

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**DÜDEN ÇAYI HAVZASINDAKİ ENDEMİK *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei:
Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULASYONLARININ BAZI BÜYÜME
VE GEOMETRİK MORFOMETRİ PARAMETRELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elif ACAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**DÜDEN ÇAYI HAVZASINDAKİ ENDEMİK *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei:
Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULASYONLARININ BAZI BÜYÜME
VE GEOMETRİK MORFOMETRİ PARAMETRELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elif ACAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜDEN ÇAYI HAVZASINDAKİ ENDEMİK *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei:
Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULASYONLARININ BAZI BÜYÜME
VE GEOMETRİK MORFOMETRİ PARAMETRELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif ACAR
BİYOLOJİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜDEN ÇAYI HAVZASINDAKİ ENDEMİK *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei:
Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULASYONLARININ BAZI BÜYÜME
VE GEOMETRİK MORFOMETRİ PARAMETRELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elif ACAR
BİYOLOJİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANSTEZİ

Bu tez / / 2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zehra Arzu BECER

Doç. Dr. Salim Serkan GÜÇLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Nehir KAYMAK (Danışman)

ÖZET

DÜDEN ÇAYI HAVZASINDAKİ ENDEMİK *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei: Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULASYONLARININ BAZI BÜYÜME VE GEOMETRİK MORFOMETRİ PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif ACAR

Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nehir KAYMAK

Mayıs 2023; 42 sayfa

Balıklar gibi özellikle geniş dağılım alanlarına sahip organizmalar genellikle kaynak ve habitat kullanımına bağlı olarak yerel ekolojik uzmanlıklar sergilerler. Dolayısıyla farklı çevresel koşullarda (yada farklı habitat tiplerinde) yaşayan popülasyonların vücut morfolojisi önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Bunun yanında rezervuarlı büyük barajlar da, balık morfolojisinde farklı seleksiyona neden olabilir; ancak, hidroelektrik santrallerin (HES) ve şelalelerin neden olduğu izolasyonun etkisi büyük ölçüde bilinmemektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği Düden Çayı havzası uzun süredir yoğun antropojenik baskılar (evsel ve endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler, 2 adet HES, yabancı balıklar vs.) nedeniyle büyük ölçüde tehdit altındadır. Düden Çayı, endemik ve popülasyonları tehdit altında olan bir balık türüne, *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992 (Cypriniformes: Leuciscidae)'ne ev sahipliği yapmaktadır. Böylesine yoğun antropojenik baskı altındaki bir ekosistemde habitat tiplerine ve izolasyona bağlı olarak *P. antalyae* popülasyonlarının durumunun ve vücut morfolojisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda hazırlanmış olan bu çalışmada *P. antalyae* alt popülasyonlarının i) popülasyon demografisi aracılığıyla yaşam öyküsü özelliklerinin ve ii) *P. antalyae* alt popülasyonlarının morfolojik varyasyon (vücut büyüklüğü ve şekli) örüntülerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bunun için Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı boyunca belirlenen üç istasyondan (Kaynak, yukarı Düden ve aşağı Düden) yakalanmış toplam 172 bireyin popülasyon özelliklerinin karşılaştırılması için popülasyon büyüklüğü, biyokütle ve kondisyon durumları ile boy-ağırlık ilişkileri hesaplanmıştır. Bunun yanında toplam 120 birey üzerinde 13 landmark noktası oluşturularak vücut şeklindeki varyasyonlar geometrik morfometri analizi ile değerlendirilmiştir. Habitat tipi ve izolasyona bağlı olarak popülasyonlar arasında şekil farklılık/benzerliklerinin ortaya çıkarılması için bazı tek (ANOVA) ve çok değişkenli istatistiksel analizler (MANOVA, PCA ve DFA) kullanılmıştır.

Kaynak popülasyonunun bolluk ve biyokütlesi diğer iki popülasyondan (Yukarı Düden ve Aşağı Düden) önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. Popülasyonların kondisyon değerleri de her üç lokasyonda birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Kaynak ve Aşağı Düden popülasyonlarının pozitif allometrik büyüme özelliği gösterdiği, buna karşın Yukarı Düden popülasyonuna ait bireylerin ise negatif allometrik büyüme gösterdikleri belirlenmiştir.

ANOVA sonuçları vücut büyüklüğünün (centroid büyüklük) lokasyona bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. Buna göre Kaynak popülasyonundaki bireyler en büyük vücuda sahipken, aşağı Düden popülasyonu en küçük vücuda sahiptir. Çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçları Düden çayı boyunca *P. antalyae*'nin alt popülasyonu arasında vücut şeklinde belirgin morfolojik farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Özellikle Kaynak ve akarsu popülasyonları arasında habitat tipinden kaynaklanan ve HES ve şelalenin neden olduğu izolasyondan kaynaklanan şekil farklılıkları oldukça belirgindir. Sonuç olarak, özellikle birbirleriyle bağlantılı popülasyonların vücut şeklindeki farklılıklar fenotipik esneklik ile açıklanabilirken, HES ve şelalenin neden olduğu izolasyondan kaynaklanan vücut şeklindeki varyasyonun genetik farklılaşmadan, fenotipik esneklikten veya her ikisinin kombinasyonundan ortaya çıkabileceği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: *Pseudophoxinus antalyae*, Düden Çayı, geometrik morfometri, bariyer etkisi, habitat tipi, popülasyon özellikleri

JÜRİ:

Prof. Dr. Zehra Arzu BECER

Doç. Dr. Salim Serkan GÜÇLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Nehir KAYMAK (Danışman)

ABSTRACT

EVALUATION OF SOME GROWTH AND GEOMETRIC MORPOMETRIC PARAMETERS OF ENDEMIC *Pseudophoxinus antalyae* (Teleostei: Leuciscidae) BOGUTSKAYA, 1992 POPULATIONS IN THE DÜDEN STREAM BASIN

Elif ACAR

MSc Thesis in Biology

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Nehir KAYMAK

May 2023; 42 pages

Organisms with particularly wide ranges of distribution, such as fish, often exhibit local ecological specializations based on resource and habitat use. Therefore, the body morphology of populations living in different environmental conditions (or different habitat types) can differ significantly. Besides, large dams with reservoirs may cause different selections in fish morphology; however, the impact of the isolation caused by hydroelectric power plants (HPP) and waterfalls is largely unknown.

The Düden Stream basin, where this study was conducted, has been under threat for a long time due to intense anthropogenic pressures (domestic and industrial wastes, agricultural activities, 2 HPP, non-native fish introduction, etc.). Düden Stream is home to an endemic and threatened fish species, *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992 (Cypriniformes: Leuciscidae). It is aimed to evaluate the population status and body morphology of *P. antalyae* depending on habitat types and isolation in an ecosystem under such intense anthropogenic pressure. In this study, which was prepared in this direction, the life history characteristics of *P. antalyae* subpopulations i) through population demographics, and ii) to identify patterns of morphological variation (body size and shape).

For this purpose, population abundance, biomass and condition, and length-weight relationships were calculated to compare the population characteristics of a total of 172 individuals caught from three sites (Kaynak, upper and lower Düden) along the Kırkgöz Spring-Düden Stream basin. In addition, 13 landmarks were created on a total of 120 individuals, and variations in body shape were evaluated by geometric morphometry analysis. Some univariate (ANOVA) and multivariate statistical analyzes (MANOVA, PCA, and DFA) were used to reveal shape differences/similarities between populations depending on habitat type and isolation.

The abundance and biomass of the Kaynak population were found to be significantly higher than the other two populations. Condition values of the populations also differed significantly from each other in all three locations. It was determined that the Kaynak and Lower Düden populations showed positive allometric growth, whereas the individuals belonging to the Upper Düden population showed negative allometric growth. ANOVA results revealed that body size (centroid size) varied significantly depending on locations. While the individuals in the Kaynak population have the largest body, the Lower Düden

population has the smallest body. Multivariate statistical analysis results revealed significant morphological differences in body shape among the subpopulation of *P. antalyae* along the Düden Stream. Especially between the lentic and lotic populations, the shape differences arising from the habitat type and the isolation caused by the HPP and waterfall are quite evident. As a result, differences in body shape, especially among interconnected populations, can be explained by phenotypic flexibility, the variation in body shape resulting from isolation caused by HPP and waterfall may arise from genetic differentiation, phenotypic flexibility, or a combination of both.

KEYWORDS: *Pseudophoxinus antalyae*, Düden Stream, geometric morphometry, barrier effect, habitat type, population characteristics

COMMITTEE:

Prof. Dr. Zehra Arzu BECER

Doç. Dr. Salim Serkan GÜÇLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Nehir KAYMAK (Danışman)

ÖNSÖZ

Bu çalışmada öncelikle araştırmalarım, arazi çalışmalarım sırasında ve tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, yapamayacağımı düşündüğüm her an beni yeniden motive eden, her konuda desteği ile yanımda olan değerli danışman hocam Dr. Öğ. Üyesi Nehir KAYMAK'a (Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü), hem arazi hem laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Biyoloji Bölümü lisans öğrencisi arkadaşlarım Mustafa GÜRDAL ve Can Mert Gören'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca benim akademik hayata atılmam konusunda desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Yılmaz EMRE'ye teşekkürlerimi borç bilirim. Bunun yanında yüksek lisans konusunda ikna çalışmalarıyla hep yanımda olan, her kararımda yanımda olan annem, babam, kardeşime ve bu yolda destekleyen tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Model Organizma: <i>Pseudophoxinus antalyae</i>	4
2.2. Popülasyon Özellikleri	5
2.3. Geometrik Morfometri	5
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Çalışma Alanı	9
3.2. Balıkların Örneklenmesi	12
3.3. Populasyon Özellikleri	13
3.4. Geometrik Morfometri Analizi	13
3.5. Veri Analizleri	16
4. BULGULAR	18
4.1. Populasyon Özellikleri	18
4.2. Morfolojik Özellikler	23
4.2.1. Vücut büyüklüğü (centroid büyüklüğü) değişimi	23
4.2.2. Şekil değişimi	23
5. TARTIŞMA	29
5.1. <i>P. antalyae</i> 'nin Populasyon Özellikleri	29
5.2. <i>P. antalyae</i> Populasyonlarının Morfolojik Varyasyonu	30
6. SONUÇLAR	33
7. KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Düden Çayı Havzasındaki Endemik Pseudophoxinus Antalyae (Teleostei: Leuciscidae) Bogutskaya, 1992 Populasyonlarının Bazı Büyüme Ve Geometrik Morfometri Parametrelerinin Değerlendirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

17/07/2023

Elif ACAR

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g	: gram
m	: Metre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
km	: Kilometre
W	: Ağırlık
L	: Standart uzunluk
%	: Yüzde
K	:Bağıl Kondisyon Faktörü

Kisaltmalar

GM	: Geometrik Morfoloji
GPA	: Genel Procrustes Analizi
ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi
PCA	: Temel Bileşen Analizi
DFA	: Diskriminant Analizi
CPUE	: Birim Çaba Düşen Av Miktarı
MANOVA	: Çok değişkenli varyans analizi
vd	: ve diğerleri
HES	:Hidroelektrik Santrali
TB	:Total boy

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Geleneksel morfometrik yaklaşımı (Tjarks (2009)'dan alınmıştır).....	6
Şekil 2.2. Box-truss gösterimi. (A) Ölçümler için iyi tanımlanmış uç noktalar, (B) Tanımlanmış uç noktaları kullanan basit bir truss şeması (Tjarks, 2009).....	7
Şekil 2.3. Şekil 2.2'te tanımlanan uç noktalardan 120 olası ölçümün tümü.	8
Şekil 3.1. Araştırma alanı ve üç istasyonun (1., 2. ve 3. istasyonlar) konumları.....	10
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki üç farklı istasyondan genel görünüm: a) Kaynak, b) Yukarı Düden, c) Aşağı Düden.....	11
Şekil 3.3. <i>Pseudophoxinus antalyae</i> örneği	12
Şekil 3.4. <i>Pseudophoxinus antalyae</i> sol tarafında sarı renkle sayısallaştırılmış anatomik landmark noktaları (açıklamalar için bkz. Çizelge 3.1).	14
Şekil 3.5. Yer işareti ve hizalanmış örnekler tarafından oluşturulmuş <i>P. antalye</i> 'nin konsensüs şekli.....	15
Şekil 4.1. Her üç lokasyondan yakalanan bireylerin total boy (a) ve ağırlık (b) kompozisyonu	18
Şekil 4.2. Düden Çayı boyunca üç istasyondaki hesaplanmış <i>P. antalyae</i> popülasyonunun bolluğu (CPUE) (a) ve biyokütle (b) değerleri (karelerin içindeki yatay çizgiler ortalama değerleri ve uzun dikey çubuklar standart sapmaları ifade etmektedir).	20
Şekil 4.3. Düden Çayı boyunca üç istasyondaki hesaplanmış <i>P. antalyae</i> popülasyonlarının kondisyon faktörlerinin dağılımı (karelerin içindeki yatay çizgiler ortalama değerleri ve uzun dikey çubuklar standart sapmaları ifade etmektedir).	20
Şekil 4.4. Lokasyonlara göre: Kırkgöz (a), Yukarı Düden (b) ve Aşağı Düden (c) popülasyonlarına ait balıkların Boy-Ağırlık arasındaki ilişki durumu.	22
Şekil 4.5. Popülasyonların vücut büyüklüğündeki (Centroid büyüklüğü) alansal farklılıklar. Hata çubukları standart hatayı temsil etmektedir. Kutu içerisindeki kare simgeleri ortalama değeri yansıtmaktadır.	23
Şekil 4.6. Üç lokasyonda dağılış gösteren <i>P. antalyae</i> 'nin temel bileşenler analizi (PCA) ve tel kafes (wireframe) grafikleri (Kırmızı noktalar “Kaynak”, mavi “yukarı Düden Çayı”, turuncu “aşağı Düden Çayı” lokasyonlarını yansıtmaktadır).....	24

Şekil 4.7. Tüm veri setine dayalı olarak vücut boyutunun (logaritmik centroid büyüklüğü/size olarak verilmiştir) ve PC 2'nin (vücut şekline) regresyon analizi.	25
Şekil 4.8. <i>P. antalyae</i> popülasyonlarının şekil farklılıklarını gösteren DFA analizi ve tel kafes grafikleri.	26
Şekil 4.9. Bariyere bağlı olarak <i>P. antalyae</i> popülasyonlarının şekil farklılıklarını gösteren DFA analizi ve tel kafes grafikleri.	26
Şekil 4.10. Her grup (lokasyon ve bariyer etkisi) için DF 1 eksen puanlarının kutu grafiği.	27
Şekil 4.11. İnce plaka spline ile tasvir edilen <i>P. antalyae</i> 'deki şekil değişikliği. Deformasyon ısı haritası, tüm popülasyonların ortalama şekline karşı yansıtıldığında her bir popülasyona ait ortalama şeklini gösterir.	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. <i>Pseudophoxinus antalyae</i> fotoğraflarında landmark noktalarını belirten homolog işaretleri.....	14
Çizelge 4.1. Düden Çayı boyunca yayılım gösteren <i>P. antalyae</i> 'nin boy-ağırlık ilişkileri..	21
Çizelge 4.2. Gruplara (lokasyon ve bariyer) atanan bireylerin sayısını ve yüzdesini gösteren Jackknife gruplama sonuçları.....	27



1.GİRİŞ

Vücut şeklindeki morfolojik değişiklikleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan ekolojik tepkileri anlamak, evrim teorisinin temellerinden biri olmuştur (Calazans vd. 2021). Bir organizmanın fenotipi fonksiyonel olarak bütünleşmiş özelliklerin etkileşimi ile belirlenir ve sürekli değişen çevresel baskılara karşı genetik-epigenetik tepkiler yoluyla değişir (de Barros vd. 2019). Farklı seçim baskılarına maruz kalan aynı türe ait popülasyonların çeşitlendirilmesinin genetik bir temeli olabilir (yani, yerel adaptasyon); bununla birlikte, adaptif olmayan değişiklikler (yani fenotipik plastisite) doğal ortamlarda yaygın olarak gözlenir; her iki süreç de popülasyonlar içinde fenotipik farklılaşma meydana gelmektedir (Torres-Dowdall vd. 2012).

Balıklarda vücut şeklinde ve boyutunda değişiminin görülmesi oldukça yaygındır. Menzilleri birden fazla habitatı kapsayan türler, genellikle kaynak kullanımında yerel uzmanlaşmaya karşılık gelen işlevsel değiş tokuşlar sergiler. Bu türlerin çoğu için, morfolojinin, habitat uzmanlığı ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu, vücut şeklindeki ince değişikliklerin bile yiyecek arama başarısı, büyüme hızı ve vücut kondüsyonu gibi uyum parametreleriyle ilişkilidir (Webster vd. 2011). Balık morfolojisi, farklı çevresel koşullarda yaşayan popülasyonlar arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilir ve doğal popülasyonlardaki çeşitliliğin, balıkların maruz kaldığı koşullara veya evrimsel geçmişlerine bağlı tepkileri olabilir (Langerhans ve DeWitt, 2004). Balıklarda akıntı hızı, su derinliği, su kimyası, substrat tipi, predasyon riski ve av topluluğu gibi abiyotik ve biyotik faktörler nedeniyle çok sayıda balık türüne ait popülasyonlarında tür içi morfolojik varyasyon belirlenmiştir (Swanbeck ve Eklov, 2007; Barros vd. 2019; Perazzo vd. 2019; Gilbert vd. 2020; Wang vd. 2021).

Bir akarsu sistemi içerisinde organizmalar, enerji ve madde bu sistem içerisinde sürekli hareket halindedir. Bu sistem her ne kadar bir birinden farklı birçok habitat içerse de bu habitatlar birbirleriyle bağlantı halindedir. Birçok sucul organizma türlerine ait popülasyonların bireyleri bu bağlantılar aracılığıyla bir akarsu ağı boyunca serbestçe dolaşır veya göç ederler (Bunn ve Arthington 2002) ve bunun sonucunda popülasyonlar arası gen akışı devam eder. Türdeş popülasyonlar arasındaki gen akışının homojenleştirici etkisi, doğal seçilimin neden olduğu yerel adaptasyonu engeller ve fenotipik farklılaşmayı kısıtlayabilir (Hendry vd. 2002). Bunun dışında gen akışına rağmen farklılaşmaya neden olabilecek başka bir süreç fenotipik plastisitedir. Tek bir genotipin, çevresel heterojenliğin bir sonucu olarak birden fazla fenotip üretme yeteneği, tatlı su balıklarında oldukça yaygın bir durumdur (Franssen 2011). Fenotipik plastisite yoluyla bir popülasyondaki bireyler, değişen çevresel koşullara davranışsal, morfolojik veya fizyolojik tepkilerini düzenleyebilirler (Maldonado-Chaparro vd. 2017). Sonuç olarak, fenotipik plastisite genetik kompozisyonda farklılıklar olmadan popülasyonların çevresel değişime ve değişkenliğe bir şekilde tepki vermesidir ve bunun sonucunda belirli bir özellik için ortalama fenotipler farklılık gösterebilir (Young 2001; Chevin vd. 2010; Reed vd. 2010).

Son yıllarda kentleşme ve habitat parçalanması gibi antropojenik faktörlerdeki artış, akarsu bağlantısında büyük bir kayba yol açmıştır. Özellikle barajlar, dünya çapında su ekosistemlerinin en kapsamlı değişikliklerinden biri haline gelmiştir (Graf 1999). Çağlayanlar ve sarp akarsular da dahil olmak üzere şelaleler, genellikle balık habitatlarının bağlantısı ve göç arasında biyocoğrafik engeller olarak hareket ederler

(Rahel, 2007). Bu bağlamda şelalelerin iki temel ekolojik/evrimsel işlevi vardır. Birincisi, şelaleler, balıkların memba göçünü engeller ve şelalelerin üzerindeki balık dağılımı önemli ölçüde kısıtlanır ve azalır (Kano vd. 2012). İkincisi, endemik tür populasyonları, doğal bariyer yoluyla şelalenin üstündeki veya altındaki alanlarda izole olurlar (Markert vd. 2010; Torrente-Vilara vd. 2011; Willis vd. 2012). Sonuçta, barajlar ve şelaleler, populasyonlar arasında gen akışının azalmasına yol açabilecek fiziksel bir bariyer oluşturarak izolasyona ve bunun sonucunda genetik farklılaşmaya yol açabilir. Bu izolasyon, ortaya çıkan populasyonların darboğazına (bottlenecking) ve soy içi üremeye (inbreeding) bağlı olarak genetik olarak farklı populasyonlara yol açabileceği gibi, daha küçük populasyon boyutuna bağlı olarak daha büyük genetik sürüklenme etkilerine neden olabilir (Garner vd. 2012).

Uzun yıllardır sucul sistemler üzerindeki antropojenik baskılar (şehirleşme, barajlar, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler vb.) acil ve kalıcı ekolojik sonuçlara neden olmaktadır (Helfman, 2007; Geladi vd. 2019). Sucul sistemlerin tahribi ve parçalanması, biyolojik çeşitlilik için önemli bir tehdittir ve bu tür hızlı ekolojik değişiklikler, populasyonların uyum sağlamasını veya yerel yok oluşla yüzleşmesini gerektirir (Gilbert vd. 2020). Bazen bu ekolojik sorunlar populasyonların çağdaş evrimini teşvik edebilir ve hatta doğal sistemlerde artan türleşme ve hızlı genetik ayrışma ile sonuçlanabilir (Dias vd. 2013). Fakat balıklar genel olarak antropojenik baskılar sonucu ortaya çıkan ekolojik değişimlere hızlı tepki verme yeteneğine sahiptirler (Franssen, 2011, 2013; Collyer vd. 2015). Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı havzası Antalya il sınırları içerisinde yer almaktadır ve çevre koşullarındaki radikal değişikliklere karşı oldukça hassastır. Çünkü bu havza ve sahip olduğu biyolojik çeşitliliği, uzun süredir tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirleticiler, evsel ve endüstriyel atık su deşarjları gibi antropojenik rahatsızlıklar nedeniyle büyük ölçüde tehdit altındadır (Ayaz vd 2013; Leventeli vd. 2019). Özellikle son yıllarda art arda kirleticiler nedeniyle balık ölümleri yaşanmıştır (Anonim 1, 2). Tüm bunların yanı sıra çayın yukarı havzasında 2 adet hidroelektrik santrali (HES) ve özellikle Aşağı Düden Havzasında yayılım gösteren istilacı balık, *Carassius gibelio*, ve yeri değiştirilmiş, *Cyprinus carpio* türleri bulunmaktadır. Düden Çayı, endemik bir balık türüne, *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992 (Cypriniformes: Leuciscidae)'ne ev sahipliği yapması bakımından ekolojik açıdan ayrıca önemli bir lokasyondur (Çiçek vd. 2015, 2018). Küçük gövdeli bir balık olan bu türün meta-populasyonu, yoğun antropojenik baskılar nedeniyle tehdit altında olup, IUCN Tehdit Altındaki Türlerin Kırmızı Listesinde "Hassas" statüsünde yer almaktadır (Freyhof, 2014).

Tehdit altındaki balık populasyonları hakkında bilinçli koruma kararları verebilmek için sucul sistem içerisindeki habitat heterojenliğinin populasyonların yerel adaptasyonu ve evrimsel süreçleri ile nasıl ilişkili olduğunu anlamak önemlidir (Storfer 1999). Böylesine yoğun antropojenik baskı altındaki bir ekosistemde *P. antalyae* populasyonlarının durumunun ve vücut morfolojisinin değerlendirilmesi farklı ekolojik koşullar içinde fenotipik çeşitlilik için kanıt sağlamış olacaktır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının **birinci amacı**, Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı boyunca belirlenen üç istasyonda (Kaynak, yukarı Düden ve aşağı Düden) *P. antalyae* alt populasyonlarını karşılaştırmaktır. Değişkenlerimiz: 1) populasyon büyüklüğü, 2) biyokütle ve 3) kondisyon durumları ve boy-ağırlık ilişkileridir. Çalışmanın **ikinci amacı** ise *P. antalyae*'nin alt populasyonlarının geometrik morfometri yöntemi kullanılarak

morfolojik varyasyon (vücut büyüklüğü ve şekli) örüntülerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda aşağıdaki sorular irdelenecektir:

(1) Morfoloji lokasyonlar/habitatlar arasında farklılık gösteriyor mu?

(2) Morfoloji çay üzerinde mevcut olan HES ve Düden Şelalesinin yarattığı doğal ve yapay bariyerlere bağlı olarak farklılık gösteriyor mu?



2.KAYNAK TARAMASI

2.1. Model Organizma: *Pseudophoxinus antalyae*

Pseudophoxinus (Heckel 1843) cinsi Leuciscidae familyasına dahil olup, Akdeniz bölgesindeki tatlı su ekosistemlerinin sürekli tahribi nedeniyle en çok tehlike altındaki cinstir (Balık 1995; Geldiay ve Balık 2007). Anadolu'yu şekillendiren ve diğer birçok organizmanın çeşitlenmesine neden olan jeolojik olaylar, özellikle Akdeniz bölgesindeki yarı kurak veya kurak çevre koşulları su habitatlarının çok parçalı ve izole olmasına neden olmuştur (Telli 2008). Bu durum tek veya birkaç akarsu havzasında türleşme süreçlerini hızlandırmış ve tür sayısında artışa neden olmuştur (Kottelat ve Barbieri 2004; Telli 2008).

Cins Türkiye için endemik olup, ülkemiz iç sularında 21 tür ile temsil edilmektedir (Altun 2017). Türlerin Anadolu içsularındaki dağılımı ise ülkenin güneybatı bölümünde yoğunlaşmıştır (İlhan ve Gücer 2018). *Pseudophoxinus* cinsi balıklar, kısa ömürlü, ovipar (Murat ve Aykut 2015) ve küçük cüsseli balıklardır; ayrıca oldukça küçük olmaları nedeniyle insan gıdası olarak tüketilmemektedirler (Geldiay ve Balık 2007). Cins ait türlerin yaşam alanlarının oldukça sınırlı olması ve yaşadıkları habitatlar üzerindeki antropojenik baskılar nedeniyle (bilinçsiz su kullanımı, barajlar, yabancı türler ve alan kurutma, kirlilik vb.) IUCN Tehdit Altındaki Türler Kırmızı Listesi ya tehlikede ya da nesli tükenmek üzere olarak listelenmektedir (İlhan ve Gücer 2018).

Pseudophoxinus antalyae Antalya'nın Kırkgöz Kaynağı, Karamanlı Çayı ve Düden Çayının kaynakları ile Kırkgöz kaynağından Antalya Körfezine kadar olan kısımda yaşam alanı sergilemektedir (Çiçek vd. 2015). Bunun sonucunda bu tür Düden Çayı için endemik kabul edilmektedir.

P. antalyae'nin vücudu belirgin şekilde yüksek yapılı ve yanlardan basıktır. Baş ve vücut arasında dikkat çekecek bir ayrım bulunmazken diğer türler ile kıyaslandığında baş daha kalın ve kısadır. Gözler vücutta oranla normal büyüklükte ve yukarı konumludur. Burun ucu sivri, dudaklar ise belirgindir. Ağız, uç konumlu olup dudaklar belirgindir. Karın yüzgeci, sırt yüzgecinin biraz önünde başlar. Sırt yüzgecinin uzunluğu, cins ortalamasının altında olmasına rağmen, yüksekliği oldukça fazladır. Karın yüzgeci biraz kısadır, ancak diğer yüzgeçler normal uzunluktadır. Genel olarak yüzgeçlerin dış kenarları düz yapılı olmasına rağmen, sırt ve anal yüzgeçler hafif içbükey şekillidir. Karın ile anal yüzgeçler arasındaki uzaklık, özellikle dişilerde fazladır. Pullar büyük, oval şekilli sikloid yapıdadır ve yanal hat boyunca yaklaşık 62 pul sırası bulunur. Solungaç diken sayısı 9 – 12 arasında değişir (Kestek 2018).

Genellikle sırt kısmı sarı renkli olup karın ve bel bölgesine doğru renk gümüşe doğru geçiş göstermektedir. Başın üst arka hizasından başlayıp kuyruğa kadar devam eden, kalın ve belirgin olmayan sarı – yeşil renkli bir bant bulunur. Yüzgeçler sarımsı, açık yeşil renklidir. *P.antalyae* omnivor bir organizma olup, genellikle böcek larvaları gibi hayvansal organizmaları ve sucul bitkileri tüketmektedir (Kestek 2018). *P.antalyae*'nin sistematikteki yeri aşağıda belirtilmiştir:

Phylum: Chordata

Classis: Osteichthyes

Superordo: Ostariophysi

Ordo: Cypriniformes

Familia: Leuciscidae

Genus: *Pseudophoxinus*

Species: *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992

2.2. Popülasyon Özellikleri

Populasyonların somatic indekslerinin ölçülmesi, balıkçılık stok yönetimi, korunması ve balık sağlığı üzerindeki çevresel stresin biyolojik olarak izlenmesi için önemli araçlar sunmaktadır (Anzueto-Calvo vd. 2022). Bu indekslerin ölçülmesi ayrıca organizmaların biyolojik, fizyolojik ve ekolojik yönlerinin anlaşılmasını kolaylaştırır (Dos Reis vd. 2020). En sık kullanılan somatic indeksler; kondisyon faktörü (CF) ve boy-ağırlık ilişkisidir (LWR). Boy-Ağırlık ilişkileri balıkların habitat koşullarına bağlı olan fizyolojik koşullarının bir yanıtıdır (Adite vd. 2017) ve türün belirli bir ortamdaki populasyon dinamikleri (Santos vd. 2019), refahı ve sağlık durumu hakkında bilgi sağlar. Örneğin, belirli bir uzunluktaki daha ağır balıkların daha iyi durumda olduğu varsayılır (Jakob vd. 1996; Miller vd. 2015).

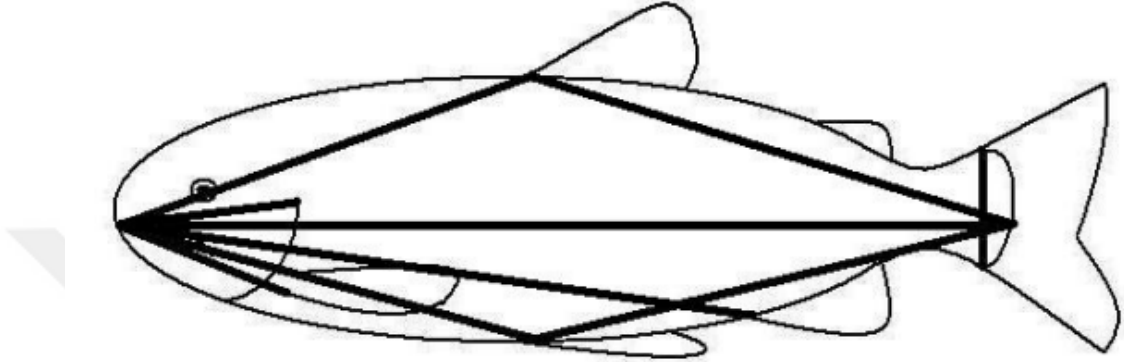
Kondisyon faktörü, organizmaların bireysel fizyolojik durumlarının anlaşılması ve bunu çevresel şartlar ve türlerin davranışsal yönleriyle ilişkilendirmeyi mümkün kılar (dos Reis vd. 2020). Kondisyon faktörleri organizmaların yumurtlama döngüsünü etkiler ve balıklarda doğurganlık, üreme, büyüme ve ölüm oranlarının güçlü belirleyicileridir ve yaygın olarak beslenme yoğunluğunun bir ölçüsü olarak da kullanılmaktadır (Abowei 2009). Bu her iki parametre aslında sucul ekosistemlerin üretkenliğinin durumunu ve özellikle "ekolojik sağlığını" değerlendirmek için bir gösterge olarak kullanılmaktadır (Deekae ve Abowei 2010; Adite vd 2017).

Ülkemizde *P. antalyae*'nin büyüme ve üreme parametreleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Innal (2014), çoğunlukla Düden Çayı'nın alt havzasından yakalanan *P. antalyae* ve *C. antalyensis*'in boy-ağırlık parametrelerini karşılaştırmıştır. Ayrıca Erkakan vd. (2012) ve İlhan ve Gücer (2018), on balık türünün (*P. antalyae* Kepez Su Tutma (HES) Göletinden örneklenmiştir) ve *Pseudophoxinus* cinsine ait 8 türünün (*P. antalyae* sadece Kırkgöz'den örneklenmiştir) boy-ağırlık ilişkilerini karşılaştırmışlardır. Bunların dışında *P. antalyae*'in (Kepez HES göleti) üreme özellikleri belirlenmiştir (Yenice 2022). Bugüne kadar yapılan çalışmalar içerisinde bu türün populasyonlarının bolluğu, kondüsyonu ve büyüme özelliklerinin tüm Düden Çayı boyunca farklı habitatlar arasında karşılaştırıldığı herhangi bir çalışma bulunamamıştır.

2.3. Geometrik Morfometri

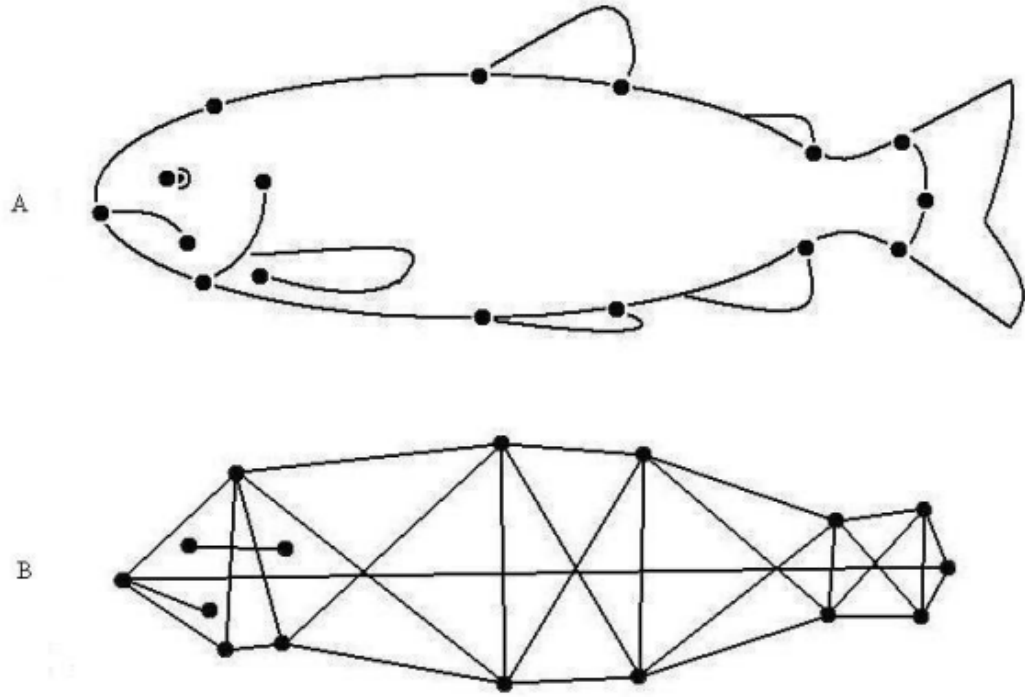
Morfometri, biyolojik formdaki (şekil) varyasyonun incelenmesi olup ekoloji, fonksiyonel morfoloji, ontogenetik gelişim, sistematik ve evrimsel tıp bilimlerindeki pratik uygulamalara kadar uzanan çeşitli biyoloji alanları için temel bir araç sağlamıştır (Rohlf 1990; Zelditch vd. 2004). Tarihsel olarak, klasik morfometrilere de doğrusal

ölçümler, kütleler ve oranlar kullanılmıştır (Bookstein 1991). Geleneksel morfometrik yöntemler, özelliklerin doğrusal mesafelerinin (örneğin uzunluk, derinlik, genişlik) varyansını istatistiksel olarak analiz ederek biyolojik yapıları karşılaştırır (Marcus 1990). Bu ölçümler genellikle kumpas gibi basit araçlarla direk homolog yer işaretleri arasındaki doğrusal mesafe ölçümlerini kapsar (Şekil 2.1). Zelditch vd. (2004), bu ölçümlerden elde edilen bir veri setinin, sezgisel olarak görüldüğünden çok daha az veri içerdiğine çünkü bir dizi ölçümün üst üste bindiğine veya aynı yönde ilerleyip fazlalık eklediğine dikkat çekmişlerdir (Tjarks 2009).



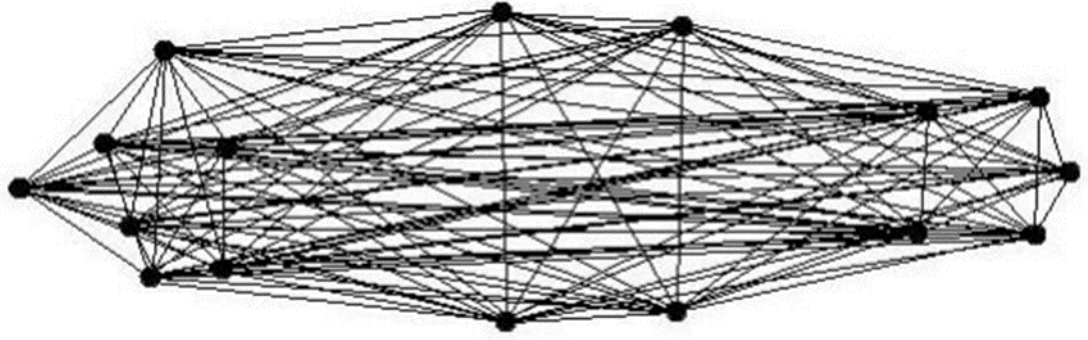
Şekil 2.1. Geleneksel morfometrik yaklaşımı (Tjarks (2009)'dan alınmıştır).

Ayrıca geleneksel yöntemler boyut standardizasyonundan yoksundur ve bu nedenle şekil varyasyonunu belirlemede nispeten zayıf istatistiksel güç sunarlar (Parsons vd. 2003). Zelditch vd. (2004) 1980'li yıllarda Strauss ve Bookstein (1982) ile Bookstein vd. (1985) tarafından geliştirilen box-truss şemasını yeniden düzenlemiştir (Şekil 2.2). Bu yaklaşımın, organizmanın genel şeklinin daha eksiksiz bir tanımını sağlamak gibi avantajları olmasına rağmen, toplanabilecek tüm verileri toplaması yine mümkün olamamıştır. Tüm olası ölçümler 16 landmark arasında yapılsaydı, 120 farklı ölçüm olurdu (Tjarks, 2009) (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Box-truss gösterimi. (A) Ölçümler için iyi tanımlanmış uç noktalar, (B) Tanımlanmış uç noktaları kullanan basit bir truss şeması (Tjarks, 2009).

120 olası ölçümün tümünü analiz etmek son derece gereksiz ve kafa karıştırıcı olacaktır, ancak hangi ölçümlerin yararlı olup hangilerinin olmadığını önceden bilmek imkansızdır. Şekil 2.2'te uygulanan truss şeması, 120 olası ölçümü 30'luk bir sete indirir; bu, fazlalığı ve veri bağımsızlığını en aza indirir (ancak ortadan kaldırmaz) ve görünüşe göre şekli daha iyi yakalar (Tjarks 2009). Bu truss yöntemi, geleneksel morfometriklerin bazı eksikliklerini gidermektedir ve özünde, geleneksel yaklaşımın daha fazla yoğun ölçümünü sunmuştur. Dolayısıyla, 20. yüzyılın sonlarında şeklin istatistiksel analizi için geometrik morfometri (GM) adı verilen yeni bir yöntem geliştirildi. GM, şekil varyasyonunu ölçmek ve analiz etmek için doğrusal mesafe ölçümlerinin yerine, 2 veya 3 boyutlu landmark koordinat verilerine veya anahat analizine dayanmaktadır (Bookstein ve Rohlf 1990; Adams vd. 2004). Landmark (noktalar), bir organizma üzerinde, organizmadan organizmaya biyolojik olarak homolog olan tanımlanabilir bölgelerdir ve Kartezyen koordinatlarla tanımlanabilir (Bookstein 1991).



Şekil 2.3. Şekil 2.2'te tanımlanan uç noktalardan 120 olası ölçümün tümü. (Tjars,2009)

Modern geometrik morfometrik **landmark tabanlı geometrik morfometrik** olarak isimlendirilir ve balıklar da dahil olmak üzere bitki ve hayvanlarda "boyut" ve "şeklin" matematiksel ayrışmasını ve ayrıca bu niteliklerin çok değişkenli analizlerini içeren ve oldukça sık kullanılan bir yaklaşım sunar (Adams vd. 2004; Bookstein 1997; Adams ve Collyer 2009; Collyer vd. 2015).

Ülkemizde farklı balık türlerinde bu tekniği kullanan araştırmalar bulunmaktadır. Örneğin, Karahan vd. (2014)' doğu Akdenizde yayılış gösteren iki *Engraulis* spp. türünün otolit morfometrisini kullanarak tür ayrımı yapmışlardır. Durrani vd. (2022) *Carassius gibelio* 'nun vücut şeklinin farklı habitat tiplerindeki varyasyonunu geometrik morfometri ile araştırmışlardır. Ayrıca, gökkuşağı alabalıklarında geometrik morfometrik metoduyla cinsiyet tayini (Turgut 2016), Fırat-Dicle havzasında yayılış gösteren *Alburnus sellal* populasyonlarının geometrik morfometrik analizleri de (Kubilay 2021) çalışılmıştır. Bunların dışında, *Pseudophoxinus* cinsi içerisindeki türlerin tanımlanmasında yardımcı bir araç olarak da geometrik morfometri kullanılmıştır (Telli 2008; Telli ve Kence 2015; Altun 2017). Dolayısıyla bu çalışma ile *P. antalyae* nin geometrik morfometrik teknik ile ekolojik adaptasyonları ve morfolojik varyasyon örüntüleri ilk kez tespit edilmiş olacaktır.

3.MATERYAL VE METOT

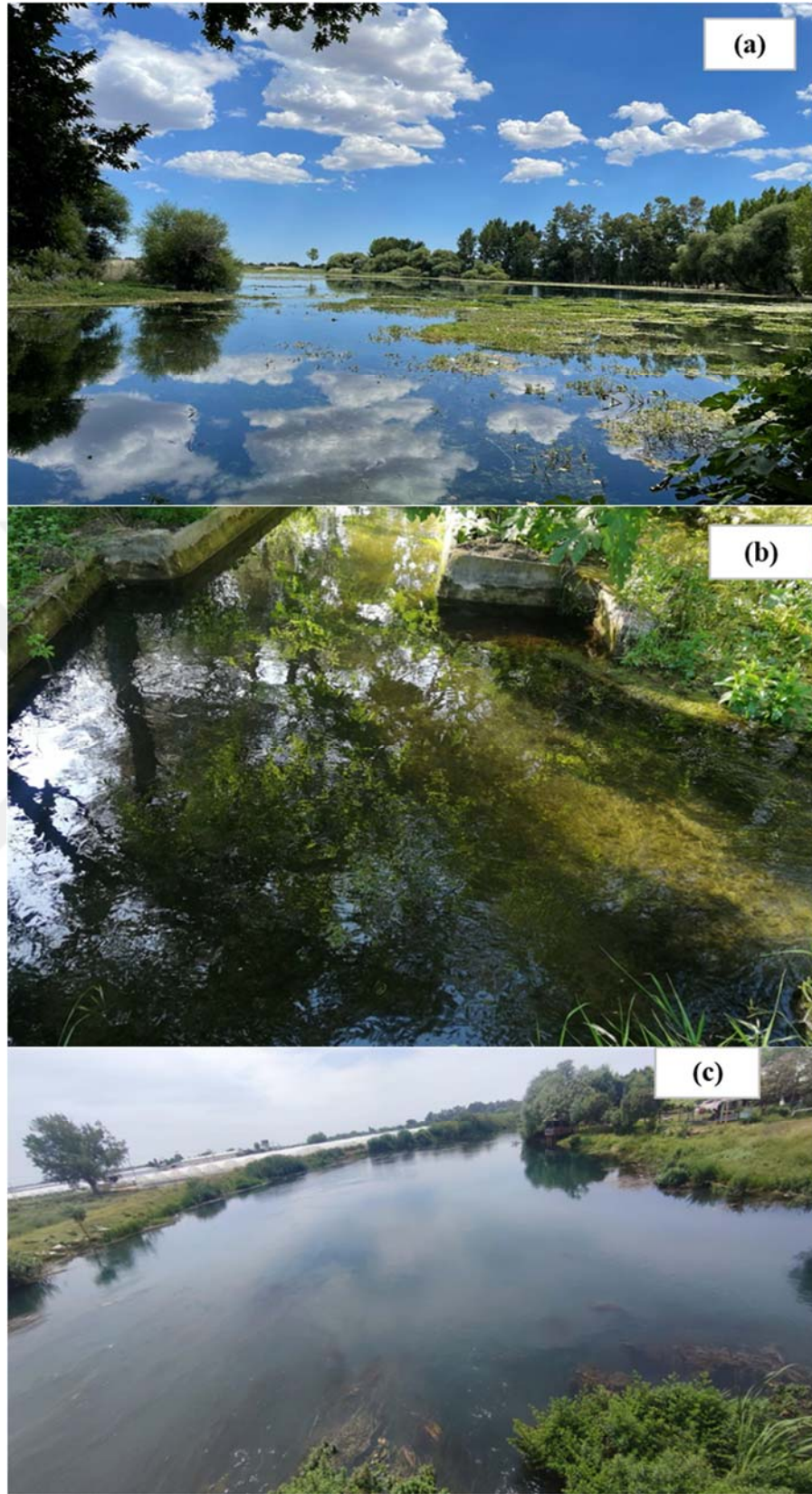
3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı Havzası içerisinde belirlenmiş istasyonlarda Mayıs-Eylül 2022 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Düden Çayı 14 km uzunluğunda, yıllık debisi 15,19 m³/sn olup, Döşemealtı'ndaki (Antalya) karstik Kırkgöz Kaynağından doğar ve Antalya'da Akdeniz'e dökülür. Toros Dağlarının en büyük kaynağı olan karstik Kırkgözlerden su yaklaşık 1 km lik zon boyunca 300 m kotunda karstik kireç taşlarından çıkmaktadır. Bu suların büyük bir kısmı Kepez Hidroelektrik Santrali için kanala alınmakta, bir kısmı da Düden ve geçirimli olan traverten içerisinde karstik su yolları ile yeraltına girmektedir (Antalya İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu). Çayın büyük bir kısmı özellikle aşağı havzası şehirleşmenin etkisi altındadır ve çoğu yerde nehir yatağı düzenlenerek kanal içine alınmıştır. Çayın yukarı havzasında 2 adet hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Aşağı havzasında ise Düden Şelalesi I ve Düden Şelalesi II mevcut olup çay şelale ile Akdeniz'e dökülür. Bu çalışma kapsamında iki farklı mevsimde (kış ve yaz başı (yaz orta ve sonlarında bazı istasyonlarda çayın suları azalacağı veya tamamen kuruyacağı için)) ve toplam 6 istasyon örnekleme çalışmalarının yapılması planlanmıştır. Fakat kış ve bahar mevsiminde birkaç kez denenmesine rağmen hiç balık yakalanamamıştır, sadece Mayıs-Eylül arası dönemde balıklar yakalanabilmiştir. Ayrıca yaz mevsiminde dahi daha önce belirlenmiş bazı istasyonlardan (Kepezaltı, Düden Şelale girişi ve Düden Şelale çıkışı) hiç balık örneklenememiştir. Özellikle kepezaltı ve Düden Şelale girişi istasyonlarında akarsu doğal yatağında akmayıp kanal içerisine alınmıştır ve kepezaltı istasyonunun su akışı sık sık kesilmektedir. Sonuç olarak 6 istasyonun sadece 3'ünden balık yakalanabildiği için bu tez çalışması bu istasyonlar üzerine kurulmuştur (**Şekil 3.1**, harita Ayaz vd. (2013)'den alınmış ve düzenlenmiştir).



Şekil 3.1. Araştırma alanı ve üç istasyonun (sarı yıldız işaretleri) konumları (dikey çubuklar doğal ve yapay bariyerleri işaret etmektedir).

Birinci istasyon Kırkgöz Kaynağında yer almıştır. Geniş bir beslenme havzasına (Isparta, Burdur, Korkuteli) sahip olan Toros Dağlarının en büyük kaynağını Kırkgözler oluşturmakta (Antalya Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2020) ve Antalya merkezinin 30km kuzeyinde yer almaktadır (**Şekil 3.2a**). Kırk ayrı gözden kaynayan ve bu nedenle Kırkgözler olarak adlandırılan bu pınarın suları iki ayrı yoldan yeraltından ve yer üstünden güneye doğru akmaktadır (Erdem 2002). Bu kaynaklar takriben 1 km lik zon boyunca 300 m kotunda karstik kireç taşlarından çıkmaktadır. Bu kaynak denizden 250-300 m yükseklikte yer almakta ve ortalama debisi 15 m³/sn olup 45.000 m² alanı kaplamaktadır. Bu kaynağın önünde yaklaşık 70 dekarlık bir alan bataklık halindedir (Kestek 2018). Özellikle yaz aylarında yoğun su bitkileri tabakası su üzerini tamamen kaplamaktadır. Kıyı zonları ise sazlık ve kamış bitkileri ile çevrelenmiştir. Kaynak içerisinde 3 farklı noktadan balıklar yakalanmıştır.



Şekil 3.2. Çalışma alanındaki üç farklı istasyondan genel görünüm: a) Kaynak, b) Yukarı Düden, c) Aşağı Düden

İkinci istasyonumuz (Şekil 3.2b) Düden Çayı yukarı havzasında ve kaynaktan ayrılan suyun Kepez II HES ana kanalına bağlandığı bölgede, HES girişinde yer almaktadır. Bu istasyonumuzun kanal genişliği ortalama 5,6m olup, burada çay betondan yapılmış yer yer derin bir yapay kanaldan akmaktadır. Üçüncü ve son istasyonumuz ise Düden Çayı alt/aşağı havzasında denize döküldüğü yere yakın bir bölgede tarihi Cırnık köprüsünde yer almaktadır (Şekil 3.2c). Antalya-Alanya karayolu kıyısındaki tarihi Cırnık Köprüsü ile Düden Çayının denize döküldüğü nokta arasında kalan kısmı doğal bir yataktan değil yöredeki taşkınların önlenmesi ve bataklıkların kurulması amacıyla 1892 yılında açıldığı bilinen yapay bir kanaldan akmaktadır (Erdem 2002). Düden Çayı alt/aşağı havzası Antalya şehir merkezinde yer almakta ve çay şehirleşme, tarım (seracılık) ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle tehdit altındadır. Bu istasyonda kıyı boyunca yoğun riparian bitki örtüsü ile çevrelenmiş olup, akıntı hızının yavaşlaması nedeniyle su içinde de sucul bitki toplulukları yer yer gözlenmiştir. Bu istasyonun kanal genişliği ortalama 49 m'dir. Bundan sonra çay ikinci Düden Şelalesi ile falezlerden Akdeniz dökülmektedir.

3.2. Balıkların Örneklenmesi

Yukarıda bahsedilen her istasyondan *Pseudophoxinus antalyae* (Şekil 3.3) bireyleri yaklaşık 3m uzunluğunda 12 – 35 mm ağ göz açıklığına sahip pinterler kullanılarak yakalanmıştır. Balıkların yakalanması için 3 istasyondan Mayıs-Eylül arası dönemde 7 kez arazi çalışması yapılmıştır (Şekil 3.1). Örneklem için akarsu kanalında bitkilerin yoğun olduğu sığ ve derin iki habitat seçilmiş ve pinterler buralara bırakılmıştır. Genel olarak akarsu boyunca 50m uzunluğunda bir alanda çalışılmıştır ve her arazi çalışması aynı bölgede gerçekleştirilmiştir. Kaynak gölünde ise kuzey yönündeki bölgeden seçilen üç farklı habitatta pinterler bırakılmıştır. Her arazi çalışmasında pinterler suda 24 saat bekletilmiştir. Yakalanan balık örnekleri önce anestezi (MS222) ile bayıltılıp, daha sonra arazide %10'luk formaldehit solüsyonuna konularak incelemek için Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji Laboratuvarına getirilmiştir.



Şekil 3.3. *Pseudophoxinus antalyae* örneği

3.3. Populasyon Özellikleri

Laboratuvara döndükten sonra balıkların toplam uzunlukları ve ağırlıkları ölçülmüştür. Her bir istasyondan yakalanan tür populasyonlarının büyüklüğünün (bolluğu) hesaplanması için populasyon yoğunluk indeksi (the relative abundance index) olarak kullanılan birim çaba başına düşen av miktarı (CPUE) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$CPUE = \frac{\text{Yakalanan birey sayısı} \times \text{Pinter sayısı}}{\text{Pinterin su içinde kaldığı süre}} \quad (3.1)$$

Lokasyona bağlı olarak populasyonların biyokütlesi de ayrıca hesaplanmıştır. Balık biyokütlesi, her lokasyon ve habitatta yakalanan toplam balık sayısı ile örneklenen balığın ortalama ağırlığının (g) çarpımından elde edilmiştir (Harvey vd. 2003).

Lokasyona bağlı olarak populasyon bireylerinin boy-ağırlık indeksleri ve bağlı kondisyon faktörleri karşılaştırılmıştır. Boy-ağırlık indeksi, Kondisyon Faktörü, her bir balığın ağırlığı ve uzunluğundan hesaplanmıştır:

Bağıl Kondisyon Faktörü (K) = W_t/W_t' , burada W_t , vücut ağırlığını temsil etmektedir ve W_t' , standart uzunluk (L) ve ağırlık ilişkisine dayalı olarak hesaplanmış tahmini ağırlıktır ($W_t' = aL^b$). a, üstel denklemdeki çizginin Y eksenini kesişme noktasını ifade eder ve b, regresyon çizgisinin eğimidir. Kondisyon faktörünü tahmin etmek için gereken $L_s \times W_t$ ilişki parametreleri, her lokasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

P. antalyae populasyonunun büyüme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan boy-ağırlık ilişkisi için doğrusal regresyon modeli aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Ricker, 1975):

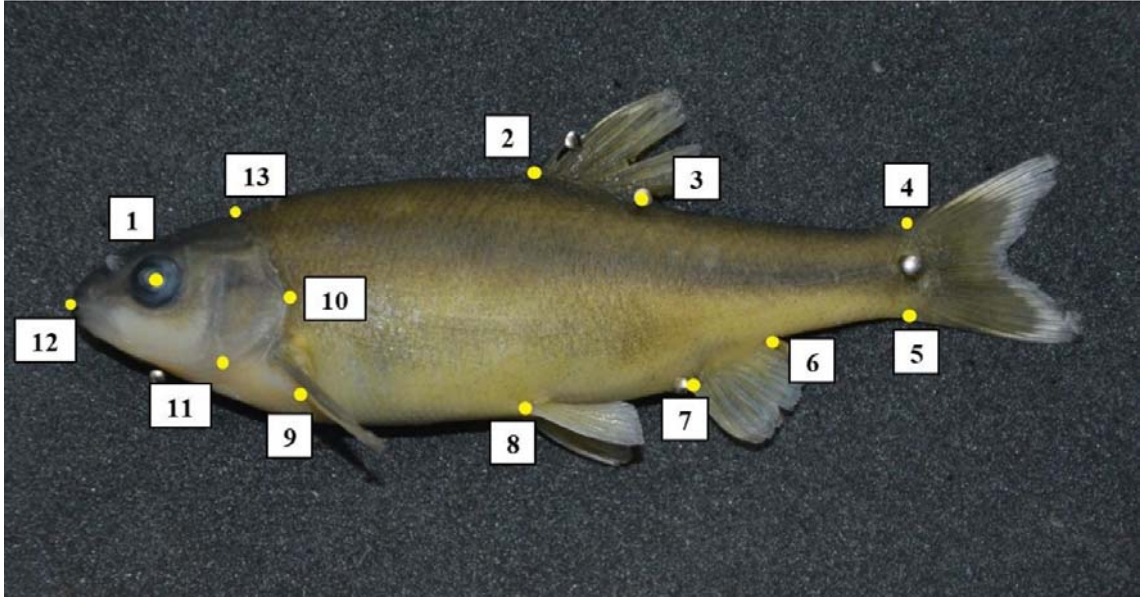
$$W = a \times L^b \quad (3.2)$$

allometrik büyüme denklemi istasyon bazında kullanıldığı gibi aynı zamanda populasyon içinde kullanılmıştır. Eşitlikte; W = Balığın vücut ağırlığı (g) L = Balığın standart boyu (mm) a = üssel eşitlikte doğrunun Y eksenini kesim noktasını b = Regresyon doğrusunun eğimini ifade etmektedir. Boy ve ağırlık verilerinin normallik varsayımı Shapiro Wilks Testi ile değerlendirilmiş ve veri setinin normal dağılım göstermediği ($P < 0,05$) belirlenmiştir. Bu nedenle regresyon analizinden önce tüm veri seti $\log_{10}$ 'a dönüştürülmüştür. Boy-ağırlık ilişkilerindeki b değerinin istatistiksel olarak 3'den farklı olup olmadığı Student's t -testi ile test edilmiştir. “**b**” balıkların izometrik ($b=3$) veya allometrik ($b<3$, negatif allometrik; $b>3$, pozitif allometrik) büyüme gösterip göstermediğini ifade etmektedir.

3.4. Geometrik Morfometri Analizi

P. antalyae'nin morfolojik varyasyonunu tahmin etmek için geometrik morfometrik yöntemler kullanılmıştır. Bunun için öncelikle, tüm balık bireylerinin dijital görüntüleri, numunenin yaklaşık 30 santimetre yukarısına bir tripoda sabitlenmiş Nikon D90 kamera kullanılarak alınmıştır. Kamera konumunun örnekler arasında tutarlı olmasını sağlamak için tüm örnekler ile kamera arasındaki mesafe korunmuştur. Her örnek koyu renkli bir zemin üzerine sola bakacak şekilde bir cetvelin üzerine

yerleştirilmiş ve kameranın flaş ışığı ile fotoğraflanmıştır. Optik distorsiyonu sınırlamak için her bir örnek önceden kurutulmuştur. Daha sonra, fotoğraflar, tps yazılım paketi (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>) kullanılarak analiz edilmiştir. Her birey için, fotoğrafların sırası, potansiyel yanlışlıkları azaltmak için rasgele dağıtılmıştır ve 13 homolog landmark noktası, tpsDig 2 yazılımı (Rohlf 2015) kullanılarak her fotoğrafın üzerine konumlandırılmıştır (Çizelge 3.1; Şekil 3.4). Landmark noktaları, *Pseudophoxinus antalyae* cinsi ile ilgili önceden yapılmış çalışmadan elde edilmiştir (Altun 2017). TpsDig 2 programı, her fotoğraftan 13 landmark noktasının sayısallaştırılmasıyla x ve y koordinatlarının oluşturulmasını sağlar.

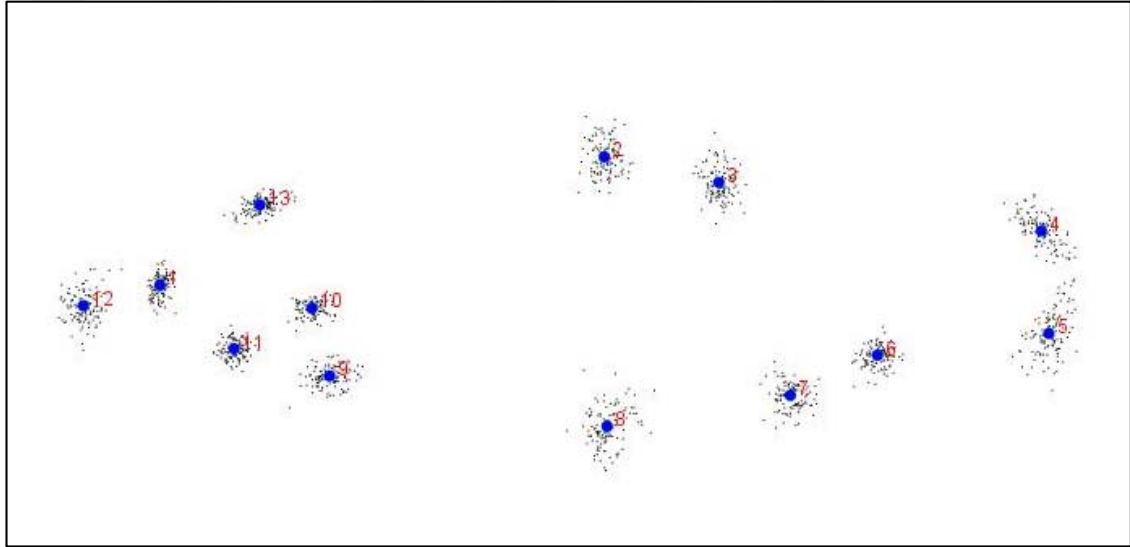


Şekil 3.4. *Pseudophoxinus antalyae* sol tarafında sarı renkle sayısallaştırılmış anatomik landmark noktaları (açıklamalar için bkz. Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. *Pseudophoxinus antalyae* fotoğraflarında landmark noktalarını belirten homolog işaretler. Her landmark için anatomik açıklamalar veilmiştir.

Landmark	Açıklama
1	Gözün merkezi
2	Sırt yüzgeci tabanının ön noktası
3	Sırt yüzgeci tabanının arka noktası
4	Pedunkul-kuyruk yüzgeci birleşiminin dorsal noktası
5	Pedunkul-kuyruk yüzgeci birleşiminin karın noktası
6	Anal yüzgeç tabanının arka noktası
7	Anal yüzgeç tabanının ön noktası
8	Pelvik yüzgeç tabanının ön noktası
9	Pektoral yüzgeç tabanının arka noktası
10	Operkulumun sivri-posterior ucu
11	Operkulumun ventral ucu
12	Ağız ucu

Ham landmark koordinatlarını Genel Procrustes Analizi (General Procrustes Analysis, GPA, en küçük kareler yöntemi) kullanılarak (Radojković et al. 2018) Procrustes kalıntılarını (residuals) dönüştürülmüştür. GPA, numune varyasyonunu yansıtan ortalama etrafında söz konusu Procrustes kalıntılarını oluşturmak için ortalama şekilleri belirlemeye izin vermek için boyut, ölçek ve yön etkilerini matematiksel olarak ortadan kaldırarak çalışır (Gilbert vd. 2020, Şekil 3.4). Bu yöntem, numunelerin merkezini Kartezyen Sistemin (0,0) orijinine yerleştirerek boyutun etkisini ortadan kaldırır. GPA sırasında, semi-landmark noktaları arasındaki “Procrustes mesafelerini” en aza indirmek için bir algoritma kullanılmaktadır. Bu süreçten sonraki tek değişiklik, yalnızca şekil değişikliğidir (Xu 2017). Bu aynı zamanda numuneler arasında şekil karşılaştırmalarına da izin vermektedir. Şekil değişimlerini görselleştirmek için TPS yazılımı kullanılarak deformasyon ızgaraları oluşturulmuştur. Buradaki büyük noktalar örneklerimizin ortalama landmark koordinatlarını temsil ederken, etrafındaki küçük noktalar procrustes atıkları yani tek tek bireylerin vücut yerlerini temsil etmektedir.



Şekil 3.5. Yer işareti ve hizalanmış örnekler tarafından oluşturulmuş *P. antalye*'nin konsensüs şekli

GPA ayrıca standartlaştırılmış bir boyut ölçüsü olan centroid büyüklüğü (**Centroid Size**) hesaplamak için de kullanılmıştır. Centroid büyüklüğü, tüm yer işaretlerinin ortalaması olan, her bir sınır noktasından konfigürasyon merkezine olan toplam mesafelerin kareköküdür ve bir vücut boyutu ölçümü olarak kullanılmaktadır (Bookstein 1991). Bu çalışmada, centroid büyüklüğü balık örneklerinin standart boyları ile korelasyon gösterdiği için (Pearson's, $r = 0.78$; $P < 0.001$), vücut büyüklüğü ölçümü olarak kullanılmıştır. Ayrıca oluşturulmuş Procrustes koordinatları ağırlık merkezi boyutunu bir (1) olarak ayarlar ve karşılık gelen yer işaretleri arasındaki mesafenin karelerinin toplamı, ortalama bir şeklin tahmini için izin verilen mümkün olan en düşük değer olana kadar konfigürasyonu döndürür (Bookstein 1991; Monteiro ve Reis 1999; Zelditch vd 2004; Lazzarotto vd. 2017). Tüm bu işlemler MorphoJ version 1.05f (Klingenberg, 2011) programı kullanılarak yapılmıştır.

3.5. Veri Analizleri

P. antalyae populasyonlarının bolluğu, biyokütlesi ve bağıl kondüsyon faktörlerinin Düden çayı boyunca alansal farklılık gösterip göstermedikleri one-way ANOVA ile test edilmiş ve devamında Tukey's çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. İstatistiksel analize başlamadan önce verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Shapiro-Wilk testi ile kontrol edilmiş ve $p > 0,05$ olduğu yani normal dağılım koşulunun sağlandığı belirlenmiştir. Tüm istatistiksel analizler PAST 4.0.4 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır.

Yakalanan balık örnekleri genellikle, birey boyutlarındaki şekil farklılıkları ve heterojenlik arasında potansiyel karıştırıcı etkilere yol açabilecek yaş (1-5 yaş) ve boyutların (Toplam boy: 6.1 cm -16.3cm) bir karışımından oluşmaktadır. Organizmaları içeren tüm karşılaştırmalı şekil analizlerinde boyut allometrisinin, şekil ve boyut arasındaki kovaryasyon nedeniyle hesaba katılması genellikle tavsiye edilmektedir (Klingenberg 1998). Balık bireyleri arasında farklı boyut ve yaş sınıflarının neden olduğu olası allometrik etkileri ortadan kaldırabilmek için Procrustes koordinatları (şekil değişkeni) centroid büyüklüğüne (boyut değişkeni) dönüştürülmüştür (Drake ve Klingenberg 2008, Perazzo vd. 2019). Bundan sonraki analizler için allometriye bağlı şekil değişimlerinde standardizasyonu sağlayabilmek için MorphoJ programı ile öncelikle kovaryans matrisler (procrustes koordinatlar) oluşturulmuştur (Collyer et al. 2015b; Xu 2017).

Centroid büyüklük değerlerinin varyanslarının normallik ve homojenlik varsayımları, sırasıyla Shapiro-Wilk ve Levene testleri ile değerlendirilmiştir ($p > 0,05$). Tek yönlü Varyans Analizi (ANOVA) kullanarak popülasyonların centroid büyüklükleri (ya da vücut büyüklüğü) alansal (lokasyon) farklılıklar test edilmiştir. Bu analizi takiben, bir Tukey *post-Hoc* farklılıklar testi kullanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca bireylerin toplam boy uzunluklarının centroid büyüklüklerini etkileyip etkilemediği anlaşılması için lineer regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve regresyonun eğimi ve yüksekliğindeki farklılıklar için lokasyon etkisi test edilmiştir.

Önce tüm numune içindeki şekil varyasyonunu analiz etmek için, ilk olarak Temel Bileşen Analizi (PCA, ya da diğer adıyla Relative Wrap) kullanılmıştır. PCA, her numunenin ortalama balık şekli üzerine en uygun şekilde bindirilmesiyle oluşturulmuş procrustes rezidualları (kovaryans matrisleri) kullanılarak hem varyasyon miktarını hem de her bileşenle ilişkili şekil varyasyonunu ortaya çıkarmaktadır (Bravi et al. 2013). PCA, tüm örnekler arasındaki Öklid mesafelerini korur, böylece gruplar arasındaki varyasyon kalıpları belirgin hale gelir (Touzinsky 2015). PAST 4.0.4 istatistik programı kullanılarak gruplar (lokasyon, habitat tipi) içerisindeki bireyleri kategorize edebilen matematiksel bir işlev üretmek için Procrustes koordinatlarını doğrusal olarak birleştiren ve gruplar arasındaki şekil farklılıklarını görselleştirebilen diskriminant analizi (DFA) gerçekleştirilmiştir. Grup içi varyasyona kıyasla gruplar arası varyasyonu maksimize eden DFA, önceden tanımlanmış önemli faktörlerin kontrolü altında en uç örnekleri ve en önemli ayrımcılık özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır (Esin ve Fedosov 2016). DFA ve Kanonik değişken analizi (CVA, MorphoJ programında (Klingenberg 2011)) öncelikle ard arda çalıştırılmış ve benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çünkü her ikisi de grup içi varyasyonu en aza indirirken önceden tanımlanmış grupları en iyi şekilde ayırt eden varyasyon eksenlerini bulmaya çalışır. Bununla birlikte lokasyonun

yanında, HES ve şelalenin yarattığı fiziksel bariyer etkisini ayrıca ortaya çıkarabilmek için DFA, bireylerin yalnızca vücut şekillerine göre sınıflandırma istatistiklerini de sağladığından daha fazla bilgi sağladığı (Reyes 2015) için bu çalışmada DFA sonuçları verilmiştir. HES ve şelale nedeniyle oluşan bariyer etkisini test edebilmek için sadece yukarı Düden çayından bireyler “bariyer üzeri” ve aşağı Düden çayındaki bireyler ise “bariyer altı” olacak şekilde düzenlenmiştir. Ek olarak, grup ataması için "Jackknife Gruplamaları" testi kullanılmıştır. Bu test, önce her numuneden her grubun ortalama değerine olan mesafeleri hesaplar. Daha sonra bilinen bir örnek teker teker çıkarılır ve en yakın gruba atanır. Nihayetinde, bu analiz, şekle dayalı olarak kendi önceki grubuna doğru şekilde yerleştirilen bireylerin sayısını verir. Doğru atama yüzdesi, gruplar arasındaki farklılık arttıkça artar. Procrustes artık verileri, bir numune diğerine deforme (değiştğinde) olduğunda şekil değişikliklerini görselleştiren İnce plaka spline'a (TPS) yansıtılmıştır (yani, yer işaretlerinin ortalama şekle göre yer değiştirmesi/deformasyonu; Zelditch vd. 2012; Klingenberg 2013). TPS veri enterpolasyonu ve düzgünleştirme için spline (eğri cetvel) tabanlı bir tekniktir (https://en.wikipedia.org/wiki/Thin_plate_spline) ve gruplara (lokasyon ve bariyer etkisi) bağlı olarak şekil değişikliklerinin grafiksel bir temsilini sağlar ve yaygın olarak uygulanmaktadır (Klingenberg, 2013).

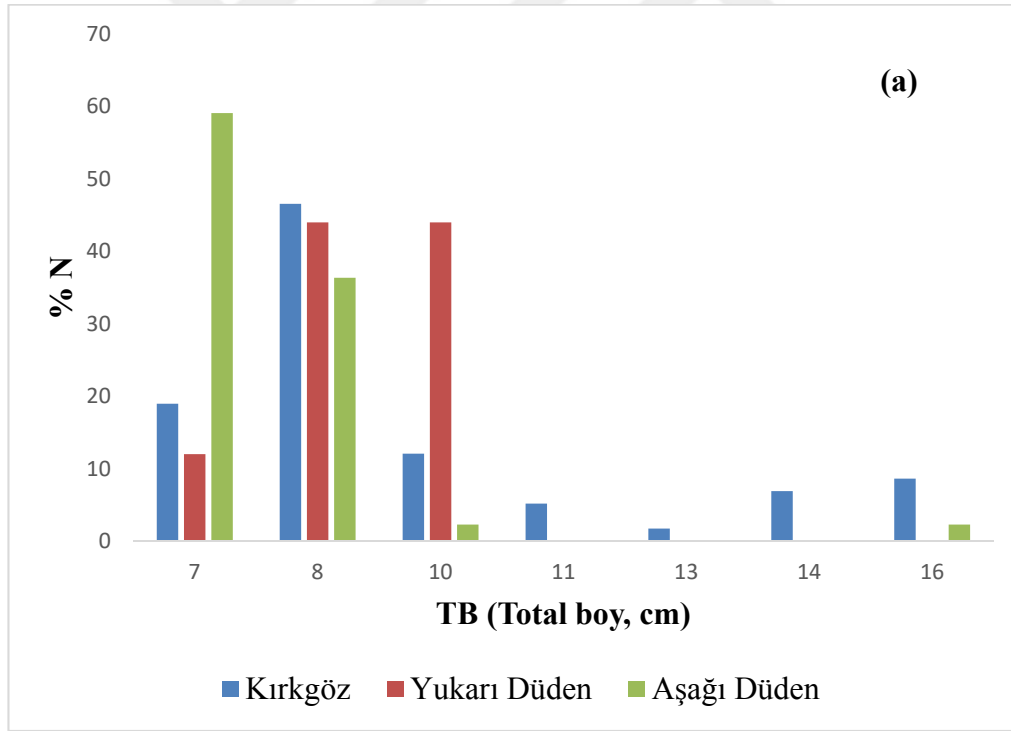
Vücut şeklindeki önemli değişikliklerin lokasyon etkisi ile ilişkili olduğu hipotezini test etmek için PAST 4.0.4 programı kullanarak çok değişkenli bir kovaryans analizi (tek yönlü-MANOVA, 9999 permutasyonlu) yapılmıştır. MANOVA için, PC skorları (şekil değişiminin en az %1'ini açıklayanlar) bağımlı değişkenler olarak görev yaparken, lokasyon bağımsız değişkenler olarak görev yapmıştır. MANOVA'yı, bağımsız değişken tarafından açıklanan şekil farklılığını ve derecesini belirlemek için Wilks'in λ testi testi takip etmiştir.

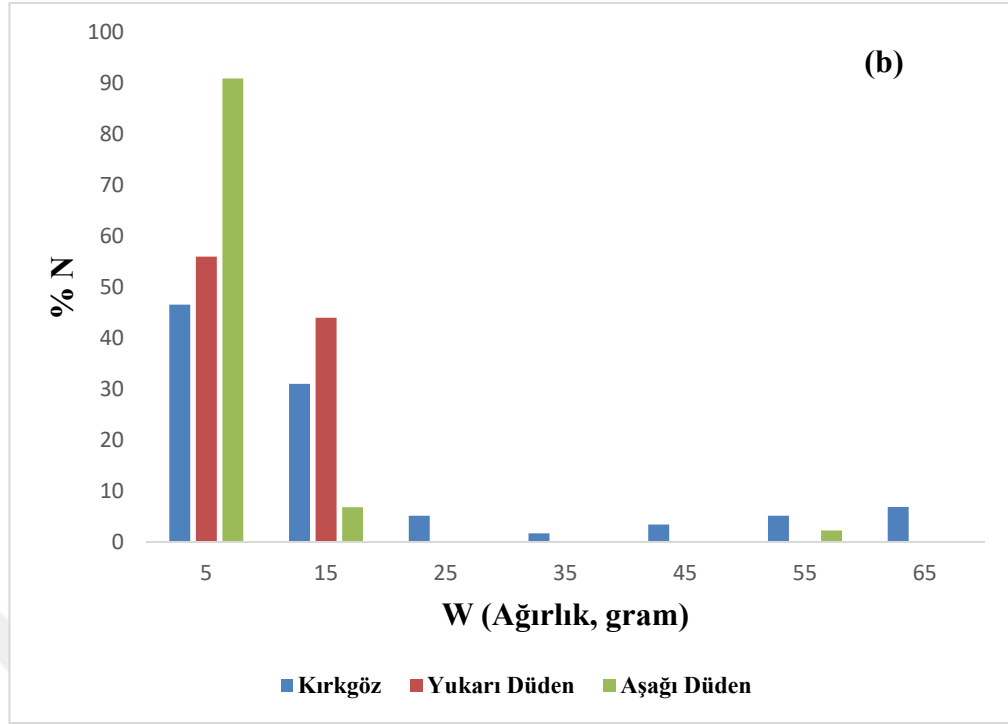
Geometrik morfometrik analiz, bireysel boyutu dikkate almaz. Bununla birlikte, bazı Cyprinidler, ontogenetik allometri yoluyla şekil değişikliklerine uğradıkları (Bravi vd. 2013) için populasyonlar morfolojik değişkenliğin, özellikle ontogenetik aşamalar arasındaki farklarla ilgili olarak, boyut farklılıklarını bir dereceye kadar yansıtması beklenir. Böyle bir potansiyel şekil-boyut ilişkisini test etmek için, SPSS statistics 23 programı kullanarak her gruba ait populasyon centroid büyüklüğünün (boyut değişkeni) ilk iki PC eksenini (şekil değişkenleri) ile regresyon analizlerini gerçekleştirilmiştir.

4.BULGULAR

4.1. Populasyon Özellikleri

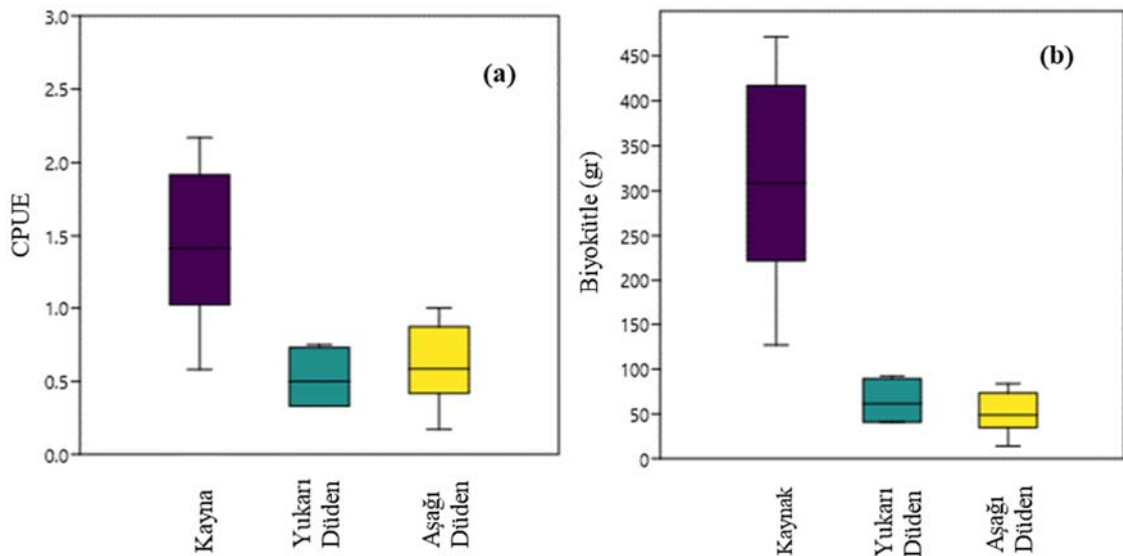
Bu çalışmada Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı havzası genelinde toplam 172 adet *P. antalyae* bireyi örneklenmiştir. Kırkgöz Kaynağından yakalanan bireylerin (N= 58) total boyu (TB) ortalama 9,49 cm ($\pm 2,71$) olup 6,4 cm – 16,2 cm, ağırlıkları ortalama 17,8gr ($\pm 17,8$) ve 3,31 g - 66 g arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.1). Kırkgöz populasyonundaki bireylerin yaklaşık %46,5'i 0 - 9,9 g, %31'i ise 10 – 19,9 g ağırlık aralığındaki bireylerden oluşmaktadır (Şekil 4.1b). Benzer şekilde örneklemin yaklaşık %46,5'ini 7,5 – 6,98 cm total boy aralığındaki bireyler oluşturmaktadır (Şekil 4.1a). Yukarı Düden populasyonundaki bireylerin (N=25) total boyu ortalama 8,63 cm ($\pm 0,1$) ve 8 cm – 10,3 cm, ortalama ağırlığı ise 10,2 g ($\pm 3,47$) ve 5,05 - 17,2 g aralığında değişim göstermiştir. Bu populasyonda ki en baskın boy grubunu 7,5 – 10,4 cm (%44), en baskın ağırlık grubunu ise 0 – 9,9 g (%56) ve 10 – 19,9g (%44) arasında olan bireyler oluşturmuştur (Şekil 4.1a,b). Aşağı Düden populasyonundaki (N= 44) bireylerin ortalama total boyları 7,62 cm ($\pm 1,57$) ve 6,1 – 16,3 cm aralığında değişim göstermiştir. Bireylerin ortalama ağırlığı ise 7,01 g ($\pm 7,99$) ve 2,85 - 55,9 g arasında değişim göstermektedir. Popülasyondaki bireylerin %59,1'i 6 – 7,4 cm total boy aralığı ve %90,9'u 0 – 9,9 g ağırlık aralığında bulunmaktadır (Şekil 4.1a,b).





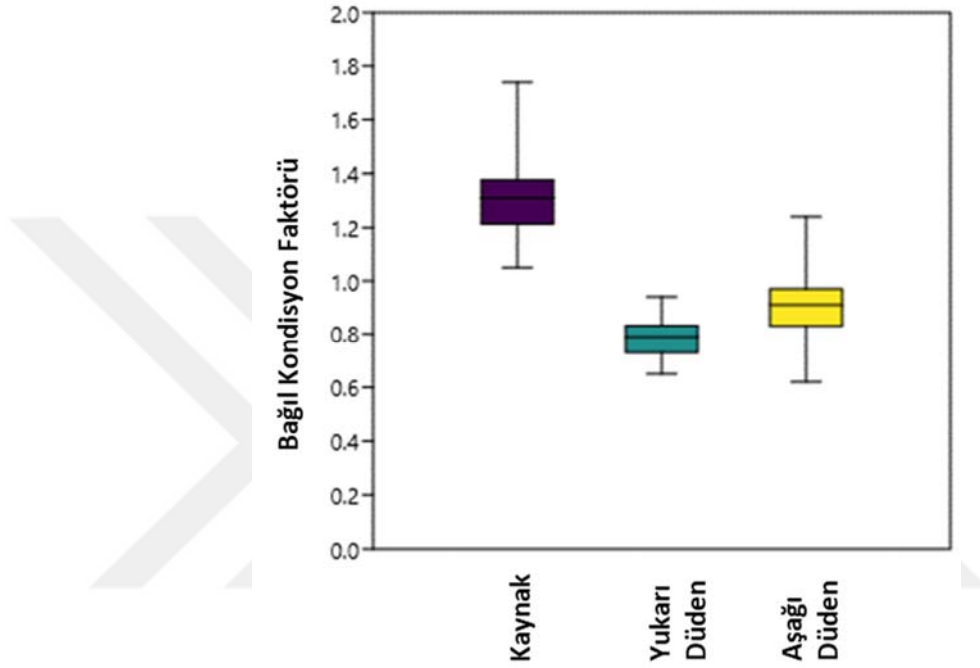
Şekil 4.1. Her üç lokasyondan yakalanan bireylerin total boy (a) ve ağırlık (b) kompozisyonu.

Kırkgöz Kaynağında (CPUE = 1,43) ortalama olarak yukarı (0,35) ve aşağı Düden (0,61) istasyonlarına kıyasla daha fazla *P. antalyae* bireyinin olduğu belirlenmiştir ($F=8,62$; $P=0,01$) (Şekil 4.2a). Benzer şekilde Kaynak populasyonunun biyokütlesi (311,23g) diğer iki populasyondan (Yukarı Düden için 42,54 ve Aşağı Düden için 51,11) önemli ölçüde yüksek olduğu hesaplanmıştır ($F = 20,78$; $P < 0,001$) (Şekil 4.2b). Yukarı ve Aşağı Düden populasyonlarının bollukları ($P > 0,05$) ve biyokütleleri ($P > 0,05$) arasında önemli bir farklılık belirlenmemiştir.



Şekil 4.2. Düden Çayı boyunca üç istasyondaki hesaplanmış *P. antalyae* populasyonunun bolluğu (CPUE) (a) ve biyokütle (b) değerleri (karelerin içindeki yatay çizgiler ortalama değerleri ve uzun dikey çubuklar standart sapmaları ifade etmektedir).

Lokasyon bazında popülasyona ait bireylerin kondisyon faktörlerinin, Kaynakta 1,31 ortalama ve 1,05 ila 1,74, Yukarı Düden 0,79 ortalama ve 0,65 ila 0,94 arasında ve son olarak Aşağı Düden 0,91 ortalama ve 0,62 ila 1,24 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.3). Popülasyonların kondisyon değerleri her üç lokasyonda birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermiştir ($F=231.50$; $P < 0.001$).



Şekil 4.3. Düden Çayı boyunca üç istasyondaki hesaplanmış *P. antalyae* popülasyonlarının kondisyon faktörlerinin dağılımı (karelerin içindeki yatay çizgiler ortalama değerleri ve uzun dikey çubuklar standart sapmaları ifade etmektedir).

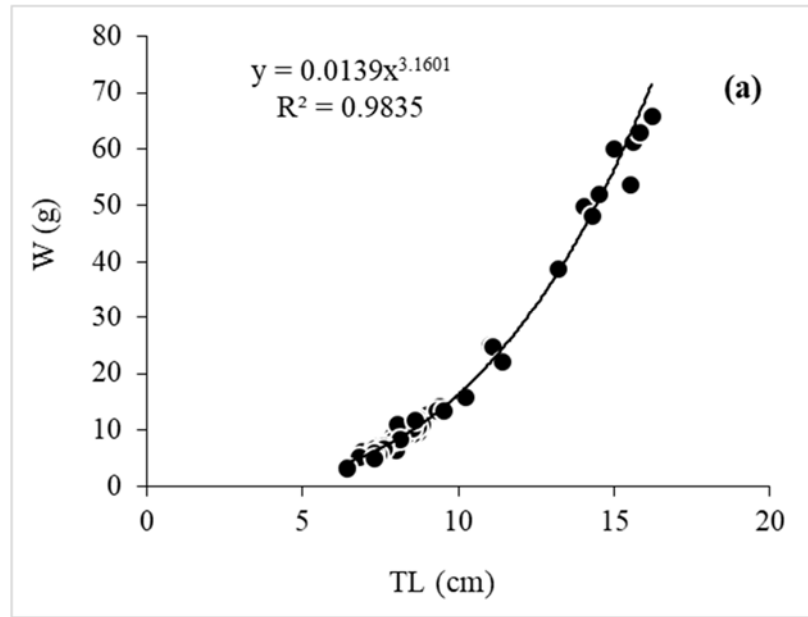
Doğrusal regresyon analizi kondisyon faktörleri ile çalışma alanı genişliği arasında bir ilişki bulamazken ($R^2 = 0,09$, $p > 0,05$), az da olsa ağır metal indeks durumu ile kondisyon faktörü arasında negatif bir ilişki belirlenmiştir ($R^2 = 0,220$, $p < 0,001$).

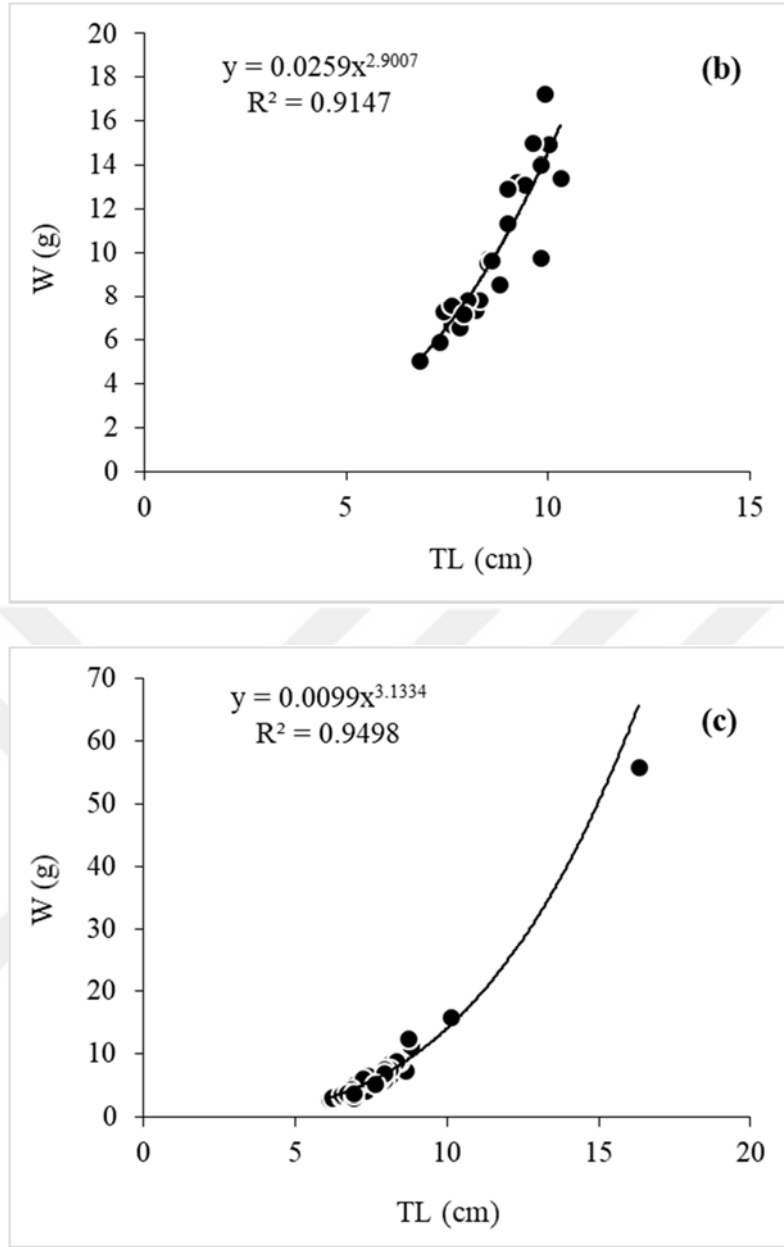
P. antalyae'nin boy-ağırlık ilişkisi denklemi Kırkgöz Kaynağı için $W = 0,0139 \cdot TB^{3,1601}$ ($r^2 = 0,98$), Yukarı Düden için $W = 0,0259 \cdot TB^{2,9007}$ ($r^2 = 0,91$) ve Aşağı Düden için $W = 0,0099 \cdot TB^{3,1334}$ ($r^2 = 0,95$) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.4, Çizelge 4.1). Student's *t*-testi sonucuna göre Kırkgöz ve Aşağı Düden popülasyonları için hesaplanan *b* değeri istatistiksel olarak 3'den büyük ($p < 0,001$) yani pozitif allometri, Yukarı Düden popülasyonunun *b* değeri ise $b < 3$ ($p < 0,00$) yani negative allometri gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Düden Çayı boyunca yayılış gösteren *P. antalyae*'nin boy-ağırlık ilişkileri parametreleri (N: örnek sayısı, TB: total boy, mak: maksimum, min: minimum, a: kesişme noktası, b: denklemin eğimi, SE (b): b'nin Standart hatası, CI (b): b'nin %95'lik güven aralıkları; r^2 : regresyon katsayısı, All (+): pozitif allometrik, All (-): negatif allometrik büyüme).

		Lokasyon		
		Kırkgöz	Yukarı Düden	Aşağı Düden
Ağırlık (g)	N	58	25	44
	mak	66,0	17,2	55,9
	min	3,31	5,05	2,85
TB (cm)	mak	16,2	10,3	16,3
	min	6,4	6,8	6,1
Boy-Ağırlık ilişkisi Parametreleri	a	0,014	0,026	0,009
	b	3,16	2,90	3,13
	SE (b)	0,05	0,19	0,11
	CI (b)	3,05 - 3,27	2,51 - 3,29	2,90 - 3,35
	r^2	0,98	0,91	0,95
	t-testi	58,1**	15,3**	27,8**
	Büyüme Tipi	All (+)	All (-)	All (+)

** b değeri 3'den önemli derecede farklıdır ($p < 0,001$)





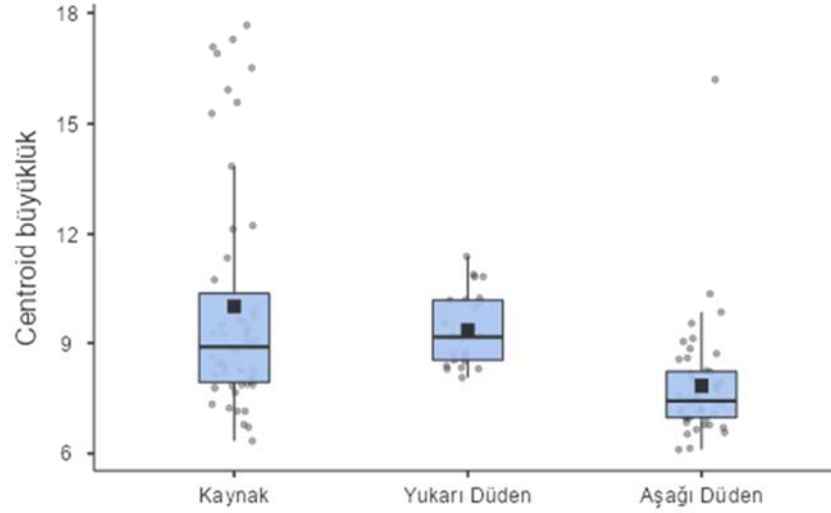
Şekil 4.4. Lokasyonlara göre: Kırkgöz (a), Yukarı Düden (b) ve Aşağı Düden (c) populasyonlarına ait balıkların Boy-Ağırlık arasındaki ilişki durumu.

4.2. Morfolojik Özellikler

4.2.1. Vücut büyüklüğü (centroid büyüklüğü) değişimi

Düden Çayı boyunca üç istasyondan 120 *P. antalyae* bireyinin morfolojik ölçümleri yapılmıştır. Analizlerde, Kırkgöz Kaynağından 51, yukarı Düden Çayı'ndan 25 ve aşağı Düden Çayı'ndan 44 birey içermektedir. ANOVA sonuçları vücut büyüklüğünün (centroid büyüklük) lokasyona ($F = 10,3$, $P < 0,001$) bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur. Tukey testi, Kaynak ve Yukarı Düden Çayı bireylerinin vücut büyüklükleri benzer olsa da, kaynaktan yakalanan balıklar en büyük vücuda sahipken, aşağı Düden çayı'ndan yakalanan balıklar en küçük vücuda sahip olduğunu

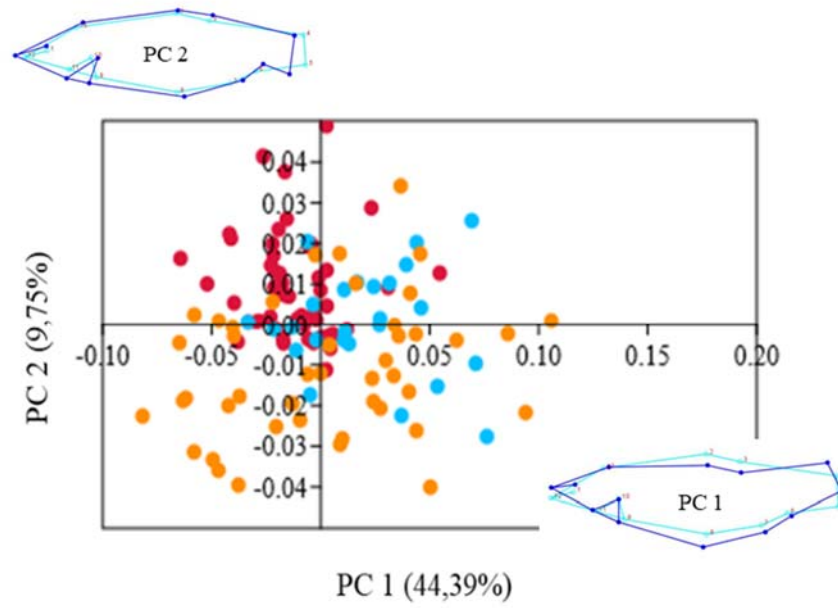
göstermiştir (Şekil 4.4). Regresyon analizi, total boya göre artan centroid büyüklüğünün eğiminin populasyonlar ($F(2,116) = 2.18$; $P = 0,12$) arasında farklılık göstermediği ortaya koyulmuştur.



Şekil 4.5. Populasyonların vücut büyüklüğündeki (Centroid büyüklüğü) alansal farklılıklar. Hata çubukları standart hatayı temsil etmektedir. Kutu içerisindeki kare simgeleri ortalama değeri yansıtmaktadır.

4.2.2. Şekil değişimi

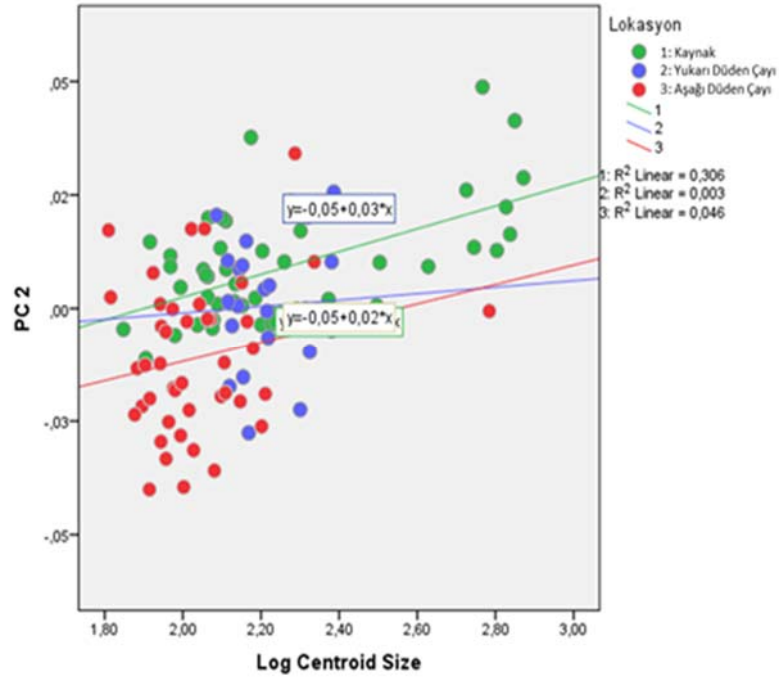
Tek yönlü-MANOVA sonuçları, *P. antalyae*'nin üç populasyonunun vücut şeklinde önemli farklılıklar ortaya koymuştur. Her üç populasyon vücut şekli bakımından birbirinden önemli derecede farklılık göstermektedir (Wilk's $\lambda = 0,109$, $F = 8,54$, $p < 0,001$). Temel Bileşenler Analizi (PCA) *P. antalyae*'nin Düden Çayı boyunca vücut şeklindeki değişkenliğin toplam %78,11'ünü açıklayan 6 bileşen olduğu halde (varyansın %5'inden fazlasını temsil eden bileşenler yorumlanmıştır, Zelditch et al. 2004), ağırlıklı olarak ilk 2 bileşen birlikte morfolojik varyasyonun %54,14'ünü açıklamıştır (Şekil 4.6). *P. antalyae*'nin vücut şekli varyasyonuna katkıda bulunan en önemli landmark noktaları 2 (sırt yüzgeci tabanının ön noktası), 3 (sırt yüzgeci tabanının arka noktası) ve 8 (pelvik yüzgeç tabanının ön noktası) PC1 ile güçlü negatif, 4 (pedunkul-kuyruk yüzgeci birleşiminin dorsal noktası), 5 (pedunkul-kuyruk yüzgeci birleşiminin ventral noktası) ve 12 (ağız ucu) pozitif korelasyon göstermektedir.



Şekil 4.6. Üç lokasyonda dağılış gösteren *P. antalyae*'nin temel bileşenler analizi (PCA) ve tel kafes (wireframe) grafikleri (Kırmızı noktalar “Kaynak”, mavi “yukarı Düden Çayı”, turuncu “aşağı Düden Çayı” lokasyonlarını yansıtmaktadır).

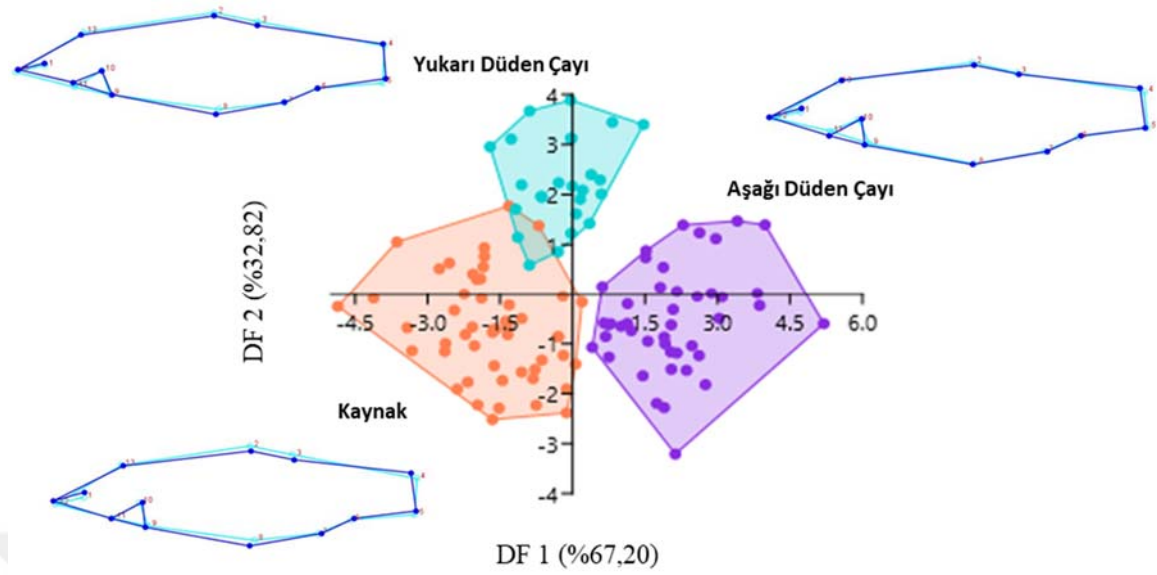
Bunun yanında, landmark 5 (pedunkul-kuyruk yüzgeci birleşiminin ventral noktası) ve 7 (anal yüzgeç tabanının ön noktası) noktaları PC 2 eksenini ile sırasıyla negatif (5) ve pozitif (7) korelasyona sahiptir. Şekil farklılıkları, PC eksenleri üzerinde tel kafes diyagramı (wireframe graph) kullanılarak görselleştirilmiştir (Şekil 4.6).

Vücut şeklinin balığın boyuna bağlı olup olmadığı test edilmiştir. PC1 boyunca belirgin şekilde lokasyon ($r^2 = 0,007$; $p = 0,359$) için şekil-boyut ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir. Buda gruplara ait populasyonlar içinde izometrik büyümeyi yani şeklin boyutun bir fonksiyonu olarak değişmediğini ifade etmektedir. Bununla birlikte PC2 için sadece kaynak populasyonu ($r^2 = 0,31$; $p < 0,001$) için az da olsa şekil-boyut ilişkisi, bir allometri hesaplanmıştır (Şekil 4.7).



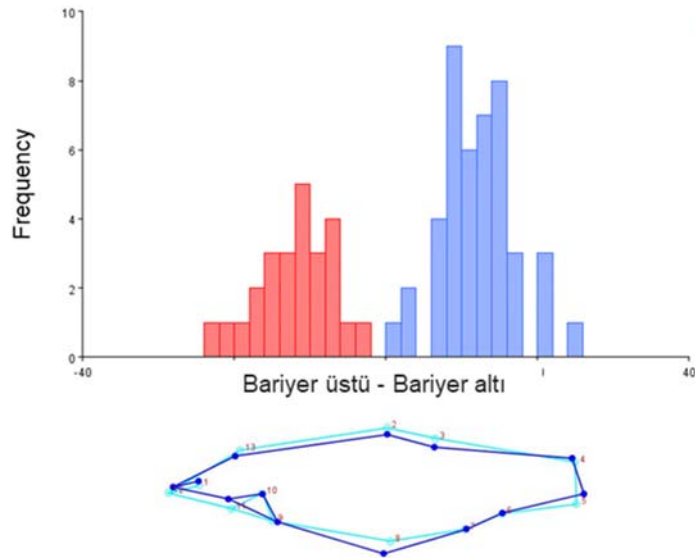
Şekil 4.7. Tüm veri setine dayalı olarak vücut boyutunun (logaritmik centroid büyüklüğü/size olarak verilmiştir) ve PC 2'nin (vücut şekline) regresyon analizi.

P. antalyae'nin üç popülasyonun DFA grafiği, analize dahil edilen grupların birbirinden farklı (Kaynak ile yukarı Düden popülasyonu arasında kısmen benzerlikler olsa da) olduğunu göstermiştir (Şekil 4.8). Vücut şeklindeki değişikliğin %67,20'sini açıklayan DF1 eksen, aşağı Düden Çayını, Kaynak ve Yukarı Düden Çayından ayırmıştır. Ayrıca DF 1 eksen göz ve kafa-vücut birleşim pozisyonu ve pelvik yüzgeç tabanının ön noktası ile negatif, operkulum, ağız ucu pozisyonu ve sırt yüzgeci tabanının ön noktası ile pozitif ilişkilidir. "Jackknife Gruplamaları" testi, bireylerin %86,70 oranında doğru lokasyon grubunda gruplandırmış olup, yukarı ve aşağı Düden Çayı gruplarını, %88 ile en yüksek doğru atama oranına sahip olmuştur (Çizelge 4.2).



Şekil 4.8. *P. antalyae* populasyonlarının şekil farklılıklarını gösteren DFA analizi ve tel kafes grafikleri.

Bariyer altı ve bariyer üstündeki populasyonların vücut şekillerinin birbirinden açıkça farklı olduğu %100'lük bir varyasyonla DF1 tarafından açıklanmıştır (Şekil 4.9). Bariyer üstünü bariyer altından ayıran birinci DF eksenini 1, 8 ve 13 landmark noktaları ile pozitif, 11 ve 7 noktaları ile negatif ilişkilidir. "Jackknife Gruplamaları" testi, bireylerin %87,50 oranında doğru habitat tiplerinde, %92,75 oranında bariyere bağlı olarak doğru gruplandığını bulmuştur (Çizelge 4.2).

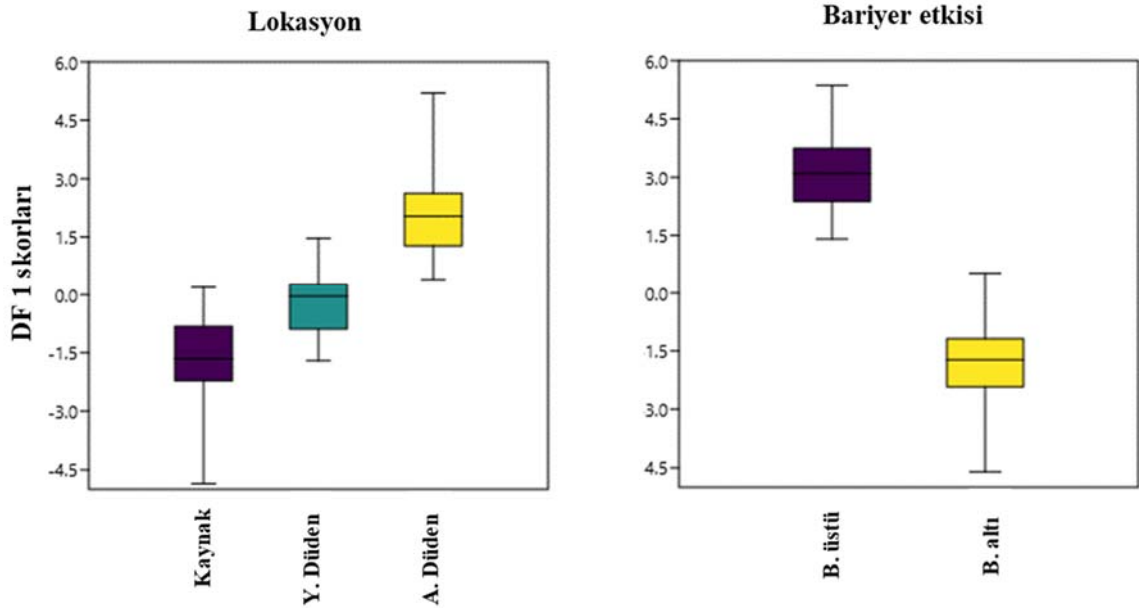


Şekil 4.9. Bariyere bağlı olarak *P. antalyae* populasyonlarının şekil farklılıklarını gösteren DFA analizi ve tel kafes grafikleri.

Çizelge 4.2. Gruplara (lokasyon ve bariyer) atanan bireylerin sayısını ve yüzdesini gösteren Jackknife gruplama sonuçları. İlk sütun, örneklem boyutlarına sahip grupları gösterirken, sonraki sütunlar, DFA tarafından belirlendiği şekilde her bir gruba atanan bireylerin sayısını gösterir.

(Lokasyon, %86,70)	Kaynak		Yukarı Dünden Çayı		Aşağı Dünden Çayı	
Kaynak (N= 51)	43	%84,2	3	%5,9	5	%9,8
Yukarı Dünden Çayı (N= 25)	3	12%	22	88%	0	0
Aşağı Dünden Çayı (N= 44)	3	%6,8	2	%4,5	39	%88,6
(Bariyer, %92,75)	Bariyer üstü		Bariyer altı			
Bariyer üstü (N= 25)	23	%94,4	2	%7,9		
Bariyer altı (N=44)	3	%6,5	41	%96,3		

DF 1 eksenini, tüm bağımsız değişkenlere karşı test edilmiştir ve lokasyonlar (ANOVA, $F=7,961$, $df=2$, $P<0.0001$) ve bariyerin üstü ve altı (ANOVA, $F=18,295$, $df=1$, $P<0.0001$) arasında populasyon şekilleri önemli ölçüde farklılık göstermiştir (Şekil 4.10).

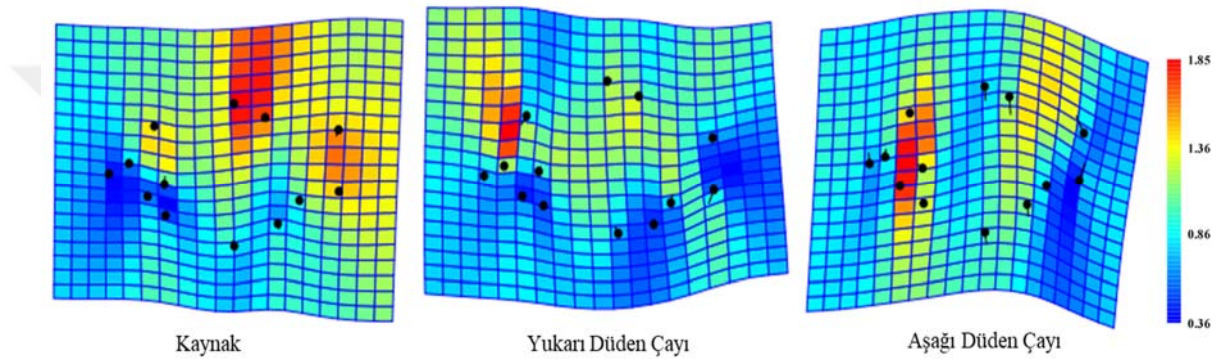


Şekil 4.10. Her grup (lokasyon ve bariyer etkisi) için DF 1 eksenini puanlarının kutu grafiği.

Procrustes tarafından elde edilen koordinatlar kullanılarak TPS deformasyon sonuçları elde edilmiştir (Şekil 4.11). Yüksek deformasyon, yer işaretlerinin ısı haritasında koyu kırmızı noktalarla temsil edilmiştir; ayrıca kırmızı “sıcak” noktalar populasyon şeklinin ortalama şeklinin dışına taşıdığı yerleri, mavi “soğuk” noktalar ise populasyon şeklinin ortalama şeklinin içine doğru küçüldüğü noktaları temsil etmektedir. DFA tarafından elde edilen gruplar (lokasyon, habitat tipi ve bariyer etkisi) arasındaki

morfolojik farklılıklar, beklenen TPS'nin şekil analiziyle uyumlu bulunmuştur (Şekil 4.11).

Gruplara göre düzenlenmiş tüm popülasyonların deformasyon modeli özellikle aşağı Düden Çayı popülasyonunda veya bariyer altındaki bölgeden gelen popülasyonda daha az karmaşıktır. Göl veya bariyer üzerinde kalan popülasyonların ortalama şekli, tüm popülasyonların ortalama orijinal şeklinden daha fazla sapma göstermiştir. Kaynak popülasyonunun kafa bölgesinde daralma fakat vücut derinliğinde ve kuyruk sapında artış görülürken, Yukarı Düden popülasyonunda gövde genişliğinde ve kuyruk sapında daralma fakat aynı zamanda kafa-gövde bağlantısında artış görülmektedir. Aşağı Düden popülasyonu ise geniş kafa, vücut ve kuyruk sapında hafif bir daralma ile karakterize edilir (Şekil 4.11). Bu popülasyonlardaki yüksek varyasyon, birçok fenotipin ortaya çıktığını gösterebilir.



Şekil 4.11. İnce plaka spline ile tasvir edilen *P. antalyae*'deki şekil değişikliği. Deformasyon ısı haritası, tüm popülasyonların ortalama şekline karşı yansıtıldığında her bir popülasyona ait ortalama şeklini gösterir.

5. TARTIŞMA

5.1. *P. antalyae*'nin Populasyon Özellikleri

Pseudophoxinus antalyae, Kırkgöz – Düden Çayı havzasının endemik balığıdır ve en son IUCN Tehdit Altındaki Türler Kırmızı Listesi için “Hassas” statüsünde değerlendirilmiştir (Freyhof 2014). Bu çalışmada, Kırkgöz Kaynağında *P. antalyae* sayısının Düden Çayı'ndaki istasyonlara kıyasla daha yüksek olduğunu gözlemledik. Bu durum muhtemelen bu kaynak habitatının hem şehirleşmenin dışında kalması hem de *P. antalyae* için daha uygun çevre koşullarından (durgun su, yoğun bitki örtüsü vb.) kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu türün yaşam alanı olarak durgun suları, kanalları ve sığ küçük göletleri tercih ettiği bilinmektedir (Atalay 2005).

Bu çalışmada istasyonların çevresel parametreleri örneklenememiştir, ancak her istasyon farklı habitat olanakları sunmaktadır. Örneğin, Kırkgöz Kaynağı, doğal gölbataklık tipi bir yaşam alanı, yukarı Düden insan yapımı zemini betondan bir kanal ve Aşağı Düden ise nispeten doğal bir akarsu kanalı yaşam alanı sunmaktadır. Dolayısıyla bu habitatlar farklı biyotik ve abiyotik özellikler gösterebilir ve bu durum balıkların büyüme parametrelerini etkileyebilir. *P. antalyae* populasyonundaki bireylerin vücut büyüklüğü, Kırkgözden aşağı Düden istasyonuna doğru kademeli olarak azalmıştır. Bu azalma, habitat özellikleri arasındaki değişkenlikten kaynaklanabilir. Ayrıca, *P. antalyae* için önceki çalışmalardan elde edilen veriler, bu çalışmanın bulgularıyla tutarlılık göstermekte ve habitata özgü vücut büyüklüğü değişimini desteklemektedir (Erk'akan vd. 2012; Innal 2014; İlhan ve Gücer 2018). Boy-ağırlık regresyonlarının eğimi “b”, farklı balık türleri veya farklı habitatlardan gelen farklı balık populasyonları arasındaki yaşam öyküsü (Uzunova vd. 2017) ve morfolojik karşılaştırmaların yanı sıra akarsuların çevresel durumu hakkında bilgi sağlar (Vila-Gispert ve Moreno-Amich 2001). Eğer balıklar izometrik olarak büyürlerse vücut şeklini korurlar ve özgül ağırlık da yaşamları boyunca değişmeden kalır ($b = 3$). Bununla birlikte, doğal koşullar altında çoğu balık izometri göstermez, çünkü büyüdükçe veya boyutları arttıkça vücut şeklini değiştirirler ve bir mevsimde şişmanken diğer mevsimde zayıflarlar (Mazumder vd. 2016). Balık allometrik olarak büyürse, balık ağırlığı boydaki artışla orantılı olarak ya daha yavaş ($b < 3$) veya daha hızlı ($b > 3$) artacaktır (Saha vd. 2009). $b < 3$ ise negatif allometriyi gösterir ve balık "ince ve narin" hale gelir, $b > 3$ ise pozitif allometriyi gösterir ve balık "tombul" hale gelir (De Leon vd. 2017). Bu çalışmada, *P. antalyae*'nin Kırkgöz ve aşağı Düden populasyonları pozitif allometrik büyüme ($b > 3$) gösterirken, yukarı Düden populasyonu negatif allometrik büyüme ($b < 3$) göstermiştir. Daha önceki çalışmalar, Kırkgöz kaynağında ve Düden Çayı kanallarında bu tür için pozitif allometrik büyüme (3.34, 3.25 ve 3.41) bildirilmiştir (Erk'akan vd. 2012; Innal 2014; İlhan ve Gücer 2018). Balıklarda boy-ağırlık ilişkisi mevsim, habitat, beslenme, çevre koşulları, büyüme evresi, mide doluluk derecesi, gonad olgunluğu, cinsiyet, boyut aralığı, sağlık ve koruma teknikleri gibi çok sayıda abiyotik ve biyotik faktörden etkilenmektedir (Froese 2006; Tsoumani vd. 2006). Leventeli vd. (2019)'nın Düden Çayında benzer istasyonlarda ağır metal kirliliği üzerine yapmış oldukları çalışmada ağır metal kirlilik indeksine göre Kırkgöz kaynağı “iyi”, yukarı Düden istasyonu “kötü” ve aşağı Düden istasyonu ise “çok kötü” olarak kategorize edilmiştir. Bu çalışmada cinsiyet belirlemedik ancak kirlilik durumu bu halde iken yukarı Düden popülasyonunun bireyleri (6.8-10.3cm) oldukça küçük olup negatif allometri gösterirken, aşağı Düden popülasyonu daha büyük bireylerden

oluşmakta ve pozitif allometri sergilemektedirler. Bu durumda ağır metal yönünden son derece kötü ve sağlıksız bir habitatta bile pozitif allometri göstermesi, balık ontojenisinin (vücut büyüklüğü) büyüme parametreleri üzerindeki etkisinin çevresel parametrelerden daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.

Bir organizmanın bağıl kondisyon faktörü, $K > 1$ ise diğer bireylerin ortalama kondisyonundan daha iyi bir kondisyona, $K < 1$ ise daha kötü kondisyona sahiptir (Sabaridasan vd. 2015; Uzunova vd. 2017). Yalnızca Kırkgöz popülasyonunun ortalama kondisyon değeri 1'in üzerinde olup, diğer iki istasyonda 1'in altındadır. İlginç bir şekilde kondisyon faktörü Leventeli vd. (2019)'ye göre "çok kötü" olarak sınıflandırılan aşağı Düden istasyonunda (0.91) beklenenin aksine en düşük düzeyde bulunmamıştır. En düşük kondisyona sahip balıklar yukarı Düden istasyonunda (0.79) bulunmaktadır. Son yıllarda aşağı Düden bölgesinde tarımsal ve endüstriyel atıklar nedeniyle sık sık balık ölümleri yaşansa da (Anonim4,5) balık örnekleme dönemimizde bu kirleticilerin katkısı azalmış veya kontrol altına alınmış olabilir.

5.2. *P. antalyae* Populasyonlarının Morfolojik Varyasyonu

Kırkgöz Kaynağı-Düden Çayı havzasındaki *P. antalyae* populasyonlarının geometrik morfometri analizleri bu sistem içerisindeki farklı ekolojik koşullara yanıt olarak fenotipik çeşitliliği araştırmak için bir fırsat sunmuştur. Tek değişkenli (univariate) boyut analizlerinden elde edilen sonuçlar, alansal olarak vücut boyutu (centroid size) açısından önemli bir fark ortaya koymaktadır. Vücut boyutu Kaynak ve Yukarı Düden populasyonlarında aşağı Düden populasyonuna kıyasla daha büyüktür. Regresyon analizi ontojenin etkisinin olmadığını ortaya koyduğundan bu değişim balığın boyu ile açıklanamadığı için bu varyasyon Selander (1972) tarafından önerildiği gibi ekolojik olarak yönlendirilen seçimle açıklanabilir.

Bu çalışmada, geometrik morfometrik ve çok değişkenli istatistiksel analizler, Düden çayı boyunca *P. antalyae*'nin üç populasyonu arasında vücut şeklinde belirgin morfolojik farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Gözlenen fenotipteki tür içi farklılıklar, muhtemelen sistem içerisindeki farklı lokasyonlar ile ilişkili ekolojik heterojenliğin dayattığı değişen seçici baskılara maruz kalmasının bir ürünü olabilir (Xu 2017). Elimizde genetik veri olmadığı için, mevcut morfolojik farklılıkların genetik farklılıklardan mı yoksa fenotipik esneklik (plastisite)'den mi yoksa her ikisinin bir kombinasyonundan mı kaynaklandığı tam olarak net değildir. Fakat yine de mevcut morfolojik varyasyona neden olan etmenlerden aşağıda detaylı olarak bahsedilecektir. Morfolojik farklılaşma modellerini ortaya çıkarmak, Düden Çayı gibi yoğun antropojenik baskıların (kirlilik, HES mevcudiyeti gibi) etkisindeki sistemlerde balık adaptasyonlarını anlamada oldukça önemlidir (Knoll, 2015).

Her ne kadar DFA ve PCA sonuçları Kaynak ve Yukarı Düden populasyonlarının vücut şekilleri arasında küçük benzerlikler olsa da, MANOVA ve ısı deformasyon sonuçları iki populasyonun vücut şeklinin birbirinden farklı olduğunu doğrulamıştır. Her iki lokasyon farklı habitat tiplerini temsil etmektedir. Kırkgöz kaynağı daha çok durgun su kütlesi olan gölü, yukarı Düden istasyonu ise yapay bir akarsu kanalını temsil etmektedir. Kararlı-dayanıksız yüzme modeli, akarsuda (lotik) yaşayan populasyonların, suyun akıntı hızındaki farklılıklar nedeniyle göl (lentik) populasyonlarından daha aerodinamik bir form göstereceğini öngörmektedir. Lentik habitatlardaki balıklar tipik

olarak daha derin bir gövde, daha geniş bir kaudal alan (kuyruk sapı) ve daha küçük bir kafa ile karakterize edilir (Gaston ve Lauer 2015; Geladi vd. 2019; Lang 2016). Bu genel vücut yapısı akarsu balıklarında, sürünmeyi en aza indiren, enerji harcamasını azaltan ve uzun süreli yüzmeyi mümkün kılarken, göllerde yaşayanlarda vücut derinliği, ani hızlanmayı kolaylaştırır ve manevra kabiliyetini artırır (Santos ve Araujo 2014). Bu çalışmada, Kaynak popülasyonundaki bireyler de benzer olarak daha derin vücutlu (vücut yüksekliği fazla), küçük kafa ve daha uzun sırt ve pelvik yüzgeç tabanlarına sahipti, bunun aksine yukarı Düden popülasyonundaki bireyler genel anlamda daha ince bir vücut genişliği ve kuyruk sapına sahiptiler. Benzer özellikler bir başka küçük vücutlu sazangil *Cyprinella venusta* (Haas vd. 2010; Franssen vd. 2013b) ve *C. lutrensis*'in popülasyonlarında da gözlenmiştir (Langerhans 2008). Bu tür içi vücut şeklindeki farklılığa, farklı lentik sistemlerdeki küçük gövdeli balıklar üzerinde benzer seçici baskıların neden olduğu söylenebilir. Habitat tipine bağlı benzer morfolojik örüntüler farklı sazangil balık türlerinde de yaygın olarak görülmüştür (Krabbenhof vd. 2009; Haas vd. 2010; Franssen 2011; Franssen vd. 2013a; Cureton ve Broughton 2014).

Bunun yanında *P. antalyae*'nin göl (Kaynak)-akarsu (Yukarı Düden) popülasyonları arasında küçük ölçekte morfolojik benzerlikler de bulunmuştur. Mevcut çalışmalar benzer şekilde lentik ortamda yaşayan bazı popülasyonların fuziform şekle sahip olabildiğini de göstermiştir (McGuigan vd. 2003; Hendry vd. 2006; Lang vd. 2016). Akıntı hızı her zaman morfolojik örüntüleri açıklamada en güçlü faktör olmazken (Haas vd. 2015), bireyin sahip olduğu kas kütlesi, yırtıcı hayvanların (predatör) varlığı ve habitatın yapısal karmaşıklığı, beslenme ya da av tipindeki değişim, ani yüzmeye davranışlarına duyulan ihtiyaçla sonuçlanan yeni bir niş gibi çok çeşitli faktörler morfolojik örüntü nedenleri sayılabilir (Hendry vd. 2006; Spoljaric ve Reimchen 2007; Domenici vd. 2008; Langerhans vd. 2008; Myers ve Belk 2014; Touzinsky 2015). Popülasyonlar arasında morfolojik olarak net bir ayrışmanın olmamasının altında yatan en etkili mekanizma muhtemelen gen akışının mevcut olmasıdır. Dolayısıyla bu çalışmadaki şekil benzerlik ve farklılıklar gen akışı altında gerçekleşen fenotipik esnekliğin bir sonucudur. Çünkü gen akışı belirgin derece de morfolojik ayrışmayı kısıtlayabilir.

Şekil değişikliği, bir organizmanın boyut olarak büyümesiyle ve farklı gelişim (ontojeni) aşamalarından geçerken meydana gelir. Bu çalışmada, sadece Kaynak popülasyonunda az da olsa şekil-boyut ilişkisi yani bir allometri (büyümeyle ilişkili şekil değişikliği) hesaplanmıştır. Bu şu anlama gelmektedir; daha büyük vücut büyüklüğüne (centroid size) sahip bireylerin yanal (posterior-ventral) vücut şeklinde daha fazla çeşitlilik gösterir. Bunun dışında böyle bir eğilim diğer iki lokasyondaki popülasyonlar için hesaplanmamıştır. Gerçekte, hem habitat farklılıkları hem de büyüme durumlarının dışında cinsiyet de allometriye sebep olabilmektedir. Vücut şeklindeki cinsel dimorfizm, potansiyel olarak cinsel seçilimin etkilerini ve cinsiyetler arasındaki ekolojik heterojenliğe verilen farklı tepkileri yansıtabilir (Hassell vd. 2012; Xu 2017). Bu çalışmada maalesef cinsiyet tayin edilmediği için şekil varyasyonuna cinsiyetin etkisi hesba katılamamıştır.

Vücut şeklindeki bir diğer belirgin farklılık aşağı Düden ile yukarı Düden popülasyonları arasında hesaplanmıştır. Aşağı Düden popülasyonuna ait bireyler büyük kafa, dar kuyruk sapı ve daha derin bir vücut ile temsil edilmektedir. Düden Çayı üzerinde iki adet hidroelektrik santrali (1967 yılında açılmış, Anonim 2021) ve bir adet Düden

Şelalesi gibi doğal ve yapay fiziksel bariyerler yer almaktadır. Ancak, Düden Çayındaki *P. antalyae*'nin bu iki popülasyonu arasında göç durumları ve dolayısıyla gen akışının kapsamı bilinmemektedir. Yapılan çalışmalar, habitatlar arasındaki coğrafi mesafelerin (Moore vd. 2007; Berner vd. 2009) ve fiziksel bariyerlerin çeşitli balıklarda morfolojik farklılıkları artırdığını göstermiştir (Gelmond vd. 2009; Magnan vd. 2014; Knoll 2015; Radojković vd. 2018; Gilbert vd. 2020; Haas vd. 2020). Barajlar ve şelaleler gibi akarsu bariyerleri, gen akışı için büyük bir engel oluşturmaktadır (Gagen vd. 2013; Van Doornik vd. 2013; Kelson vd. 2014). Bariyerin üzerinde kalan popülasyonların genetik çeşitliliğinin azalmakta ve hatta bariyer üstü ve altı popülasyonları arasındaki genetik farklılaşma artmaktadır (Wofford vd. 2005; Deiner vd. 2006). Dolayısıyla elimizdeki mevcut veriler ile *P. antalyae* yukarı ve aşağı Düden popülasyonlarının belirgin morfolojik farklılıklarının genetik farklılıklardan mı yoksa fenotipik esneklikten mi kaynaklandığı net değildir.

İki hidroelektrik santralinin altında kalan aşağı Düden, Antalya şehir merkezinin içerisinde yer almakta ve özellikle şehirleşme, tarımsal (özellikle seralar) ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun etkisinde kalan bir istasyondur. Önceki çalışmalar (Ayaz vd. 2013, Leventeli vd. 2019) özellikle aşağı Düden istasyonunun ağır metal kirliliği ve su kalite parametreleri açısından kötü durumda olduğunu rapor etmişlerdir. Kirleticiler ile kontamine olmuş sucul sistemlerde yaşamak genellikle balık vücudunda morfolojik değişikliklerle ilişkilendirilmektedir (Pyle vd. 2005; Esin ve Fedosov 2016). Her ne kadar bu istasyonun oksijen içeriği hakkında bilgimiz olmasa da deneysel çalışmalar, *Pseudocrenilabrus multicolor*'un (Crispo ve Chapman 2011) ve *Barbus neumayeri*'nin (Langerhans vd. 2008) hipoksik ortamlarda solungaç boyutunun arttığı ve buna bağlı olarak kafa bölgesinin genişlediği rapor edilmiştir. Dolayısıyla, elimizdeki veriler *P. antalyae*'nin aşağı Düden popülasyonunda görülen kafa-operkulum bölgesinin genişlemesi, ekolojik ayrışmayı teşvik etme potansiyeline sahip habitat özellikleri (oksijen, sıcaklık gibi) ve farklı av türleri ya da beslenme özellikleri ile açıklanabilir (Chavarie vd. 2015; Kaymak vd. 2022).

Kaynak ve Aşağı Düden popülasyonlarını karşılaştırmadan önce, habitat karakterlerini iyi tanımlamak gerekmektedir. Kaynak “*doğal*” bir küçük göl habitatı sunarken, aşağı Düden istasyonu “*antropojenik*” olarak yoğun baskı altında olan akarsu habitatıdır. Balıklar doğal veya antropojenik hızlı çevresel değişimlere hızlı tepki verme kapasitesindedirler (Gilbert vd. 2020). Her iki popülasyon arasında gözlenen morfolojik farklılığın nedeni yukarıda detaylı açıklandığı gibi habitat (göl-akarsu) ve buna bağlı çevresel parametrelerdeki değişimden ya da fiziksel bariyer etkisinden kaynaklanabilir. Endemik bir balık olarak *P. antalyae* popülasyonunun büyük ihtimale su kalite parametrelerinin ani değişim gösterdiği böyle kararsız, antropojenik olarak tehdit altındaki ekosistem ile başa çıkmalarına izin veren bu tür esnek/plastik özelliklere sahip olmaları faydalı olacaktır (Crispo 2008).

6. SONUÇLAR

Antropojenik olarak tehdit altındaki bir ekosistemde yayılış gösteren *P.antalyae* popülasyonlarının durumunun ve vücut morfolojisinin değerlendirildiği bu çalışmada hem popülasyon özelliklerinin hemde vücut morfolojisinin belirgin farklılıklar gösterdiği ortaya çıkarılmıştır.

Düden Çayının ağır metal kirlilik indeksi değerlerine göre iyi olarak sınıflandırılan Kaynak, kötü olarak sınıflandırılan yukarı Düden ve çok kötü olarak sınıflandırılan aşağı Düden istasyonundaki bireylerin büyüme tipleri ağır metal durumu ile bir doğrusaldık göstermemiştir. Çünkü aşağı Düden popülasyonu daha büyük bireylerden oluşmakta ve pozitif allometri sergilemektedir. Benzer şekilde aşağı Düden popülasyonunun kondisyon değerleri de yüksek bulunmuştur. Bu durumu balık ontojenisinin (vücut büyüklüğü) büyüme parametreleri üzerindeki etkisinin çevresel parametrelerden daha fazla olduğuyla ya da balık örnekleme dönemimizde bu kirleticilerin katkısının azalmış veya kontrol altına alınmış olmasıyla açıklayabiliriz.

Balıklar üremek, beslenmek ve habitat değişimlerinden kaçmak için akarsu sistemleri içerisinde uzun mesafelerde hareket edebilirler. Bununla birlikte, gen akışının engellenmesi için sadece fiziksel bariyerlerin olması gerekmez bundan başka zigotik öncesi ve sonrası eş seçimi, su kimyasındaki veya diğer çevresel koşullardaki yerel farklılıklar, farklı habitatlardan gelen balıklar için engeller oluşturabilir (Webster vd. 2011). Sonuç olarak, elimizde genetik veri olmadığı için, gözlemlenen varyasyonun arkasındaki ana itici gücün genetik farklılaşmadan mı, fenotipik plastisiteden mi yoksa her ikisinin kombinasyonundan mı olduğu net değildir. Bu çalışmada açıklanan habitatlar arası morfolojik varyasyonun altında yatan nedensel mekanizmaları (genetik ve ekolojik) ve eğer varsa, ekolojik uzmanlaşmayı ne ölçüde temsil ettiklerini belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

7.KAYNAKLAR

- Abowei, J.F.N. 2009. The abundance, condition factor and length-weight relationship of *Cynoglossus senegalensis* (Kaup, 1858) from Nkoro River Niger Delta, Nigeria. *Advance journal of food science and Technology*, 1(1), 57-62.
- Adams, D.C., Rohlf, F.J., & Slice, D.E. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian journal of zoology*, 71(1), 5-16.
- Adams, D.C., & Collyer, M.L. 2009. A general framework for the analysis of phenotypic trajectories in evolutionary studies. *Evolution*, 63(5), 1143-1154.
- Adite, A., Tossavi, C.E., & Kakpo, D.B.E. 2017. Biodiversity, length-weight patterns and condition factors of cichlid fishes (Perciformes: Cichlidae) in brackish water and freshwater lakes of the Mono River, Southern Benin, West Africa. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 4(6), 26-34.
- Altun, A. 2017. Morphometric and genetic analyses on freshwater fish, *Pseudophoxinus* (Teleostei: Cyprinidae) populations in Turkey.
- Anonim 1: <https://www.trthaber.com/foto-galeri/antalyanin-icme-suyu-kaynagi-copluge-dondu/47335/sayfa-2.html> (10.04.2023)
- Anonim 2: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_cdr_2019_son-20200907101243.pdf (10.04.2023)
- Anonim 3: <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/antalyada-korkutan-goruntu-315-binlercesi-telef-oldu-gozlerimize-inanamadik-41715537> (10.04.2023)
- Anonim 4: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/antalya_2020_-cdr-20210812095503.pdf (10.04.2023)
- Anonim 5: <https://antalyakorfez.com/haber/53355-duden-ile-ilgili-rapor-aciklandi> (10.04.2023)
- Anzueto-Calvo, M.J., Velázquez-Velazquez, E., Ruiz-Campos, G., Cruz Maza, B.G., & Domínguez-Cisneros, S.E. 2022. Evaluation of somatic indexes in the endangered and endemic killifish Tlaloc hildebrandi (Cyprinodontiformes: profundulidae). *Neotropical Biodiversity*, 8(1), 267-270.
- Atalay, M.A. 2005. *Pseudophoxinus* (Pisces, Cyprinidae) Genusu'nun Anadolu'da yayılışı ve taksonomik özelliklerinin belirlenmesi. Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Havza 326 koruma eylem planlarının hazırlanması projesi doğu karadeniz havzası nihai raporu.Sci.https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar329%C4%B1/Dogu_Karadeniz_web.pdf (12.12. 2022).

- Ayaz, S., Dilaver, M., Beşiktaş, M. vd. 2013. Havza koruma eylem planlarının hazırlanması projesi batı akdeniz havzası nihai raporu. Tübitak mam proje raporu, no: 5118601, 593 s.
- Balık S. 1995. Fresh-Water Fish in Anatolia, Turkey. *Biological Conservation*, 72 (2): 213-223.
- Berner, D., Grandchamp, A.C., & Hendry, A.P. 2009. Variable progress toward ecological speciation in parapatry: stickleback across eight lake-stream transitions. *Evolution*, 63(7), 1740-1753.
- Bookstein, F.L, Chernoff, B., Elder, R.L., Humphries, Jr., J.M., Smith, G.R., and Strauss, R.E. 1985. *Morphometrics in Evolutionary Biology*, Special Publication Academy of Natural Sciences Press, Pennsylvania
- Bookstein, F.L. 1991 *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press, New York
- Bookstein, F.L. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape. *Medical Image Analysis* 1(3), 225-243.
- Bookstein, F.L. and Rohlf, F.J. 1990. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. University of Michigan Museum of Zoology
- Bravi, R., Ruffini, M., & Scalici, M. 2013. Morphological variation in riverine cyprinids: a geometric morphometric contribution. *Italian Journal of Zoology*, 80(4), 536-546.
- Calazans, A.M., Martinez, P.A., & Jacobina, U.P. 2021. Lentic and lotic environments affect morphological diversity in characiformes fishes in the Neotropical São Francisco River Basin, Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, 104(8), 977-987.
- Chavarie, L., Howland, K., Harris, L., & Tonn, W. 2015. Polymorphism in lake trout in Great Bear Lake: intra-lake morphological diversification at two spatial scales. *Biological Journal of the Linnean Society*, 114(1), 109-125.
- Chevin, L.M., Lande, R., & Mace, G.M. 2010. Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *PLoS biology*, 8(4), e1000357.
- Collyer, M.L., Sekora, D.J., & Adams, D.C. 2015. A method for analysis of phenotypic change for phenotypes described by high-dimensional data. *Heredity*, 115(4), 357-365.
- Cowx, I.G. and Harvey, J.P. 2003. Monitoring the bullhead. *Cottus gobio*. Conserving Natura 334 2000 Rivers Monitoring Series No 4, English Nature, Peterborough
- Crispo, E. 2008. Modifying effects of phenotypic plasticity on interactions among natural selection, adaptation and gene flow. *Journal of evolutionary biology*, 21(6), 1460-1469.

- Crispo, E. & L. J. Chapman, 2011. Hypoxia drives plastic divergence in cichlid body shape. *Evolutionary Ecology* 25: 949–964
- Cureton, J.C., & Broughton, R.E. 2014. Rapid morphological divergence of a stream fish in response to changes in water flow. *Biology letters*, 10(6), 20140352.
- Çiçek, E., Sungur, S., & Fricke, R. 2015. Freshwater fishes of Turkey; a revised and updated annotated checklist.
- Çiçek, E., Fricke, R., Sungur, S., & Eagderi, S. 2018. Endemic freshwater fishes of Turkey, *Fish Taxa*, 3, 4, 1-39.
- De Barros, T.F., Louvise, J., & Caramaschi, É.P. 2019. Flow gradient drives morphological divergence in an Amazon pelagic stream fish. *Hydrobiologia*, 833, 217-229.
- De Leon, K. J. A., Manliclic, A. D. C., & Corpuz, M. N. C. (2017). Spatial and sexual variation 341 on morphometrics, length and weight, and condition factor dynamics of endemic silver 342 therapon (*Leiopotherapon plumbeus*, Kner). *International Journal of Agricultural 343 Technology*, 13(7), 1567-1577.
- Deiner, K., Garza, J.C., Coey, R., & Girman, D.J. 2007. Population structure and genetic diversity of trout (*Oncorhynchus mykiss*) above and below natural and man-made barriers in the Russian River, California. *Conservation Genetics*, 8, 437-454.
- Deekae SN, Abowei JFN. Macrobrachium Macrobrachion (Herklots, 1851) Length-Weight Relationship and Fulton's Condition Factor in Luubara creek, Ogoni Land, Niger Delta, Nigeria. *International Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010;2:155-162.
- Dias, M.S., Cornu, J.F., Oberdorff, T., Lasso, C.A., & Tedesco, P.A. 2013. Natural fragmentation in river networks as a driver of speciation for freshwater fishes. *Ecography*, 36(6), 683-689.
- Domenici, P., Turesson, H., Brodersen, J., & Brönmark, C. 2008. Predator-induced morphology enhances escape locomotion in crucian carp. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1631), 195-201.
- Dos Reis, R. M., da Silva Lourenço, L., da Silva, H. P., & JhonyVendrusclo, I. M. F. 2020. Length-weight relationships and condition factor of the predatory fish, *Cichla pleiozona* and *Serrasalmus rhombeus*, from two tropical reservoirs, Amazon basin, Brazil. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3): 355-360.
- Drake, A.G., & Klingenberg, C.P. 2008. The pace of morphological change: historical transformation of skull shape in St Bernard dogs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1630), 71-76.

- Dürrani, Ö., Ateşşahin, T., Eroğlu, M., & Düşükcan, M. 2022. Morphological variations of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) in lentic and lotic environments inferred from the body, otolith, and scale shapes.
- Erk'akan, F., Innal, D., & Özdemir, F. 2013. Length–weight relationships for ten endemic fish species of Anatolia. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(3), 683-684.
- Erdem, A. 2002. Düden çayının su kalitesinin incelenmesi ve Akdeniz'e taşınan kirlilik yüklerinin mevsimsel değişiminin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 132s.
- Esin, E.V., & Fedosov, A.E. 2016. The effect of chronic volcanic pollution on the morphometric characteristics of juvenile Dolly Varden (*Salvelinus malma* W.) on the Kamchatka peninsula. *Hydrobiologia*, 783, 295-307.
- Franssen, N.R. 2011. Anthropogenic habitat alteration induces rapid morphological divergence in a native stream fish. *Evolutionary Applications*, 4(6), 791-804.
- Franssen, N.R., Harris, J., Clark, S.R., Schaefer, J.F., & Stewart, L.K. 2013a. Shared and unique morphological responses of stream fishes to anthropogenic habitat alteration. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1752), 20122715.
- Franssen, N.R., Stewart, L.K., & Schaefer, J.F. 2013b. Morphological divergence and flow-induced phenotypic plasticity in a native fish from anthropogenically altered stream habitats. *Ecology and evolution*, 3(14), 4648-4657.
- Freyhof, J. 2014. *Pseudophoxinus antalyae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T60988A19008904.
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations.
- Gagen, C.J., Yamashita, T., & Schanke, K.L. 2013. Concurrent sessions a: passage effectiveness monitoring in small streams I-assessing the effects of road crossings on gene flow for fish populations in warmwater streams of the Ouachita National Forest.
- Garner, S.R., Bobrowicz, S.M., & Wilson, C.C. 2013. Genetic and ecological assessment of population rehabilitation: Walleye in Lake Superior. *Ecological applications*, 23(3), 594-605.
- Gaston, K.A., & Lauer, T.E. 2015. Morphometric variation in bluegill *Lepomis macrochirus* and green sunfish *Lepomis cyanellus* in lentic and lotic systems. *Journal of Fish Biology*, 86(1), 317-332.
- Geladi, I., De León, L.F., Torchin, M.E., Hendry, A.P., González, R., & Sharpe, D.M. 2019. 100-year time series reveal little morphological change following impoundment and predator invasion in two Neotropical characids. *Evolutionary Applications*, 12(7), 1385-1401.

- Geldiay, R. & Balık, S. 2007. Türkiye Tatlısu Balıkları. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları no: 46, Bornova-İzmir 644 s.
- Gelmond, O., Von Hippel, F.A., & Christy, M.S. 2009. Rapid ecological speciation in three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* from Middleton Island, Alaska: the roles of selection and geographic isolation. *Journal of Fish Biology*, 75(8), 2037-2051.
- Gilbert, M.C., Akama, A., Fernandes, C.C., & Albertson, R.C. 2020. Rapid morphological change in multiple cichlid ecotypes following the damming of a major clearwater river in Brazil. *Evolutionary Applications*, 13(10), 2754-2771.
- Graf W.L., 1999. Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research*, 35:1305–1311.
- Harvey, E., Cappel, M., Shortis, M., Robson, S., Buchanan, J., & Speare, P. 2003. The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) with a stereo-video camera system. *Fisheries Research*, 63(3), 315-326.
- Haas, T.C., Blum, M.J., & Heins, D.C. 2010. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biology letters*, 6(6), 803-806.
- Haas, T. C., D. C. Heins, and M. J. Blum. 2015. Predictors of body shape among populations of a stream fish (*Cyprinella venusta*, Cypriniformes: Cyprinidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 115:842-858.
- Haas, T.C., Derryberry, G., Heins, D.C., & Blum, M.J. 2021. Chronosequence of morphological change in a stream fish following impoundment. *Freshwater Biology*, 66(9), 1721-1735.
- Hassell, E.M., Meyers, P.J., Billman, E.J., Rasmussen, J.E., & Belk, M.C. 2012. Ontogeny and sex alter the effect of predation on body shape in a livebearing fish: sexual dimorphism, parallelism, and costs of reproduction. *Ecology and Evolution*, 2(7), 1738-1746.
- Heckel J.J. 1843. Abildungen und Beschreibungen der Fische Syries in Russeger. J. Reisen in Europa.
- Helfman, G.S. 2007. Fish conservation: a guide to understanding and restoring global aquatic biodiversity and fishery resources. Island Press.
- Hendry, A.P., Kelly, M.L., Kinnison, M.T., & Reznick, D.N. 2006. Parallel evolution of the sexes? Effects of predation and habitat features on the size and shape of wild
- Hendry AP, Taylor EB, McPhail JD. 2022. Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickleback in the Misty system. *Evolution*. 2002;56:1199–1216.

- IUCN. 2017. The IUCN red list of threatened species. Version 2017-3. The IUCN Red List of Threatened Species 2017.
- Innal, D. 2014. Identifying growth parameters for two endemic species *Capoeta antalyensis* (Battalgil, 1943) and *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992 in Duden Creek, Antalya, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(2), 294-299.
- İlhan, A., & Gücer, M. 2018. Anadolu endemiği sekiz *Pseudophoxinus* türünün boy-ağırlık ilişkisi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(1), 73-77.
- Jakobs vd. 1996 Estimating fitness: a comparison of body condition indices. *Oikos* 77(1):61-67.
- Kano, Y., Nishida, S., Nakajima, J. 2012. Waterfalls drive parallel evolution in a freshwater goby. *Ecology and Evolution*, 2:1805–1817.
- Kaymak, vd .2022. Invasive *Coptodon* (Perciformes: Cichlidae) in southwest Turkey: Species identification using sequence data. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(2), 135-144
- Karahan, A., Borsa, P., Gucu, A.C., Kandemir, I., Ozkan, E., Orek, Y.A., ... & Togan, I. 2014. Geometric morphometrics, Fourier analysis of otolith shape, and nuclear-DNA markers distinguish two anchovy species (*Engraulis* spp.) in the Eastern Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 159, 45-55.
- Kelson, S.J., Kapuscinski, A.R., Timmins, D., & Ardren, W.R. 2015. Fine-scale genetic structure of brook trout in a dendritic stream network. *Conservation genetics*, 16, 31-42.
- Kestek, S. (2018). *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992 (Çiçek Balığı)'nın helmint faunası ve mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi.
- Klingenberg, C.P. 1998. Heterochrony and allometry: The analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biological Review*, 73:79–123.
- Klingenberg, C.P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.
- Klingenberg, C.P. 2013. Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix*, 24(1), 15.
- Knoll, K.M. 2015. The Effect of Isolation by Waterfalls and Dams on Stream Fish Morphology. Master Thesis, Northern Michigan University, 55sy.
- Krabbenhoft, T. J., M. L. Collyer, and J. M. Quattro. 2009. Differing evolutionary pattern underlie convergence on elongate morphology in endemic fishes of Lake Waccamaw North Carolina. *Biological Journal of the Linnean Society* 98:636-645.

- Kottelat, M., & Barbieri, R. 2004. Pseudophoxinus laconicus, a new species of minnow from Peloponnese, Greece, with comments on the West Balkan Pseudophoxinus species (Teleostei: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 15(2), 147-160.
- Kubilay, N., & Sungur, S. 2021. Fırat-Dicle havzasında bazı Alburnus sellal Heckel, 1843 popülasyonlarının geometrik morfometrik analizi, Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi.
- Lang, J.J. 2016. An analysis of morphometric differentiation in lake and river populations of the emerald shiner, Notropis atherinoides. Master Thesis, State University of New York, 61s.
- Langerhans, R.B. 2008. Predictability of phenotypic differentiation across flow regimes in fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 48(6), 750-768.
- Langerhans, R.B., & DeWitt, T.J. 2004. Shared and unique features of evolutionary diversification. *The American Naturalist*, 164(3), 335-349.
- Lazzarotto, H., Barros, T., Louvise, J., & Caramaschi, É.P. 2017. Morphological variation among populations of Hemigrammus coeruleus (Characiformes: Characidae) in a Negro River tributary, Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 15.
- Leventeli, Y., Yalcin, F., & Kilic, M. 2019. An investigation about heavy metal pollution of Duden and Goksu Streams (Antalya, Turkey). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2).
- Marcus, L.F. 1990. Traditional morphometrics. In Rohlf, F.J., and Bookstein, F.L. Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop, Special Publication Number 2, pp. 77-122. University of Michigan Museum of Zoology, Michigan.
- Magnan, P., Proulx, R., Berrebi, P., Blondel, J., Perret, P., & Roché, B. 2014. Morphological variation in the freshwater blenny Salaria fluviatilis from Corsican rivers: adaptive divergence, phenotypic plasticity or both?. *Journal of Fish Biology*, 84(1), 31-44.
- Maldonado-Chaparro, A.A., Read, D.W., & Blumstein, D.T. 2017. Can individual variation in phenotypic plasticity enhance population viability, *Ecological Modelling*, 352, 19-30.
- Mazumder, S.K., Das, S.K., Bakar, Y., & Ghaffar, M.A. 2016. Effects of temperature and diet on length-weight relationship and condition factor of the juvenile Malabar blood snapper (Lutjanus malabaricus Bloch & Schneider, 1801). *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 17(8), 58 *Evolution*, 61(8), 2015-2026.
- McGuigan, K., C. E. Franklin, C. Moritz, and M. W. Blows. 2003. Adaptation of rainbow fish to lake and stream habitats. *Evolution* 57:104-118.
- Meyers, P.J., & Belk, M.C. 2014. Shape variation in a benthic stream fish across flow regimes. *Hydrobiologia*, 738, 147-154.0.

- Miller, S. J., D. T. VanGenechten & C. E. Cichra. 2015. Length-weight relationships and an evaluation of fish-size and seasonal effects on relative condition (Kn) of fishes from the Wekiva River, Florida. *Florida Scientist*, 78: 1-19.
- Murat, T., & Aykut, K. 2015. Genetic and morphologic diversity of *Pseudophoxinus* (Cyprinidae): implication for conservation in Anatolia. *Environmental biology of fishes*, 98, 571-583.
- Monteiro, L.R., & Reis, S.F.D. 1999. Princípios de morfometria geométrica. In Princípios de morfometria geométrica (pp. 189-189).
- Moore, J.S., Gow, J.L., Taylor, E.B., & Hendry, A.P. 2007. Quantifying the constraining influence of gene flow on adaptive divergence in the lake-stream threespine stickleback system. *Evolution*, 61(8), 2015-2026.
- Parsons, K.J., Robinson, B.W., & Hrbek, T. 2003. Getting into shape: an empirical comparison of traditional truss-based morphometric methods with a newer geometric method applied to New World cichlids. *Environmental Biology of Fishes*, 67, 417-431.
- Perazzo, G.X., Corrêa, F., Calviño, P., Alonso, F., Salzburger, W., & Gava, A. 2019. Shape and size variation of *Jenynsia lineata* (Jenyns 1842)(Cyprinodontiformes: Anablepidae) from different coastal environments. *Hydrobiologia*, 828, 21-39.
- Perrow, M.R. and Côté, I. 1999. The development of ecological requirements to inform the 373 production of conservation objectives for bullhead and spined loach. Report for English 374 Nature, Peterborough, 26 pp.
- Pyle, G.G., Rajotte, J.W., & Couture, P. 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(3), 287-312.
- Radojković, N., Marinović, Z., Milošković, A., Radenković, M., Đuretanović, S., Lujčić, J., & Simić, V. 2018. Effects of stream damming on morphological variability of fish: Case study on large spot barbell *Barbus balcanicus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(3), 231-239.
- Rahel, F.J. 2007. Biogeographic barriers, connectivity and homogenization of freshwater faunas: it's a small world after all. *Freshwater Biology*, 52:696-710.
- Reed, T.E., Waples, R.S., Schindler, D.E., Hard, J.J., & Kinnison, M.T. 2010. Phenotypic plasticity and population viability: the importance of environmental predictability. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1699), 3391-3400.
- Reyes, 2015. Effects of Temperature and Water Flow on Morphology of *Astyanax mexicanus* (Teleostei: Characidae).
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 191, 1-382.

- Rohlf, F.J. 1990. Morphometrics. *Annual Review of Ecology and systematics*, 21(1), 299-316.
- Rohlf, F. J. 2015. TpsDig, Version 2.22. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, NY.
- Santos, A.B.I., Albieri, R.J., & Araujo, F.G. 2013. Influences of dams with different levels of river connectivity on the fish community structure along a tropical river in Southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(1), 163-171.
- Santos, G.S.D., Aguiar Santos, J., Castro, A.C.L.D., & Piorski, N.M. 2019. Length-weight relationships of seven fish species from Amazonian Equatorial coast, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 35(5), 1169-1171.
- Selander, R. K. (1972). Sexual selection and dimorphism in birds. In ‘Sexual Selection and the Descent of Man 1871–1971’.(Ed. B. Campbell.) pp. 180–230.
- Spoljaric, M.A., & Reimchen, T.E. 2007. 10 000 years later: evolution of body shape in Haida Gwaii three-spined stickleback. *Journal of Fish biology*, 70(5), 1484-1503.
- Strauss, R. E., and F. L. Bookstein. 1982. The truss: Body form reconstructions in morphometrics. *Systematic Zoology* 31:113-135
- Storfer, A. 1999. Gene flow and endangered species translocations: a topic revisited. *Biological conservation*, 87(2), 173-180.
- Svanbäck, R., & Eklöv, P. 2006. Genetic variation and phenotypic plasticity: causes of morphological variation in Eurasian perch. *Evolutionary Ecology Research*, 8(1), 37-49.
- Telli, M. 2008. The relationship between genetic and shape variation in endemic and endangered freshwater fish species pseudophoxinus.
- Telli, M. & Kence, A. 2015. Genetic and morphologic diversity of Pseudophoxinus (Cyprinidae): implication for conservation in Anatolia. *Environmental biology of fishes*, 98, 571-583.
- Tjarks, H. 2009. Geometric Morphometric Analysis of Head Shape In" *Thamnophis elegans*".
- Turgut, N., “Genç ve Erişkin Gökkuşığı Alabalıklarında Geometrik Morfometrik Metotla Cinsiyet Tayini”, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Anatomi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 74s, 2016
- Torrente-Vilara, G., Zuanon, J., Leprieur, F., Oberdorff, T., Tedesco, P.A. 2011. Effects of natural rapids and waterfalls on fish assemblage structure in the Madeira River. *Ecology of Freshwater Fish*, 20:588–597.

- Torres-Dowdall, J., Handelsman, C.A., Reznick, D.N., & Ghalambor, C.K. 2012. Local adaptation and the evolution of phenotypic plasticity in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*, 66(11), 3432-3443.
- Touzinsky, K.F. 2015. Morphological plasticity of invasive silver carp in divergent Midwestern rivers, Doctoral dissertation, Purdue University.
- Tsoumani, M., Liasko, R., Moutsaki, P., Kagalou, I., Leonardos, I. 2006. Length-weight relationships of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) from 12 Greek lakes in relation to their trophic states. *Journal of Applied Ichthyology*, 22:(4), 281-284.
- Uzunova, E.P., Kanev, E.K., & Stefanov, T. 2017. Spatial variation in the abundance and population structure of bullhead *Cottus gobio* L., 1758 (*Actinopterygii: Cottidae*) from the Iskar River Basin (Danube River drainage, Bulgaria): Implications for monitoring and conservation. *Acta Zoologica Bulgarica*, 69(3), 393-404.
- Van Doornik, D.M., Berejikian, B.A., & Campbell, L.A. 2013. Gene flow between sympatric life history forms of *Oncorhynchus mykiss* located above and below migratory barriers. *PLoS One*, 8(11), e79931.
- Vila-Gispert, A., and Moreno-Amich, R. (2001). Mass-length relationship of Mediterranean barbel (*Barbus meridionalis*) as an indicator of environment status in South-West European stream ecosystems. *Journal of Fish Biology*, 59: 824-832.
- Young, B.A. 2001. Intraspecific variation among emerald shiners (*Notropis atherinoides*) of the Missouri River. Ph. D. thesis, South Dakota State University.
- Wang, X., Zhang, Z., Mammola, S., Ho, A.L., Zhang, Y., Qin, G., & Lin, Q. 2021. Exploring ecological specialization in pipefish using genomic, morphometric and ecological evidence. *Diversity and Distributions*, 27(8), 1393-1406.
- Webster, M.M., Atton, N., Hart, P.J., & Ward, A.J. 2011. Habitat-specific morphological variation among threespine sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* within a drainage basin. *PloS one*, 6(6).
- Willis, S.C., Lo'pez-Ferna'ndez, H., Montan'ã, C.G., Farias, I.P., Orti, G. 2012. Species-level phylogeny of 'Satan's perches' based on discordant gene trees (Teleostei: Cichlidae: *Satanoperca* Gu'nther 1862). *Molec'uler Phylogenetic Evolution*, 63:798-808.
- Wofford, J.E., Gresswell, R.E., & Banks, M.A. 2005. Influence of barriers to movement on within-watershed genetic variation of coastal cutthroat trout. *Ecological Applications*, 15(2), 628-637.
- Xu, Q. 2017. Body Shape Diversification of Pecos Pupfish *Cyprinodon Pecosensis* on Varying Habitats as Evaluated by Geometric Morphometrics. Master Thesis, Western Kentucky University, 63s.

- Yenice, N. 2002. Kepez Su Ürünleri Merkezi Göleti'nde yaşayan Çiçek Balığı (*Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992)'nin üreme özellikleri, Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zelditch, M.J., Swiderski, D.L., Sheets, H.D., Fink, W.L. 2004. Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer. Elsevier Academic Press. London United Kingdom.
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., & Sheets, H.D. 2012. Geometric morphometrics for biologists: a primer. academic press.



ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI:ELİF ACAR

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi Fen Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı
Lisans	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği