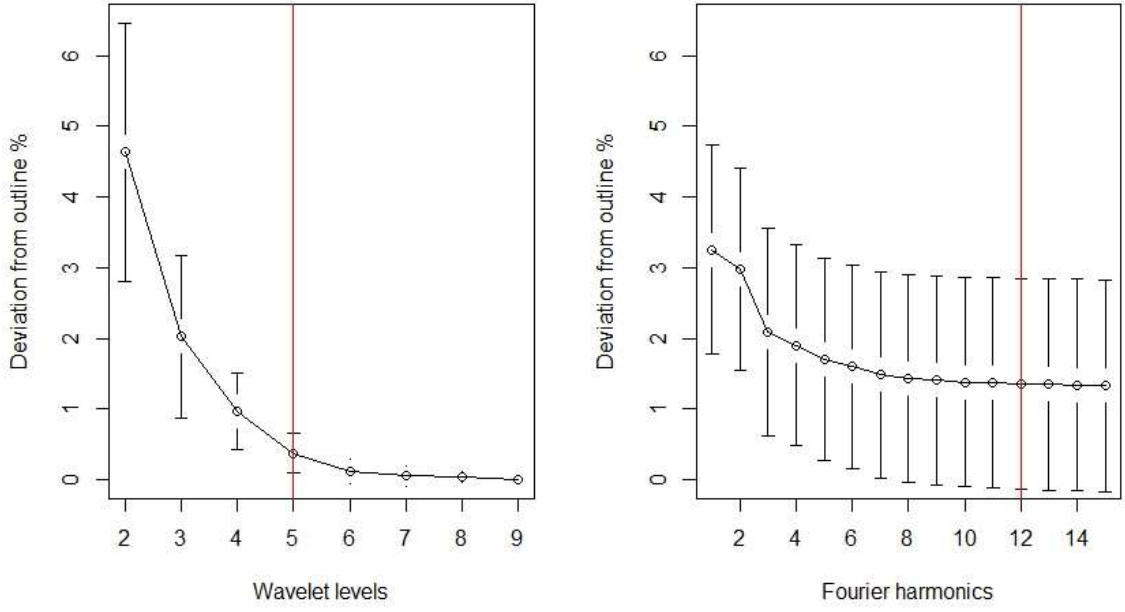


Şekil 6: Her istasyondan otolit örnekleri.

4.1. Hassasiyet Testi

Şekil 7’de da görüldüğü üzere Wavelet seviyelerinde kontur modellemesinde hassasiyet seviyesinde % 99.5 seviyesine ulaşıldı. Fourier modellemesine göre ise hassasiyet seviyesi % 98.25 seviyesine ulaşılmıştır. Çalışmada Wavelet ile devam edilmesi gerektiği de bu seviyeler dahilinde gösterildi.

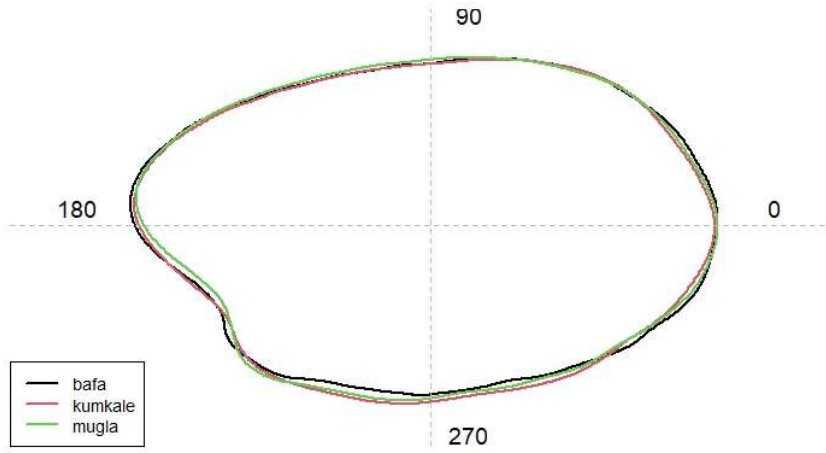
Önceki yapılan çalışmalarda Wavelet modellemesinin hassasiyetinin yüksek olduğu belirtilmiştir (Libungan vd., 2015). Bu çalışma verileri önceki çalışma sonuçları ile tutarlıdır.



Şekil 7: Wavelet ve Fourier seviyelerine göre kontur modellemesinde ulaşılan hassasiyet seviyelerini gösteren grafik.

4.2. Otolit şekillerinin istasyonlara göre kalitatif karşılaştırılması

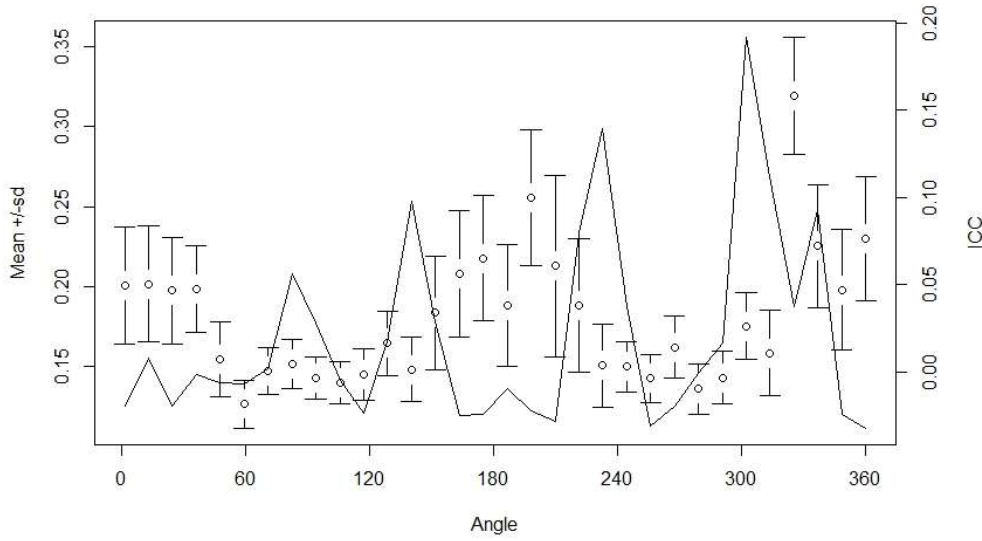
Wavelet analiz yöntemine göre her bir istasyon için hesaplanan ortalama otolit şekilleri Şekil 8’de gösterildi. İstasyonların birbirlerinden birkaç nokta hariç ayrıştığı gözlemlenmektedir. En çok ayrışılan bölgeler; 180 ile 270 derece arasında otolitin iç bükey girintisinin bulunduğu bölge ve bu bölgeden sonra başlayan otolitin ventral bölümünde bulundan Bafa ayrışmasıdır.



Şekil 8: Ortala istasyon şekillerinin görselleştirilmesi ve kıyaslanması.

4.3 Otolit şekillerinin istasyonlara göre kantitatif karşılaştırılması

Şekil 8'de görülen farklılaşmaların tam olarak nelerde bulunduğu Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu ayrışmalar yaklaşık 0-50 derece arası ve yine yaklaşık olarak 150-200 derece arasında olduğu gözlemlendi. Grafiğin sonlarına doğru yaklaşık 340 derecede başlayan ayrışma ise tekrar 0 ile birleşip 50 dereceye doğru gittiği görüldü. Güncel çalışmalara bakıldığı zaman bu ayrışmaların hangi derecede, neden kaynaklı olduğunu gösteren çalışmalar mevcut değildir.



Şekil 9: Wavelet katsayılarının ortalaması ve standart sapması (Noktalar) ile korelasyon sınıflandırması (Düz çizgi).

4.4. Otolit şekillerinin istatistik olarak karşılaştırılması

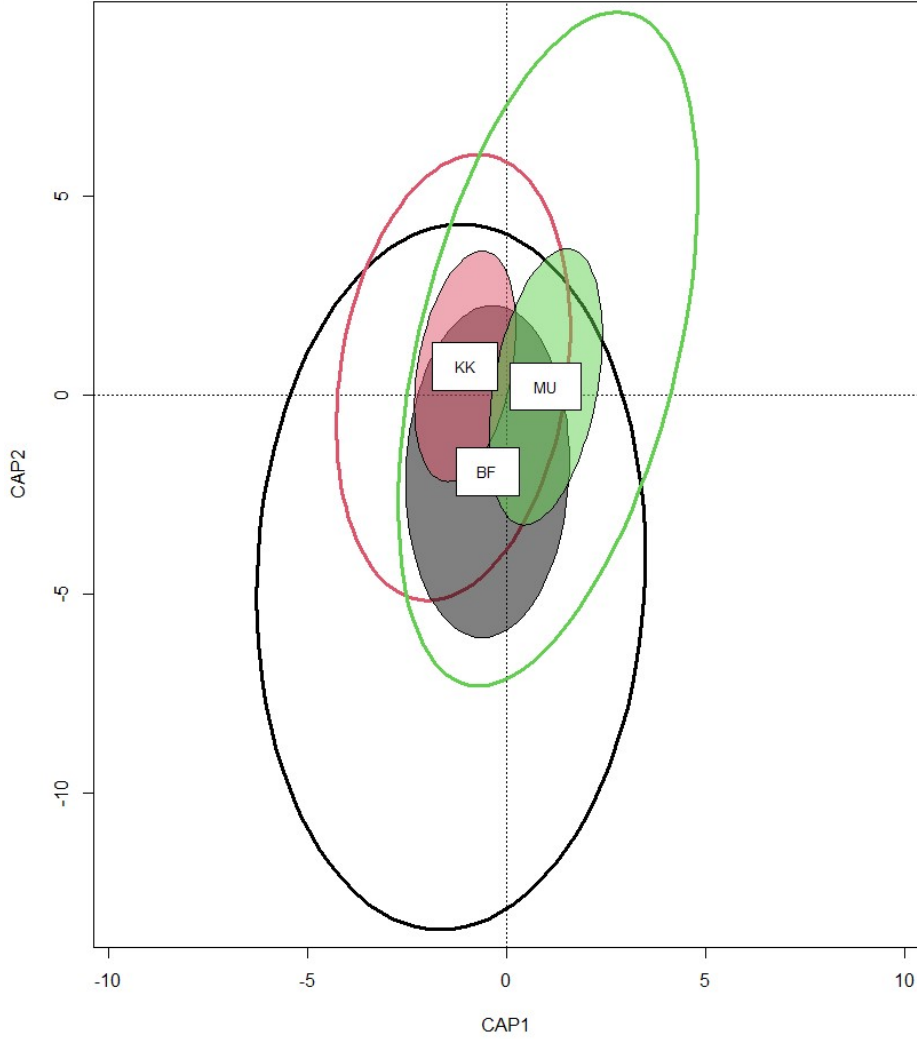
PERMANOVA testi Tablo 2’de de görüldüğü üzere çeşitli istasyonlardan toplanan yılan balıklarının otolit şekillerine dayalı olarak hesaplanan ortalama Wavelet katsayıları arasında önemli farklılıklar olduğunu gösterdi ($P < 0.05$). İstasyonlar arasındaki farklılıklara baktığımızda ise birbirine nispeten daha yakın olan Bafa ve Muğla istasyonlarının arasında farklılık olmadığı gözlemlendi ($P > 0.05$). Muğla ve Bafa istasyonlarının Kumkale istasyonu ile arasındaki farka bakıldığında ise yine istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu gözlemlendi ($P < 0.05$).

Tablo 3: PERMANOVA testi sonuçları.(df: serbestlik derecesi, F: Yapay F değeri , p: olabilirlik derecesi ($\alpha = 0,05$))

İstasyonlar	df	F	p ($\alpha = 0,05$)
Muğla-Bafa	1	1.7002	0.082
Kumkale-Bafa	1	1.7206	0.042
Kumkale-Muğla	1	2.3242	0.035
Kumkale-Muğla-Bafa	2	2.2412	0.011

4.5. Wavelet katsayılarının kanonik analizi

Şekil 10'dan yola çıkarak otolit şekli açısından kendi içinde en çok farklılığın Bafa istasyonu olduğu görülmüştür. Bununla beraber Kumkale ve Muğla birbirlerinden CAP1 ekseninde ayrışırken Bafa ise bu iki istasyondan CAP2 ekseninde ayrışmaktadır. Yine grafik açısından CAP1 ekseninde istasyonların soldan sağa; Kumkale, Bafa ve Muğla şeklinde sıralanmış oldu. Önceki çalışmalar otolit şekillerine ait alt popülasyon kümelerinin aynı türün otolitlerinde belirgin bir ayırım olmadığını kaydetmişlerdir. (Wiff vd., 2020) Bu çalışmada da benzer şekilde üç istasyon arasında farklılaşma görülse de burada çalışılan üç grubun tamamen birbirinden ayrılmadığı görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Örneklenen üç alan için Wavelet'in temel koordinatlarının kanonik analizi.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada amaç otolit şekillerini kullanarak Avrupa yılan balığı stoklarının ayırt edilip edilemeyeceğini ortaya koymaktır. Avrupa yılan balığı otolit şekil analizinin stokları ayırt etmek için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Ayrıca; stokların toplandığı istasyonlar arasındaki mesafenin de stok ayırımında önemli olabileceği sonucuna varıldı. Zira, birbirine nispeten yakın istasyonların otolit şekilleri arasında anlamlı farklar bulunmazken ($P>0.05$) birbirine daha uzak olan istasyonlar arasında anlamlı farklar bulundu ($P<0.05$). Bu çalışma ülkemizde otolit şekil analizi ile Avrupa yılan balığı stok ayırımının yapılmasına dair ilk çalışmadır.

Bu çalışmada sadece üç istasyondan toplanan örnekler kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının başlangıcında planlandığı üzere Edirne'den örnek toplanamadığı ve Hatay'dan toplanan örneklerin (8 adet) yetersiz olması nedeniyle analize dahil edilememiştir. Edirne'den Hatay'a yapılacak örneklemeler ile Türkiye'deki tüm dağılım alanları kapsayacak şekilde daha kapsamlı bir çalışmanın yapılması önerilir.

Bu çalışmada kullanılan örnekleme ve yöntemler her ne kadar çalışmanın amacına ulaşması için yeterli olsa da kullanılan örnek sayısı (özellikle Bafa istasyonu 17 örnek) çalışma sonucunda elde edilen istatistik analizlerin önem derecelerini etkilemiş olabilir. Çalışmaya baktığımız zaman istasyonlar arası mesafe arttıkça P değerinin küçüldüğünü yani anlamlı farklılaşmanın arttığını görüldü. Daha çok istasyon ve daha fazla örnek ile çalışarak bu ilişkinin üzerine gidilebilir. Yapılan literatür çalışmalarında genellikle en az 60-90 örnek (Sadeghi, 2020) ile çalışıldığı düşünüldüğünde sonraki çalışmalarda "İstasyonlar arası mesafe arttıkça anlamlı farklılık artar" hipotezinin doğruluğu Avrupa yılan balığı için test edilebilir. Stoklar arasındaki mesafe ile otolit şekilleri arasındaki ilişkiyi başka türlerde destekleyen çalışmalar bulunmaktadır (Sadeghi, 2020).

Bir diğer yapılabilecek çalışma iste otolit haritaları oluşturmaktır. Daha geniş kapsamda, daha çok istasyon ile çalışarak stok ayırımı yapılabilir ve bu ayırma göre toplandığı istasyonu belirsiz olan balıklar için bu oluşturulacak olan otolit haritalarından yararlanılabilir. Bu haritalar sadece istasyonlar için de olma zorunda değildir. Örneğin balıkların cinsiyet özellikleri eğer otolit şeklinde farklılık yarattığı kanıtlanır ise balığın cinsiyetine otolitine bakarak söylemek mümkün olabilir. Bu haritalar otolit şeklinin farklılık

gösterdiği herhangi bir türün herhangi bir özelliği için oluşturulabilir ve canlıların yaşam geçmişlerini aydınlatmak için kullanılabilir.



KAYNAKÇA

- Algan B., 2009. Kemer Baraj Gölü'ndeki (Aydın) Yılan (*Anguilla anguilla* L. 1758) ve Yayın Balığı (*Silurus glanis* L. 1758)'nin Toplam Yağ Asidi Bileşenlerini Mevsimsel Değişimi. Yüksek Lisans. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye.
- Anderson, M. J., & Willis, T. J. (2003). Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology*, 84(2), 511-525.
- Appelbaum, S., & Hechte, T. (1978). Otolith length/fish length relationship of leptocephali, elvers, and sub-adult (reared) eels *Anguilla anguilla*. *Environmental Biology of Fishes*, 3(2), 245-247.
- Arai, T., Otake, T., Tsukamoto, K., (2000). Timing of metamorphosis and larval segregation of the Atlantic eels, *Anguilla rostrata* and *A. anguilla*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Marine Biology*, 137: 39-45.
- Başusta, N., & Khan, U. (2021). Sexual dimorphism in the otolith shape of shi drum, *Umbrina cirrosa* (L.), in the eastern Mediterranean Sea: Fish size–otolith size relationships. *Journal of Fish Biology*, 99(1), 164-174.
- Begg, G.A., Friedland, K.D., Pearce, J.B., (1999). Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fish. Res.* 43, 1–8.
- Bertin L., (1956). *Eels A Biological Study*. Cleaver- Hume Press Ltd., London. 192 pp.
- Bird, J.L., Eppler, D.T., Checkley, D.M. (1986). Comparison of herring otoliths using Fourier series shape analyses. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1228-1234.
- Boëtius, J., (1985). Greenland eels, *Anguilla rostrata* Lesueur. *Dana*, 4: 41-48.
- Bornarel, V., Lambert, P., Briand, C., Antunes, C., Belpaire, C., Ciccotti, E., ... & Drouineau, H. (2018). Modelling the recruitment of European eel (*Anguilla anguilla*) throughout its European range. *ICES Journal of Marine Science*, 75(2), 541-552.
- Brody, S., (1945). *Bioenergetics and Growth*. Reinhold, New York, 1023 pp.
- Campana, S. E., & Casselman, J. M. (1993). Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(5), 1062-1083.

- Capoccioni, F., Costa, C., Aguzzi, J., Menesatti, P., Lombarte, A., & Ciccotti, E. (2011). Ontogenetic and environmental effects on otolith shape variability in three Mediterranean European eel (*Anguilla anguilla*, L.) local stocks. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 397(1), 1-7.
- Cardinale, M., Doering-Arjes, P., Kastowsky, M., et al. (2004). Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 158-167.
- Cartes, J.E., Barsanti, M., Martínez-Aliaga, A., et al. (2017). Recent reconstruction of deep-water macrofaunal communities recorded in Continental Margin sediments in the Balearic Basin. *DeepSea Res. Part I* 125: 52-64.
- Casselman, J.M., Collins, J.J., Crossman, E.J., et al. (1981). Lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) stocks of the Ontario waters of Lake Huron. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1772-1789.
- Castonguay, M., Simard, P., Gagnon, P., (1991). Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) stock discrimination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 296–302.
- Cresci, A. (2020). A comprehensive hypothesis on the migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*). *Biological Reviews*, 95(5), 1273-1286.
- Daverat, F., Tomas, J., Lahaye, M., Palmer, M., Elie, P., (2005). Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios: validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde–Garonne–Dordogne watershed. *Mar. Freshwater Res.* 56, 619–627
- Dawson, W. A. (1991). Otolith measurement as a method of identifying factors affecting first-year growth and stock separation of mackerel (*Scomber scombrus* L.). *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 47:303–317.
- Dekker, W. (Ed.). (2002). *Monitoring of glass eel recruitment*. RIVO-Netherlands institute for fisheries research.

- Doering, P., & Ludwig, J. (1990). Shape analysis of otoliths—a tool for indirect ageing of eel, *Anguilla anguilla* (L.)?. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 75(6), 737-743.
- Elsdon, T. S., Wells, B. K., Campana, S. E., Gillanders, B. M., Jones, C. M., Limburg, K. E., Secor, D. H., Thorrold, S. R., Walther, B. D. (2008). Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: Hypotheses, assumptions, limitations and inferences. In: *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* (Gibson, R. N., Atkinson, R. J. A. and Gordon, J. D. M., Eds.). Vol. 46.
- Erten, A. (2019). *Köyceğiz gölü ve dalaman havzalarının morfolotektonik özellikleri* (Master's thesis, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ezzat, A. E., El-Seraffy, S. S., (1977). Food of *Anguilla anguilla* in Lake Manzalah, Egypt. *Marine Biology*, 41(3): 287-291
- Fitch, J.E., Brownell, R.L. (1968). Fish otoliths in cetacean stomachs and their importance in interpreting feeding habits. *J. Fish. Res. Board Can.* 25: 2561-2574.
- Gaemers, P.A.M. (1984). Taxonomic position of Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths. *Neth. J. Zool.* 34: 566-595.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American geophysical union*, 13(1), 350-361.
- Jacoby, D., & Gollock, M. (2014). *Anguilla anguilla. The IUCN red list of threatened species, 2014*
- Jearld, A., (1983). Age Determination. In: Nielsen, L.A. ve Johnson, D.L. Ed. *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 301-324.
- Jones, C.M., (1992). Development and application of the otolith increment technique. In: Stevenson, D.K., Campana, S.E. (Eds.), *Otolith microstructure examination and analysis: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 117, pp. 1–11.
- Kanjuh, T., Mrdak, D., Piria, M., Tomljanović, T., Joksimović, A., Talevski, T., & Milošević, D. (2018). Relationships of otolith dimension with body length of

- European eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) from Adriatic catchment of Montenegro. *Acta Adriatica*, 59(1), 91-96.
- Kullmann, B., Pohlmann, J. D., Freese, M., Keth, A., Wichmann, L., Neukamm, R., & Thiel, R. (2018). Age-based stock assessment of the European eel (*Anguilla anguilla*) is heavily biased by stocking of unmarked farmed eels. *Fisheries Research*, 208, 258-266.
- Küçüksümbül, A., Akar, A.T., Tarcan, 2020. Bafa Gölü'nün Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik incelenmesi: Sürdürülebilir Su Kaynak Yönetimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 44: 197-224.
- L'Abée-Lund, J. H. (1988). Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Biology*, 33(6), 899-903.
- Lenaz, D., Miletic, M., Pizzul, E., Vanzo, S., & Adami, G. (2006). Mineralogy and geochemistry of otoliths in freshwater fish from Northern Italy. *European Journal of Mineralogy*, 18(2), 143-148.
- Liebig, J. von. (1855). Die Grundsätze der Agrikulturchemie mit Rück sicht auf die in England angestellten Untersuchungen (in England: The relations of chemistry to agriculture and the agricultural experiments of Mr. J.B. Lawes). 1st and 2nd ed. Friedrich Vieweg und Sohn Publ. Co., Braunschweig, Germany.
- Lin, Y. J., Yalçın-Özdilek, S., Iizuka, Y., Gümüş, A., & Tzeng, W. N. (2011). Migratory life history of European eel *Anguilla anguilla* from freshwater regions of the River Asi, southern Turkey and their high otolith Sr: Ca ratios. *Journal of Fish Biology*, 78(3), 860-868.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae* (Vol. 1, No. part 1, p. 532). Holmiae (Laurentii Salvii): Stockholm.
- Lombarte, A., Torres, G.J., Morales-Nin, B., (2003). Specific *Merluccius* otolith growth patterns related to phylogenetics and environmental factors. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 83, 277-281.

- Milošević, D., Bigović, M., Mrdak, D., Milašević, I., & Piria, M. (2021). Otolith morphology and microchemistry fingerprints of European eel, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) stocks from the Adriatic Basin in Croatia and Montenegro. *Science of The Total Environment*, 786, 147478.
- Moura, A., Dias, E., López, R., & Antunes, C. (2022). Regional Population Structure of the European Eel at the Southern Limit of Its Distribution Revealed by Otolith Shape Signature. *Fishes*, 7(3), 135.
- Mugiya, Y., Tanaka, S. (1995). Incorporation of water-borne strontium into otoliths and its turnover in the goldfish *Carassius auratus* - effects of strontium concentrations, temperature, and 17-Beta-Estradiol. *Fish. Sci.*, 61: 29–35.
- Narin, N. Ö., & Tanatmış, M. (2004). Gönen (Balıkesir) ve Biga (Çanakkale) Çayları'nın Ephemeroptera (Insecta) limnofaunası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 16-25.
- Nolf, D. (1985). Otolithi piscium. In: Schultze H.P. (eds), *Handbook of Paleoichthyology*, vol. 10, pp. 1-145. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Nzau Matondo, B., Benitez, J. P., Dierckx, A., Rollin, X., & Ovidio, M. (2020). An evaluation of restocking practice and demographic stock assessment methods for cryptic juvenile European eel in upland rivers. *Sustainability*, 12(3), 1124.
- Öner, İ. V., Yeşilyurt, M. K., YILMAZ, E. Ç. (2017). Wavelet Analiz Tekniği Ve Uygulama Alanları. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 42-56.
- Özdemir, K., 2001 Protein Düzeyleri Farklı rasyonların yılan balığı (*Anguilla anguilla* L. 1758) yavrularının gelişimi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
- Özoğul İ., 2012. Mersin Bitkisi (*Myrtus communis* L.) ve Defne (*Laurus nobilis* L.)'den Elde Edilen Ekstraktların Yılan Balığı (*Anguilla anguilla* L. 1758) Filetolarının Soğuk Depolama (4°C) Süresince Duyusal, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Kalitesi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye
- Özpiçak, M., Saygın, S., Aydın, A., Hancer, E., Yılmaz, S., & Polat, N. (2019). 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.
- Pearl, R., Reed, L.J., (1923). On the mathematical theory of population growth. *Metron* 3, 6–19.
- Pierce, G.J., Boyle, P.R., Diack, J.S.W. (1991). Identification of fish otolith and bones in faces and digestive tracts of seals. *J. Zool. London* 224: 320-328
- Pike, C., Crook, V., & Gollock, M. (2020). *Anguilla anguilla*. The IUCN red list of threatened species 2020: e. T60344A152845178. *International Union for Conservation of Nature*, 2020-2.
- Platt, C., Popper, A.N., (1981). Fine structure and function of the ear. In: Tavolga, W.N., Popper, A.N., Fay, R.R. (Eds.), *Hearing and sound communication in fishes*. SpringerVerlag, New York, pp. 3–38.
- Sadeghi, R., Esmaeili, H. R., Zarei, F., & Reichenbacher, B. (2020). Population structure of the ornate goby, *Istigobius ornatus* (Teleostei: Gobiidae), in the Persian Gulf and Oman Sea as determined by otolith shape variation using ShapeR. *Environmental Biology of Fishes*, 103(10), 1217-1230.
- Sarı H.M., Balık S, Ustaoglu MR, İlhan A. 2006. Biga Yarımadasının Tatlısu İhtiyofaunasının Dağılımı ve Ekolojisi, Kuzey-Batı Anadolu, Türkiye. *Turkish Journal of Zoology*. 30:35-45.
- Saygın, S., Özpiçak, M., Yılmaz, S., & 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(4), 570-577.
- Schmidt, J., (1922). The breeding places of the eel. *Phil. Trans. R.Soc. (Ser. B)* 211: 178-208.
- Schmidt, W. (1969). The otoliths as a means for differentiation between species of fish of very similar appearance. In: *Proceedings-Symposium of Oceanography of Fisheries Research in Tropical Atlantic*, (1966 Abidjan, Ivory Coast), pp. 393-396. UNESCO, FAO, OAU.

- Sturrock, A. M., Trueman, C. N., Milton, J. A., Waring, C. P., Cooper, M. J., Hunter, E. (2014). Physiological influences can outweigh environmental signals in otolith microchemistry research. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 500: 245–264.
- Taşdemir, M., & Göksu, Z. L. (2001). Asi Nehri'nin (Hatay, Türkiye) Bazı Su Kalite Özellikleri. *Su Ürünleri Dergisi*, 18(1).
- Tesch, F. W., (1977). *The Eel: Biology and Management of Anguillid Eels:-English Ed.* Ed. P. H. Greenwood. Chapman an Hall.
- Tesch, F.W., (2003). *The eel*, 5th edn. Oxford: Blackwell Science
- Thomas, O. R., & Swearer, S. E. (2019). Otolith biochemistry—a review. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(4), 458-489.
- Toku T., 2005. Farklı sıcaklık koşullarında vakumlu ve vakumsuz ortamlarda depolanan yılan balığı yağı (*Anguilla anguilla* L. 1758) fileto besin madde kompozisyonlarının zamana bağlı olarak değişimi. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi, Türkiye.
- Tsukamoto, K., Nakai, I., & Tesch, W. (1998). Do all freshwater eels migrate?. *Nature*, 396(6712), 635-636.
- Tzeng, W.N., Severin, K.P., Wickström, H., (1997). Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 149 (1–3), 73–81.
- Ünlüsayın M., 1999. Yılan Balığı (*Anguilla anguilla* L. 1766), Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) ve Sudak balığı (*Stizostedion lucioperca* LINNEAUS 1758)'nın sıcak dumanlama sonrası lipid ve protein. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye.
- Van De Wolfshaar, K. E., Tien, N., Winter, H. V., De Graaf, M., & Bierman, S. M. (2014). A spatial assessment model for European eel (*Anguilla anguilla*) in a delta, The Netherlands. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (412), 02.
- Wiff, R., Flores, A., Segura, A. M., Barrientos, M. A., & Ojeda, V. (2020). Otolith shape as a stock discrimination tool for ling (*Genypterus blacodes*) in the fjords of Chilean Patagonia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 54(2), 218-232.

- Yalçın Özdilek, Ş., Balkan, E.İ., Yalim, B., Emre, Y., Küçük, F., Akin, Ş., et al., (2018) "Some Biometric Characteristics of *Anguilla anguilla* in Köyceğiz Lagoon System In Turkey", II. International Fisheries Symposium IFSC 2018, Girne, Kuzey Kıbrıs Türk Cum., Pp.41-43.
- Yalçın Özdilek, Ş., Gümüş, A., Dekker, W., (2006). "Growth of European Eel in A Turkish River at The South-Eastern Limit of Its Distribution", The bulletin of the European Ichthyological Society, vol.2, pp.55-64
- Yalçın Özdilek, Ş., Gümüş, A., Dekker, W., (2006). "Growth of European Eel in A Turkish River at The South-Eastern Limit of Its Distribution", The bulletin of the European Ichthyological Society, vol.2, pp.55-64
- Yalçın Özdilek, Ş., Solak, K., (2007). "The Feeding of European Eel (*Anguilla anguilla* L.) In The River Asi, Turkey.", Electronic Journal of Ichthyology, vol.1, pp.26-34
- Yedier, S., & Bostancı, D. (2022). Molecular and otolith shape analyses of *Scorpaena* spp. in the Turkish seas. *Turkish Journal of Zoology*, 46(1), 78-92.
- Zengin, M., Saygin, S., & Polat, N. A. Z. M. I. (2015). Otolith shape analyses and dimensions of the anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Black and Marmara Seas. *Sains Malaysiana*, 44(5), 657-662.