

# Edremit Körfezi'nden yakalanan barbunya (*Mullus barbatus*) ve bakalyaro (*Merluccius merluccius*) balıklarında alifatik hidrokarbonların incelenmesi

## Investigation of aliphatic hydrocarbons in red mullet (*Mullus barbatus*) and European hake (*Merluccius merluccius*) fish caught from the Edremit Bay (Western Turkey)

Enis Darılmaz

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi 35340, İzmir, Türkiye

 <https://orcid.org/0000-0002-9090-9319>

[enis.darilmaz@deu.edu.tr](mailto:enis.darilmaz@deu.edu.tr)

Received date: 30.04.2020

Accepted date: 09.07.2020

### How to cite this paper:

Darılmaz, E. (2021). Investigation of aliphatic hydrocarbons in red mullet (*Mullus barbatus*) and European hake (*Merluccius merluccius*) fish caught from the Edremit Bay (Western Turkey). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(1), 1-10. DOI: 10.12714/egejfas.38.1.01

**Öz:** Bu çalışmada, 2015 yılı bahar ve güz dönemlerinde Edremit Körfezi'nden (Batı Ege, Türkiye) trolle yakalanan barbunya (*Mullus barbatus*) ve bakalyaro (*Merluccius merluccius*) balıklarında alifatik hidrokarbon seviyeleri incelenmiştir. Bu amaçla, her iki dönemde körfezin 3 farklı bölgesinden trolle örnekleme yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, barbunya balıklarındaki toplam alifatik hidrokarbon (TAH) seviyeleri bakalyarolardakinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Barbunya örneklerinde hesaplanan TAH seviyeleri 456-2090 ng/g iken bakalyarolarda 61-746 ng/g aralığında ölçülmüştür. Genel olarak barbunyalardaki yüksek TAH seviyesinin, bu türe ait ekstrakte olabilen organik madde (EOM) miktarı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Korelasyon, kümeleme ve birincil bileşen analiz sonuçlarına göre genellikle barbunyalarda TAH seviyelerine etki eden bileşiklerin C11 ve C12 alifatik hidrokarbon bileşikleri iken bakalyarolarda C15, C17 ve Pristan (Pristane) bileşiklerinin olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Edremit Körfezi'ndeki balıklarda bulunan alifatik hidrokarbonların kaynağının, bakalyarolarda biyojenik iken barbunyalarda kesin olmamakla birlikte petrojenik olabileceğine işaret etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Alifatik hidrokarbonlar, barbunya, bakalyaro, Edremit Körfezi

**Abstract:** In this study, aliphatic hydrocarbon levels were investigated in red mullet and european hake fish caught by trawler from Edremit Bay (Western Aegean, Turkey) in spring and autumn 2015. For this purpose, trawling was carried out from 3 different regions of the Edremit Bay in both seasons. As a result of the analyzes, total aliphatic hydrocarbon (TAH) levels in red mullet were found to be higher than that of european hake. TAH concentrations found for red mullet were in the range of 456-2090 ng/g, while it was found in the range of 61-746 ng/g for european hake. In general, TAH concentrations in red mullet were higher than that of european hake for both seasons. In addition, EOM amounts were found higher in red mullet like TAH. According to correlation, cluster and primary component analysis results, it was observed that the compounds affecting TAH levels in red mullet are C11 and C12 aliphatic hydrocarbon compounds, while european hake have C15, C17 and Pristane compounds. These results indicate that the source of aliphatic hydrocarbons in Edremit Bay fish is biogenic in european hake samples, although not exact, it may be petrogenic in red mullet samples.

**Keywords:** Aliphatic hydrocarbons, red mullet, European hake, Edremit Bay

## GİRİŞ

Edremit Körfezi balıkçılık için önemli doğal körfezlerden biridir. Körfezde özellikle kıyı balıkçılığı, trol ve gırgır ağlarıyla avcılık yapılmaktadır (Ceyhan vd., 2006). Edremit Körfezi'nde trol örneklemeinde barbunya (*Mullus barbatus*) ve bakalyaro (*Merluccius merluccius*), en çok avlanan balık türleridir (Ünlüoğlu vd., 2008). Bu balıklar, ekonomik açıdan değerli olup çok fazla tüketilen balıklardandır. Bu türlerden barbunya, MED POL Programı dahilinde organik ve inorganik kirleticilerin biyolojik izlenmesinde indikatör tür olarak belirlenmiştir. Körfez çevresinde yaşayan insanların önemli geçim kaynakları arasında balıkçılık, turizm ve zeytinyağı yer almaktadır. Yaz aylarında turizme bağlı olarak Avvalık, Gömeç, Burhaniye ve Edremit'te artan nüfus ile evsel atıksular, kış aylarında ise zeytinyağı üretimi kaynaklı zeytin karasuyu önemli çevresel sorunlardandır (Balıkesir İli Çevre Durum Raporu, 2016).

Alifatik hidrokarbonlar, karasal bitkiler, denizel plankton ve bakteriler gibi doğal kaynaklı olabilirken aynı zamanda petrol

ürünlerinin ana bileşenlerindedir (Brassell vd., 1978; Wang vd., 1999). Petrolün alifatik bileşenlerinin genellikle balık türleri için önemli derecede toksik olmadığı belirtilmiştir (Payne vd., 1995). Bununla beraber, petrol hidrokarbonlarından PAH'lar (polisiklik aromatik hidrokarbon) ve birçok alifatik ve aromatik bileşikler genellikle sucul organizmalar için narkoz toksisitesi gösterebilmektedir (US EPA, 2018).

Denizel organizmalarda hidrokarbonlara maruz kalma az fakat kolaylıkla gözlemlenebilen etkilere neden olabilmektedir. Balıklardaki alifatik hidrokarbon birikimi büyümeyi belirgin bir şekilde inhibe edebilmektedir (Luquet vd., 1984). Buna ek olarak, Exxon Valdez petrol saçılmasını izleyen zamanlarda yapılan çalışmada balıklarda büyümenin inhibe edildiği belgelenmiştir (Carls vd., 1996). Düşük konsantrasyonlardaki düşük kaynama dereceli doymuş hidrokarbonlar (benzin aralığı) anestezi ve narkoz etkisi gösterirken; çeşitli kara omurgasızları ve besin zincirinin alt basamağındaki

omurgalılarda daha fazla konsantrasyonda hücre hasarı ve ölümler meydana gelebilmektedir. Yüksek kaynama noktalı doymuş hidrokarbonlar muhtemelen direkt olarak toksik olmasa da beslenme ve hayvanlar arasında kimyasal iletişimi de etkileyebilmektedir (Chukwuka vd., 2018).

Literatürde Edremit Körfezi'ndeki balıklara ait çalışmalar sadece balıkların biyolojisi üzerine yapılmıştır (Çelik ve Torcu, 2000; Ünlüoğlu vd., 2008; Akalın, 2014). Edremit Körfezi'ndeki balıklarda alifatik hidrokarbonların birikimi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile Edremit Körfezi'nden trol ile yakalanmış olan ekonomik değere sahip barbunya ve bakalyaro balıklarında alifatik hidrokarbonların varlığı araştırılmıştır. Bu nedenle, bu türlerin kas dokularındaki alifatik hidrokarbonların seviyeleri incelenmiştir. Bununla beraber alifatik hidrokarbonların kaynağının (biyojenik ya da insan kaynaklı) belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışma alanı

Trol örneklemeleri 2015 yılının bahar ve güz dönemlerinde TÜBİTAK (113Y447) projesi kapsamında yapılmıştır. Bahar örnekleme Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'ne ait RV K. Piri Reis araştırma gemisi ile yapılırken güz örnekleme yerel balıkçı teknesi ile yapılmıştır. Trol örneklemeleri Şekil 1'de verilen

alanlarda yapılmıştır. Örneklemelerde 44 mm göz açıklığına sahip trol ağı kullanılmıştır. Trol çekimleri; 2,5 deniz mili/saat hızla ve ağ deniz tabanına oturduktan sonra mevcut şartlara göre 15-30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

İlk trol (T1) Akçay kıyı alanından Körfez'in çıkışına doğru (doğudan batıya doğru); ikinci trol (T2) Altınoluk Küçükkuyu arasında (doğudan batıya doğru); üçüncü trol (T3) ise Körfez'in güney kıyısını temsilen doğu batı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan trol örneklemeleri ile bakalyaro ve barbunya örnekleri toplanmıştır.

Toplanan balık örneklerinin çatal boy ve ağırlıkları (Tablo 1) ölçüldükten sonra kas dokuları ayrılarak temiz alüminyum folyolara sarılıp analize kadar -20 °C'de saklanmıştır. Analize başlarken donmuş örnekler öncelikle liyofilizatörde kurutulup, kurutulmuş örnekler metanol ile mikrodalgalı ekstraksiyon sisteminde ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrasında ekstrakte olabilen organik madde (EOM) miktarına ait ölçümler hassas terazi yardımıyla gravimetrik olarak saptanmıştır. Lipitleri uzaklaştırıldıktan sonra ekstraktlar silika-alümina kolonundan geçirilmiştir (UNEP/FAO/IOC/IAEA, 1993). Kolon sonrası örnekler öncelikle dönel buharlaştırıcıda daha sonra da azot gazı yardımıyla yaklaşık 1 ml'ye konsantre edilerek Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi cihazında analiz edilmiştir. Analiz koşullarına ait bilgiler şu şekildedir: GC kolonu: 30 m x 320 µm x 0.25 µm (DB5MS-UI);



Şekil 1. Edremit Körfezi'nde trol çekim hatları  
Figure 1. Trawl lines in Edremit Bay

**Tablo 1.** Örneklemelere ait biyometrik ölçümler (n=birey sayısı; boy ve ağırlık ortalama (minimum-maksimum) değerleri göstermektedir) (\* Örnek analiz edilememiştir)**Table 1.** Biometric measurements of samples (n = number of individuals; length and weight indicate mean (minimum-maximum) values) (\* This sample could not be analyzed)

Mevsim	Trol no	Örnek analiz no	Balık türü	Boy (cm)	Ağırlık (g)
Bahar	T1	B-5	barbunya (n=14)	14,5 (13,0-17,2)	45 (33-75)
		B-6	barbunya (n=24)	11,5 (10,4-12,8)	22 (15-31)
			*bakalyaro (n=4)	29,3 (26,1-35,0)	209 (138-158)
	T2	B-3	barbunya (n=17)	18,7 (17,5-20,7)	100 (82-132)
		B-4	barbunya (n=30)	13,3 (11,5-15,0)	33 (22-46)
		B-9	bakalyaro (n=5)	29,8 (25,7-33,6)	200 (130-274)
	T3	B1	barbunya (n=20)	17,3 (16,2-18,8)	85 (66-112)
		B2	barbunya (n=30)	12,2 (10,5-13,5)	26 (18-32)
		B7	bakalyaro (n=7)	30,8 (28,6-35,2)	224 (156-334)
Güz	T1	G4	barbunya (n=31)	15,0 (13,8-19,3)	54 (40-98)
		G7	bakalyaro (n=17)	23,9 (20,2-30,0)	109 (72-194)
	T2	G2	barbunya (n=10)	16,1 (15,1-18,0)	70 (54-94)
		G3	barbunya (n=14)	14,1 (13,0-14,9)	45 (36-54)
		G6	bakalyaro (n=10)	23,9 (18,0-27,0)	126 (88-176)
	T3	G1	barbunya (n=16)	13,5 (11,6-15,5)	41 (24-62)
		G5	bakalyaro (n=5)	21,9 (19,8-26,5)	113 (56-92)

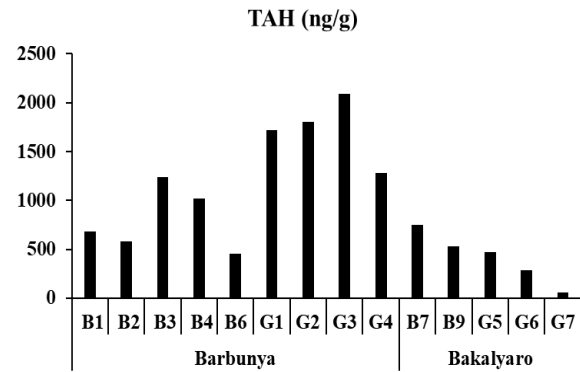
Taşıyıcı gaz: Helyum (%99.999 saflıkta); Enjeksiyon tipi: Splitless; Enjeksiyon sıcaklığı: 280°C; Fırın sıcaklığı: 60°C (1 dak), 3°C/dak ile 300°C'ye ve 300°C'de 10 dakika bekleme; Enjeksiyon hacmi: 1 µL; MS:EI, 70 eV; MS Quadrupole sıcaklığı: 150°C; MS kaynak sıcaklığı: 230°C. Analiz edilen alifatik hidrokarbonlar şunlardır: C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, Pristan (Pri), C18, Phytane (Phy), C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31 ve C32. Alifatik hidrokarbonların analizi için 1-1000 ppb aralığında standartlar kullanılmış olup hesaplamalar için alifatik hidrokarbon standartlarının kromatogramda çıktığı zaman ve pik alanlarından yararlanılmıştır. Alifatik hidrokarbonların dedeksiyon limitleri 0,24 ile 1,4 ppb aralığındadır. Tablo ve şekillerdeki B1, B2, B3, B4, B6, G1, G2, G3 ve G4 barbunya örnekleri için B7, B9, G5, G6 ve G7 bakalyaro örnekleri için gaz kromatografi-kütle spektrometresi cihazında analiz edilirken verilmiş kodlardır. Analiz edilen örnekler ya da bileşikler arasında ilişki olup olmadığını anlayabilmek için kümeleme ve birincil bileşen analizleri (PCA) PRIMER5 istatistik programı kullanılarak araştırılmıştır.

## BULGULAR

Trolle yakalanmış barbunya ve bakalyaro balıklarına ait toplam alifatik hidrokarbon konsantrasyonları Şekil 2'de verilmiştir. C10, Phy, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31 ve C32 bileşikler örneklerde tespit edilmemiştir.

Barbunyaya ait TAH konsantrasyonları bahar döneminde 456-1240 ng/g, güz döneminde 1279-2090 ng/g olarak tespit edilmiştir. En yüksek konsantrasyonlar (2090 ng/g) güz dönemi örneklerinde T2 den yakalanmış küçük boy barbunyalarda iken, bahar döneminde (1240 ng/g) aynı trol hattında yakalanan büyük boy barbunya örneklerinde bulunmuştur. Her iki mevsimde de barbunya örneklerinde

saptanan baskın alifatik hidrokarbonlar C11 ve C12 bileşikleridir. C11 ve C12 bileşiklerinin TAH'a oranları, bahar döneminde sırasıyla %17,2-%38,5 ve %16,1-%26,6 aralığında iken güz döneminde %37,9-%43,9 ve %28,1-%32,3 olarak hesaplanmıştır.

**Şekil 2.** Edremit Körfezi'nden yakalanan balıklarda toplam alifatik hidrokarbon (TAH) seviyeleri**Figure 2.** Total aliphatic hydrocarbon (TAH) levels in fish caught from the Edremit Bay

C15, C17 ve Pristan bileşikler hem barbunya hem de bakalyaro için bahar ve güz dönemi örneklerinin tamamında tespit edilen alifatik hidrokarbonlardır. Bu alifatik bileşiklerin TAH'a oranları incelendiğinde, C15 bileşiği bahar döneminde barbunyada %6,3-%12,9 ve güz döneminde %4,5-%9,3 iken bahar döneminde bakalyaroda %31,9-%61,8 ve güz döneminde %21,2-%36,1 aralığında tespit edilmiştir. C17 bileşiği bahar döneminde barbunyada %4,4-%11,3 ve güz döneminde %1,8-%2,6 iken bahar döneminde bakalyaroda %12,4-%26,5 ve güz döneminde %18,6-%33,5 aralığında

tespit edilmiştir. Pristan bileşiği bahar döneminde barbunyada %6,7-%31,6 ve güz döneminde %4,9-%8,3 iken bahar döneminde bakalyaroda %3,8-%10,4 ve güz döneminde %13,7-%24,8 aralığında tespit edilmiştir.

Bakalyaronun TAH konsantrasyonları bahar döneminde 533-746 ng/g, güz döneminde 61-467 ng/g olarak tespit edilmiştir. En yüksek konsantrasyonlar hem bahar (746 ng/g) hem de güz döneminde (467 ng/g) T3 hattından yakalanan bakalyaralarda bulunmuştur. Bahar dönemi örneklerinde genellikle baskın olan bileşik C15 iken güz döneminde C15 ve C17'dir.

Barbunyaya ait TAH ortalamaları incelendiğinde hem bahar hem de güz döneminde T2'den örneklenen balıklara ait değerlerin diğer trollerden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hem barbunya hem de bakalyaro örneklerine ait en düşük TAH değerleri güz döneminde T1'den yakalanmış balıklarda bulunmuştur.

EOM'nin ortalama değerleri bahar döneminde yakalanmış barbunya ve bakalyarolarda sırasıyla 14,90 % ve 3,53 %, güz döneminde ise 23,54 % ve 3,46 % olarak bulunmuştur.

## TARTIŞMA

Alifatik hidrokarbonların bileşik yüzdelerinin verildiği Şekil 3'te barbunya balıklarının C11 ve C12 yüzdelerinin her iki dönemde de baskın olduğu görülürken bakalyaroda C15 ve C17'nin baskınlığı dikkat çekmektedir. Bu sonuçlara göre barbunya balıklarında suda çözünmüş halde bulunan düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonların bakalyaraya göre daha fazla biriktiği söylenebilir. Bunun barbunya balıklarına ait EOM değerleri ile dolayısıyla üreme periyoduna bağlı olarak yağlanması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. C15, C17 ve Pri bileşiklerinin tüm balıklarda tespit edilmesi benzer bir kaynaktan gelebileceğini ifade edebilir. C15'in alg ve fotosentetik bakteri kaynaklı, C17'nin plankton kaynaklı ve Pri'nin zooplankton kaynaklı olabileceği belirtilmiştir (Blumer vd., 1964; Clark Jr, 1966; Wakeham, 1990; Blumer ve Sass, 1992; Le Dréau vd., 1997; Carro vd., 2006; Colombo vd., 2007; Lin vd., 2008). Bahsedilen bu bileşiklerin (C15, C17 ve Pri) her iki balık türü için de biyojenik kaynaklı oldukları görülmektedir. Düşük molekül ağırlıklı alifatik hidrokarbonların (C11, C12 ve C13 gibi) muhtemel kaynağının alg/bakteri ve petrol karışımı bir kaynağı (Wang ve Christensen, 1964; Harvey ve Taylor, 2017) olabileceği gibi çift karbonlu alifatik hidrokarbonlarında (C16-C22) petrol kaynaklı olabileceği (Steinhauer ve Boehm, 1992; Brown vd., 2010; Miyake vd., 2006; Wakeham, 1990; Lin vd., 2008) belirtilmiştir. Wang ve Christensen (1964) dizel yakıtına ait GC kromatogramında C11-C14 aralığındaki alifatik hidrokarbonların baskınlığına işaret etmesine bağlı olarak Edremit Körfezi'ndeki barbunyalardaki düşük molekül ağırlıklı alifatik hidrokarbonların kesin olmamakla birlikte petrojenik olabileceği söylenebilir. Edremit Körfezi'nde yapılan bu

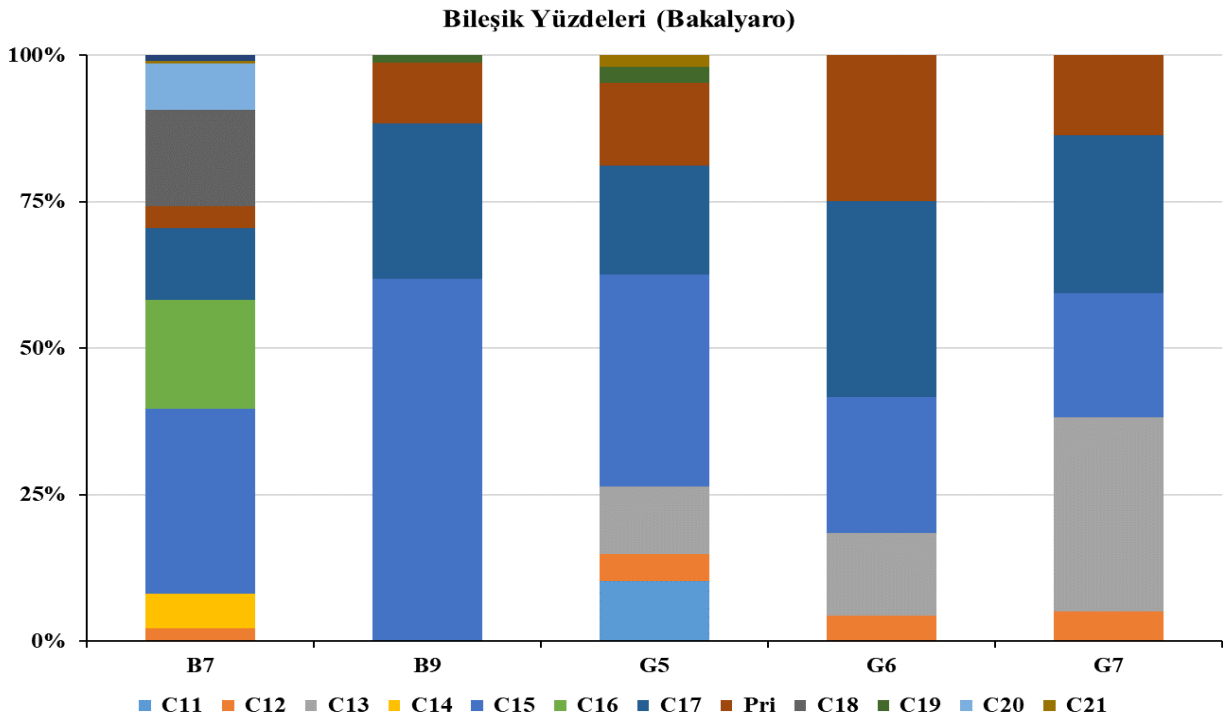
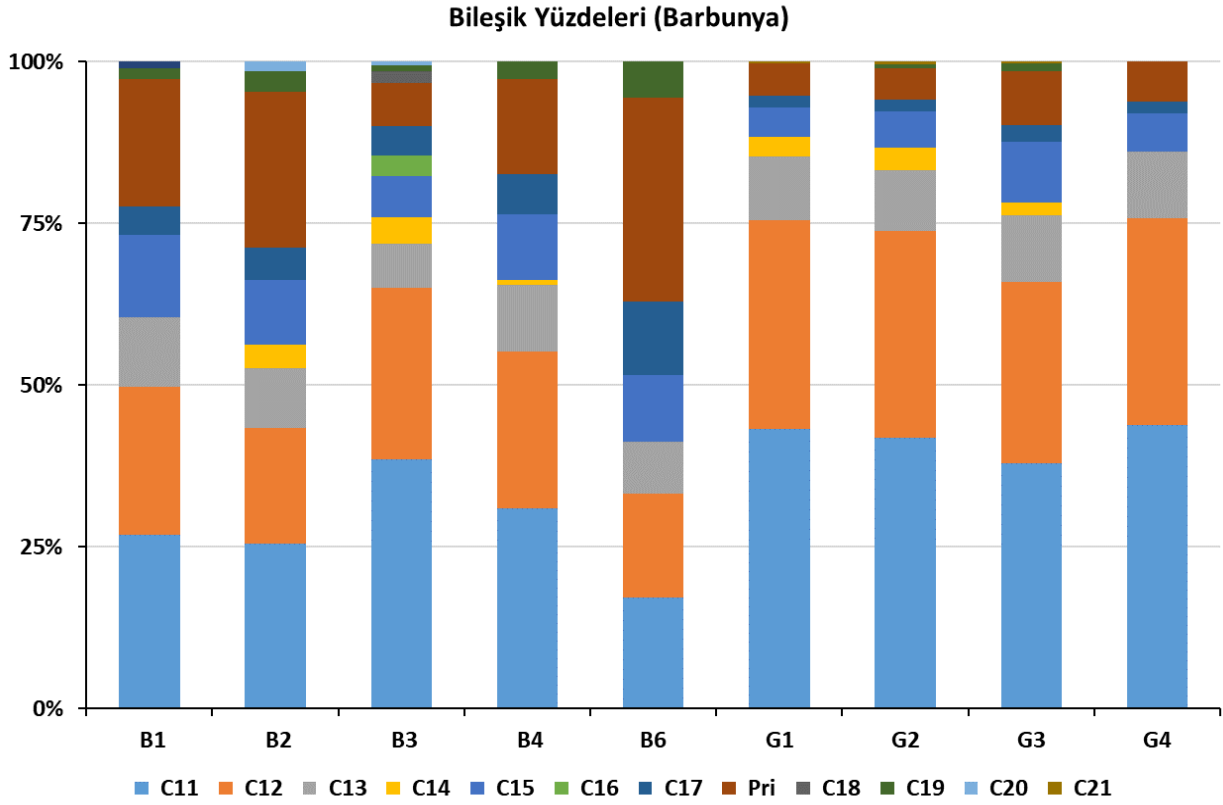
çalışmada C16, C18 ve C20 alifatik bileşikleri barbunyalarda sadece bahar dönemine ait örneklerin bir kısmında tespit edilmiştir. Diğer balık örneklerinde bu bileşiklerin saptanamaması ve saptananlarda da TAH içindeki oranlarının düşüklüğü nedeniyle (Şekil 3) bu bölge balıkları petrojenik kaynaklı bir kirlilik ile kesin olarak ilişkilendirilememiştir.

Colombo vd. (2007) 'nin Rio de la Plata'da yaptıkları çalışmada, balık kaslarında özellikle C15 ve C17'nin yüksek seviyelerde bulunmasının balıkların organik maddece zengin olan diyetinin plankton kaynaklı olmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada baskın olan alifatik hidrokarbon bileşiklerinin balık türleri arasında farklılık göstermesinin nedeni olarak türün beslenme rejimleri (Colombo vd., 2007) ve analiz edilen bileşiklerin suda çözünme düzeylerinin farklılığından (Ferguson vd., 2009) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çelik ve Torcu (2000) yaptıkları çalışmada barbunyalardan üreme periyodunun mart ayından başlayıp eylül ayına kadar sürmekte olduğunu belirtmiştir. Buna bağlı olarak barbunyanın EOM ortalamasının güz döneminde daha yüksek bulunmasının nedeni olarak üreme periyodunda balıkların yağlanmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Bakalyaroda ise güz ve bahar dönemi EOM değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Akalın (2014) Edremit Körfezi'ndeki bakalyarolarda yaptığı çalışmada bakalyaronun yıl içinde uzun bir üreme dönemine sahip olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşım, bakalyarodaki mevsimsel EOM ortalamasının birbirine yakınlığını açıklayabilmektedir.

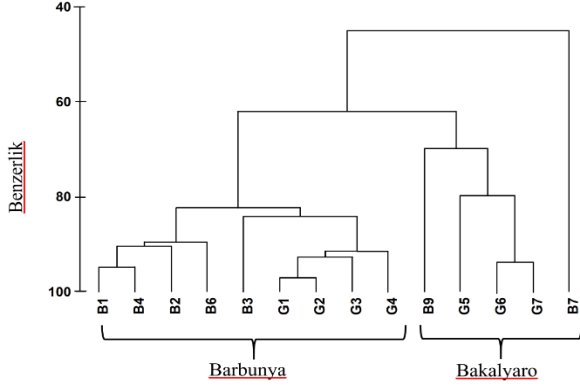
TAH ile EOM değerleri arasındaki korelasyon testi sonuçlarına göre barbunya için  $R = 0,7586$  bulunurken bakalyaro için ise herhangi bir ilişki bulunamamıştır ( $R = -0,2562$ ). Alifatik hidrokarbonların sudaki çözünürlükleri molekül ağırlığı arttıkça azalmaktadır (Ferguson vd., 2009). Barbunyada TAH seviyelerinin yüksekliğine etki eden etkenin diğer bileşiklere oranla yüksek seviyede saptanan düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonların (C11, C12 gibi) olabileceği söylenebilir. Bu nedenle bakalyaraya göre kısmen daha yağlı olan barbunyada daha yüksek seviyede TAH seviyeleri bulunmuştur.

Darılmaz ve Kucuksezgin (2012)'in İzmir Körfezi'nde yaptığı çalışmada barbunyalarda çift karbonlu alifatik hidrokarbonlar analiz edilmiş olup Edremit Körfezi'nden (bu çalışma) yakalanmış olan barbunya balıklarında olduğu gibi düşük karbon sayılı alifatik bileşikler yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. İzmir Körfezi'ndeki aynı çalışmada barbunya balıklarında toplam alifatik hidrokarbon seviyeleri isparoz balıklarındakinden daha yüksek bulunurken, Edremit Körfezi'nde (bu çalışma) barbunya türü bakalyaraya göre daha yüksek seviyede birikim göstermiştir. Bu durumun alifatik hidrokarbonların sudaki çözünürlükleri ve balıkların EOM miktarı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 3.** Edremit Körfezi'nden yakalanan balıklarda alifatik hidrokarbon bileşiklerinin dağılımı  
**Figure 3.** Distribution of aliphatic hydrocarbon compounds in fish caught from the Edremit Bay

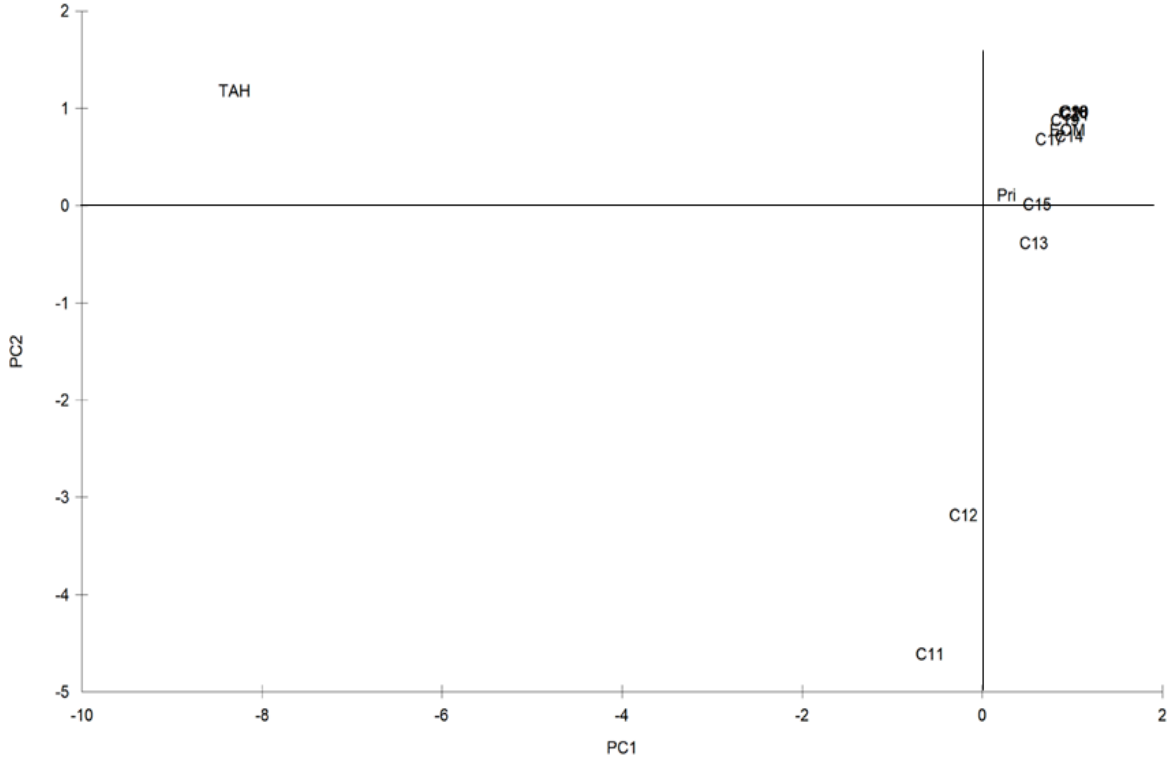
Şekil 4'te alifatik hidrokarbon verilerinden yararlanılarak oluşturulan kümeleme analizinde B1, B2, B3, B4, B6, G1, G2, G3 ve G4 barbunya örneklerini B7, B9, G5, G6 ve G7 bakalyaro örneklerini göstermektedir. PRIMER istatistik programı ile yapılan kümeleme analizinde barbunya ve bakalyaroların belirgin biçimde ayrıldığı görülmektedir. Bu ayrımın bu balıkların fizyolojisi, beslenme farklılığı ve/veya EOM içerikleriyle alakalı olabileceği düşünülmektedir.



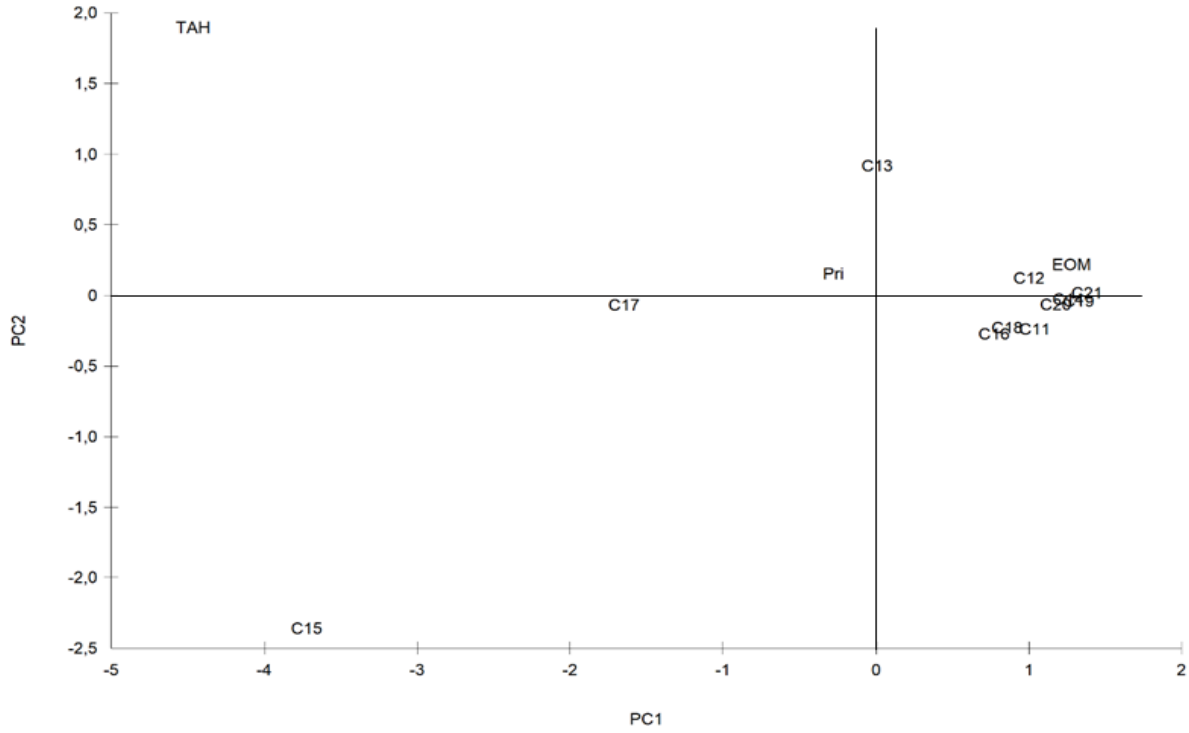
Şekil 4. Edremit Körfezi balık örneklerine ait kümeleme analizi  
Figure 4. Cluster analysis of Edremit Bay fish samples

Barbunya örneklerine ait birincil bileşen analizi (PCA) Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre PC1 (eigen değeri=5,96) ile değişkenliğin %66,2 sini açıklayabiliyorken PC2 (eigen değeri=2,99) ile birlikte %99,5'ini açıklayabilmektedir. PC1'in negatif kısmında C11, C12 ve TAH arasında bir ilişki gözlenirken pozitif kısmında C13, C14, C15, C16, C17, Pri, C18, C19, C20, C21 ve EOM arasında ilişki gözlenmiştir. Negatif kısımdaki bileşikler (C11 ve C12) molekül ağırlığı düşük olan alifatik hidrokarbonlar olup aynı zamanda barbunyada baskın olan bileşiklerdir. Bunun yanında TAH değerlerine esas etki eden alifatik hidrokarbonların bunlar olması nedeniyle barbunyadaki alifatik hidrokarbonların suda çözülmüş halde bulunan düşük molekül ağırlıklı bileşiklerden yani petrojenik kaynaklı olabileceği söylenebilir. PC2'nin negatif kısmında C11, C12 ve C13 bileşikleri görülürken diğer alifatik bileşikler, EOM ve TAH birlikte görülmüştür.

Bakalyaro örneklerine ait PCA Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre sadece PC1 (eigen değeri=3,71) varyasyonun %74,2'sini açıklayabilmektedir. PC1'in negatif kısmında bakalyarolarda baskın olan bileşikler (C15, C17, Pri) ve TAH birlikte bulunurken diğer bileşikler ve EOM pozitif kısmında bulunmuştur. C15, C17, Pri ve TAH'ın birlikte bulunması bakalyarolarda TAH değerlerine etki eden esas bileşiklerin bunlar olduğunu göstermekle beraber biyojenik kökenli olabileceğine de işaret etmektedir.



Şekil 5. Barbunya örneklerine ait PCA analizi  
Figure 5. PCA analysis of red mullet samples



**Şekil 6.** Bakalyaro örneklerine ait PCA analizi  
**Figure 6.** PCA analysis of european hake samples

Pristan, kopepodlara ve besinlerine bağlı olarak deniz omurgasızları, balık, kuşlar ve memelilerde kolaylıkla biyoakümüle olabilmektedir (Short ve Harris, 2005). Blumer ve Sass (1972) yüksek konsantrasyonda bulunmuş olan Pristan'ın (Phytane'in olmaması) zooplankton kaynaklı olabileceğini ifade etmiştir. Zooplanktonun, alınan fitoller Pristan'a dönüştürdüğü ve bunun, diğer deniz hayvanlarında bulunan Pristan için ana kaynağı oluşturduğu Blumer vd. (1964) tarafından belirtilmiştir. Buna göre Edremit Körfezi balıklarında ölçülen Pristan'ın zooplankton kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Pristan değerlerinin hem bahar hem de güz dönemi örneklerinde bakalyaroya göre barbunyada daha yüksek bulunması barbunyanın fizyolojisi, beslenmesi ve/veya EOM değerleri ile ilişkili olabileceğine işaret etmektedir.

Balıklardaki alifatik hidrokarbonların kaynağının lipid oto-oksidasyonundan, karotenoidlerin bozunmasından veya diyetlerinden kaynaklanabilmektedir (Vidal vd., 2016). Carro vd. (2006) tarafından çift kabuklularda yapılan çalışmada C13, C15, C17 ve C19'un biyojenik; C14, C16, C18 ve C20'nin petrojenik indikatör olabileceği ifade edilmiş olup biyoakümülasyonun beslenme, yaşam davranışları, lipid içeriğinin farklılıkları, kıyı zonları ve buldukları alanın kirlilikle olan durumu ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Ahmed vd.(2014) 'in balıklarda yaptığı çalışmada C10, C12 ve C14 alifatik hidrokarbonlarının diğer alifatik bileşiklere göre yüksek bulunduğunu belirtmiş olup düşük molekül ağırlıklı bu alifatiklerin petrojenik kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir. Bir diğer çalışmada, Colombo vd. (2007) örneklere ait

kromatogramlarda UCM (Çözünmemiş kompleks karışımı) e rastlandığı için petrojenik bir kirliliğin olabileceğini ifade etmişlerdir. Edremit körfezindeki barbunya balıklarında da C11, C12 ve C13 alifatik hidrokarbonları yüksek bulunmuştur. Bu balıklara ait kromatogramlarda UCM (Çözünmemiş kompleks karışımı) in görülmemesi bu hidrokarbonların kaynağının petrojenik olmayabileceğine işaret etmektedir.

Barbunya örneklerine ait korelasyon tablosu (Tablo 2) incelendiğinde özellikle C11, C12, C13, TAH ve EOM arasındaki pozitif ilişki dikkat çekmektedir. Bu tabloda barbunyada baskın olan düşük molekül ağırlıklı alifatik hidrokarbonların (C11, C12 ve C13) EOM ve TAH değerlerine etkisi barizdir. Bunun nedeni olarak düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonların sudaki çözünürlükleri ve/veya barbunyanın besini kaynaklı olduğu söylenebilir. Bakalyaro örneklerine ait korelasyon tablosu (Tablo 3) incelendiğinde özellikle C11, C12 ve C13'ün sonrasında da TAH ile C14, C15, C16 ve C17 arasında pozitif ilişki dikkat çekmektedir. Bu tablo bakalyaroya ait TAH değerlerinin özellikle C14, C15, C16 ve C17 kaynaklı olabileceğini göstermektedir. Bunun nedeni olarak bu alifatik hidrokarbonlardan özellikle C15 ve C17'nin biyojenik kaynaklı olması etkili olabilir. Barbunya ve bakalyaro örneklerine ait korelasyon tabloları karşılaştırıldığında TAH'na etki eden bileşiklerin barbunyada C11, C12 ve C13 iken bakalyaroda bu bileşiklerden ziyade C14, C15, C16 ve C17 görülmektedir. Bu farklılığın balıkların lipid içerikleri ve beslenmelerinden kaynaklı olduğu söylenebilir.

**Tablo 2.** Barbunya örneklerinde boy, ağırlık, EOM ve alifatik hidrokarbonların korelasyonu  
**Table 2.** Correlation of length, weight, EOM and aliphatic hydrocarbons in red mullet samples

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	Pri	C18	C19	C20	C21	TAH	EOM	Boy	Ağırlık
C11	1															
C12	1,00	1														
C13	0,95	0,96	1													
C14	0,74	0,73	0,61	1												
C15	0,61	0,62	0,78	0,34	1											
C16	0,04	-0,01	-0,19	0,35	-0,11	1										
C17	-0,06	-0,06	0,00	0,06	0,37	0,37	1									
Pri	-0,38	-0,35	-0,10	-0,37	0,43	-0,38	0,47	1								
C18	0,04	-0,01	-0,19	0,35	-0,11	1,00	0,37	-0,38	1							
C19	-0,40	-0,38	-0,21	-0,23	0,31	-0,12	0,73	0,86	-0,12	1						
C20	-0,30	-0,35	-0,44	0,19	-0,32	0,61	0,01	-0,11	0,61	0,03	1					
C21	0,83	0,85	0,85	0,77	0,60	-0,25	-0,07	-0,08	-0,25	-0,12	-0,37	1				
TAH	0,99	0,99	0,97	0,74	0,72	0,02	0,06	-0,23	0,02	-0,25	-0,31	0,86	1			
EOM	0,79	0,79	0,81	0,35	0,59	-0,06	-0,26	-0,28	-0,06	-0,55	-0,45	0,55	0,77	1		
Boy	0,27	0,26	0,13	0,31	0,14	0,64	-0,05	-0,48	0,64	-0,42	0,15	0,02	0,25	0,44	1	
Ağırlık	0,23	0,22	0,08	0,32	0,09	0,65	-0,07	-0,48	0,65	-0,42	0,17	0,02	0,20	0,40	0,99	1

**Tablo 3.** Bakalyaro örneklerinde boy, ağırlık ve alifatik hidrokarbonların korelasyonu  
**Table 3.** Correlation of length, weight, EOM and aliphatic hydrocarbons in european hake samples

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	Pri	C18	C19	C20	C21	TAH	EOM	Boy	Ağırlık
C11	1															
C12	0,66	1														
C13	0,71	0,57	1													
C14	-0,25	0,36	-0,53	1												
C15	0,02	-0,07	-0,54	0,33	1											
C16	-0,25	0,36	-0,53	1,00	0,33	1										
C17	0,00	0,01	-0,22	0,07	0,83	0,07	1									
Pri	0,42	0,37	0,54	-0,37	0,25	-0,37	0,69	1								
C18	-0,25	0,36	-0,53	1,00	0,33	1,00	0,07	-0,37	1							
C19	0,86	0,30	0,42	-0,38	0,41	-0,38	0,37	0,51	-0,38	1						
C20	-0,25	0,36	-0,53	1,00	0,33	1,00	0,07	-0,37	1,00	-0,38	1					
C21	0,94	0,80	0,55	0,09	0,14	0,09	0,03	0,30	0,09	0,75	0,09	1				
TAH	0,10	0,40	-0,40	0,71	0,83	0,71	0,69	0,23	0,71	0,23	0,71	0,35	1			
HEOM	-0,49	-0,49	0,00	-0,49	-0,04	-0,49	0,41	0,48	-0,49	-0,26	-0,49	-0,68	-0,29	1		
Boy	-0,59	-0,31	-0,93	0,67	0,73	0,67	0,50	-0,25	0,67	-0,30	0,67	-0,37	0,69	0,01	1	
Ağırlık	-0,43	-0,12	-0,83	0,73	0,81	0,73	0,60	-0,12	0,73	-0,17	0,73	-0,20	0,83	-0,06	0,98	1



Akalın (2014)'in bakalyarolar üzerine yaptığı çalışmada üreme dönemlerinde dişilerin erkeklere oranla daha büyük boylara ulaştığı belirtilmektedir. Erkek bireylerin üreme olgunluk boyunun ortalama 26,5 cm (toplam boy) olduğu verilmiş olup, Edremit Körfezi'nden yakalanan bakalyaroların da üreme olgunluk boyunda oldukları görülmüştür. Edremit Körfezi'ndeki bu çalışmada bakalyaro örneklerinde ortalama boyların bahar döneminde güz dönemi örneklerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bakalyaro örneklerindeki TAH değerleri ile boyları arasında da pozitif korelasyon ( $r=0,69$ ) bulunmuştur. Bu da TAH değerlerinin bahar döneminde güz dönemine göre daha yüksek bulunmasını açıklayabilmektedir

Edremit Körfezi'ndeki balıklarda bulunan TAH (61-2090 ng/g, dw) seviyeleri diğer bölgelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında; Ahmed vd.'nin (2019) Suez Körfezi'nde (Mısır) yaptığı çalışmadan (11-97 ng/g, ww) ve Webster vd.'nin (2012) Elgin'de (İskoçya) yaptığı çalışmadan (52-468 ng/g, ww) daha yüksek bulunmuştur. Mzoughi vd.'nin (2010) Tunus Körfezi'nde yaptığı çalışmayla benzer seviyeler (289-1051 ng/g (dw) bulunmuştur. Ayrıca Edremit Körfezi'nde hesaplanan TAH seviyeleri Colombo vd.'nin (2007) Río de la Plata'da (Arjantin) (83-254 µg/g, dw) Emara vd.'nin (2008) Akdeniz'de (Mısır) (1006-19365 ng/g, fw), Carro vd.'nin (2006) Galicia'da (İspanya) (89-5098 ng/g, ww), Wang vd. (2019)'nın Laizhou Körfezi'nde (Çin) (376-13804 ng/g, ww), Azis vd.'nin (2016) Marsilya'da (Fransa) (27026-28335 ng/g, dw) saptadıkları değerlerden daha düşüktür.

## KAYNAKÇA

- Ahmed, M. T., Loutfy, N., Shoieb, M., & Mosleh, Y. Y. (2014). Residues of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in some fish species of Lake Tamsah, Ismailia, Egypt: an analytical search for hydrocarbon sources and exposure bioindicators. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(6), 1659-1669.
- Ahmed, O. E., Eldesoky, A. M., & El Nady, M. M. (2019). Evaluation of petroleum hydrocarbons and its impact on organic matters of living organisms in the northwestern Gulf of Suez, Egypt. *Petroleum Science and Technology*, 37(24), 2441-2449. DOI:10.1080/10916466.2019.1655443
- Akalın, S. (2014). Investigations of the age and growth characteristics of European Hake (*Merluccius merluccius* L., 1758) in Edremit Bay. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 31(4), 195-203. DOI:10.12714/egejfas.2014.31.4.04
- Azis, M. Y., Yelmiza, Asia, L., Piram, A., Bucharil, B., Doumenq, P., & Syakti, A. D. (2016). Occurrence of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in *Mytilus galloprovincialis* from the traditional market in Marseille, France, by Gas Chromatography triplequadropole tandem Mass Spectrometry (GC-QQQ/MS). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1), 1-9. DOI:10.1088/1757-899X/107/1/012008
- Balıkesir İli Çevre Durum Raporu (2016). T.C. Balıkesir Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Balıkesir İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu, 136pp.
- Blumer, M., Mullin, M. M., & Thomas, D. W. (1964). Pristane in the marine environment. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 10(1), 187-201. DOI:10.1007/BF01626106
- Blumer, M., & Sass, J. (1972). Oil pollution: Persistence and degradation of spilled fuel oil. *Science*, 176(4039), 1120-1122. DOI:10.1126/science.176.4039.1120

## SONUÇ

Balıkçılık açısından önemli doğal körfezlerimizden biri olan Edremit Körfezi'nden (Balıkesir) trolle yakalanmış barbunya ve bakalyaro balıklarının kas dokularında alifatik hidrokarbonların varlığı incelenmiştir. Analiz sonuçları, baskın alifatik hidrokarbonların barbuynada düşük molekül ağırlıklı C11 ve C12 iken bakalyaroda C15 ve C17 olduğunu göstermiştir. Baskın hidrokarbonlardaki farklılıkların balık türünün fizyolojisine, diyet kompozisyonlarına, EOM miktarlarına ve/veya suda çözülmüş halde bulunan hidrokarbonlara bağlı olduğu düşünülmektedir. Kümeleme ve birincil bileşen analizlerinde alifatik hidrokarbon konsantrasyonlarına göre barbuynya ve bakalyaro balıklarının birbirinden kolaylıkla ayrıldığı gözlenmiştir. Bakalyarolarına göre Barbunya balıkları daha yüksek TAH değerlerine sahiptir. Barbuynyalarda güz dönemi değerleri daha yüksek bulunurken, bakalyaroda bahar dönemi örneklerinin değerleri daha yüksek saptanmıştır. Bu çalışmada ele alınan veriler, ileride yapılacak çalışmalar için referans oluşturacaktır. Ayrıca bu gibi biyomonitöring çalışmalarda denizsuyu örneklerinde de alifatik hidrokarbon analizlerinin yapılması saptanacak sonuçların yorumlanmasında faydalı olacaktır.

## TEŞEKKÜR

TÜBİTAK'a 113Y447 nolu projeye olan desteği için teşekkürler. Ayrıca, TÜBİTAK-113Y447 projesinde görevli araştırmacılara ve K. Piri Reis gemisi çalışanlarına örnekleme esnasında yardımlarını esirgemedikleri için teşekkür ederim.

- Brassell, S. C., Eglinton, G., Maxwell, J. R., & Philp, R. P. (1978). Natural background of alkanes in the aquatic environment. In O. Hutzinger et al. (Eds.), *Aquatic pollutants: transformation and biological effects*. (pp. 69-86). Pergamon Press Ltd. DOI:10.1016/b978-0-08-022059-8.50010-8
- Brown, J., Boehm, P., Cook, L., Trefry, J., Smith, W., & Durell, G. (2010). cANIMIDA Task 2: Hydrocarbon and metal characterization of sediments in the cANIMIDA study area. OCS Study MMS 2010-004, Final report. Contract, (M04PC00001), 235pp.
- Carls, M.G., Wertheimer, A.C., Short, J.W., Smolowitz, R.M., & Stegeman, J.J., 1996. Contamination of juvenile pink and chum salmon by hydrocarbons in Prince William Sound after the Exxon Valdez oil spill. In: Rice, S.D., Spies, R.B., Wolfe, D.A., Wright, B.A. (Eds.), *Proceedings of the Exxon Valdez oil spill symposium*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 593-607.
- Carro, N., Cobas, J., & Maneiro, J. (2006). Distribution of aliphatic compounds in bivalve mollusks from Galicia after the Prestige oil spill: Spatial and temporal trends. *Environmental Research*, 100(3), 339-348. DOI:10.1016/j.envres.2005.09.003
- Ceyhan, T., Akyol, O., & Ünal, V. (2006). Edremit Körfezi (Ege Denizi) Kıyı Balıkçılığı Üzerine Bir Araştırma. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(3), 373-375.
- Chukwuka, K. S., Alimba, C. G., Ataguba, G. A., & Jimoh, W. A. (2018). The Impacts of Petroleum Production on Terrestrial Fauna and Flora in the Oil-Producing Region of Nigeria. In *The Political Ecology of Oil and Gas Activities in the Nigerian Aquatic Ecosystem* (pp. 125-142). Academic Press.
- Clark Jr, R. C. (1966). Saturated hydrocarbons in marine plants and sediments, *MSc Thesis*, Massachusetts Institute of Technology), 97pp.
- Colombo, J. C., Cappelletti, N., Migoya, M. C., & Speranza, E. (2007). Bioaccumulation of anthropogenic contaminants by detritivorous fish in

- the Río de la Plata estuary: 1-Aliphatic hydrocarbons. *Chemosphere*, 68(11), 2128–2135. DOI:10.1016/j.chemosphere.2007.02.001
- Çelik, Ö., & Torcu, H. (2000). Ege Denizi, Edremit Körfezi Barbunya Balığı (*Mullus barbatus* Linnaeus, 1758)'nin Biyolojisi Üzerine Araştırmalar. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24(3), 287–295.
- Darılmaz, E., & Kucuksezgin, F. (2012). Distribution of aliphatic and aromatic hydrocarbons in red mullet (*Mullus barbatus*) and annular sea bream (*Diplodus annularis*) from the Izmir Bay (Eastern Aegean). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(2), 283–289. DOI:10.1007/s00128-011-0467-9
- Emara, H. I., Said, T. O., El Naggat, N. A., & Shreadah, M. A. (2008). Aliphatic and polycyclic hydrocarbon compounds as chemical markers for pollution sources in relation to physico-chemical characteristics of the eastern harbour (Egyptian Mediterranean Sea). *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 1-19.
- Ferguson, A. L., Debenedetti, P. G., & Panagiotopoulos, A. Z. (2009). Solubility and molecular conformations of n-Alkane chains in water. *Journal of Physical Chemistry B*, 113(18), 6405–6414. DOI:10.1021/jp811229q
- Harvey, H. R., & Taylor, K. A. (2017). Alkane and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and benthic invertebrates of the northern Chukchi Sea. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 144 (August), 52–62. DOI:10.1016/j.dsr2.2017.08.011
- Le Dréau, Y., Jacquot, F., Doumenq, P., Guiliano, M., Bertrand, J. C., & Mille, G. (1997). Hydrocarbon balance of a site which had been highly and chronically contaminated by petroleum wastes of a refinery (from 1956 to 1992). *Marine Pollution Bulletin*, 34(6), 456–468. DOI:10.1016/S0025-326X(96)00139-7
- Lin, X., Zhu, L.P., Wang, Y., Wang, J.B., Xie, M.P., Ju, J.T., Mäusbacher, R., Schwalb, A., 2008. Environmental changes reflected by n-alkanes of lake core in Nam Co on the Tibetan Plateau since 8.4 kaB.P. *Chinese Science Bulletin*, 53, 3051–3057. DOI:10.1007/s11434-008-0313-6
- Luquet, P., Cravedi, J. P., Tulliez, J., & Bories, G. (1984). Growth reduction in trout induced by naphthenic and isoprenoid hydrocarbons (dodecylcyclohexane and pristane). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 8(3), 219–226. DOI:10.1016/0147-6513(84)90025-3
- Miyake, T., Nakazawa, F., Sakugawa, H., Takeuchi, N., Fujita, K., Ohta, K., & Nakawo, M. (2006). Concentrations and source variations of n-alkanes in a 21 m ice core and snow samples at Belukha glacier, Russian Altai mountains. *Annals of Glaciology*, 43, 142-147.
- Mzoughi, N., Chouba, L., & Lespes, G. (2010). Assessment of total aromatic hydrocarbons, aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment and fish from the Gulf of Tunis (Tunisia). *Soil and Sediment Contamination*, 19(4), 467–486. DOI:10.1080/15320383.2010.486052
- Payne, J. F., Fancey, L. L., Hellou, J., King, M. J., & Fletcher, G. L. (1995). Aliphatic hydrocarbons in sediments: a chronic toxicity study with winter flounder (*Pleuronectes americanus*) exposed to oil well drill cuttings. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(12), 2724–2735. DOI:10.1139/f95-861
- Short, J., & Harris, P. (2005). Pristane monitoring in mussels: Distribution of pristane in the neritic ecosystem of the Northern Gulf of Alaska. Anchorage (AK): NOAA, National Marine Fisheries Service, Auke Bay Laboratory Juneau, AK. *Exxon Valdez*, 10-54.
- Steinhauer, M. S., & Boehm, P. D. (1992). The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in nearshore sediments, river sediments, and coastal peat of the Alaskan Beaufort Sea: Implications for detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. *Marine Environmental Research*, 33(4), 223–253. DOI:10.1016/0141-1136(92)90140-H
- UNEP/FAO/IOC/IAEA. (1993). Guidelines for monitoring chemical contaminants in the sea using marine organisms. *Reference methods for marine pollution studies*, (6).
- US EPA. (2018). Region 4 Human Health Risk Assessment Supplemental Guidance. *U.S. Environmental Protection Agency*, (January), 98. Tarihinde adresinden erişildi [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/era\\_regional\\_supplemental\\_guidance\\_report-march-2018\\_update.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/era_regional_supplemental_guidance_report-march-2018_update.pdf)
- Ünlüoğlu, A., Akalın, S., & Çakır, D. T. (2008). Edremit Körfezi Demersal Balıkçılık Kaynakları Üzerine Bir Araştırma. *Su Ürünleri Dergisi*, 25(1), 63-69.
- Vidal, N. P., Manzanos, M. J., Goicoechea, E., & Guillén, M. D. (2016). Farmed and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*) volatile metabolites: A comparative study by SPME-GC/MS. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(4), 1181–1193. DOI:10.1002/jsfa.7201
- Wakeham, S. G. (1990). Algal and bacterial hydrocarbons in particulate matter and interfacial sediment of the Cariaco Trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(5), 1325–1336. DOI:10.1016/0016-7037(90)90157-G
- Wang, Z., & Christensen, J. H. (1964). Crude Oil and Refined Product Fingerprinting: Applications. *Environmental Forensics: Contaminant Specific Guide*, 409–464. DOI:10.1016/B978-012507751-4/50039-2
- Wang, Z., Fingas, M., & Page, D. S. (1999). Oil spill identification. *Journal of Chromatography A*. 843(1-2), 369-411. DOI:10.1016/S0021-9673(99)00120-X
- Wang, S., Liu, G., Yuan, Z., & Lam, P. K. S. (2019). Occurrence and trophic transfer of aliphatic hydrocarbons in fish species from Yellow River Estuary and Laizhou Bay, China. *Science of the Total Environment*, 696, 134037. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134037
- Webster, L., Russell, M., Hussy, I., Packer, G., Dalgarno, E. J., Craig, A., Moore, D.C., Jaspars, M. & Moffat, C. F. (2012). Environmental Assessment of the Elgin Gas Field Incident–Report 5, Fish and Sediment. *Marine Scotland Science Report 17/12*, 24pp.