

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ANA BİLİM DALI



**NİL TİLAPYASI (*Oreochromis niloticus*) İÇİN ANESTEZİ VE
UZUN SÜRELİ KAPALI ORTAM TRANSFERLERİNE
YÖNELİK HAFİF SEDASYON KONSANTRASYONLARININ
STRES İNDİKATÖRLERİYLE BİRLİKTE BELİRLENMESİ**

FATHİA A. H. LAZRAG

DOKTORA TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ Ş. ŞENOL PARUĞ

ARALIK - 2024

KASTAMONU

TEZ ONAYI

Fathia A. H. LAZRAG tarafından hazırlanan “**NİL TİLAPYASI (*Oreochromis niloticus*) İÇİN ANESTEZİ VE UZUN SÜRELİ KAPALI ORTAM TRANSFERLERİNE YÖNELİK HAFİF SEDASYON KONSANTRASYONLARININ STRES İNDİKATÖRLERİYLE BİRLİKTE BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **09.12.2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Su Ürünleri Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Ş. Şenol PARUĞ Kastamonu Üniversitesi	
2. Tez Danışmanı	Doç. Dr. Hüseyin Serkan EROL Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ertan TAŞKAVAK Ege Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Banu KUTLU Munzur Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Nuray EMİN Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ekrem MUTLU Kastamonu Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Fathia A. H. LAZRAG

ÖZET

DOKTORA TEZİ

NİL TİLAPYASI (*Oreochromis niloticus*) İÇİN ANESTEZİ VE UZUN SÜRELİ KAPALI ORTAM TRANSFERLERİNE YÖNELİK HAFİF SEDASYON KONSANTRASYONLARININ STRES İNDİKATÖRLERİYLE BİRLİKTE BELİRLENMESİ

FATHİA A. H. LAZRAG

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ Ş. ŞENOL PARUĞ
2. DANIŞMAN:DOÇ. DR. HÜSEYİN SERKAN EROL**

Bu çalışmada, Nil tilapyası (*Oreochromis niloticus*) bireylerinde 2-Phenoxyethanol ve karanfil yağının anestezi ve sedatif etkileri değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan balıkların ortalama ağırlığı 36,63 g, ortalama boy uzunluğu ise 10,85 cm'dir. Sedasyon konsantrasyonlarını belirlemek için önce derin anestezi çalışmaları yapılmış ve optimum konsantrasyonlar referans alınmıştır. Her iki anestezi için, balıkların 3 dakika içinde derin anesteziye ulaşmasını ve 5 dakika içinde tamamen ayılmasını sağlayan optimum konsantrasyonlar belirlenmiştir. Karanfil yağı için optimum konsantrasyon 80 µL/L, 2-Phenoxyethanol için ise 800 µL/L olarak tespit edilmiştir.

Anestezi deneylerinin ardından, her iki anestezinin uzun süreli etkilerini değerlendirmek amacıyla 24 saat ve 48 saat süreli sedasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, farklı konsantrasyonların balık davranışları, yaşama oranları, su kalitesi ve kortizol seviyeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Karanfil yağı için 8 µL/L ve 10 µL/L konsantrasyonlarının uzun süreli sedasyon açısından en uygun aralık olduğu belirlenmiştir. Bu konsantrasyonlarda balıkların sakin davranışlar sergilediği ve yaşama oranlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 2-Phenoxyethanol için ise, en etkili konsantrasyonun 105 µL/L olduğu tespit edilmiştir. Daha düşük konsantrasyonlar balıkların sakinleştirilebilmesi ve stres düzeylerinin düşürülmesi açısından, tam olarak yeterli olmamıştır.

Sedasyon sonrası balıklardan alınan kan örneklerinden plazma kortizol seviyeleri incelenmiştir. En düşük kortizol seviyesinin karanfil yağı ile 10 µL/L konsantrasyonunda elde edildiği tespit edilmiştir. 2-Phenoxyethanol gruplarında kortizol seviyelerinin genel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, karanfil yağının Nil tilapyasının sedasyonu için etkili ve güvenli bir anestezi ajan olduğunu ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELE:Nil Tilapyası, *Oreochromis niloticus*, Kortizol, Anestezi, Sedasyon, Karanfil Yağı, 2-Phenoxyethanol

Aralık 2024, 116 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

DETERMINATION OF LIGHT SEDATION CONCENTRATIONS FOR ANESTHESIA AND LONG-TERM CLOSED ENVIRONMENT TRANSFERS IN NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) ALONG WITH STRESS INDICATORS

FATHİA A. H. LAZRAG

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF AQUACULTURE

SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. Ş. ŞENOL PARUĞ

CO-SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. HÜSEYİN SERKAN EROL

This study evaluated the anesthetic and sedative effects of 2-Phenoxyethanol and clove oil on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The fish used in the experiments had an average weight of 36.63 g and an average length of 10.85 cm. To determine the sedation concentrations, deep anesthesia studies were initially conducted, and the identified optimum concentrations were used as references. For both anesthetics, the optimum concentrations that enabled the fish to achieve deep anesthesia within 3 minutes and fully recover within 5 minutes were determined. The optimal concentration was identified as 80 µL/L for clove oil and 800 µL/L for 2-Phenoxyethanol.

Following the anesthesia experiments, 24-hour and 48-hour sedation experiments were conducted to evaluate the long-term effects of both anesthetics. These experiments investigated the effects of different concentrations on fish behavior, survival rates, water quality, and cortisol levels. For clove oil, 8 µL/L and 10 µL/L concentrations were found to be the most suitable for prolonged sedation. At these concentrations, fish exhibited calm behavior and high survival rates. For 2-Phenoxyethanol, 105 µL/L was identified as the most effective concentration. Lower concentrations were found to be insufficient for adequately sedating the fish and reducing stress levels.

Plasma cortisol levels were analyzed from blood samples collected post-sedation. The lowest cortisol levels were observed in the clove oil group at a concentration of 10 µL/L. In contrast, cortisol levels were generally higher in the 2-Phenoxyethanol groups. These findings indicate that clove oil is an effective and safe anesthetic agent for the sedation of Nile tilapia.

KEYWORDS: Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Cortisol, Anesthesia, Sedation, Clove Oil, 2-Phenoxyethanol

December 2024, 116 Page

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında kıymetli bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek çalışmaları ve tez yazım süreçlerini yakından takip eden değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ş. Şenol PARUĞ hocama en derin teşekkürlerimi sunarım. Deney ortamında ve laboratuvar çalışmalarında sağladıkları kıymetli katkılar için Doç. Dr. Hüseyin Serkan EROL hocama ve Doç. Dr. Osman Sabri KESBİÇ hocama şükranlarımı arz ederim. Yapıcı önerileri ile tez çalışmama katkı sağlayan Tez İzleme Komitesi hocalarıma çok teşekkür ederim. Deney ortamları ve laboratuvar imkanlarını sağlayan Kastamonu Üniversitesi'ne ve birim yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu süreçte manevi destekleriyle yanımda olan sevgili aileme minnettarlığımı ifade etmek isterim.

FATHİA A. H. LAZRAG

Kastamonu, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 Balık Refahı ve Stres Yönetimi	6
2.1.1 Balıklarda Stres ve Hormonal Yanıtlar	7
2.1.2 Balıklarda Anestezi Uygulamaları	8
2.1.2.1 Balıklarda anestezi yöntemleri	9
2.1.2.2 Balık anesteziinde kullanılan bazı kimyasallar	12
2.1.2.3 Balıklarda anestezi davranışları	17
2.1.3 Balıklarda Sedasyon Uygulamaları	19
2.2 Nil Tilapyası (Oreochromis niloticus)	21
2.2.1 Taksonomisi ve Cichlidae Familyasının Genel Özellikleri	21
2.2.2 Ekolojik Özellikleri ve Çevresel Adaptasyonları	23
2.2.3 Üreme Davranışları ve Üreme Biyolojisi	25
2.2.4 Akuakültürdeki Yeri ve Önemi	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1 Materyal	33
3.1.1 Canlı Balık	33
3.1.2 Gözlem, Deney ve Analiz Ortamları	34
3.1.3 Anestezi Deneyleri Sırasında Kullanılan Malzemeler	36
3.1.4 Sedasyon Deneyleri Sırasında Kullanılan Malzemeler	37
3.1.5 Su Parametrelerinin Ölçümü için Kullanılan Cihazlar	38
3.1.6 Kan Numunesi Alımı ve Plazma Elde Edilmesi için Kullanılan Ekipman ve Malzemeler	39
3.1.7 Kortizol Analizi için Kullanılan Materyaller	39
3.1.8 İstatistiksel Analiz Yazılımları	40
3.2 Yöntem	41
3.2.1 Yaşatma Ortamının Hazırlanması	41
3.2.2 Anestezi Deneyleri	43
3.2.3 Sedasyon Deneyleri	45
3.2.4 Su Analizleri	47
3.2.5 Moleküler Analizler için Plazma Elde Edilmesi	48
3.2.6 Kortizol Analizi	48
3.2.7 İstatistiksel Analizler	50
4. BULGULAR	53
4.1 Boy ve Ağırlık	53

4.2	Anestezi Bulguları	55
4.2.1	Bayılma ve Ayılma Süreleri	55
4.2.2	Bayılma ve Ayılma Sırasında Sergilenen Davranışlar	59
4.3	Sedasyon Deneylerinden Elde Edilen Bulgular	62
4.3.1	Sedasyonun Sonlandırılma Aşamasında Gözlemlenen Balık Davranışları.....	62
4.3.2	Sedasyon Sonrası Su Parametreleri ve Yaşama Oranları	63
4.3.3	Kortizol Seviyeleri	72
5.	TARTIŞMA	79
5.1	Derin Anestezi Uygulaması	79
5.2	Sedasyon Uygulamasının Su Parametrelerine ve Balık Davranışına Etkileri.....	81
5.3	Stres Yanıtı.....	93
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	96
	KAYNAKLAR	99
	EKLER.....	114
	EK A. Kastamonu Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu Kararı	115
	ÖZGEÇMİŞ.....	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 2010-2022 Yılları Arasında Nil Tilapyası üretim miktarları: Önde gelen ülkeler ve global toplam	30
Şekil 2.2 Global Nil Tilapyası üretim miktarı, ciro ve ortalama fiyat (\$/kg).....	31
Şekil 3.1 Nakilleri gerçekleştirilen balıkların termal adaptasyon sonrasında tanklara alınması	34
Şekil 3.2 Sedasyon deneyleri sonrası sağkalımın gözlemlendiği ilave ortam	34
Şekil 3.3 Laboratuvar ortamı - I.....	35
Şekil 3.4 Laboratuvar ortamı - II.....	36
Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan anestezi ajanları	37
Şekil 3.6 Sedasyon deneyleri sırasında kullanılan taşıma kutuları	38
Şekil 3.7 NH ₃ ölçümlerinin yapıldığı ve kan plazmasının elde edildiği laboratuvar ortamı	39
Şekil 3.8 Kortizol analizi için kullanılan ELISA kit	40
Şekil 3.9 İşlem basamakları sonrasında mikrop lakanın görünümü	40
Şekil 3.10 Kapalı devre sistem ve balıklar getirilmeden önce yapılan hazırlıklar	41
Şekil 3.11 Balıkların yaşatma ortamına alınmasından önce yapılan hazırlıklar ve sorasındaki durum	42
Şekil 4.1 Boy-ağırlık ilişkisi	53
Şekil 4.2 Boy dağılım frekansı.....	54
Şekil 4.3 Ağırlık dağılım frekansı.....	54
Şekil 4.4 Karanfil yağı kullanımı ile elde edilen bayılma süreleri.....	55
Şekil 4.5 Karanfil yağı kullanımı ile elde edilen ayılma süreleri.....	57
Şekil 4.6 2-Phenoxyethanol kullanımı ile elde edilen bayılma süreleri.....	58
Şekil 4.7 2-Phenoxyethanol kullanımı ile elde edilen ayılma süreleri.....	59
Şekil 4.8 Kortizol verileri için normalite test sonuçları	73
Şekil 4.9 Karanfil yağı ile 24 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları	74
Şekil 4.10 Karanfil yağı ile 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları	75
Şekil 4.11 Karanfil yağı ile 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları.....	76
Şekil 4.12 2-Phenoxyethanol ile 24 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları.....	77
Şekil 4.13 2-Phenoxyethanol ile 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları.....	77
Şekil 4.14 2-Phenoxyethanol ile 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları.....	78
Şekil 5.1 YO ve ÖHNYO değerleri	83
Şekil 5.2 DO değerleri	85
Şekil 5.3 NH ₃ değerleri	87
Şekil 5.4 pH değerleri	89
Şekil 5.5 VPM değerleri.....	91
Şekil 5.6 Kortizol değerleri (ng/mL).....	93

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Balıklarda uygulanan anestezi çeşitleri	11
Tablo 2.2 2-Phenoxyethanol için uygun bulunan konsantrasyonlar	16
Tablo 2.3 Karanfil yağı için uygun bulunan konsantrasyonlar	16
Tablo 2.4 Balıklarda bayılma ve ayılma aşamaları	17
Tablo 2.5 Balıklarda anestezi aşamaları	18
Tablo 2.6 Cichlidae familyasındaki bazı genuslar ve türler	22
Tablo 2.7 Nil Tilapyasının taksonomik sınıflandırması	23
Tablo 3.1 Sedasyon deneylerinde kullanılan balık sayıları	47
Tablo 4.1 Karanfil yağı kullanımında gözlemlenen balık davranışları	60
Tablo 4.2 2-Phenoxyethanol kullanımında gözlemlenen balık davranışları	61
Tablo 4.3 NK grubunda 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	64
Tablo 4.4 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	65
Tablo 4.5 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	65
Tablo 4.6 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	65
Tablo 4.7 10 µL/L konsantrasyonda karanfil yağı ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	66
Tablo 4.8 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	66
Tablo 4.9 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	66
Tablo 4.10 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	67
Tablo 4.11 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	67
Tablo 4.12 NK grubunda 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	67
Tablo 4.13 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	68
Tablo 4.14 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	68
Tablo 4.15 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	69
Tablo 4.16 10 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	69
Tablo 4.17 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	69
Tablo 4.18 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	70
Tablo 4.19 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	70

Tablo 4.20 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri	70
Tablo 4.21 Karanfil yağı ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının uygulama süresine bağlı olarak karşılaştırması	74
Tablo 4.22 Karanfil yağı ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının toplu olarak karşılaştırması	75
Tablo 4.23 2-Phenoxyethanol ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının uygulama süresine bağlı olarak karşılaştırması	76
Tablo 4.24 2-Phenoxethanol ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının toplu olarak karşılaştırması	78
Tablo 5.1 Sedasyon sonrası su parametreleri ve yaşama oranları.....	82



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	: Santigrat Derece
NH ₃	: Amonyak
O ₂	: Oksijen

Kısaltmalar

µL	: Mikrolitre
2-Phe	: 2-Phenoxyethanol
A1	: Saniye cinsinden 1. ayılma süresi
A2	: Saniye cinsinden 2. ayılma süresi
B1	: Saniye cinsinden 1. bayılma süresi
B2	: Saniye cinsinden 2. bayılma (derin anestezi) süresi
Bkz.	: Bakınız
cm	: Santimetre
dk.	: Dakika
DO	: Çözünmüş oksijen
g	: Gram
Kar. Y.	: Karanfil yağı
Kon	: Konsantrasyon
L	: Litre
mL	: Mililitre
N	: Grup başına örneklem sayısı
ND	: Belirsiz
ng	: Nanogram
NK	: Negatif kontrol grubu
nm	: Nanometre
OA	: Ortalama ağırlık
Ort.	: Aritmetik ortalama
ÖHNYO	: Örnek hariç nihai yaşama oranı (kan numunesi almak için alınan balıklar hariç tutulmuştur)
ÖSKBS	: Örneklem sonrası kalan balık sayısı
p	: Sigma değeri
PK	: Pozitif kontrol grubu
ppm	: Milyonda bir (parts per million)
sn	: Saniye
Std. h.	: Standart hata
Std. s.	: Standart sapma
SY	: Stok yoğunluğu
TB	: Total boy
TK	: Total kütle
VPM	: Dakikadaki ventilasyon sayısı
YO	: Yaşama oranı

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ve gıda güvenliği ihtiyacı, akuakültür sektörünü sürdürülebilir protein kaynaklarının en kritik sağlayıcılarından biri haline getirmiştir. Bu sektör, küçük ölçekli işletmelerden en son teknolojiyi kullanan büyük ölçekli firmalara kadar uzanan yapısıyla, küresel beslenme ihtiyaçlarının karşılanmasına önemli katkı sağlamakla birlikte, ekonomik kalkınmayı ve çevresel sürdürülebilirliği de desteklemektedir (De Silva ve Yuan, 2022). Ayrıca, hem hayvansal hem de bitkisel (makroalg ve özellikle mikroalg türleri) üretimi içermesi nedeniyle, yalnızca hayvansal protein kaynağı değil, aynı zamanda gübreleme, biyoyakıt, kozmetik ve farmasötik ürünler gibi farklı endüstrilere hammadde sağlayan bir sektördür (Borowitzka, 1997; Chew vd., 2017; Filote vd., 2020; Sudhakar vd., 2019; Troell vd., 2014). Geleneksel hayvancılık faaliyetlerine kıyasla daha düşük karbon ayak izi bırakmakta ve sucul kaynakların etkin şekilde kullanılmasıyla, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlamaktadır (MacLeod vd., 2020). Bununla birlikte, artan nüfus nedeniyle dünya genelindeki sınırlı kullanılabilir su kaynakları üzerindeki baskının hızla arttığı göz önünde bulundurulduğunda (Tzanakakis vd., 2020), entansif akuakültür sistemleri ile birlikte uygulanan kapalı devre su yönetimi, su tüketimini minimize ederek hem çevresel zararları azaltmakta hem de sektörün uzun vadeli sürdürülebilirliğini pekiştirmektedir (Badiola vd., 2012).

Küresel gıda güvenliği sorunlarının arttığı bir dönemde (Dillard, 2019), akuakültür yalnızca sürdürülebilir protein kaynağı sağlamakla kalmayıp, su ürünleri üretiminde avcılıkla elde edilen miktarı dengelemek adına stratejik bir çözüm sunmaktadır (Fajardo vd., 2022). Doğal stokların sınırlı olduğu ve bu stokların aşırı avlanma gibi nedenlerle azalma hatta tükenme riski taşıdığı göz önünde bulundurulduğunda, akuakültürün sürdürülebilir üretim potansiyeli daha da ön plana çıkmaktadır (Xuan vd., 2021). Özellikle üretim miktarlarının yıllar içinde gösterdiği hızlı artış, akuakültürün dünya genelindeki su ürünleri ihtiyacını karşılama noktasında önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir.

1950'lerde 1 milyon ton civarında olan yıllık global akuakültür üretim miktarı, son 70 yılda, yaklaşık 100 katına çıkmış ve avcılık yoluyla sağlanan üretimi geçmiştir. 2021 yılına ait verilere göre, dünya genelindeki toplam su ürünleri üretimi (bitkiler ve memeliler dahil), yaklaşık 220 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu miktarın 125 milyon ton civarı (%57'si) akuakültür üretiminden elde edilmektedir (FAO, 2024a; Paruğ vd., 2024).

Bu büyüme, akuakültür sektöründe sağlanan teknolojik ilerlemelerin, sürdürülebilirlik odaklı yeniliklerin ve dünya genelinde artan gıda talebine yanıt verme çabalarının bir sonucu olarak gerçekleşmiştir (Nie ve Hallerman, 2021). Günümüzde, akuakültür ile verimli üretim sistemlerini kullanarak ekonomik kazanç sağlanması amaç edinilmişken; bu sektörün çevresel sürdürülebilirliğe ve doğal popülasyonların korunmasına da katkısı vardır. Ancak, verimliliği artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için, üretim süreçlerinin her aşamasında gelişmiş tekniklerin uygulanması ve titiz bir yönetim gerekmektedir (Boyd vd., 2020). Akuakültür faaliyetleri, hayvansal üretimin özellikle kuluçkahane aşamasından itibaren hassas bir kontrol ve planlama gerektirirken, bu süreçlerde kullanılan teknolojilerin ve yöntemlerin sürekli iyileştirilmesi, hem üretim başarısını artırmakta hem de olası negatif çevresel etkilerin azaltılmasını sağlamaktadır (Boyd ve McNevin, 2015; Piedrahita, 2003; Troell vd., 2014).

Akuakültür, üretim süreçlerinde hassasiyet gerektiren bir dizi aşamayı içermekte olup, bu aşamalar sektördeki yenilikçi yaklaşımların uygulanmasını ve sürekli gelişimi elzem kılmaktadır (Antonucci ve Costa, 2020; Fajardo vd., 2022). Kuluçkahane aşaması ve sonraki üretim basamaklarında, anaçlara gonad biyopsisi, üreme hormonu teşviki ve sağım (alabalıklarda), juvenillerin tartılması, boylanması, deforme bireylerin ayrılması, aşılama gibi çeşitli işlemler sırasında, insan müdahalesine ve balıkların elle tutulmasına sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreçler, balıklar için önemli stres faktörleri oluşturabilmekte ve aynı zamanda yaralanmalara sebep olabilmektedir (Paruğ, 2012). Stres, balıkların bağışıklık sistemini zayıflatarak hastalıklara daha açık hale gelmelerine yol açmakta ve dolayısıyla bu tür müdahaleler sırasında hayatta kalma oranlarını etkilenmektedir. Bu tür riskleri en aza indirmek amacıyla, anestezi uygulamaları akuakültür sektöründe rutin bir prosedür haline

gelmiştir (Mylonas vd., 2005). Anestezi, yalnızca balıkların hareketlerini geçici olarak sınırlandırmakla kalmamakta, aynı zamanda stres seviyelerini ve metabolik aktiviteyi düşürerek, hem işlemlerin daha güvenli ve hayvan refahı açısından etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamakta hem de işlem sonrası süreçte balık ölümlerini azaltmaktadır (King vd., 2005).

Balıklarda anestezi ve sedasyon amacıyla kullanılan birçok kimyasal madde vardır ve bu kimyasallar, beşeri uygulamalarda olduğu gibi anestezi ve sedasyon için ayrı ayrı sınıflandırılmamakta, konsantrasyon farklılıklarıyla istenilen uygulama yapılmaktadır. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bazı anestezikler, Tricaine methanesulfonate (TMS / MS-222), Benzocaine, 2-Phenoxyethanol, karanfil yağı, Etomidate, Metomidate ve Quinaldine şeklinde sıralanabilir. Bu kimyasalların her biri, bayılma-ayılma süreleri, kortizol seviyesini azaltma (veya kendisinin de ayrıca strese sebep olması), maliyet/etkinlik dengesi, çevresel etkiler, rezidü ve insan sağlığına etkiler gibi farklı parametreler göz önünde bulundurulduğunda; birbirinden farklı etkiler göstermektedir. Ayrıca, anestezik madde kullanımında, balığın türüne, boyutuna, yaşına (postlarval, juvenil veya ergin dönem açısından), işlem süresine ve çevresel faktörlere (su sıcaklığı, çözülmüş oksijen seviyesi, pH) bağlı olarak optimum konsantrasyonun belirlenmesi kritik bir önem taşır. Konsantrasyonun doğru şekilde ayarlanamaması, balıklar üzerinde toksik etkiler oluşturabilir, hatta mortaliteye neden olabilir (Paruğ, 2012). Bu nedenle, özellikle hassas türler ve küçük boyutlu bireyler için standart anestezi protokollerinin geliştirilmesi gereklidir (Skår vd., 2017; Zahl vd., 2012).

Akuakültürde anestezi kullanımı, yalnızca kuluçkahanelerdeki işlemlerle sınırlı değildir. Yetiştiricilik süreçlerinin bir diğer önemli basamağı da transfer işlemleridir (Harmon, 2009). Balıklar, yavru aşamasından pazar boyutuna ulaştırılmak üzere farklı yetiştiricilik sistemlerine (kafes sistemleri, toprak havuzlar veya beton havuzlar) taşınmaktadır. Bu nakil işlemleri sırasında, özellikle yaz aylarında artan su sıcaklıkları veya uzun mesafeli transferler, balıklar üzerinde yüksek strese neden olabilmekte ve bu durum, mortalite oranlarını artırabilmektedir (Paruğ, 2012). Transfer sırasında hafif sedasyon uygulanması halinde, balıkların stres seviyesinin düşmesinin yanı sıra, metabolizma hızının yavaşlamasıyla, oksijen tüketimi ve metabolit salımı azalmakta;

bu da su kalitesinin daha uzun süre korunmasını sağlayarak transferin başarı oranını artırmaktadır (Sandodden vd., 2001).

Dünya geneli düşünüldüğünde, insan gıdası olarak üretilen su canlılarının transferinin yanı sıra, tatlısu ve deniz akvaryumları için çok sayıda tropikal balık ve diğer sucul canlı türlerinin taşınması da büyük bir sektörü oluşturur. Bu taşınan canlılar arasında balıklar, mercanlar, eklembacaklılar ve derisidikenliler yer almakta ve genellikle plastik torbalar veya taşıma kutuları içinde, oksijen basılmış bir ortamda nakledilmektedirler. Ancak bu canlıların taşınması sırasında stres faktörlerinin yeterince kontrol edilememesi, ciddi ölüm oranlarına neden olabilmektedir (Paruğ, 2012). Örneğin, tropikal bölgelerde doğadan toplanan ve uzun mesafeli transferlere maruz kalan deniz canlılarının önemli bir kısmı, bu süreçlerde (toplama sonrası ilk nakil, uluslararası transfer ve transfer sonrası dönem) hayatta kalmayı başaramamaktadır.

Doğadan toplanan canlıların transfer işlemleri sırasında yaşanan kayıplar, yalnızca ekonomik kayıplara değil, aynı zamanda ekosistemlerin sürdürülebilirliğine de zarar vermektedir. Toplama işlemleri sırasında mercan resiflerine verilen zararlar ve ekosistemdeki popülasyon dinamiklerinin bozulması söz konusu olabilmektedir (Cinner vd., 2018). İklim değişikliği ve buna bağlı olarak oluşan termal stres gibi faktörler, zaten hassas olan resif ekosistemlerini tehdit etmektedir (Carriquiry vd., 2001). Ekosistemler üzerindeki baskıyı azaltmak ve mortalite oranlarını düşürmek için bu tür transferlerde, uygun sedasyon protokollerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Iversen ve Eliassen, 2009). Böylelikle, tropikal bölgelerdeki mercan resiflerine zarar veren avcılık faaliyetlerinin azaltılması, mümkün hale gelebilir.

Tüm bu sebeplerle, sucul canlıların transfer tekniklerinin geliştirilmesi ve buna paralel olarak kullanılan anestezi maddelerin uygun konsantrasyonda ve şekilde kullanılması, sektörel verimliliği artırmanın yanı sıra, çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada, özellikle transfer işlemleri sırasında canlıların sakinleştirilmesi ve sağ kalımına yönelik uygulamaların (genellikle transferin bir iki gün öncesinden itibaren

yemlemenin bırakılması ve su sıcaklığının düşürülmesi), sedasyon ile daha etkili hale getirilmesi yaklaşımının sonuçlarını ortaya koymak amacıyla, akuakültür sektöründe önemli bir yere sahip olan Nil tilapyası (*Oreochromis niloticus*), model canlı olarak kullanılmış ve kontrollü deneyler yapılmıştır. Çalışmada, sektörel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen 2-Phenoxyethanol ve organik bir alternatif olarak karanfil yağı kullanılmış; balıkların farklı konsantrasyonlardaki bayılma ve ayılma süreleri ve ardından uzun süreli transferler için uygun hafif sedasyon konsantrasyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgularla, bilimsel bilgi birikimine katkı sağlanması ve sektörel uygulamalar için faydalı olabilecek yaklaşımlar sunulması amaçlanmıştır. Nil tilapyası üzerinde gerçekleştirilen bu anestezi ve sedasyon araştırmasının, transfer sırasında stresin azaltılması ve hayatta kalma oranlarının artırılmasına yönelik potansiyel faydalar sağlayabileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, gelecekte farklı türler üzerinde yapılacak benzer çalışmalara referans olma ihtimali taşımaktadır. Özellikle tropikal bölgelerdeki doğal stoklardan toplanarak ticari pazarlara taşınan sucul canlıların, transfer süreçlerinde sedasyon işlemlerine tabi tutulması veya bu uygulamaların daha etkin hale getirilmesi, hem ekonomik kayıpların azaltılması hem de ekosistem üzerindeki baskının hafifletilmesi açısından önemli bir adım olabilir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Balık Refahı ve Stres Yönetimi

Balıklar, su ortamında yaşamalarını sağlayan kendine özgü biyolojik özelliklere sahip sucul hayvanlardır. Ancak, çoğu balık türü, sudan çıkarıldıktan kısa bir süre sonra, havada yeterli oksijen bulunsa bile, gaz formundaki oksijenden istifade edemedikleri için, hızla boğularak yaşamını yitirir (Sedgwick, 1986). Balıkların su ortamına özel fizyolojik adaptasyonları göz önüne alındığında, onlarla gerçekleştirilecek işlemler sırasında özenli bir yaklaşım büyük önem taşımaktadır (Iversen vd., 2013). Ayrıca, balıkların sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri için akuakültür ortamında gerekli olan çevresel parametrelerin kontrol edilmesi kritik öneme sahiptir. Çözünmüş oksijen (DO) seviyeleri, balıkların metabolizması için en temel gerekliliklerden birisidir. Çoğu balık türü için DO seviyelerinin 3 mg/L'nin altına düşmesi stres belirtilerine ve metabolik zorluklara yol açarken, optimal büyüme ve sağlıklı yaşam için 6 mg/L veya daha yüksek seviyeler gereklidir (Boyd vd., 2018; Foss vd., 2003).

Benzer şekilde, amonyak (NH_3) seviyelerinin kontrolü de önemlidir. Akuakültür ortamında NH_3 seviyelerinin 0,2 mg/L'nin altında tutulması, toksik etkilerin önlenmesi ve balıkların büyüme oranlarının korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Xu vd., 2021). Ancak NH_3 seviyelerinin yükselmesi ve uzun süreli maruziyet durumunda, dokularda hasar ve ölüm gibi ciddi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Foss vd., 2003; Kaizer vd., 2009; Person-Le Ruyet vd., 1997).

DO ve NH_3 seviyelerindeki dengesizlikler, balıkların stres seviyelerini artırarak hem osmoregülasyonunu hem de genel sağlık durumunu ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Özellikle düşük DO seviyeleri (<3,5 mg/L), amonyak toksisitesini artırarak fizyolojik yükü daha da artırmaktadır (Kaizer vd., 2009). Bu nedenle, yetiştiricilik ortamlarındaki çevresel şartların optimum seviyede tutulmasına önem gösterildiği kadar, suyun filtrasyon işleminde geçirilmesinin veya tazelenmesinin mümkün olmadığı transfer şartlarında da, balık sağlığı ve yüksek yaşama oranının sağlanması için, su kalitesinin mümkün olan en iyi seviyede tutulmaya çalışılması elzemdir. Maaliyetlerin minimum düzeyde tutulabilmesi için, transferler sırasındaki canlı stok

yoğunluğunun mümkün mertebe yüksek tutulduğu da göz önünde bulundurulduğunda, uygun konsantrasyonlarda anestezi ajan kullanımı, hem balık refahı hem de yüksek yaşama oranının sağlanması ve ekonomik kayıpların yaşanmaması açısından büyük önem arz etmektedir (Zhang vd., 2023).

2.1.1 Balıklarda Stres ve Hormonal Yanıtlar

Bir canlı, korku, sıkıntı, hastalık, hipoksi, ağrı, termal stres ve insan müdahalesi gibi normal halini bozacak koşullara maruz kaldığında strese girmekte ve bu gibi durumlarda, vücut tarafından çeşitli tepkiler verilmektedir. Teleost balıklarda stres yanıtlarının düzenlenmesinde, kortizol kritik bir hormondur ve hipotalamus-hipofiz-interrenal (HPI) eksenini aracılığıyla salgılanmaktadır. Stres sırasında hipotalamustan salgılanan kortikotropin salgılatıcı hormon (CRH), hipofizden adrenokortikotropik hormon (ACTH) salgılamasını tetiklemekte ve bu hormon, interrenal¹ steroidogenik² hücrelerde kortizol sentezini uyarmaktadır (Barton, 2002; Martínez-Porchas ve Martínez-Córdova, 2009; Sadoul ve Geffroy, 2019; Yılmaz, 1999). Teleost balıklarda böbreküstü bezi olmadığı için kortizol, interrenal dokularındaki steroidogenik hücreler tarafından salgılanmaktadır (Martínez-Porchas ve Martínez-Córdova, 2009).

Kortizol, enerji metabolizmasını düzenleyerek glukoneogenez ve glikoliz süreçlerini aktive ederken, iyon ve su dengesini düzenleyici etkiler de göstermektedir (Barton, 2002; Sadoul ve Vijayan, 2016). Plazmadaki kortizol artışı, beraberinde glukoz ve laktat seviyelerinin de yükselmesine neden olmaktadır (Pankhurst, 2011).

Kronik stres koşullarında bağışıklık sistemi baskılanmakta, büyüme yavaşlamakta, üreme kapasitesi düşmekte ve uzun vadede organizma üzerinde ciddi olumsuz etkiler oluşmaktadır (Barton, 2002; Ellis vd., 2012). Stres yanıtı, çevresel stresörlerin etkisiyle balıklarda osmoregülasyonun bozulmasına, oksijen taşıma kapasitesinin düşmesine ve genel fizyolojik dengenin bozulmasına yol açabilmektedir (Sadoul ve Vijayan, 2016). Bu nedenle, kortizolün salgı mekanizmaları ve balıklarda

¹ Teleost balıklarda, böbrek üstü bezine karşılık gelen dokularda bulunan ve kortizol üretiminde merkezi rol oynayan hücrelerdir (Lawrence vd., 2005).

² Kortizol gibi steroid hormonları üretebilen herhangi bir hücre grubunu ifade eden genel bir terimdir. Bu hücreler, sadece interrenal dokuda değil, aynı zamanda testis, ovaryum gibi diğer steroid hormon üreten dokularda da bulunabilir.

oluşturduğu sistemik etkiler, çevresel stres faktörleri ve su kalitesiyle doğrudan ilişkili olması sebebiyle, akuakültür uygulamalarının titizlikle yürütülmesi gerektiği gibi (Barton, 2002); rutin işlemler sırasında da oluşan stres ve beraberinde ortaya çıkabilecek olumsuz etkiler, önem arz etmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı, balıklara müdahalede bulunulacağı zaman, anestezi madde kullanılmalı, balığın yatıştırılarak veya tamamen bilinç kaybı sağlanarak stres seviyesinin düşük tutulması, yani kortizol üretiminin yavaşlatılması gerekmektedir. Böylece, stres ile birlikte ortaya çıkan hiperaktivite davranışları ortadan kaldırılarak, olası fiziksel zedelenmeler engellenebildiği gibi, yüksek kortizol seviyesine bağlı ortaya çıkan sekonder sorunlar da bertaraf edilebilmektedir (Pramod vd., 2010).

Ayrıca, stres ile birlikte, balıklar tarafından salınan metabolitlerde ve oksijen tüketiminde artış yaşanmaktadır. Bu durum, içinde bulundukları su ortamının hızlı bir şekilde kirlenmesine neden olmakta ve balıklar için tehdit oluşturmaya başlamaktadır. Bu nedenle, transferler sırasında, uygun konsantrasyonda anestezi kullanılarak balıkların sakinleştirilmesi, olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır (Pramod vd., 2010).

2.1.2 Balıklarda Anestezi Uygulamaları

1930'lu yıllarda, kültür ortamındaki balıkların sakinleştirilmesi amacıyla ilk kez eterin anestezi madde olarak kullanılmasıyla başlayan süreç, günümüzde anestezi maddelerin hem sucul canlılara yönelik bilimsel araştırmalarda hem de akuakültür uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmasına zemin hazırlamıştır (Summerfelt ve Smith, 1990). Su ürünleri uygulamalarında, insan müdahalesi gereken durumlarda canlıların hareketlerinin kontrol altına alınması ve olası fiziksel yaralanmaların önlenmesi için anestezi uygulanırken; sakinleştirme ve stres seviyesini minimuma indirme amacıyla sedasyon yöntemleri tercih edilmektedir. Anestezi işlemi enjeksiyon yoluyla da yapılabilir de genellikle immersiye (daldırma) yöntemi uygulanmaktadır (Paruğ, 2012). Anestezi işleminden sektörel uygulamalarda, ölçüm, tartım, gonad biyopsisi, boylama, deforme ayırımı, aşılama ve markalama gibi işlemler sırasında faydalanılırken; bilimsel çalışmalarda daha çok biyometrik ölçümler, kan ve doku numunesi alınması, markalama ve cerrahi operasyonlar gibi işlemler sırasında faydalanılmaktadır. Canlıların sakinleştirilip metabolizma hızının düşürüldüğü ancak

hareketlerinin tamamen kısıtlanmadığı sedasyon uygulamasından ise, genellikle canlının yakalanması veya nakil gibi işlemler sırasında yararlanılmaktadır (Başaran vd., 2007; Ghanawi vd., 2013; Mylonas vd., 2005; Paruğ, 2012; Summerfelt ve Smith, 1990).

Su canlılarında anestezi ve sedasyon uygulamalarına ilişkin bilimsel çalışmalar, temel bilgi birikimini artırmanın yanı sıra, akuakültür ve canlı taşımacılığı sektörlerinde türlere veya anesteziye özel, pratik uygulamalara dönüştürülebilecek kontrollü deney sonuçları ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu kapsamda, farklı anesteziklerin etkileri genellikle bayılma ve ayılma süreleri ile canlıdaki kortizol seviyeleri dikkate alınarak karşılaştırılmaktadır (Martínez-Porchas ve Martínez-Córdova, 2009; Pawar vd., 2011; Small, 2004). Ayrıca, çevresel etkisi olmayan veya minimum düzeyde zarar veren alternatif organik anesteziklerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da giderek önem kazanmaktadır (Alagöz vd., 2021; Bodur vd., 2018; Can vd., 2017; Can vd., 2018; Gressler vd., 2014; Kızak vd., 2018; Saccol vd., 2018; Şahin ve Kızak, 2023). Bunun yanı sıra, anestezi maddelerin uzun süreli kullanımı sonucu oluşabilecek olumsuz etkileri değerlendirmek amacıyla, letal konsantrasyon ve letal süre gibi parametreler üzerinden çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Paruğ, 2012).

Balıklarda anestezi ve sedasyon ile ilgili bilimsel çalışmalarda ve sektörel uygulamalarda, kullanılan yöntemlerin çeşitliliği, tercih edilen ajanların özellikleri ve balıkların anesteziye yanıt olarak sergiledikleri davranışlar, konuya dair literatürün temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Aşağıdaki alt başlıklarda, bu üç temel unsur ele alınarak detaylandırılmıştır.

2.1.2.1 Balıklarda anestezi yöntemleri

Sucul canlılarda anestezi oluşturmak için kullanılan yöntemler, genel olarak kimyasal maddelerin kullanıldığı uygulamalar ve kimyasal madde kullanımı gerektirmeyen teknikler olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Kimyasal anestezi yöntemlerinde, organik ve inorganik maddelerden yararlanılmaktadır ve bu maddeler genellikle immersiye (suda çözündürme – suya daldırma) veya enjeksiyon yöntemleriyle uygulanmaktadır. İmmersiye yönteminde, balıklar su içindeki çözünmüş anestezi

maddeleri solungaçlarından absorbe ederek sistemik dolaşımlarına karıştırmakta ve sodyum kanallarının bloke olmasıyla, merkezi sinir sisteminin ileti potansiyeli düşmektedir (Paruğ, 2012; Ross ve Ross, 2008; Velíšek vd., 2007). Bu yaklaşım, memelilerdeki inhalasyon anestezisine benzer bir mekanizmayla çalışmaktadır. Örneğin, MS-222, Benzokain ve 2-Phenoxyethanol, immersiyon yöntemiyle yaygın olarak kullanılan anestezi maddeleridir. Enjeksiyon yöntemi ise, anestezi maddenin doğrudan damar içine veya kas dokusuna enjekte edilmesi yoluyla uygulanmaktadır ve genellikle büyük balık türlerinde tercih edilmektedir. Ketamin ve propofol bu yöntemle kullanılan anestezi maddelere örnek olarak gösterilebilmektedir (Paruğ, 2012).

Kimyasal olmayan yöntemler arasında karbondioksit gazının suda çözündürülmesi, oksijen verilmesi, hipotermi ve elektroanestezi gibi teknikler yer almaktadır. Karbondioksit gazının suda çözündürülmesi yöntemi, balıkların sakinleştirilmesi veya anestezi oluşturulması için kullanılmaktadır. Ancak, uzun süreli yüksek karbondioksit maruziyeti, balıklarda solunum hareketlerinin baskılanmasına ve hiperkapni nedeniyle asidoz riskinin artmasına neden olabilmektedir. Oksijen verilmesi yöntemi, özellikle bazı Elasmobranch türlerinde sedatif etki oluşturmaktadır; ancak uzun süreli oksijen maruziyeti de ventilasyonun baskılanmasına yol açabilmektedir. Hipotermi yöntemi, balıkların bulunduğu suyun sıcaklığının hızlı bir şekilde düşürülmesi ile sağlanmaktadır. Bu yöntem, balıkların hareketlerinin kısıtlanması amacıyla uygulanmaktadır (Neiffer ve Stamper, 2009).

Elektroanestezi ise, alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) gibi elektriksel uyarılar kullanılarak balıkların hareketsiz hale getirilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde kullanılan elektriksel akımlar, balıkların kas kasılmalarını tetikleyerek ya da inhibe ederek anestezi sağlamaktadır. Gökkuşuğu alabalıklarında plazma kortikoid ve laktat seviyelerinde ani artışlara, plazma glikoz ve kortikoid seviyelerinde ise en az 6 saat süren yükselmelere ve kardiyovasküler ritim değişikliklerine neden olduğu; bu tepkilerin travma, hipoksi ve genel adaptasyon sendromu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle elektroanestezi, invaziv ve stresli bir işlem olarak kabul edilmektedir (Ackerman vd., 2005). Ackerman vd. (2005); Neiffer ve Stamper (2009)

ve Paruğ (2012) yayınlarından derlenerek oluşturulan tabloda (Tablo 2.1), balıklarda uygulanan anestezi yöntemleri listelenmiştir.

Tablo 2.1 Balıklarda uygulanan anestezi çeşitleri

Kategori	Yöntem	Açıklama	Örnek madde
KİMYASAL ANESTEZİ	İmmersiyon (suda çözündürme)	Anestezik madde, içerisinde balık bulunan suda çözündürülerek uygulanır. En yaygın kullanılan yöntemdir. Balık, solungaçları vasıtasıyla bu maddeleri absorbe eder ve dolaşım sistemine karıştırır.	TMS (MS-222) Benzokain 2-Phenoxyethanol Karanfil yağı
	Enjeksiyon	Anestezik madde, kas veya damar içine enjeksiyon yoluyla doğrudan uygulanır. Bu yöntem, genellikle kıymetli ve büyük boyutlu türlerde uygulanmaktadır.	Ketamin Alfadolon Propofol
	Karbondioksit gazının suda çözündürülmesi / Oksijen gazının solungaçlara verilmesi	Karbondioksit gazı suda çözündürülür. İnhalasyon etkisiyle balıklarda sakinleşme ve anestezi sağlanır. Bu yöntem, kimyasal ajan kullanılmaması ve sodyum kanallarının bloke edilmemesiyle, anestezik ajan kullanımına göre farklılık gösterir / Bazı kıkırdaklı balık türlerinde oksijenin sedatif bir etki oluşturmamasından dolayı bu yöntem, oksijenli suyun solungaçlardan geçirilmesiyle sağlanır. Bu işlem sırasında, hayvanın ağzına yönlendirilen su akışına %100 oksijen kabarcıkları eklenir. Ancak, uzun süreli yüksek oksijen maruziyeti, solunum hareketlerini baskılayabilir ve hiperkapni ile asidoz durumuna yol açabilmektedir.	CO ₂ O ₂
KİMYASAL OLMAYAN ANESTEZİ	Hipotermi	Balıklar ve sucul omurgasızlar üzerinde uygulanan bu yöntemde, içinde bulundukları suya soğuk su ve buz eklenmesiyle, hızlı bir şekilde sıcaklığın düşürülerek, canlıların hareketlerinin kısıtlanması esasına dayanmaktadır. Transferler sırasında su sıcaklığının kademeli olarak düşürülerek, soğukkanlı canlılar olmaları nedeniyle metabolik aktivitenin yavaşlatılması ve su kalitesinin korunmaya çalışılmasından farklı bir uygulamadır.	
	Elektroanestezi	Genellikle balıkları hareketsiz hale getirmek için uygulanan elektroanestezi, doğru akım (DC), alternatif akım (AC) veya darbeli akımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Doğru akım, balığın anot kutbuna doğru hareket etmesine (anodotaksi), anestezi etkisine ve kasların şiddetli kasılmasına (tetani) neden olabilirken; alternatif akım genellikle yalnızca anestezi etkisi ve kas kasılmalarına neden olur. Elektroanestezinin temel amacı, şiddetli kas kasılmalarından kaynaklanabilecek omurga yaralanmalarını önleyerek balıkta güvenli bir şekilde anestezi sağlamaktır.	

2.1.2.2 Balık anestezisinde kullanılan bazı kimyasallar

Anesteziyoloji ve bu bilim dalı altındaki insana yönelik müdahaleler göz önüne alındığında, anestezi ve sedasyon farklı amaçlarla gerçekleştirilen ve birbirinden ayrılan uygulamalardır. Beşeri anesteziyoloji uygulamaları, anestezi (bireyin refleks aktivite ve duyu kaybı halinin sağlandığı uygulama) ve sedasyon (bireyin bilinç seviyesinin azaltılması ve sakinleştirilmesine yönelik uygulama) olmak üzere iki ana kısma ayrılırken; anestezi de kendi içinde genel anestezi, bölgesel anestezi (spinal anestezi ve epidural anestezi) ve lokal anestezi olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Her bir uygulama için farklı anestezi ya da sedatif ajanlar tercih edilmekte ve bunların etkisi, uygulama amacına ve yöntemine göre değişkenlik göstermektedir (Acıbadem, 2024; Memorial, 2024). Balıklarda ise bu durum daha basit bir yaklaşımla ele alınmakta ve immersiyon yöntemiyle uygulanan anestezi maddeler hem sedasyon hem de anestezi için kullanılmaktadır. Yani, anestezi için ayrı, sedasyon için ayrı ajanlar uygulanmamaktadır. Bu bağlamda, ajanların etkisi tamamen zaman ve konsantrasyonla ilişkilidir. Düşük konsantrasyonlarda veya yüksek konsantrasyona rağmen kısa süreler içinde sedasyon sağlanırken; yüksek konsantrasyonlarda hızlı bir şekilde veya görece düşük konsantrasyonlarda daha uzun süreler içinde anestezi derinliğine ulaşılmaktadır. Ancak, sucul organizmalar için kullanılan anesteziklerde, doğru konsantrasyonların uygulanması halinde, kısa süre zarfında bayılmayı ve ardından ayılmayı sağlayabilecek özelliklerde olması, öncelikli kriterdir. Buna bağlı olarak, uygun bir anestezi madde için aranan en önemli özelliklerden biri, balıkları 3 dakika içinde bayıltabilmesi ve bayıltılan bireylerin, anestezi madde içermeyen su ortamına alındığında, 5 dakika içinde tamamen ayılabilmesidir. Ayrıca, bu anesteziklerin ekonomik, güvenilir, kullanışlı ve insan sağlığı ve çevre için sorun oluşturmayacak özelliklerde olması istenmektedir (Paruğ, 2012; Ross ve Ross, 2008).

TMS (MS-222), sucul canlıların anestezisinde en yaygın kullanılan maddelerden biridir (Ortuño vd., 2002a). Hızlı etki göstermesi ve sudaki yüksek çözünürlük oranı (0,125 g/mL) ile dikkat çeken bu anestezi, kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ancak, suyun pH değerini düşürerek asidik bir ortam oluşturması nedeniyle balıklarda irritasyona yol açabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla, anestezi çözeltilerine genellikle sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ilave edilmektedir. TMS, düşük

konsantrasyonlarda bile strese neden olarak, balıklarda kortizol seviyesinde artışa sebep olabilmektedir (Coyle vd., 2004). Buna rağmen, birçok balık türü için güvenli bir anestezi olarak kabul edilmekte ve anesteziden sonra toparlanma sürelerinin oldukça kısa olması nedeniyle tercih edilmektedir (Ackerman vd., 2005). Balığın vücuduna nüfuz ettikten sonra, TMS idrar yoluyla yaklaşık 24 saat içinde tamamen atılmakta ve dokulardaki kalıntı miktarı neredeyse sıfırlanmaktadır. Ancak FDA, TMS'nin tamamen vücuttan arındırılma süresini 21 gün olarak belirlemiştir (Coyle vd., 2004). İngiltere'de ise bu süre, 10 gün olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, kısa süre içerisinde insan tüketimine sunulacak balıklarda kullanımı önerilmemektedir (Ross ve Ross, 2008).

Quinaldine, suda düşük çözünürlüğe sahip yağlı, sarımsı bir sıvı olup, kullanımdan önce etil alkol veya aseton içinde çözündürülmesi gerekmektedir. Etkili bir anestezi olmasına rağmen kötü kokusu, tahriş edici ve kanserojen etkileri nedeniyle sınırlı kullanım alanına sahiptir. Düşük maliyeti nedeniyle akvaryum balıkları sektöründe tercih edilmektedir (Coyle vd., 2004). Asidik yapısından dolayı genellikle NaHCO_3 ile tamponlanarak kullanılmaktadır (Ross ve Ross, 2008). Balıkların anestezi süresi genellikle 1-4 dakika arasında olup, ayılma süreleri değişkendir. Quinaldine sulfate ise, suda kolay çözünen, açık sarı renkli kristalli bir toz olup, hidrobiyologlar tarafından gel-git alanları ve mercan resiflerinden balık toplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ackerman, 2005). Quinaldine sulfate'ın etkinliği, pH 6'nın üzerinde ve türden türe değişiklik göstermekle birlikte, sıcaklık arttıkça ayılma süreleri uzamakta ve iri bireyleri daha hızlı etkilemektedir. Uzun süreli maruziyet toksik etkiler gösterebilir. Hem Quinaldine hem de Quinaldine sulfate, FDA tarafından onaylanmamıştır (Coyle vd., 2004).

Beşeri ve veteriner uygulamalarında da kullanılan Metomidate, hipnotik etkileri olan ve suda çözünebilen toz formunda bir anestezi maddesidir (Neiffer ve Stamper, 2009; Ross ve Ross, 2008). Kortizol artışını ve dolayısıyla stresi engelleme özelliğiyle dikkat çekmektedir. ACTH üretimini bloke ederek, diğer birçok anesteziye görülen stres ve nabız artışı gibi yan etkilerin önüne geçmektedir. Tatlısu ve deniz ortamlarında yaygın olarak kullanılan Metomidate, birçok türde güvenilir bir anestezi olarak kabul edilmiştir. Ancak, Japon balığında yüksek mortaliteye neden olması, kullanımını

sınırlayan önemli bir faktördür (Coyle vd., 2004). Ek olarak, balıklarda kas seğirmelerine yol açarak kan örneklerinin alınmasını zorlaştırması, bu anestezinin olumsuz yönleri arasında yer almaktadır (Gilderhus ve Marking, 1987).

İlk olarak 1961 yılında anestezi olarak tanımlanan 2-Phenoxyethanol ise, su içinde çok yüksek çözünürlüğe sahip, renksiz, yağlı yapıda, yakıcı tadı olan aromatik bir sıvıdır. Görece uygun fiyatlı bir anestezi olması tercih edilmesine neden olmakla birlikte, antibakteriyel ve antifungal etkiler göstermesi sebebiyle, cerrahi işlemler sırasında kullanımı avantajlı hale gelmektedir (Ortuño vd., 2002a; Ross ve Ross, 2008). Ayrıca, suyun pH değerinde bir değişikliğe neden olmaması da önemli bir tercih sebebidir (Neiffer ve Stamper, 2009). Geniş bir güven aralığına sahip olup hızlı şekilde etki eden bu anestezi, genellikle kısa ayılma süreleri sağlamaktadır (Ballıkaya, 2016). Akuakültür sektöründe, gonad biyopsisi, aşılama, deforme bertarafı, boylama ve transfer işlemlerinde sıklıkla kullanılan 2-Phenoxyethanol, ciltte tahrişe neden olabilmektedir. Ayrıca, düşük bir toksisite özelliği özelliğine sahip olan bu kimyasal, yoğun kullanım ve temas durumunda, karaciğer ve böbreklerde hasara yol açabilmektedir (Summerfelt ve Smith, 1990).

Karanfil yağı, bitkisel kökenli, koyu sarı renkli, güzel kokulu doğal bir anesteziktir. Ana bileşeni Eugenol olan bu yağ, tarih boyunca hafif bir yüzeysel anestezi olarak kullanılmış ve düşük konsantrasyonlarda kullanılmasıyla, diş ağrısı, baş ağrısı ve eklem ağrıların hafifletilmesine yardımcı olmuştur (Ross ve Ross, 2008). Suda çözünemediği için, kullanımından önce etil alkolde çözündürülmesi gerekmektedir, aksi halde suda sirkülasyon uygulansa dahi, homojen bir yayılım gösterememektedir. Bu nedenle kullanım öncesinde, etil alkol ile iyice çözündürülmesi ve uygulama esnasında, iyi bir su sirkülasyonu sağlanan bayılma ortamına nazikçe boşaltılması gerekmektedir (Paruğ, 2012). Yapılan çalışmalarda, 2-Phenoxyethanol'e göre yaklaşık 1/10 konsantrasyon ile benzer bayılma sürelerini sağlayabildiği belirtilmiştir (Ballıkaya, 2016; Mylonas vd., 2005, Paruğ, 2012). Balıklarda anestezi amacıyla kullanılan karanfil yağı, stres ve kortizol artışını diğer birçok anestezige göre daha düşük seviyelerde tutmaktadır. Yapılan çalışmalarda, karanfil yağı ile anestezi uygulanan balıklarda plazma kortizol ve laktat seviyelerinin düşük olduğu, insülin seviyelerinin ise diğer anesteziklere benzer olduğu belirtilmiştir (Small, 2003; Wagner

vd., 2003). Karanfil yağı, stabil anestezi sağlama konusunda etkili olmakla ve sağladığı bayılma süreleri diğer anesteziklere kıyasla daha kısa olmakla birlikte, balıkların ayılma süreleri genellikle daha uzun olmaktadır (Anderson vd., 1997; Ballıkaya, 2016; Paruğ, 2012). Geniş bir güven aralığı sunması, düşük maliyetli ve doğal bir seçenek olması, yüksek etkinliğe sahip olması, karanfil yağını popüler bir alternatif anestezi haline getirmiştir. Bununla birlikte, bazı türlerde güven aralığının dar olduğu ve toksik etkiler gösterebildiği rapor edilmiştir. Ayrıca, balıklarda solungaçlarda nekroz gibi hafif yan etkiler oluşturabileceği belirtilmiştir (Neiffer ve Stamper, 2009; Velíšek vd., 2005).

Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te, bu çalışmada kullanılan iki farklı anestezi olan 2-Phenoxyethanol ve karanfil yağı ile 3 dakika içinde balıkları bayıltabilme etkinliğinin belirlendiği veya farklı bilimsel çalışmalar için tercih edilen konsantrasyonların belirtildiği önceki çalışmaların kısa bir derlemesi sunulmuştur. Konsantrasyon değerleri, araştırmacılar tarafından raporlandığı şekliyle, birimler korunarak yazılmıştır. Balık anestezisinde süre farklılıklarının, balığın türü, hattı, cinsiyeti, yaşam evresi (juvenil, ergin, yaşlı), ağırlığı, kondisyon durumu, açlık-tokluk hali gibi biyolojik özelliklerden ve su sıcaklığı, oksijen seviyesi, pH gibi çevresel faktörlerden kaynaklanabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca, uygulayıcının deneyimi ve prosedürlerin standart uygulanıp uygulanmadığı gibi metodolojik etkenler de balığın bayılma ve ayılma sürelerinin ve haliyle uygun görülen konsantrasyonun belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum, tablolarda görüldüğü üzere, aynı balık türü ve aynı anestezi kullanılarak yapılan çalışmalarda, farklı araştırmacıların farklı optimum konsantrasyonlar rapor etmiş olmasıyla açıkça görülmektedir. Bu farklılıklar, hem yukarıda belirtilen biyolojik, çevresel ve metodolojik etkenlerden hem de uygulayıcıların gözlemlerindeki bireysel yorumlardan kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.2 2-Phenoxyethanol için uygun bulunan konsantrasyonlar

Balık Türü	Uygun Bulunan Konsantrasyon	Referans
<i>Oreochromis niloticus</i>	0,5-1,2 mL/L	Auperin vd. (1997)
	0,4-0,6 mL/L	Coyle vd. (2004)
	900 ppm	Rairat vd. (2021)
<i>Sparus aurata</i>	60-200 ppm	Ortuño vd. (2002b)
	450 mg/L	Mylonas vd. (2005)
	425-475 ppm postlarvalar için, >500 ppm juveniller için	Paruğ (2012)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	300-350 mg/L	Mylonas vd. (2005)
	450-500 ppm	Paruğ (2012)
	200-600 µL/L	Lucic vd. (2005)
<i>Cyprinus carpio</i>	400-600 ppm	Velíšek ve Svobodová (2004)
	0,5 mL/L	Lambooij vd. (2009)
	0,6 mL/L	Mohamed (1999)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0,5 mL/L	Hilton ve Dixon (1982)
	0,3-0,5 mL/L	Yıldız vd. (2013)

Tablo 2.3 Karanfil yağı için uygun bulunan konsantrasyonlar

Balık Türü	Uygun Bulunan Konsantrasyon	Referans
<i>Sparus aurata</i>	40-55 mg/L	Mylonas vd. (2005)
	60-65 ppm	Paruğ (2012)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	30-40 mg/L	Mylonas vd. (2005)
	50-55 ppm	Paruğ (2012)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>		Anderson vd. (1997)
	40-60 µL/L	Coyle vd. (2004)
		Keene vd. (1998)

2.1.2.3 Balıklarda anestezi davranışları

Balıklarda anestezi ve sedasyon ile ilgili yapılan çalışmalarda, doku, plazma ve serum numuneleri kullanılarak kortizol, laktat ve adrenalin gibi çeşitli biyokimyasal madde konsantrasyonlarının belirlenmesiyle sonuç elde edilmeye çalışıldığı gibi (Iwama vd., 1989); canlının bayılma ve ayılma sırasındaki davranışlarının iyi şekilde gözlemlenmesi ile anestezik maddelerin etki süreleri belirlenmeye çalışılmaktadır (Mylonas vd., 2005). Bunun yapılabilmesi için, anestezi sırasında balıkların sergiledikleri davranışların iyi bilinmesi gerekmektedir (Keene vd., 1998; Paruğ, 2012). Bununla ilgili olarak, literatürde birden fazla sınıflandırma mevcuttur, sedasyon ve derin anestezi davranışlarını içeren farklı sınıflandırmalar Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te görülmektedir. Tablo 2.4; Mylonas (2005); Paruğ (2012); Walsh ve Pease (2002); Tablo 2.5 ise, Bowser (2001); Keene vd. (1998); Paruğ (2012)'nin yapmış olduğu çalışmalar baz alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.4 Balıklarda bayılma ve ayılma aşamaları

Anestezinin aşamaları	Balığın Davranışı
1	Operkulum, kaudal yüzgeç ve pektoral yüzgeç hareketleri aktif olarak devam ederken, balığın yüzme dengesi bozulmaya başlar ve yüzme hızında bir yavaşlama görülür.
2	Kaudal yüzgeç ve pektoral yüzgeç hareketlerinin tamamen durmasıyla birlikte, balığın dibe çökmesi ve operkulum hareketlerinin belirgin şekilde yavaşlayıp düzensizleşmesi gözlemlenir.

Ayılmanın aşamaları	Balığın Davranışı
1	Operkulum hareketlerinin normale dönmesiyle birlikte, önce pektoral, ardından kaudal yüzgeçte hareketlenmeler başlar; bu sırada hafif ve kesikli, ancak tamamen dengesiz yüzme hareketleri gözlemlenir.
2	Denge ve normal yüzüş formu geri kazanılır.

Tablo 2.5 Balıklarda anestezi aşamaları

Aşama	Tanım	Balığın Davranışı
0	Normal	Dengeli yüzme sergiler; operkulum hareketleri ve ventilasyon normaldir.
1	Hafif sedasyon	Vücut dengesi korunur, ancak çevresel uyaranlara tepki azalır ve operkulum hareketlerinde yavaşlama gözlemlenir.
2	Derin sedasyon	Çevresel uyaranlara tamamen tepki vermez hale gelir, operkulum hareketleri daha da yavaşlar ancak vücut dengesi korunur.
3	Kısmi denge kaybı	Kas hareketleri azalır, yüzme dengesizleşir, operkulum hareketleri hızlanır ve yalnızca güçlü fiziksel temaslara tepki verilir.
4	Tam denge kaybı	Kas kasılmaları durur, denge tamamen kaybolur, operkulum hareketleri yavaş ve düzenlidir, omurga refleksi kaybolur.
5	Refleks aktivitesi kaybı	Tüm hareketler tamamen durur, operkulum hareketleri düzensizleşir ve yavaşlar, kalp ritmi ciddi şekilde azalır ve tüm refleksler tamamen kaybolur.
6	Asfiksi evresi	Operkulum hareketleri tamamen durur, kalp ritmi belirgin şekilde düşer ve düzensiz hale gelir.

Tablolarda gösterilmiş olan balık davranışları, bugüne kadar yapılan birçok bilimsel çalışmada referans alınmıştır. Ancak, şu da bilinmelidir ki, balıkların anestezi uygulamaları sırasında sergiledikleri davranışlar, genelleştirilmiş tablolar halinde literatürde sunulmuş olsa da; öncelikle kullanılan anestezik maddenin genel etkisi (her

anestezik farklı etkiler gösterebilmektedir) ve balığın türü olmak üzere, balığın yaşamsal dönemi (postlarva-juvenil-ergin) ve cinsiyeti, su sıcaklığı, su kalitesi, ışıklandırma koşulları gibi birçok abiyotik ve biyotik faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, balığın önceki beslenme durumu ve sağlık koşulları gibi deney öncesi faktörler de anestezi sırasında gözlemlenen davranışların çeşitlenmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, literatürde sunulan standart aşamalar bir genellemeyi yansıtmaktadır ve her çalışma için özgün koşullar altında farklılıklar gözlemlenebilmektedir (Ballıkaya, 2016).

2.1.3 Balıklarda Sedasyon Uygulamaları

Su ürünlerinde kullanılan anesteziklerin uygun konsantrasyonlarda hızlı etki göstererek derin anestezi için kullanılmasının yanı sıra, sedasyon amacıyla uzun süreli maruziyet şeklinde de kullanılabileceği bilinmektedir. Sedasyon, balıkların metabolik hızını yavaşlatarak enerji tüketimini azaltırken, stres seviyesini kontrol altında tutar ve bu nedenle canlı balıkların transferinde önemli avantajlar sağlar. Özellikle uzun mesafeli balık nakillerinde, sedasyon uygulamaları, balıkların hayatta kalma oranını artırmak ve taşınma sırasında oluşabilecek fizyolojik sorunları en aza indirmek açısından büyük bir öneme sahiptir (Zhang vd., 2023).

Canlı balık ve diğer sucul organizmaların transfer işlemlerinde, sadece nakiller sırasında ölüm olmamakta, ayrıca nakil sonrasındaki günlerde de ölümler devam edebilmektedir. Çünkü, özellikle kapalı ortamlarda gerçekleştirilen uzun süreli transfer işlemleri sırasında, metabolik aktivitelerle birlikte su kalitesinin bozulması sonucu, balıkların düşük çözünmüş oksijen (DO) seviyesine ve yüksek çözünmüş CO₂ ve NH₃ seviyelerine sahip sulara maruz kalmaları ve nihayetinde bu olumsuz koşulların balıklar üzerinde bir dizi fizyolojik strese yol açması mümkündür.

Düşük DO seviyeleri, balıkların solunum kapasitelerini sınırlamakta ve anaerobik metabolizmaya geçişe neden olarak enerji üretiminde azalmaya ve kas ve böbrek dokularında laktat birikimine yol açmaktadır (Copatti vd., 2019). Çözünmüş CO₂ seviyelerinin yükselmesi, solungaçlardan çözünmüş gaz değişimini zorlaştırmakta ve kan pH'sında düşüşe (asidoz) neden olmaktadır; bu da balıkların homeostazisini ciddi

şekilde etkilemektedir (Dong vd., 2011; Hayashi vd., 2004). Ayrıca sulardaki CO₂'in bir kısmı tepkimeye girerek, Karbonik asite (H₂CO₃) dönüşmekte ve suyun pH değerinin düşmesine neden olmaktadır (Heuer ve Grossell, 2014). Yüksek NH₃ seviyeleri ise, solungaç epiteline zarar vermekte, iyon dengesini bozmakta ve kan plazmasında amonyak birikimine (hiperammonemi) yol açarak nörolojik toksisite riskini artırmaktadır (Li vd., 2016). Tüm bu fizyolojik stres faktörleri, balıkların bağışıklık sistemini zayıflatarak enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırmakta ve solunum, osmoregülasyon ve metabolik süreçlerin bozulmasına neden olabilmektedir (Abdel-Tawwab vd., 2014). Bu nedenle, transferler sırasında sedatif konsantrasyonda uygun anesteziklerin kullanılması, balıkların sakinleştirilmesi ve metabolik aktivitelerinin düşürülmesiyle yalnızca transfer sırasındaki yaşama oranını artırmakla kalmamakta; aynı zamanda, su kalitesini koruyarak çevresel faktörlerin olumsuz etkilerini azaltmakta ve nakil sonrası hayatta kalma oranlarını yükseltmektedir (Zhang vd., 2023).

Ancak, sektörel uygulamalarda genellikle anestezik kullanımı yerine alternatif yöntemlere başvurulmaktadır. Bu yöntemler arasında, transferden 1-2 gün önce yemlemenin durdurulması, metabolizmayı yavaşlatmak için su sıcaklığının düşürülmesi ve oksijen takviyesi yapılması yer almaktadır (Bittencourt vd., 2018). Bu yöntemler, ekonomik ve pratik avantajlar sunsa da, sedasyon uygulamalarıyla elde edilen başarı oranlarının altında kalabilmektedir. Mevcut rutin uygulamalara ek olarak uygun konsantrasyonda anestezik kullanımıyla sedasyonun doğru şekilde uygulanması halinde, transfer sürecindeki balıkların stres düzeylerinin daha iyi yönetilebileceği, fizyolojik denge durumlarının korunabileceği ve nakil sonrası iyileşme süreçlerinin hızlanacağı bildirilmektedir (Zhang vd., 2023).

Dolayısıyla, sektörel düzeyde sedasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması, balıkların refahını artırmanın yanı sıra ekonomik verimlilik açısından da önemli katkılar sağlayabilir. Bu durum, özellikle yüksek ticari değere sahip türlerin taşınması sırasında, hem stres kaynaklı kayıpların önlenmesine hem de uzun vadeli üretim hedeflerinin daha etkili bir şekilde başarılmasına olanak tanıyabilir. Ayrıca, doğadan yakalanan tropikal balıkların taşınma sırasında yaşanan kayıpların sedasyon

uygulamalarıyla azaltılmasıyla, ekosistemler üzerindeki insan baskısının da hafifletilmesi sağlanabilir.

2.2 Nil Tilapyası (*Oreochromis niloticus*)

2.2.1 Taksonomisi ve Cichlidae Familyasının Genel Özellikleri

Cichlidae (Çiklitgiller) familyası türleri, özellikle Afrika'nın Büyük Göller bölgesinde dikkat çekici bir biyoçeşitlilik sergilemektedir. Bu familyaya ait türlerin adaptif olarak hızla çeşitlenmesi, bölgedeki göllerde bulunan farklı ekolojik nişlerin etkisiyle açıklanmaktadır (Fryer ve Iles, 1972). Özellikle Malawi, Victoria ve Tanganyika Gölleri, adaptif yayılımın belirgin örneklerini sergileyerek 1000'in üzerinde çiklit türünü barındırmaktadır (Turner vd., 2001). Tatlısu balıkları arasında Cyprinidae ve Characidae gibi familyalarla birlikte, en geniş çeşitliliğe sahip gruplardan birisi olan bu familya, yaklaşık 200 cins ve 1.650'den fazla tür içermektedir (Fishbase, 2024a; Lamboj, 2004). Tuzluluk değişimlerine toleransıya dikkat çeken ve denizlerde dahi üreme kabiliyeti sergileyebilen bir eurihalin form olan *Coptodon guineensis* haricindeki türler, doğal yaşamlarında tatlı ve acı sularda bulunmaktadır (Fishbase, 2024b).

Çiklitler, özellikle Afrika ve Güney Amerika kıtalarında yoğunlaşmıştır ve Afrika'da en az 1.600 tür, Orta Amerika ve Meksika'da ise yaklaşık 120 tür bulunurken, Hindistan ve Madagaskar gibi bölgelerde endemik çiklit türleri de mevcuttur (Fricke vd., 2024; Friedman vd., 2013; Fishbase, 2024a; Van Der Laan vd., 2014). Bu familyanın üyeleri, farklı koşullara adapte olabilme yetenekleri ve sıra dışı davranış özellikleriyle, allopatrik türleşme³ sergileyebilmektedir (Barlow, 2000; Chakrabarty, 2006; Friedman vd., 2013; Turner vd., 2001). Cichlidae familyasındaki türlerin sınıflandırılmasında, morfolojik verilerin yanı sıra moleküler yöntemlerle simpatrik⁴ türler incelenebilse ve daha kesin bir filogenetik ilişki ağı kurulabilse de (Joyce vd., 2011), Afrika'daki allopatrik türler tam olarak belirli değildir. Üreme izolasyonu,

³ Allopatrik türleşme, coğrafi engeller nedeniyle popülasyonların birbirinden ayrılması sonucu, gen akışının kesilmesi ve genetik farklılaşmanın yeni türlerin oluşumuna yol açtığı bir süreçtir (Yamaguchi ve Iwasa, 2013).

⁴ Simpatrik türleşme, coğrafi izolasyon olmaksızın bir popülasyonun genetik olarak farklılaşarak iki ya da daha fazla türe ayrıldığı bir süreçtir. Bu türleşmede, aynı habitatı paylaşan bireyler arasında üreme izolasyonu gelişir (Coyne, 2007).

genellikle çevresel heterojenlikler, ışık koşulları ve çift seçimine dayanmaktadır. Renk farklılıkları, trofik morfoloji ve duysal sinyaller, assortatif çiftleşmeyi ⁵ etkilemektedir ve tüm bu etkiler, çiklitlerin mevcut tüm türlerinin sayısını belirlemeyi çok zor hale getirmektedir; bu nedenle, Cichlidae familyasının filogenetik yapısı ve türleşme mekanizmalarını daha iyi anlamak için ileri moleküler çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Turner vd., 2001). Cichlidae familyasının bazı genusları ve türleri, Tablo 2.6’da görülmektedir.

Tablo 2.6 Cichlidae familyasındaki bazı genuslar ve türler (Fishbase, 2024a)

Cins İsmi	Bilimsel Tür İsmi	Global Tür İsmi
<i>Coptodon</i>	<i>Coptodon guineensis</i>	Gine Tilapyası
	<i>Coptodon rendalli</i>	Kırmızıgöğüslü Tilapya
	<i>Coptodon zillii</i>	Kırmızıkarınlı Tilapya
<i>Heterotilapia</i>	<i>Heterotilapia buttikoferi</i>	Zebra Tilapya
<i>Oreochromis</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	Nil Tilapyası
	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Mozambik Tilapyası
	<i>Oreochromis aureus</i>	Mavi Tilapya
	<i>Oreochromis andersonii</i>	Üçnoktalı Tilapya
	<i>Oreochromis urolepis</i>	Wami Tilapya
<i>Pelmatolapia</i>	<i>Pelmatolapia mariae</i>	Benekli Tilapya
<i>Pterophyllum</i>	<i>Pterophyllum scalare</i>	Melek Balığı
	<i>Pterophyllum altum</i>	Altum Melek Balığı
<i>Sarotherodon</i>	<i>Sarotherodon melanotheron</i>	Karaçeneli Tilapya
	<i>Sarotherodon galilaeus</i>	Mango Tilapyası
	<i>Sarotherodon occidentalis</i>	(Belirtilmemiş)
<i>Symphysodon</i>	<i>Symphysodon discus</i>	Diskus
<i>Tilapia</i>	<i>Tilapia sparrmanii</i>	Bantlı Tilapya

Oreochromis cinsi, Cichlidae familyasının Pseudocrenilabrinae alt familyası içinde sınıflandırılır ve Trewavas (1983), bu gruptaki *Sarotherodon*, *Oreochromis* ve *Danakilia* cinslerini, morfolojik kriterler temelinde ayırmıştır. Ayrıca, Watanabe vd. (2002), tilapya isminin *Oreochromis*, *Tilapia* ve *Sarotherodon* olmak üzere, Cichlidae

⁵ Assortatif çiftleşme, bireylerin kendilerine benzer fenotipik veya genotipik özelliklere sahip eşleri seçme eğilimi olarak tanımlanır ve hem türleşme süreçlerinde hem de popülasyonların genetik yapısında önemli bir rol oynar (Jiang vd., 2013).

familyasının üç genusundaki türler için kullanıldığını belirtmiştir. *Oreochromis* türleri arasında belirgin davranışsal özelliklerden biri, ağızda kuluçka yaparak yavrularını koruma eğilimidir ki bu davranış, yavruların hayatta kalma oranını artırmakta ve cinsler arası farklılaşmada önemli bir rol oynamaktadır (Trewavas, 1980). Bunun yanı sıra, Teugels ve Thys van den Audenaerde (1991), *Oreochromis* türlerinin taksonomik revizyonunu yaparak morfolojik özelliklerin sınıflandırmadaki önemine değinmiştir

Nil tilapyası (*Oreochromis niloticus*), Cichlidae familyasında yer alan en tanınmış ve ekonomik öneme sahip balık türlerinden biridir. Taksonomik açıdan bu tür, Işınsal Yüzgeçliler sınıfı (Actinopterygii) altında sıralanır ve Afrika'nın tropikal ve subtropikal bölgelerine özgüdür (Trewavas, 1983). Nil tilapyası, çevresel koşullara uyum sağlama kapasitesi ve hızlı büyüme oranı gibi özellikleriyle hem doğal popülasyonlarda hem de kültür şartları açısından dikkat çeker ve geniş adaptasyon yeteneği sayesinde akuakültür uygulamalarıyla yaygın olarak yetiştirilmektedir (El-Sayed, 2006). Aşağıdaki tabloda, takson basamaklarına göre sistematigi görülmektedir.

Tablo 2.7 Nil Tilapyasının taksonomik sınıflandırması

Takson Basamağı	Taksonomik İsim
Alem (Regnum)	Animalia
Alt Alem (Subregnum)	Eumetazoa
Şube (Phylum)	Chordata
Alt Şube (Subphylum)	Vertebrata
Sınıf (Classis)	Actinopterygii
Takım (Ordo)	Cichliformes
Familya (Familia)	Cichlidae
Cins (Genus)	<i>Oreochromis</i>
Tür (Species)	<i>Oreochromis niloticus</i>

2.2.2 Ekolojik Özellikleri ve Çevresel Adaptasyonları

Nil tilapyası, Afrika'nın tropikal ve subtropikal bölgelerine özgü bir tür olup, Nil Nehri ve çevresindeki Albert, Edward, Kyoga ve Victoria gibi büyük tatlı su göllerinde yoğunlaşmıştır (Trewavas, 1983). Geniş ekolojik toleransı sayesinde, doğal yaşam

alanlarının ötesine yayılmış ve farklı ekosistemlerde istilacı popülasyonlar oluşturmuştur (Skelton, 2001). Özellikle düşük ve orta derecede tuzluluk seviyelerine adaptasyon gösterebilmesi ve geniş bir sıcaklık aralığında hayatta kalabilmesi gibi özellikleriyle dikkat çeker. 20-30 ppt tuzluluktaki sularda bile yaşayıp gelişim gösterebilme kapasitesi, onu tatlı su dışında acı ve tuzlu su habitatlarında da başarılı kılmaktadır (Stickney, 1986).

Nil tilapyası, sıcaklık toleransı açısından değerlendirildiğinde, 22-35°C aralığında optimum büyüme sergilerken, 11-42°C arasında hayatta kalabilmektedir. Bununla birlikte, türün soğuk toleransını artırmak için beslenme düzenlemesi ve biyoteknolojik yaklaşımlar giderek önem kazanmaktadır. Özellikle, uzun zincirli n-3 yağ asitleri gibi besin takviyelerinin ve fosfolipit desteklerinin soğuk adaptasyonu üzerindeki olumlu etkileri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Nóbrega vd., 2020).

Nil tilapyası, çözünmüş oksijen seviyelerinin 1,5 mg/L'ye kadar düştüğü koşullarda bile metabolik adaptasyonlarını sürdürerek yaşamını devam ettirebilmektedir (El-Sayed, 2006; FAO, 2024b). Bu özellikleri, türün hem doğal ekosistemlerde hayatta kalma şansını arttırmakta, hem de akuakültür ortamlarında yetiştiricilik faaliyetleri için tercih edilen bir tür olmasını sağlamaktadır. Farklı pH değerlerine sahip sulara da adapte olabilen bu tür, en iyi gelişimi pH 7-8 aralığında sağlarken, pH 5-10 aralığında geniş bir tolerans sergileyip, yaşamını sürdürebilmektedir (El-Sherif vd., 2009).

Beslenme alışkanlıkları bakımından omnivor bir tür olan Nil tilapyası, fitoplankton, zooplankton, makroalgler ve organik detritus gibi geniş bir yelpazede besin tüketebilmektedir. Çiklit türlerinin genel adaptasyon mekanizmalarına bakıldığında, çevresel değişimlere uyum sağlamadaki yetenekleri dikkat çekmektedir. McKaye ve Marsh (1983), Malawi Gölü'nde yaşayan çiklit türlerinin besin kaynaklarını değiştirebilme yeteneğine sahip olduklarını ve bu davranışın, zorlu şartlarda, ekosistem içindeki rekabeti azalttığını belirtmiştir. Nil tilapyası da benzer şekilde, beslenme ve habitat adaptasyonları sayesinde farklı ekosistemlerde başarıyla yaşamını sürdürebilmektedir. Bu esnek diyet yapısı, yalnızca doğal ekosistemlerde enerji akışını düzenlemekle kalmayıp, akuakültürde düşük maliyetli yem kaynaklarından faydalanarak üretim maliyetlerini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (El-Sayed,

2006). Ancak, yoğun beslenme davranışları nedeniyle, istilacı popülasyonlar oluşturdıkları bölgelerde enerji akışını etkileyerek, yerel türlerin biyolojik çeşitliliğini tehdit edebilmektedir. Ayrıca, baskınlık ve agresif davranışlar sergilediği için, biyotop içindeki interspesifik rekabeti artırdığı bilinmektedir (Trewavas, 1983). Bu agresif davranışlar, yerel türler üzerindeki baskıyı artırarak popülasyon dengesizliklerine yol açabilmektedir. Örneğin, Victoria Gölü'ndeki istilacı popülasyonların yayılması, yerel çiklit türlerinin popülasyonlarını ciddi şekilde azaltmıştır (Chirwa vd., 2022).

Nil tilapyasının çevresel esnekliği ve biyolojik adaptasyonları, onu akuakültürde ekonomik bir tür haline getirirken, doğal ekosistemlerde istilacı bir tehdit haline de getirmiştir. Örneğin, Victoria Gölü'ndeki yayılması, yerel çiklit türlerinin popülasyonlarında belirgin bir azalmaya neden olmuştur (Chirwa vd., 2022; Trewavas, 1983). Bu durum, Nil tilapyasının biyolojik avantajlarının, doğal ekosistemlerin dengesini nasıl etkileyebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir akuakültür uygulamalarını açısından son derece önemli ve avantajlı bir tür olmasının yanı sıra, ekosistem üzerindeki istilacı etkilerinin minimize edilmesi, çevresel dengelerin korunması açısından kritik öneme sahiptir (FAO, 2024b).

2.2.3 Üreme Davranışları ve Üreme Biyolojisi

Nil tilapyası, üreme döneminde sergilediği belirgin davranışsal özellikler ile diğer birçok balık türünden ayrılmaktadır. Üreme davranışları, sosyal yapıya, cinsiyet oranına ve çevresel koşullara bağlı olarak şekillenmektedir. Erkekler, üreme döneminde teritoryal bir yapı sergileyerek, dişileri çekmek için görsel ve davranışsal sinyallerle desteklenmiş alanlar oluşturmaktadır. Erkekler tarafından hazırlanan yuvalar, genellikle kumlu veya çamurlu substratlar üzerine kazılmakta ve dişiler bu yuvalara yönlendirilmektedir (Trewavas, 1983). Üreme süreci boyunca erkekler arasında yoğun bir rekabet gözlemlenmektedir. Bu rekabet, hem yuva alanlarının savunulması hem de dişilerin ilgisini çekmeye yönelik olarak şekillenmektedir (Akian vd., 2017; Mendonça ve Gonçalves-de-Freitas, 2008).

Nil tilapyasında cinsel dimorfizm oldukça belirgindir. Erkek bireyler, dişilere göre daha büyük boyutlara ulaşmakta ve parlak renk farklılıkları sergilemektedir (Coward

ve Bromage, 2000; Trewavas, 1983). Özellikle üreme döneminde, erkeklerin dorsal yüzgeçlerinde ve kaudal yüzgeçlerinde, belirgin kırmızımsı veya mavimsi renklenmeler görülmektedir. Dişiler ise daha küçük boyutlu ve genellikle soluk renkli olup, üreme döneminde vücutlarında belirgin bir fiziksel değişiklik sergilemezler ve bu durum, yavrularını korumaya yönelik olarak bir kamuflaj sağlamaktadır (FAO, 2024b; Trewavas, 1983).

Üreme olgunluğuna erişim, erkeklerde yaklaşık 8-10 ayda, dişilerde ise 6-8 ayda gerçekleşmektedir. Erkekler, üreme olgunluğuna genellikle 20-30 cm boy aralığına gelince ulaşmaktadır, ancak büyüme oranları, çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (El-Sayed, 2006; Rana, 1988). Doğal popülasyonlarda dişi ve erkek oranı genellikle 1:1 olmakla birlikte, bu oran çevresel stres, popülasyon yoğunluğu ve habitat koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir (Trewavas, 1983). Akuakültür koşullarında ise, erkekler poligamik bir üreme stratejisi sergileyerek, birden fazla dişiyle çiftleşmektedir. Bu davranış, erkeklerin üreme başarısını artırırken, dişiler arasında rekabete ve eş seçilimine neden olmaktadır. Fessehaye vd (2006), mikrosatellit analizine dayanan çalışmalarında, erkek Nil tilapyelerinin birden fazla dişiyle çiftleştiği ve bu durumun erkeklerin üreme başarısını artırdığı belirlenmiştir. Mashai ve Rajabipour (2022), cinsiyet oranlarının üreme dinamikleri üzerindeki etkilerini detaylandırarak, 1:1 oranının döllenme oranı ve yumurta kalitesini artırmada etkili olduğunu; buna karşın, 1:4 ve 1:7 (erkek:dişi) oranlarının erkekler arasındaki rekabeti azalttığını ve dişiler üzerindeki stresi hafiflettiğini rapor etmişlerdir. Bu bulgular, poligamik üreme sistemi ve cinsiyet oranlarının, üretim verimliliği ve dişi bireylerin sağlığı üzerindeki etkisini vurgulamakta olup, akuakültür uygulamalarında dikkatli planlamanın önemini ortaya koymaktadır.

Doğal ortamların su sıcaklıkları sürekli uygun seviyelerde olması halinde (soğuk bir dönem yaşanmıyorsa), dişiler gonadları olgunlaştıkça, yıl boyunca üreme döngüsünü sağlayabilir (FAO, 2024b). Baroiller ve D'cotta (2018) tarafından dişi gonadal gelişimi, dört evrede tanımlanmıştır:

- İmmatür Evre: Gonadların küçük olduğu ve farklılaşmadığı dönemdir,

- Gelişme Evresi: Gonadlar büyümektedir ve oosit gelişimi başlamıştır,
- Olgun Evre: Gametlerin olgunlaştığı ve dişinin yumurtlamaya hazır hale geldiği evredir,
- Post-Yumurtlama Evresi: Yumurtlama sonrası, gonadlar dinlenme sürecine girmektedir.

Türde yumurta verimi, dişinin boyutuna, yaşına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Üreme başarısı, sıcaklık, su kalitesi, ışık koşulları ve besin maddeleri gibi çevresel faktörlere bağlıdır. Optimal üreme sıcaklıkları 27-30°C aralığında olup, bu sıcaklık aralığında hem yumurta gelişimi hem de yavru hayatta kalma oranı yüksektir (Rana, 1988). Işık yoğunluğu ve fotoperiyot da üreme davranışlarını etkileyen önemli faktörler arasındadır; uzun gün ışığı süreleri, üreme faaliyetlerini artırabilmektedir (Coward ve Bromage, 2000).

100 g'lık bir dişi yaklaşık 100 yumurta bırakırken, 600-1.000 g arasındaki dişiler 1.000-1.500 yumurta bırakabilmektedir (FAO, 2024b). Yumurtalar, yapışkan özellikte değildir ve çapları 1,8-3,5 mm arasında değişmekte, dişi boyutuna bağlı olarak artmaktadır. Dişi, yumurtalarını substrata bırakmak yerine ağızda taşımakta ve bu süreçte yumurtaların çevresel tehditlere karşı korunmasını sağlamaktadır (Balarin ve Hatton, 1979; Mashai ve Rajabipour, 2022). Yumurtlama ve döllenme gerçekleştiğinde, dişi yumurtaları ağızda toplamakta ve yaklaşık 12 gün boyunca ağızda kuluçka yapmaktadır (Tacon vd., 1996). Bu süreç boyunca dişi, çok az beslenir ya da hiç beslenmez (FAO, 2024b)

Yumurtaların açılması sonrasında, besin kesesini tüketen yavruların gelişimi tamamlanmakta ve serbest yüzmeye başladıklarında dişinin ağzından çıkarak, etrafa yayılmaktadırlar. Yavrular, ağızdan çıktıktan sonra bir süre daha dişi tarafından korunabilmektedir, ancak bu süre habitat koşullarına ve predasyon riskine bağlı olarak değişmektedir (El-Sayed, 2006). Tacon vd. (1996) dişilerde parental bakımın üreme döngüsü üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Araştırmada, yumurtaların ağızda kuluçkaya yatırılmasının ovaryum gelişimini yavaşlattığı ve üreme döngüsünü uzattığı gösterilmiştir. Bu dişilerde üreme periyodu, ortalama 27

gün olarak ölçülmüştür. Buna karşın, parental bakımın engellenmesi ve yumurtaların ağızdan alınması durumunda vitellogenez hızlanmış ve üreme döngüsü yaklaşık 15 güne düşmüştür. Çalışmada gonadosomatik indeks (GSI) ölçümleri, parental bakım süresince ovaryum gelişiminin durakladığını, ancak parental bakımın engellenmesi durumunda GSI'nin hızla yükseldiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, parental davranışın enerji kaynaklarının yavru bakımına yönlendirilmesine yol açtığını ve üreme periyodunu uzattığını, buna karşın insan müdahalesiyle parental bakımın önlenmesinin üreme verimliliğini artırabileceğini ortaya koymaktadır. Nil tilapyası akuakültürel uygulamalarında ayrıca, monoseks popülasyonlar, erken üremenin kontrolü ve erkeklerin hızlı büyüme avantajından faydalanmak için yaygın olarak tercih edilmektedir. Hormon uygulamaları, özellikle 17 α -metiltestosteron kullanımı, basitliği ve verimliliği ile öne çıkarken, genetik yöntemler (YY erkekler gibi) ve sıcaklık uygulamaları sürdürülebilir ve verimli alternatifler sunmaktadır. Ancak, hormon kalıntıları ve çevresel etkiler gibi sürdürülebilirlik kaygıları, çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Baroiller ve D'cotta, 2018; El-Greisy ve El-Gamal, 2012).

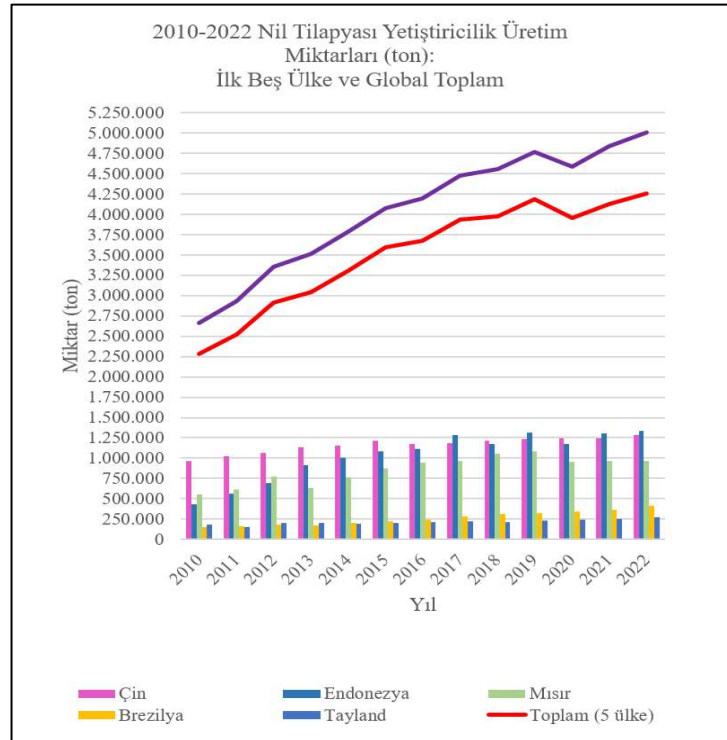
Nil tilapyası, yetiştiricilik koşullarında poligamik bir üreme stratejisi sergileyerek, bir erkek bireyin birden fazla dişiyle çiftleşmesine olanak tanır. Bu davranış, erkeklerin üreme başarısını artırırken, dişiler arasında rekabete ve cinsel seçilime yol açar. Fessehaye vd. (2006) mikrosatellit analizine dayanan çalışmasında, erkek Nil tilapyaalarının birden fazla dişiyle çiftleştiği ve bu durumun erkeklerin üreme başarısını artırdığı belirlenmiştir. Bu poligamik üreme sistemi, yetiştiricilik uygulamalarında cinsiyet oranlarının ve stoklama yoğunluklarının optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Erkeklerin birden fazla dişiyle çiftleşme yeteneği, üretim verimliliğini yükseltebilir; ancak, dişiler arasındaki rekabet ve stres düzeyleri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, yetiştiricilik uygulamalarında cinsiyet oranlarının ve stoklama yoğunluklarının dikkatlice planlanması önem arz etmektedir. İnsan kontrolünde çeşitli manipülasyonların yapılabildiği kültür şartlarında, yumurtlama sonrasında, yumurtaların sağlıklı bir şekilde inkübe edilmesi ve yavruların büyüme aşamasına kadar desteklenmesinin kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (El-Sayed, 2006). Siddique vd. (2023), yavruların sağkalım oranlarının ve üretim başarısının, su sıcaklığı, su kalitesi ve çözünmüş oksijen seviyelerine bağlı olduğunu

belirtmiştir. Azaza vd. (2008), su sıcaklığının larval gelişim ve yavru büyümesi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ve optimal sıcaklık aralığının 26-30°C olup, bu aralıkta büyüme ve hayatta kalma oranları daha yüksek olduğunu belirtirken; Nivelle vd. (2019), yüksek su sıcaklığı değerlerinin (>32°C), balıklarda cinsiyet oranını erkek bireyler lehine değiştirebildiğini ve durumun termal maskülinizasyona bağlı olduğunu bildirmiştir.

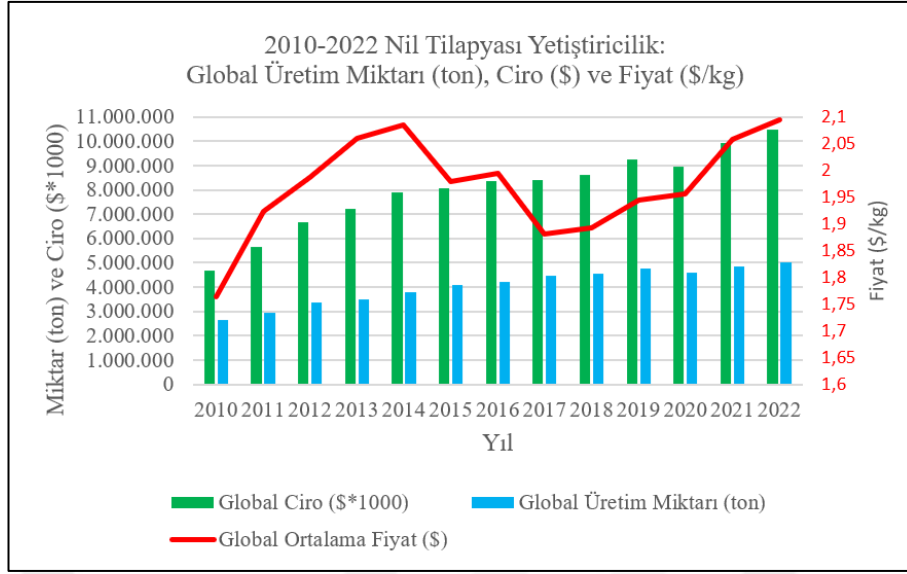
2.2.4 Akuakültürdeki Yeri ve Önemi

Nil tilapyası kültürü, antik Mısır dönemine kadar uzanmaktadır. Modern akuakültür uygulamaları, 20. yüzyılın ortalarından itibaren dünya genelinde yaygınlaşmış ve üretimi, özellikle Çin, Mısır, Endonezya gibi ülkelerde ekonomik kalkınmayı desteklemiş ve dünya genelinde akuakültür sektörünün temel taşlarından biri haline gelmiştir (Watanabe vd., 2002). Dayanıklı biyolojik yapısı, geniş çevresel toleransı ve hızlı büyüme yeteneği sayesinde, Nil tilapyası hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, ticari üretimde büyük bir öneme sahiptir. Nil tilapyasının akuakültür potansiyeli, özellikle düşük trofik seviyede beslenebilmesi ve geniş sıcaklık toleransı gibi adaptif avantajlarından kaynaklanmaktadır (El-Sayed, 2002; Tine vd., 2022). Tropikal ve subtropikal iklimlerde su sıcaklığı 22°C ile 30°C arasında olduğunda optimal büyüme gösterir; bu da onu farklı coğrafi bölgelerde, hayvansal protein kaynağı olarak yetiştirilebilir bir tür haline getirmiştir (Mashai ve Rajabipour, 2022; Nivelle vd., 2019). Protein içeriği genellikle %20 civarındadır ve düşük yağ oranı (%5,7) ile dengeli bir beslenme kaynağı olarak öne çıkar (Clement ve Lovell, 1994; Dağdelen ve Taşbozan, 2023). Ayrıca, omega-3 ve omega-6 gibi çoklu doymamış yağ asitleri içeriği ve kalsiyum, fosfor, magnezyum gibi minerallerle, sağlıklı bir diyetin parçası olma özelliği taşır (Navarro vd., 2012; Petenuci vd., 2008). Bu besleyici özellikleri, Nil tilapyasının dünya genelinde akuakültür sektöründe geniş bir yer bulmasına katkıda bulunmuştur (Siddique vd., 2023). Mashai ve Rajabipour (2022), 2020'lerde tilapya türlerinin küresel üretiminin yıllık 7,2 milyon tonu aşarak, akuakültür sektöründe sazanlardan sonra ikinci sıraya yerleştiğini ve bu miktarın %70'inden fazlasının, Nil tilapyasından elde edildiğini belirtmiştir. FAO FishStat verileri incelendiğinde, 2022 yılı için tilapya türleri ve Cichlidae familyasındaki diğer türlerin toplam üretim (akuakültür ve avcılık) miktarının yaklaşık 7,39 milyon ton,

sadece akuakültür üretim miktarının yaklaşık 6,55 milyon ton olduğu ve bunun da 5 milyon ton civarının Nil tilapyası yetiştiriciliğinden elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, Nil tilapyası hibritleriyle birlikte bu miktar, 5,45 milyon tonu aşmıştır (FAO, 2024a). Özellikle Asya, Afrika ve Latin Amerika'da üretim miktarındaki bu artış, hem gıda güvenliği hem de ekonomik kalkınma açısından kritik rol oynamaktadır (Watanabe vd., 2002). FAO'nun en son 2022 yılını kapsayan akuakültür verilerine göre, Nil tilapyasının dünya genelindeki toplam üretimi 5 milyon tona ulaşmıştır ve bu üretimin büyük kısmı Çin, Mısır ve Endonezya tarafından gerçekleştirilmiştir. Endonezya, 2016'dan itibaren artan trendiyle, türün akuakültürel üretiminde, lider konuma gelmiştir (Çin, melezler dahil olmak üzere tüm tilapya türlerinin toplam üretim miktarında, dünya lideridir). Mısır ise, hem global ölçekte üçüncü sıradaki üretici ülke olması, hem de Afrika'nın en büyük akuakültürel üreticisi olarak yüz milyonlarca insanın protein ihtiyacı ve gıda güvenliğine hizmet etmesiyle dikkat çekmektedir (FAO, 2024c, Paruğ vd., 2024; Tine vd., 2022). 2010-2022 dönemini kapsayan süreçte, Nil tilapyası (melezleri hariç) akuakültürel üretim miktarları ve finansal durumu, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de görülmektedir (FAO, 2024a baz alınarak oluşturulmuştur).



Şekil 2.1 2010-2022 Yılları Arasında Nil Tilapyası üretim miktarları: Önde gelen ülkeler ve global toplam



Şekil 2.2 Global Nil Tilapyası üretim miktarı, ciro ve ortalama fiyat (\$/kg)

Global akuakültürde son derece önemli bir yere sahip olan Nil tilapyası yetiştiriciliğinde, bölgesel kalkınmışlık durumu veya kurulum maliyetlerine bağlı olarak, farklı seviyelerde teknikler kullanılmaktadır. Havuz sistemleri ve yarı entansif toprak havuzlar, özellikle düşük maliyetli altyapıları nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde su kalitesinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve aşırı stoklamadan kaçınılması gerekmektedir (Watanabe vd., 2002). Daha gelişmiş üretim modellerinde, özellikle kuluçkahane aşamasında, kapalı devre su dolaşımı ve iyi bir filtrasyon sağlayarak su tüketimini minimize eden resirküle sistemler (RAS – Recirculating Aquaculture System) kullanılmaktadır. Bu sistemler, yüksek başlangıç maliyetlerine rağmen çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlıdır (El-Sayed, 2002; Ridha ve Cruz, 2001). Balık yetiştiriciliği ile bitki üretimini entegre eden bir teknik olan akuaponik sistemlerde, Nil tilapyasının ideal bir tür olduğu; düşük seviyedeki amonyağa olan toleransı ve hızlı büyüme oranlarıyla sistem verimliliğini artırdığını belirtilmiş ve sektörel uygulamalar teşvik edilmiştir (Rakocy 2012). Khanjani vd. (2021), görece yeni sayılabilecek bir uygulama olan biofloc sistemde, farklı karbon kaynakları kullanarak gerçekleştirdiği Nil tilapyası yetiştiriciliği çalışmasında, biofloc uygulamasının türün büyüme performansı ve fizyolojik parametrelerini optimize ederek akuakültürde verimliliği artırma potansiyeli sağlayabileceğini belirtmiştir.

Akuakültürel uygulamalarda, birim hacimden veya alandan (türe göre değişmektedir) maksimum miktarda ürünü, mümkün olan en kısa sürede elde etmek esastır. Nil tilapyası için stoklama yoğunluğu, yemleme stratejileri ve sıcaklık yönetimi gibi temel parametreler büyük önem taşımaktadır. Örneğin, yüksek stoklama yoğunluklarının büyüme oranlarını düşürdüğü, ancak düşük yoğunluklarda daha iyi büyüme performansı elde edildiği tespit edilmiştir (El-Sayed, 2002; Tine vd., 2022). Akuakültürde, yemleme oranlarının biyokütleyle uygun olarak optimize edilmesi, yem dönüşüm verimliliği ve büyüme oranları üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Haetami ve Pratiwy, 2023; Lee vd., 2014). Bunun yanı sıra, hormon uygulaması, genetik müdahale ile monoseks bireylerin (YY) oluşturulması veya godonal farklılaşma sırasında yüksek su sıcaklığına maruziyet sağlanmasıyla, daha yüksek ağırlıklara ulaşması sebebiyle, Nil tilapyasının erkek bireylerinin üretimi artırılarak, ticari kazanç desteklenmektedir (Baroiller ve D'cotta, 2018; El-Greisy ve El-Gamal, 2012; Nivelles vd., 2019; Tine vd., 2022).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

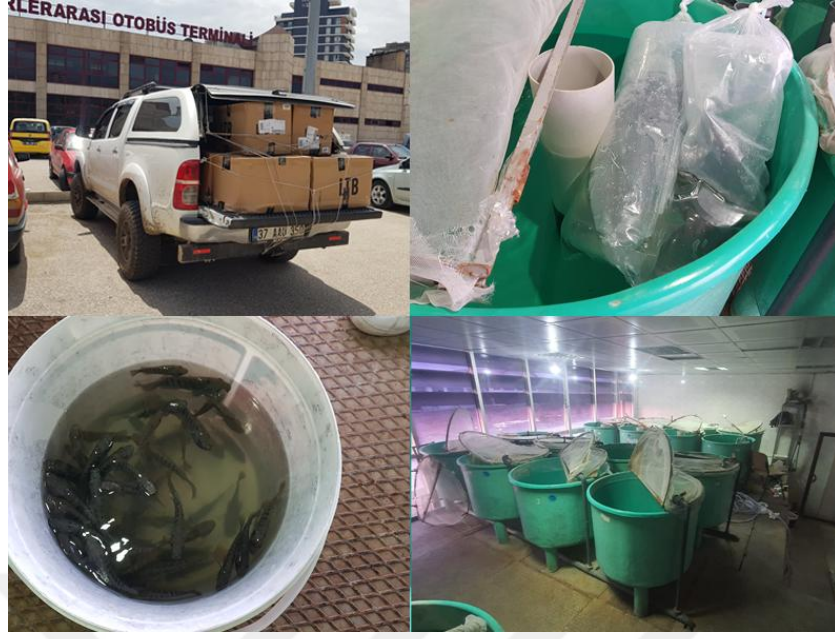
3.1 Materyal

3.1.1 Canlı Balık

Nil tilapyası bireyleri, Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretme ve Eğitim Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Bu kapsamda, çalışmanın yapıldığı birime boylanmış halde toplam 1200 adet balığın transferi şehirlerarası otobüs taşımacılığı ile 15 saatte, kapalı kutular içine konulmuş plastik torbalarda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Gelen balıkların ortalama ağırlığı $14,28 \pm 4,05$ g (N= 50) olarak hesaplanmıştır. Nakil işleminin ardından ilk 24 saatte, balıkların 12 adedi ölmüştür (transfer sonrası yaşama oranı %99). Ölen balıkların ortalama ağırlığı $15,34 \pm 5,28$ g (N=12) olarak hesaplanmıştır.

Balık sayısının fazla tutulmasının sebebi, nakil süreci ve sonrasında meydana gelebilecek olası ölümlerin göz önünde bulundurulması ve deneylerde daha homojen bir örneklem havuzu oluşturulabilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, boy ve ağırlık açısından benzer bireylerin ön gruplamaya tabi tutulabilmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda ise, toplam 732 adet (derin anestezi deneyleri için 270 adet ve uzun süreli hafif sedasyon deneyleri için 462 adet) balık kullanılmış olup, gerekli izinler, çalışma öncesinde Kastamonu Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan (HADYEK) alınmıştır (EK A'da yer almaktadır).

Hafif sedasyonun etkisinin araştırıldığı uzun süreli maruziyet deneylerinde, kapalı ortamdaki stok yoğunluklarının yüksek tutularak, zor şartların ve sektörel uygulamaların (Zhang vd., 2023) simüle edilebilmesi (sektörel uygulamalar göz önünde bulundurularak) amacıyla, balıklar yaklaşık 2 katı ağırlığa ulaşana kadar büyütülmüştür.



Şekil 3.1 Nakilleri gerçekleştirilen balıkların termal adaptasyon sonrasında tanklara alınması

3.1.2 Gözlem, Deney ve Analiz Ortamları

Çalışmada, balıkların stoklanması, adaptasyonu ve sağlıklı bir şekilde yaşatılması için kapalı devre su filtrasyon sistemi ile donatılmış, 20 adet 450 litrelik polyester tanktan oluşan bir ortam kullanılmıştır (Şekil 3.1). Anestezi ve sedasyon deneyleri aynı ortamda yapılmıştır. İşlemler sonrası balık sağkalımının izlenmesi için, SUMP filtreler ile etkin bir filtrasyonun sağlandığı akvaryum ünitesi de kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Sedasyon deneyleri sonrası sağkalımın gözlemlendiği ilave ortam

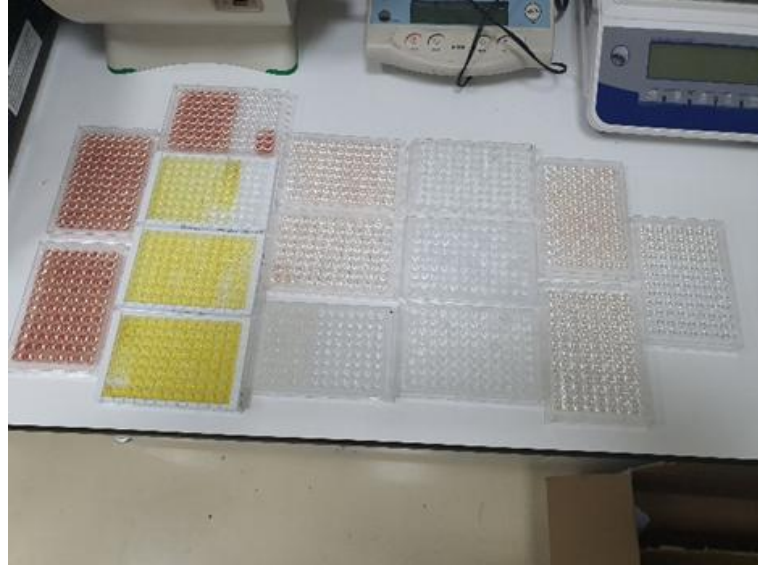
Balıklar, %43 ham protein, %20 ham yağ, maksimum %3 ham selüloz ve maksimum %12 oranında ham kül içeren ticari yemlerle beslenmiştir.

Ağırlık ölçümleri için 0,01 gram hassasiyetinde hassas terazi; boy ölçümleri için dijital kumpas ve boy ölçüm tahtası kullanılmıştır.

Sedasyon deneyleri sonrasında balıklardan alınan kan numunelerinin saklanması, plazma elde edilmesi ve kortizol analizi gibi işlemler için, laboratuvar imkanlarından faydalanılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Çalışmada kullanılan çeşitli malzemeler arasında, 1 mL ve 5 mL kapasiteli cam pipetler, farklı hacimlerde sıvı transferine ve çözelti hazırlamaya olanak sağlayan beherler, ELISA testi basamaklarında numunelerin hassas bir şekilde hazırlanması ve aktarılması için kullanılan Eppendorf Research Plus ayarlanabilir otomatik pipet seti ve bu pipetlerle uyumlu, kontaminasyonu önleyici steril pipet uçları bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Laboratuvar ortamı - I



Şekil 3.4 Laboratuvar ortamı - II

3.1.3 Anestezi Deneyleri Sırasında Kullanılan Malzemeler

Anestezi işlemleri (bayılma ve ayılma) sırasında, 8 litre hacimli, balıkların davranışlarının rahatlıkla gözlemlenebilmesine olanak sağlayan, plastik kovalar kullanılmıştır. Havalandırma ve su sirkülasyonunun sağlanması amacıyla, kapalı devre sistemin air blower cihazından gelen hava hortumu ve hava taşı, anesteziklerin seyreltilerek ve su ortamına titiz şekilde dağıtılarak verilebilmesi için 25 mL ve 50 mL hacimli cam beherler kullanılmıştır.

Hem anestezi hem de sedasyon deneylerinde aynı anestezik ajanlar, farklı konsantrasyonlarda (anestezi için yüksek ve sedasyon için çok daha düşük konsantrasyonlar) kullanılmıştır. Bu işlemler için anestezik ajan olarak; Sigma-Aldrich marka 2-Phenoxyethanol (77699-1 L) ve en az %99 Eugenol içerikli Sigma marka karafil yağı (0008000348-100 mL) kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan anestezik ajanlar

3.1.4 Sedasyon Deneyleri Sırasında Kullanılan Malzemeler

Sedasyon deneyleri için kullanılan su, öncelikle 450 litrelik polyester stok tanklarında hazırlanmıştır. Bu tanklarda, suyun oksijen seviyesini yükseltmek ve deney sırasında homojen koşullar sağlamak amacıyla, saf oksijen tüpü ve seramik hava taşı kullanılmıştır. İstenilen oksijen seviyesine ulaşıldıktan sonra, su taşıma kaplarına aktarılmıştır. Bu işlem, deney boyunca tüm taşıma kaplarındaki suyun aynı standartlara sahip olmasını sağlamak için gerçekleştirilmiştir.

Sedasyon deneyleri sırasında, balıklar 14 litrelik şeffaf kapaklı taşıma kutularında tutulmuş ve bu kutulara konulan suya (10 L) harici oksijen veya hava takviyesi yapılmamıştır. Deneyin başlamasından önce, stok tankından alınan su doğrudan kaplara doldurulmuş ve kapaklar kapatılarak çevresel koşullar sabitlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Sedasyon deneyleri sırasında kullanılan taşıma kutuları

3.1.5 Su Parametrelerinin Ölçümü için Kullanılan Cihazlar

Anestezi ve sedasyon deneylerinin öncesinde, balıklar istenilen ağırlığa ulaşana kadar büyütülmüş ve bu süreçte her yetiştiricilik siteminde olduğu gibi, balık sağlığı açısından, günlük rutin olarak su sıcaklığı ve DO gibi temel su parametreleri ölçülmüştür. Rutin sıcaklık ölçümleri için -20°C ile $+110^{\circ}\text{C}$ arası ölçüm yapabilen baget tip civalı termometre ve -50°C ile $+300^{\circ}\text{C}$ arası ölçüm yapabilen dijital termometre kullanılmıştır. DO ölçümleri için ise, bağlantı kurduğu mobil cihazdaki Android uygulaması arayüzünü kullanarak ölçüm bilgilerini gösteren Tecnos Smart Oxy cihaz kullanılmıştır. Anestezi ve sedasyon deneyleri sırasında ve sonrasında sıcaklık; pH; DO; salinite gibi su parametrelerinin ölçümü için, daha profesyonel bir cihaz olduğu düşünülen YSI Professional Plus multimetre kullanılmıştır. Sedasyon deneyleri öncesinde ve hemen sonrasında alınan su numunelerindeki amonyak (NH_3) miktarlarının analizleri için ise, HACH – Lange DR 6000 UV/VIS spektrofotometre kullanılmıştır. Amonyak ölçümleri ve kandan plazma elde edilmesi işlemlerinde, İçsu ve Deniz Balıkları Yetiştiriciliği Uygulama ve Araştırma Merkez Müdürlüğü bünyesindeki araştırma laboratuvarı kullanılmıştır (Şekil 3.7).

3.1.6 Kan Numunesi Alımı ve Plazma Elde Edilmesi için Kullanılan Ekipman ve Malzemeler

Balıklardan kan almak için 1 mL'lik heparinli enjektörler kullanılmıştır. Toplanan kan örneklerinin pıhtılaşmasını önlemek ve böylece plazma elde edebilmek için lityum heparin tüpler kullanılmıştır. Kan numuneleri santrifüj işlemi öncesinde kısa süreliğine tutulmuş olsa da, saklanması ve taşınmasının soğuk zincirde sağlanması için buzlu taşıma kabı ve tüp standı kullanılmıştır. Santrifüj işlemleri için Nüve marka NF800R model soğutmalı santrifüj cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 NH₃ ölçümlerinin yapıldığı ve kan plazmasının elde edildiği laboratuvar ortamı

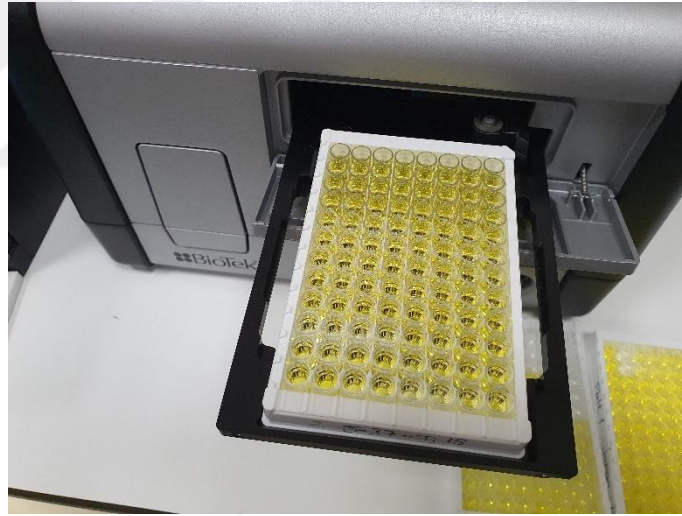
Su örneklerinin +4°C'de, plazma örneklerinin de -24°C'de saklanması amacıyla, no-frost özellikli bir buzdolabı kullanılmıştır. Numuneler, kısa süreliğine stoklanıp, sonrasında analiz işlemlerine alınmıştır.

3.1.7 Kortizol Analizi için Kullanılan Materyaller

Kapalı ortam maruziyeti sonrasında, balıklardaki kortizol seviyesini belirleyebilmek amacıyla 0,51 ng/mL hassasiyetinde, 1-300 ng/mL aralığında ölçüm yapılabilmesini sağlayan, BT LAB marka 96 kuyucuklu Fish Cortisol ELISA Kit (sandviç tipi bir ELISA kiti; Cat.No E0014Fi) kullanılmıştır (Şekil 3.8). Spektrofotometrik okumalar için (Şekil 3.9); 96 ve 384 kuyucuklu mikrolakalar ile uyumlu, 200-999 nm dalga boyları arasında absorbans ölçümleri yapabilen BioTek Epoch 2 mikrolaka okuyucu ve kendisine ait yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Kortizol analizi için kullanılan ELISA kit



Şekil 3.9 İşlem basamakları sonrasında mikrolakanın görünümü

3.1.8 İstatistiksel Analiz Yazılımları

Çalışmada, verilerin düzenlenmesi ve istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi için Microsoft Office 2021 Excel ve SPSS 25 yazılımları kullanılmıştır. Excel yazılımı, hem verilerin girişinin sağlanması hem de regresyon grafikleri gibi görselleştirmelerin oluşturulması amacıyla kullanılmıştır. SPSS yazılımı ise, grup içi ve gruplar arası analizlerde normalite, homojenlik, çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) gibi

parametrelerin değerlendirilmesi ile varyans analizlerinin yapılması için kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Yaşatma Ortamının Hazırlanması

Toplam 1200 bireyden oluşan balık grubunun barındırılması amacıyla, geniş su hacmi sağlayan ve mekanik, kimyasal ve biyolojik filtrasyon altyapısına sahip, merkezi kapalı devre sistem ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.10). Bu ünite, geçmişte hastalık çalışmalarının yürütülmüş olması nedeniyle kapsamlı bir dezenfeksiyon işlemi yapılmıştır. Bu süreçte, çamaşır suyu, formaldehit ve Chloramin-T gibi kimyasallar kullanılmış ve ardından sistem titizlikle durularak tamamen temizlenmiştir.



Şekil 3.10 Kapalı devre sistem ve balıklar getirilmeden önce yapılan hazırlıklar

Bu sistemde, tanklardan taşan su, mekanik (sadece kaba partiküller için), kimyasal ve en önemlisi biyolojik filtrasyonun sağlanması için tasarlanmış olan ve buharlaşma ile eksilen suyun otomatik olarak tamamlandığı karışım tankına dökülmektedir. 3 KW gücünde bir motopomp ile bu tanktan çekilen su, ilk olarak torba filtrelerden (Şekil 3.10-d), sonrasında merkezi ve termostatlı ısıtıcılarla (Şekil 3.10-c) ısıtıldıktan (ihtiyaca göre) sonra kum filtreden (Şekil 3.10-a) ve son olarak da UV-C dezenfektörden (Şekil 3.10-b) geçecek şekilde pompalanmakta ve tekrar tanklara dökülmektedir. Dezenfeksiyon ve durulama işlemleri sırasında sistemin taşıyıcı

elemanları olan borulardaki su kaçaqları tespit edilerek onarılmış, torba filtrelerin ekipmanları temizlenip dezenfekte edilmiş (Şekil 3.10-e) ve karışım tankında mekanik, kimyasal ve biyolojik filtrasyonun etkin şekilde sağlanabilmesi amacıyla, aktif karbon, zeolit, sünger, elyaf ve ağ parçaları gibi yüzey alanı geniş ve nitrifikasyon bakterilerinin kolonileşebileceği uygun materyaller sisteme eklenmiştir.

Sistemin biyolojik filtrasyon kapasitesinin hızla artırılabilmesi için, nitrifikasyon bakterilerinin yerleşimine destek olacak bir yöntem uygulanmıştır. Bu kapsamda, akvaryum ünitesindeki SUMP filtrelerden birinde bulunan süngerler sıkılarak bu filtrelerden elde edilen nitrifikasyon bakterileri yönünden zengin su; karışım tankına yavaşça dökülerek sisteme ilave edilmiştir. Bu düzenlemeler, ünitenin optimal çalışma koşullarına ulaşmasını ve balıkların sağlıklı bir şekilde barındırılmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). Akvaryum ünitesindeki SUMP filtreden (Şekil 3.11-a) alınan ve emmiş olduğu sudan faydalanan süngerin (Şekil 3.11-b), yararlı bakteriler dışında, zararlı bakteriler barındırma olasılığı da vardır. Ancak, sisteme pompalanan su, tanklara dökülmeden önce son noktada UV-C dezenfektörden geçtiği için, olası bir patojenite, çok büyük ölçüde engellenmiş olmaktadır.



Şekil 3.11 Balıkların yaşatma ortamına alınmasından önce yapılan hazırlıklar ve sorasındaki durum

Balıklar gelmeden 1 ay öncesinden itibaren, bakımı yapılan ve nitrifikasyon bakterileri ekimi gerçekleştirilen sistem, çalıştırılmaya başlanmış ve daimî su döngüsü sağlanmıştır. Ayrıca, azot kaynağı olması ve nitrifikasyon bakterilerinin çoğalabilmesi

amacıyla, içinde henüz balık bulunmayan tanklara, zaman zaman az miktarda balık yemi atılmıştır. Balıkların gelmesinden ve adaptasyon sonrası tanklara alınmasından sonra ise, günlük bakımlar yerine getirilmiş, düzenli olarak dip sifonu yapılmıştır (Şekil 3.11-c). Şekil 3.11-d’de tank ortamındaki balıklar ve filtrasyon ve dip sifonu süreçleriyle sağlanan su görülmektedir.

3.2.2 Anestezi Deneyleri

Anestezi deneyleri, iki farklı anestetik maddenin balıklar üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bir sonraki aşama olan sedasyon deneylerindeki olası konsantrasyonları belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yani bu çalışmanın asıl amacı, literatürde rastlanan önceki çalışmalarda olduğu gibi, optimum derin anestezi konsantrasyonlarını belirlemekten ziyade; hem sektörel uygulamalar hem de bilimsel çalışmalar dikkate alındığında, oldukça uzun bir süre olan 2 gün boyunca tamamen kapalı ortam şartlarında, mümkünse mortalite yaşanmaksızın balık refahının sağlanabileceği optimum hafif sedasyon konsantrasyonlarını belirlemektir. Bu nedenle, derin anestezi konsantrasyonlarının belirlendiği çalışma, bir sonraki basamak olan uzun süreli hafif sedasyon konsantrasyonları ile ilgili tahmin yürütebilmek için bir ön aşama niteliğindedir.

Çalışma, 23,5°C sabit ortam ve su sıcaklığında yürütülmüştür. Deneyler sırasında balıkların bireysel davranışlarının daha iyi gözlemlenebilmesi ve veri doğruluğunun artırılabilmesi amacıyla, her balık tek tek anestezi işlemine alınmıştır. Balık davranışlarının değerlendirilmesi, subjektif bir süreç olduğu ve bu tür gözlemler uzmanlık ve tecrübe gerektirdiği için, bayılma ve ayılma sürelerinin belirlenmesinde gözlemler öncelikli olarak danışman tarafından yapılmış, süreç boyunca öğrenci de gözlem yaparak deneyim kazanmış ve danışmanın yönlendirmesiyle süreleri kayıt altına almıştır.

Deney süresince, balıkların bayılma ve ayılma süreleri iki aşamada değerlendirilmiş, Tablo 2.4’te belirtilen aşamalar referans alınmıştır. Bayılma süreleri birinci bayılma (B1) ve ikinci bayılma (B2) olarak; ayılma süreleri ise birinci ayılma (A1) ve ikinci ayılma (A2) olarak sınıflandırılmıştır. Bu süreler, balıkların anesteziye yanıt verme

davranışlarına ilişkin ön denemelere dayalı olarak belirlenen referans bir tabloya göre anı anına kaydedilmiştir.

Karanfil yağı ile anestezi için 40 µL/L; 60 µL/L; 80 µL/L ve 100 µL/L konsantrasyonlar uygulanırken; 2-Pnenoxyethanol için 400 µL/L; 600 µL/L; 800 µL/L ve 1000 µL/L konsantrasyonlar denenmiştir.

Her bir konsantrasyon grubu için toplamda 30 balık kullanılmıştır. Her bir anestezi deneyi (240 deneme), 8 litre hacme sahip plastik kova içinde 3 litre dinlendirilmiş şebeke suyu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her birey için bu düzenleme standart olarak uygulanmıştır. Deney sırasında kullanılan anestezik çözeltilerin homojen şekilde karışmasını sağlamak amacıyla, balığın içinde bulunduğu su ortamına, aynı hava taşı ve sabit bir hava yoğunluğu ile havalandırma yapılmıştır. Bu işlem, anestezik maddenin su içerisinde eşit dağılımını sağlamak için düzenli olarak gerçekleştirilmiştir.

Karanfil yağı, suda doğrudan çözünemeyen bir madde olduğundan, önce 1:1 oranında %96'lık etil alkol içerisinde çözündürülmüştür. Çözelti, balığın bulunduğu kovanın içinden alınan bir miktar suyla karıştırılmış, iyice çalkalanmış ve daha sonra nazik bir şekilde deney ortamına eklenmiştir. 2-Phenoxyethanol ise suda kolayca çözünen bir ajan olduğu için, balığın bulunduğu kovanın içinden alınan bir miktar su ile aynı yöntemle karıştırılmış ve deney ortamına eklenmiştir. Her bireyin deney sonrası kullanılan ekipmanları titizlikle temizlenmiş ve durulanmış, böylece anestezik kalıntılarının sonraki denemelere karışması önlenmiştir. Ayılma işlemi için ayrı bir kova kullanılmış ve balık derin anesteziye girdikten sonra, bayılma ortamında olduğu gibi hava taşı ve su sirkülasyonu bulunan bu temiz su ortamına hemen aktarılmıştır. Her birey için bayılma ve ayılma süreleri detaylı bir şekilde kayıt altına alınmıştır.

Kontrol grubu, balıkların herhangi bir anesteziye maruz kalmadığı, doğal yaşam koşullarında gözlemlendiği bir referans grubu olarak kullanılmıştır ve 30 bireyden oluşturulmuştur. Bu grup, balıkların normal davranışlarının ve yaşama oranlarının ölçülmesine olanak tanımıştır.

Anestezi deneyleri tamamlandıktan sonra, balıklar beş gün boyunca gözlemlenmiş, mortalite oranları ve anestezi sonrası herhangi bir olumsuz etkinin olup olmadığı değerlendirilmiştir.

3.2.3 Sedasyon Deneyleri

Sektörel transfer işlemlerinde uygulanan sıcaklık düşürme (metabolizma hızının düşürülmesi için) ve çözünmüş oksijen (DO) seviyesinin yükseltilmesi (kapalı ortamdaki biyolojik aktiviteden dolayı balıkların aşırı düşük DO seviyelerine maruz kalmaması için alınan bir önlemdir) işlemleri (Harmon, 2009) haricinde, hafif sedasyonun sağlanabilmesi amacıyla düşük konsantrasyonlarda anestezik madde ilavesi yapılmıştır.

İlk olarak, balıkların yaşatıldığı tanklarda dolaşan kapalı devre sistem suyunun sıcaklığı, merkezi su ısıtıcılarının uygun şekilde ayarlanması ile 3 gün içinde yavaş yavaş 26°C'den 24°C'ye düşürülmüş ve bu sıcaklık değeri, deney protokolü boyunca sabit olarak korunmuştur. Böylece, ortam sıcaklığı da 25,5°C'den 23,5°C'ye düşmüş ve deneyler sürecinde bu sıcaklık değeri korunabilmiştir.

Tüm gruplarda tekerrürleri dahilinde eşit su kalitesi şartlarının sağlanması amacıyla, 2 adet 450'şer litrelik polyester tanktaki dinlendirilmiş ve hava taşları ile sirküle edilmiş suyun çözünmüş oksijen (DO) seviyesi, saf oksijen tüpü ve seramik hava difüzörü kullanılarak yükseltilmiştir. Bu stok suyu tankındaki DO seviyesi, ölçüm cihazları kullanılarak sürekli kontrol edilmiş ve 15 mg/L seviyesinde sabit tutulmuştur. Her iki anesteziğin farklı konsantrasyon grupları ve ayrıca negatif kontrol grubu için bu tanktaki sudan kullanılmış ve böylece balıkların uzun süreli sedasyonunun sağlandığı ve sağlanmadığı (negatif kontrol grubu) kapalı (kutunun kapağının kapatılması sonrasında) plastik kutularda, madde konsantrasyonu haricinde, eşit şartlar sağlanmıştır. Buna göre, balıkların deney kutularına yerleştirilmeden hemen önceki bazı su parametreleri, 15 mg/L DO; 23,5°C su sıcaklığı; pH 7,98; 0,02 mg/L NH₃ olarak ölçülmüştür (amonyak seviyesi haricindeki ölçümler, anlık yapılmıştır).

Her iki anestezik için dört farklı konsantrasyon hazırlanmıştır. Karanfil Yağı için kullanılan konsantrasyonlar 4 µL/L; 6 µL/L; 8 µL/L ve 10 µL/L olarak belirlenirken,

2-Phenoxyethanol için ise 35 µL/L; 70 µL/L; 105 µL/L ve 140 µL/L konsantrasyonlar uygulanmıştır. Her bir konsantrasyon grubu üç tekerrür halinde test edilmiştir.

Deneyler, 10 litre su içeren kapaklı şeffaf plastik kutularda (saklama kabı) gerçekleştirilmiştir. Her kapta sekiz balık bulunacak şekilde düzenleme yapılmış (her konsantrasyon grubu için toplam 24 birey) ve balıkların kütleleri istatistiksel olarak benzer seçilmiştir. Bu düzenleme ile her kap için stok yoğunluğu yaklaşık 29 kg/m³ (290 g/10 L su) olacak şekilde ayarlanmıştır. Sedasyon deneyleri, 24 saat ve 48 saat olmak üzere iki ayrı süre zarfında yürütülmüştür. Bu süreler birbirinin devamı niteliğinde olmamış, her süre için ayrı deney grupları oluşturulmuştur.

Deney boyunca pozitif kontrol ve negatif kontrol grupları dahil edilmiştir. Pozitif kontrol grubu (PK), balıkların doğal yaşam koşullarını temsil eden tank ortamında gerçekleştirilmiştir ve 30 birey kullanılarak oluşturulmuştur. Negatif kontrol grubu (NK) ise balıkların anestezi içermeyen ve kapalı kutu ortamında tutulduğu, en olumsuz koşulları temsil eden gruptur. NK, her iki anesteziğin etkileriyle kıyaslanmak üzere ortak şekilde (her iki anestezi madde için ortak gruplar), hem 24 saat hem de 48 saatlik süreler için ayrı ayrı oluşturulurken (8'er balıktan oluşan 3'er tekrarlar, 24 saat ve 48 saat için ayrı ayrı 24'er birey); PK, balıkların tank ortamındaki normal yaşamını referans aldığı ve dolayısıyla kapalı kutularda oluşturulmadığı için, tüm deney süreci için ortak bir kontrol grubudur.

Anestezi madde ve NK gruplarındaki balıkların kapalı kutulara konmasının haricinde, çevresel şartlardan (gün döngüsü ve aydınlanma şiddeti) etkilenmemeleri ve sektörel şartları temsil edebilmeleri (transfer sırasındaki sarsıntılar hariç) için kutuların etrafına mukavva sarılarak, loş bir ortam oluşturulmuştur.

Deney sonunda, balıkların davranışları detaylı bir şekilde gözlemlenmiş, yaşama oranları belirlenmiş ve temel su parametreleri ölçülmüştür. Her bir deney sonunda, her bir tekerrürden rastgele seçilen 3 balıktan kan örnekleri alınmıştır. Bu düzenlemeyle her konsantrasyon grubu ve NK gruplarından toplam 9'ar örnek elde edilmiştir (48 saatlik NK grubu hariç; mortaliteden dolayı toplam 7 örnek alınabilmektedir). PK grubunda da aynı şekilde 9 balıktan örnek alınmıştır. Kortizol analizleri için toplamda

169 kan örneği alınabilmiştir; deneylerde kullanılan ve kan alınan birey sayıları, Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1 Sedasyon deneylerinde kullanılan balık sayıları

Anestezik konsantrasyonu	24 Saat Süreli Sedasyon		48 Saat Süreli Sedasyon	
PK (anestezik madde yok)	Hem 24 hem 48 saat için ortak grup, 9 numune			
	Toplam birey	Örnek sayısı	Toplam birey	Örnek sayısı
NK (anestezik madde yok)	24	9	24	7
4 µL/L Kar. Y	24	9	24	9
6 µL/L Kar. Y	24	9	24	9
8 µL/L Kar. Y	24	9	24	9
10 µL/L Kar. Y	24	9	24	9
35 µL/L 2-Phe	24	9	24	9
70 µL/L 2-Phe	24	9	24	9
105 µL/L 2-Phe	24	9	24	9
140 µL/L 2-Phe	24	9	24	9
PK Hariç Toplam	216	81	216	79

Toplamda 19 grup oluşturulmuş, her bir grubun hedeflenen örneklem sayısı 9 olarak belirlenmiş olup, toplamda 171 örneklem alınması planlanmıştır. Ancak 48 saatlik NK grubunda meydana gelen ölümler nedeniyle bu gruptan yalnızca 7 kan numunesi alınabilmiş ve toplam örneklem sayısı 169 olarak gerçekleşmiştir.

Sedasyon deneylerinin tamamlanmasının ardından sağ kalan balıklar, gruplarına bağlı olarak yerleştirildikleri farklı yaşatma ortamlarında, gözlemlenmeye devam edilmiş ve sedasyon deneyleri sonundaki yaşama oranları haricinde; sonraki 5 gün içinde gerçekleşen sağkalım durumu da değerlendirilmiştir.

3.2.4 Su Analizleri

Çözünmüş oksijen (DO), su sıcaklığı, pH gibi temel su parametrelerinin ölçümünde, multimetre cihazı ve ölçümlerin doğruluğunu kontrol etmek için harici pH metre, oksijenmetre ve dijital termometre kullanılmıştır.

Sedasyon deneyleri öncesi ve sonrasında alınan su örneklerindeki amonyak seviyeleri, spektrometre cihazı kullanılarak HACH 8038 Nessler yöntemi (HACH, 2017) uygulanarak analiz edilmiştir. Bu yöntemde, analiz işlemleri sırasında distile su, mineral stabilizatör, dispersiyon maddesi olarak Polivinil Alkol ve Nessler Reaktif solüsyonu kullanılmıştır. Her bir analiz iki kez tekrarlanmış, sonuçların ortalamaları alınarak mg/L biriminde raporlanmıştır.

3.2.5 Moleküler Analizler için Plazma Elde Edilmesi

Plazma örneklerini sağlayabilmek için kan numuneleri, pıhtılaşmayı önleyen heparin antikoagülan içeren enjektörlerin balıkların kalplerine steril şartlarda yerleştirilmesiyle kolayca alınmış ve her balık için ayrı enjektör kullanılmıştır. Antikoagülanın amacı, kanın pıhtılaşmasını engelleyerek plazma bileşenlerinin etkin bir şekilde ayrılmasını sağlamaktır. Elde edilen kan örnekleri, pıhtılaşmayı önlemek amacıyla lityum Heparin tüplere aktarılmış ve her tüpün üzerine deney grup ve tekerrür bilgileri yazılmıştır.

Kan örnekleri, metabolik aktivitelerin yavaşlatılması ve biyokimyasal stabilitenin korunması amacıyla, içinde buz bulunan bir kap içerisine yerleştirilmiş tüp standına toplanmıştır. Toplanan kan örnekleri, vakit kaybedilmeden soğutmalı santrifüj cihazında işleme alınmıştır. Santrifüj işlemi, 5°C'de ve 700 G bağıl santrifüj kuvveti (RCF) altında, 15 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Ayrılan plazma, steril pipetler kullanılarak dikkatlice alınmış ve kontaminasyonu önlemek amacıyla ayrı steril tüplere aktarılmıştır. Her bir tüpe, grup ve tekerrür bilgileri yazılmıştır.

Elde edilen plazma örnekleri, kortizol analizinin yapılması öncesinde, kullanım talimatlarına uygun olarak, -24°C'de 3 gün boyunca saklanmıştır. Plazma numuneleri, test günü oda sıcaklığında ve ELISA protokolüne uygun şekilde analize alınmıştır. Dondurma-çözme işlemleri sadece bir kez yapılmış, örneklerin stabilitesini korumak amacıyla tekrar eden döngülerden kaçınılmıştır.

3.2.6 Kortizol Analizi

ELISA testinin tüm prosedürleri, üretici tarafından sağlanan talimatlara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle, kit içerisindeki tüm reaktifler, standart çözeltiler ve örnekler oda sıcaklığına getirilmiştir. Kullanılacak standart çözeltiler, kitte sağlanan 320 ng/mL konsantrasyona sahip standart çözeltinin 120 µL'sinin 120 µL standart dilüent ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Bu işlem, 160 ng/mL konsantrasyonunda bir stok çözeltisi oluşturmak için yapılmıştır. Daha sonra bu stok çözeltiden sırasıyla 80 ng/mL; 40 ng/mL; 20 ng/mL ve 10 ng/mL konsantrasyonlarında çözeltiler hazırlamak için 1:2 oranında seri seyreltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sıfır (0 ng/mL) standart olarak standart dilüent kullanılmıştır. Tüm standart çözeltiler -20°C'de saklanmış ve 1 ay içerisinde kullanılmıştır.

Test sırasında kullanılan ELISA plakaları, antikorlarla önceden kaplanmış olarak sağlanmıştır. İlk olarak, kullanılacak şeritler belirlenmiş ve çerçevelere yerleştirilmiştir. Kullanılmayan şeritler 2-8°C'de saklanmıştır. Standart kuyucuklara 50 µL hazırlanmış standart çözelti eklenmiştir. Örnek kuyucuklara ise 40 µL plazma örneği ve ardından 10 µL anti-COR antikor eklenmiştir. Daha sonra hem standart hem de örnek kuyucuklarına (boş kontrol kuyucuğu hariç) 50 µL streptavidin-HRP çözeltisi ilave edilmiştir. Kuyucukların içeriği iyice karıştırılmış ve plak, sızdırmaz bir kapakla kapatılarak 37°C'de 60 dakika süreyle inkübe edilmiştir.

Yıkama işlemleri için yıkama tamponu hazırlanmıştır. Kitte sağlanan 25 kat konsantre yıkama tamponu (20 mL); 480 mL deiyonize su ile seyreltilerek 500 mL'lik bir yıkama tamponu çözeltisi hazırlanmış, bu işlem sırasında kristalleşme olmaması için tamamen çözünme sağlanana kadar tampon nazikçe karıştırılmıştır.

İnkübasyonun ardından plak üzerindeki kapak çıkarılmış ve kuyucuklar hazırlanan yıkama tamponu ile 5 kez yıkanmıştır. Her bir kuyucuk, yıkama tamponu ile doldurularak 30 saniye ile 1 dakika arasında bekletilmiş ve ardından boşaltılmıştır. Bu işlem sırasında tüm kuyucukların tamamen yıkandığından emin olunmuş ve plaka, emici bir kağıt üzerinde kurutulmuştur.

Yıkama işleminin ardından her kuyucuğa sırasıyla 50 µL Substrat Çözeltisi A ve 50 µL Substrat Çözeltisi B eklenmiştir. Plaka, karanlık bir ortamda, yeni bir kapakla

kapatılarak 37°C'de 10 dakika inkübe edilmiştir. Bu aşamanın ardından her kuyucuğa 50 µL Durdurucu Çözeltisi eklenmiş ve mavi renk anında sarıya dönüşmüştür.

Son olarak, her kuyucuğun optik yoğunluğu (OD); 450 nm dalga boyuna ayarlanmış bir mikrotitre plak okuyucu ile durdurucu çözelti eklendikten sonraki 10 dakika içinde ölçülmüştür. Ölçüm sırasında standart eğri oluşturulmuş ve her bir örnek için konsantrasyon değerleri regresyon analizi ile hesaplanmıştır.

Bu yöntem, balık plazmasındaki kortizol seviyelerinin hassas ve doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamıştır. Kullanılan kitin ve prosedürün detayları, standart laboratuvar protokollerine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.7 İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri, Microsoft Office 2021 Excel ve SPSS 25 yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin düzenlenmesi ve regresyon grafikleri oluşturulmasında Excel yazılımı kullanılmıştır. İstatistiksel testler ve gruplar arası karşılaştırmalar ise SPSS yazılımı ile yapılmıştır.

Regresyon analizlerinde, R^2 (determinasyon katsayısı) değerleri ve regresyon denklemleri hesaplanmıştır. R^2 değeri, bağımsız değişkenlerin (örneğin, anestezi konsantrasyonu) bağımlı değişken (örneğin, bayılma veya ayılma süresi) üzerindeki etkisini açıklama gücünü ifade etmektedir. R^2 değeri, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve yüzdelik olarak yorumlanabilir. Örneğin, bir analizde $R^2 = 0,85$ değeri elde edilmesi, bağımlı değişkendeki varyasyonun %85'inin bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını göstermektedir. Yüksek bir R^2 değeri, regresyon modelinin bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi güçlü bir şekilde açıkladığını ifade etmektedir. Regresyon grafikleri, bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkinin doğruluğunu değerlendirmek ve görselleştirmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu grafiklerde, regresyon denkleminde ek olarak R^2 değerleri de yer almaktadır.

İstatistiksel anlamlılık düzeyi olarak $p = 0,05$ alınmıştır. Bu değer, analizlerin %95 güven aralığı ile yapıldığını ve sonuçların %95 doğrulukla anlamlı kabul edildiğini ifade etmektedir. Normalite analizleri, her bir grup için ayrı ayrı Shapiro-Wilk testi ile

değerlendirilmiştir ($p > 0,05$: normal dağılım; $p \leq 0,05$: normal dağılımdan sapma). Buna ek olarak, normalite değerlendirmesine destek olmak amacıyla çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri incelenmiştir. Bu değerlerin -1,96 ile +1,96 aralığında olması, dağılımın kabul edilebilir düzeyde normal olduğunu göstermektedir (Karaatlı, 2016).

Gruplar arası varyans homojenliği, Levene testi ile test edilmiştir ($p > 0,05$: varyanslar homojendir; $p \leq 0,05$: varyanslar arasında farklılık vardır). Ancak, çalışmada kullanılan anesteziğin farklı konsantrasyonlarda uygulanması sebebiyle farklı gruplar arasında bayılma ve ayılma sürelerindeki büyük farklılıklardan ve 24-48 saat gibi uzun süreli kapalı ortam maruziyetinin sağlandığı negatif kontrol grubunda kortizol seviyelerinin sedasyon uygulanan gruplardan yüksek olması gibi biyolojik faktörler nedeniyle gruplar arası homojenliğin sağlanamadığı durumlar görülmüştür. Bu sebeple, farklı gruplar arası varyans homojenliği varsayımı gerektirmeyen Welch ANOVA testi uygulanmıştır ($p \leq 0,05$: gruplar arasında anlamlı farklılık) (Antalyalı, 2016).

Gruplar arasındaki farkların değerlendirilmesinde, istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan Tukey Post-Hoc testi tercih edilmiştir. Bu test, gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları tespit etmenin yanı sıra, bu farklılıkların hangi gruplar arasında olduğunu detaylı ve güvenilir bir şekilde belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Ayrıca, test sonuçları, grup içi ve gruplar arası değişimlerin daha hassas bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır.

Gruplar arasındaki farklar, tablolar üzerinde üst indis harflerle (örneğin, a, b, c) ifade edilmiştir. Aynı harfle işaretlenen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, farklı harflerle işaretlenen gruplar arasında anlamlı farklar olduğu kabul edilmiştir⁶. Bu yöntem, gruplar arası farklılıkların görsel olarak daha kolay anlaşılmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Analiz sonuçları, elde edilen p-

⁶ Birden fazla üst indis kullanılması durumu (örneğin, bc, def, bc) ise, bir grubun istatistiksel olarak birden fazla gruba kesişim gösterdiğini, yani bu grubun ortalama değerinin hem belirli bir grup setine benzediğini hem de diğer bir grup setine kısmen dahil olduğunu ifade etmektedir. Bu tür gösterimler, veriler arasında örtüşmelerin olduğu ve belirli gruplar arasında tam ayrışmanın mevcut olmadığı durumlarda ortaya çıkar. Bu gösterim yöntemi, gruplar arası anlamlı farkların ve kesişimlerin tablolar üzerinde daha açık bir şekilde ifade edilmesini sağlar. Tukey Post-Hoc testi gibi çoklu karşılaştırma testlerinde bu tür kesişimler, verilerdeki heterojen yapının daha iyi yorumlanmasına olanak tanımakta ve sonuçların istatistiksel açıklayıcılığını artırmaktadır.

değerleri (sigma) ile birlikte değerlendirilmiş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak kabul edilmiştir. Buna göre:

$p > 0,05$ durumlarında gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı,

$p \leq 0,05$ durumlarında ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunduğu kabul edilmiştir.

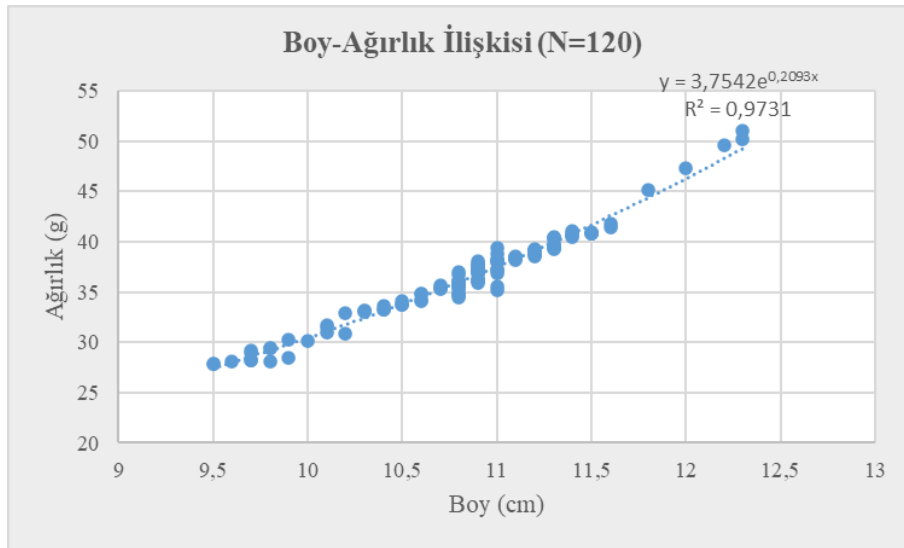
Bulgular bölümünde, grup içi (tekerrürler dahil) dağılımın normal olduğunu göstermek amacıyla normalite testi sonuçları verilmiştir. Shapiro-Wilk sütunundaki sigma değerlerinin 0,05'ten büyük olması, parametrik varyans analizleri öncesinde normalite şartının sağlandığını göstermektedir. Shapiro-Wilk testinde $p > 0,05$, normal dağılımın sağlandığını gösterirken, varyans analizinde $p \leq 0,05$ gruplar arasında anlamlı fark olduğunu ifade etmektedir.

4. BULGULAR

4.1 Boy ve Ağırlık

Anestezi ve sedasyon deneylerine başlamadan önce, balıkların deneylerde ağırlık yönünden homojen bir dağılım göstermesini sağlamak amacıyla, benzer boy ve ağırlık aralığındaki bireyler seçilerek, deneylerin başlamasından 5 gün önce belirli stok tanklarına yerleştirilmiştir. Burada amaç, deneyler sırasında anestezi veya sedasyon uygulamasına yönelik deneylerde, balıkların maruz kaldığı anestezik ajan konsantrasyonu (veya tamamen anestezik içermeyen ortam) haricindeki tüm şartların eşit şekilde sağlanmasıdır. Böylelikle, Bölüm 4.3.2’de görüldüğü üzere, sedasyon deneyleri sırasında benzer stok yoğunlukları sağlanabilmiştir.

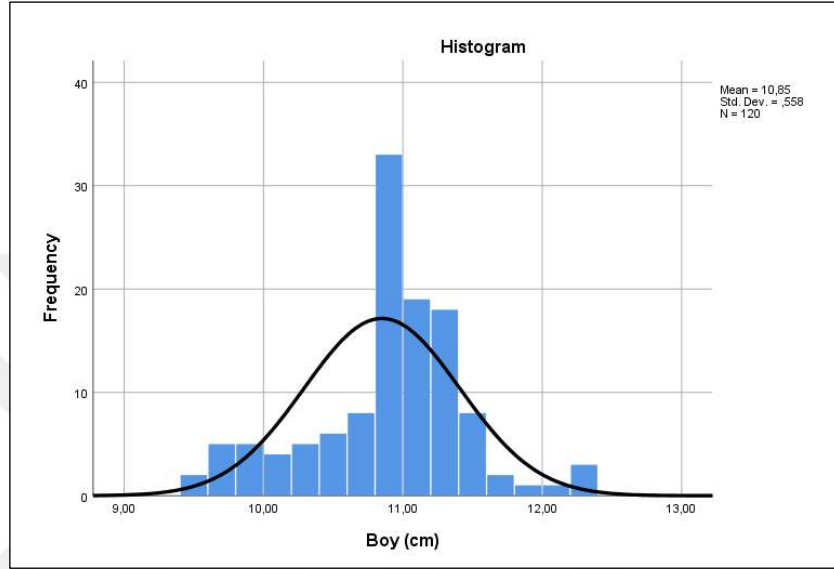
İlk getirildiklerinde ortalama ağırlığı $14,28 \pm 4,05$ g (N=50) olan balıkların, kapalı devre sistemde büyütülmeleri ve deneyler öncesinde benzer total boy (TB) ve ağırlıktaki bireylerin stoklanmaları sonrasında rastgele seçilen 120 birey üzerinden boy-ağırlık ilişkisi Şekil 4.1’de görülmektedir. Ortalama boy ve ortalama ağırlık sırasıyla $10,85 \pm 0,558$ (Max: 12,3; Min: 9,5) cm ve $36,63 \pm 4,323$ (Max: 51,08; Min: 27,86) g olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.1’de boy-ağırlık ilişkisine ait regresyon grafiği, verilmiştir.



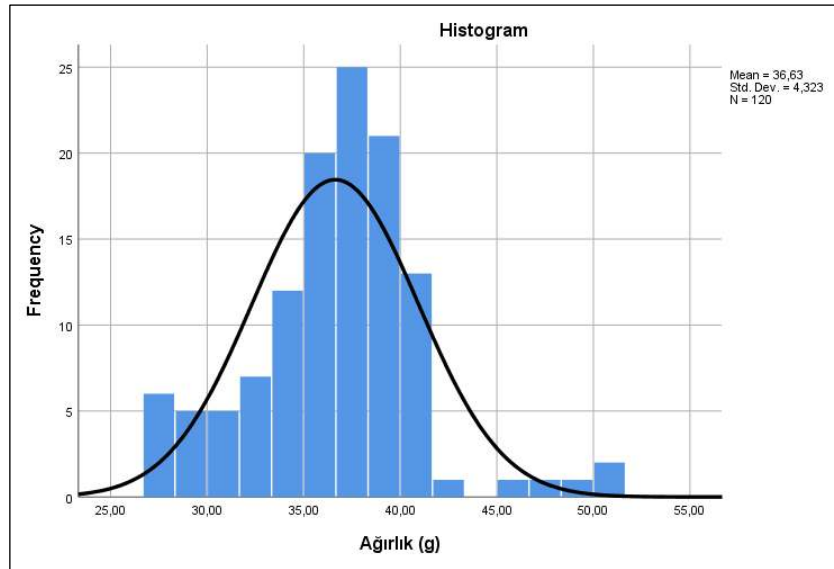
Şekil 4.1 Boy-ağırlık ilişkisi

120 örneklemin tamamının gösterildiği boy-ağırlık grafiğinde, bu iki parametre arasındaki ilişki %97,3 (R^2) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.2’de rastgele örneklenen 120 bireye ait boy dağılım frekansı ve Şekil 4.3’te ağırlık dağılım frekansı görülmektedir.



Şekil 4.2 Boy dağılım frekansı



Şekil 4.3 Ağırlık dağılım frekansı

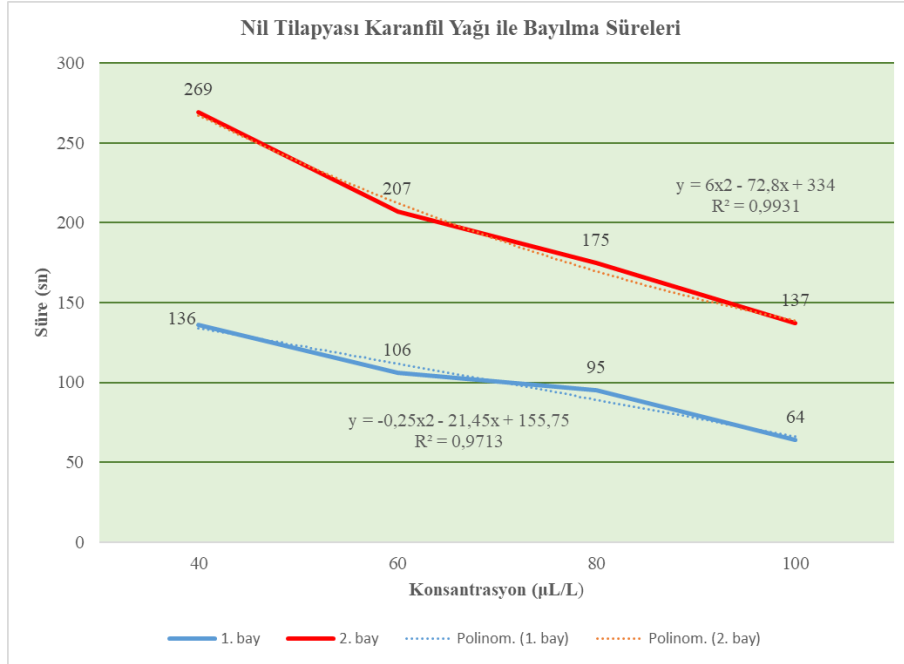
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te görüldüğü üzere, örneklenen bireylerin çoğunluğunun 11 cm civarı boya ve 37 g civarı ağırlığa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

4.2 Anestezi Bulguları

Bu bölümde, Nil tilapyasının derin anestezi deneylerinde kullanılan iki farklı anestezi ajan ile elde edilen bayılma ve ayılma süreleri ile balıkların bayılma ve ayılma sırasında sergiledikleri davranışlara yer verilerek, farklı alt başlıklar oluşturulmuştur.

4.2.1 Bayılma ve Ayılma Süreleri

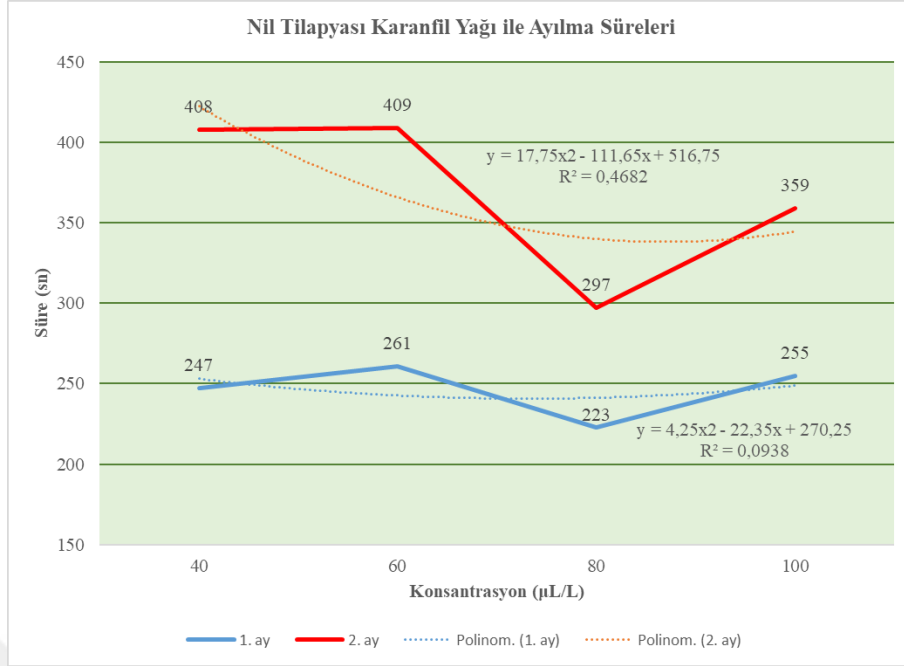
Her iki anestezi için balıkların 3 dakika içinde derin anesteziye ulaşmasını ve 5 dakika içinde tamamen ayılmasını sağlayan optimum konsantrasyonlar belirlenmiştir. Bu genel yaklaşıma (3dakika/5dakika) göre, karanfil yağı için optimum konsantrasyon 80 µL/L; 2-Phenoxyethanol için ise 800 µL/L olarak tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyonlara göre bayılma ve ayılma sürelerine yönelik regresyon grafikleri, karanfil yağı için Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te; 2-Phenoxyethanol için Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görülmektedir. Uzun süreli hafif sedasyon konsantrasyonlarını belirlemek için yapılan bu anestezi deneyleri sırasında veya takip eden 5 gün içinde, mortaliteyle karşılaşmamış, balıkların tamamı, ayıldıktan kısa süre sonrasında itibaren normal yüzme ve beslenme davranışları sergilemeye başlamıştır.



Şekil 4.4 Karanfil yağı kullanımı ile elde edilen bayılma süreleri

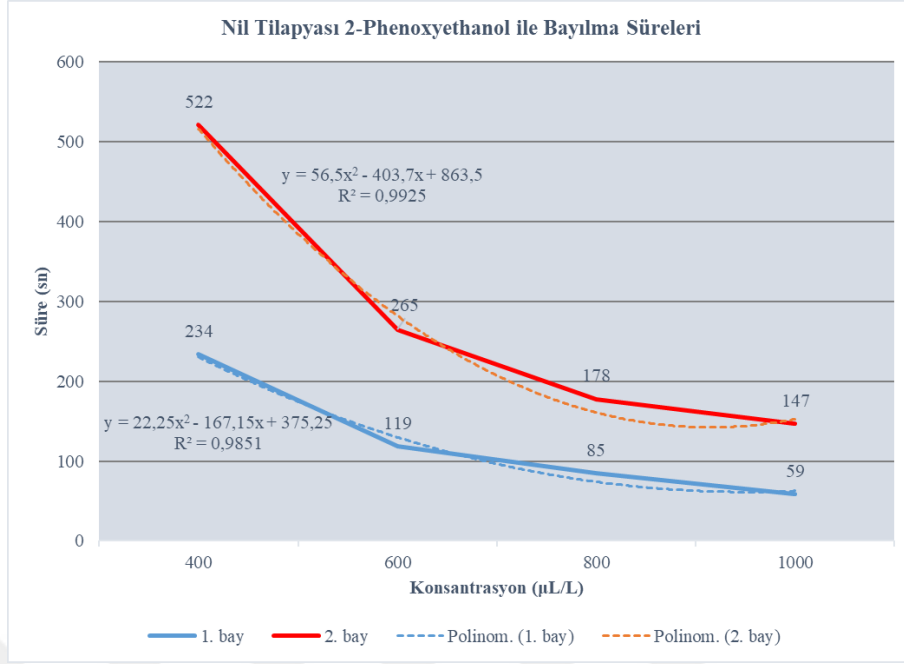
Karanfil yağı ile yapılan derin anestezi deneylerinde 40; 60; 80 ve 100 $\mu\text{L/L}$ konsantrasyonlarda, B1 için sırasıyla 136; 106; 95 ve 64 sn ve B2 için sırasıyla 269; 207; 175 ve 137 sn ortalama süreleri bulunmuştur. Burada B1, sedasyona ulaşılan süreyi ifade etmektedir ve bayılma sırasında sergilenen davranışlar açısından bir sonraki safha olan B2 yani derin anestezi davranışları öncesinde, gözlemsel açıdan önem arz etmektedir. Ancak, 3 dakika içinde bayılmanın sağlanabilmesi yani anestezi maddenin etkin konsantrasyonunun belirlenmesi açısından B2 önemlidir ve elde edilen bulgulara göre; 80 $\mu\text{L/L}$ konsantrasyonu, 180 saniyelik (3 dakika) süreye en yakın değeri sağlamıştır. Bu sebeple, bu çalışmadaki en iyi anestezi konsantrasyonun 80 $\mu\text{L/L}$ olduğunu, 100 $\mu\text{L/L}$ konsantrasyonunun biraz yüksek, diğer konsantrasyonların ise düşük olduğu görülmüştür.

Konsantrasyonun eşit kademelerde (örneğin 1x-2x-3x-4x) veya katlar halinde (örneğin 1x-5x-25x) düzenli bir şekilde arttığı madde maruziyeti uygulamalarında, sürekli bir değişim gözlemlendiğinden, varyans analizi gruplar arasındaki fark olup olmadığını açıklasa da, faktör ve sonuç arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için yeterince açıklayıcı olmamaktadır. Bu gibi durumlarda, bağımsız değişken (konsantrasyon) ile bağımlı değişken (bayılma süresi) arasındaki ilişkinin daha net bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Bu noktada, regresyon analizi, bu tür ilişkileri en iyi şekilde değerlendiren yöntemlerden biri olarak öne çıkar. Çalışmada yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, anestezi konsantrasyon ile bayılma süreleri arasındaki ilişkiyi ifade eden R^2 değerleri B1 için 0,971 (%97,1); B2 için ise 0,993 (%99,3) olarak hesaplanmıştır. Bu oldukça yüksek R^2 değerleri, bağımsız değişken olan konsantrasyonun bayılma süreleri üzerindeki etkisinin son derece güçlü olduğunu ve iki değişken arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak oldukça sağlam bir yapı sergilediğini açıkça göstermektedir. Elde edilen bu bulgular, karanfil yağı konsantrasyonunun artışı ile bayılma süresinin belirgin şekilde kısalacağını ortaya koymuş ve bu değişimin düzenli bir eğilim izlediğini göstermiştir.



Şekil 4.5 Karanfil yağı kullanımı ile elde edilen ayılma süreleri

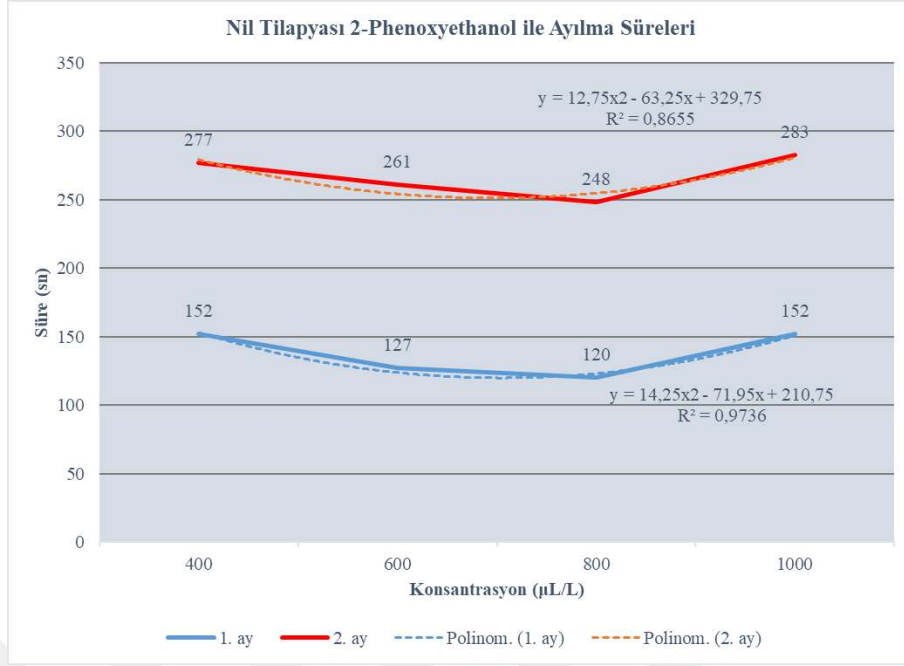
Son derece etkili bir anestezi olan karanfil yağı kullanımında, 3 dakika içinde derin anestezi kolaylıkla sağlanabilirken; bu anestezi maddeye özel bir durum olarak, ayılma süreleri genelde 5 dakikadan uzun sürmektedir (Ballıkaya, 2016; Paruğ, 2012). Düşük konsantrasyonlarda, bayılana kadar geçen süre yani dolayısıyla maruziyet süresi uzadığı için; yüksek konsantrasyonlarda ise, daha kısa süreli de olsa daha yüksek miktarda etken maddeye (Eugenol) maruz kalma sebebiyle, balıkların tam manasıyla toparlanıp, normal aktivitelerine dönmeleri, zaman almaktadır. Bu çalışmada da 80 µL/L haricindeki konsantrasyonlarda, balıklar yüzer ve tepki verir halde olsa da, 5 dakika içinde tam ayılmanın tüm şartları sağlanamamıştır. 100 µL/L konsantrasyonda B2, 6 dakika civarında, 40 µL/L ve 60 µL/L için ise 7 dakikaya yakın sürelerde olduğu görülmüştür. Konsantrasyon artışı ile B1 ve B2 verileri arasında anlamlı bir ilişki varken, A1 ve A2 için bu ilişki sırasıyla %9,3 ve %46,8 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, ayılma süreçlerinde sıklıkla karşılan bir durumdur. 5 dakika içinde ayılmanın sağlanabildiği tek konsantrasyon 80 µL/L'dir. Ancak, 100 µL/L konsantrasyon grubundaki ayılma süresi de kabul edilebilir düzeydedir (karanfil yağının genel etkisi göz önünde bulundurulduğunda). Ayrıca, ayılma sonrasında, balıkların sağlık durumunun gayet iyi olduğu gözlemlenmiş, ilerleyen günlerde de bir sorunla karşılaşmamıştır.



Şekil 4.6 2-Phenoxyethanol kullanımı ile elde edilen bayılma süreleri

2-Phenoxyethanol ile gerçekleştirilen anestezi çalışmalarında, karanfil yağının 10 katı konsantrasyonlar denenmiş ve 400; 600; 800 ve 1000 µL/L konsantrasyonlarda, B1 için sırasıyla 234; 119; 85 ve 59 sn ve B2 için sırasıyla 522; 265; 178 ve 147 sn ortalama süreleri bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre; 800 µL/L konsantrasyonu, 180 saniyelik (3 dakika) süreye en yakın değeri sağlamıştır. Bu sebeple, bu çalışmadaki optimum anestezi konsantrasyonunun 800 µL/L olduğunu, 1000 µL/L konsantrasyonunun biraz yüksek, diğer konsantrasyonların ise düşük olduğu görülmüştür. Özellikle 400 µL/L konsantrasyon ile elde edilen ve 9 dakikaya yakın süren B2 süresinin, 3 dakika içinde sağlanması gereken derin anestezi süresinden çok uzak olduğu ve amacı karşılamayacak düzeyde düşük bir konsantrasyon olduğu görülmüştür.

Regresyon analizi sonuçlarına göre, anestezi konsantrasyon ile bayılma süreleri arasındaki ilişkiyi temsil eden R^2 değerleri, B1 için 0,985 ve B2 için 0,992 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, bağımsız değişken olan konsantrasyonun bayılma süreleri üzerindeki etkisinin son derece güçlü olduğunu ve aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak oldukça sağlam bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, 2-Phenoxyethanol konsantrasyonundaki artışın, bayılma sürelerinde belirgin bir kısalmaya yol açtığını net bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 4.7 2-Phenoxyethanol kullanımı ile elde edilen ayılma süreleri

Bu çalışmada, 2-Phenoxyethanol denenen tüm konsantrasyonlarında balıkların 5 dakika içerisinde ayılmasının sağlanabildiği belirlenmiştir. Ayrıca, A1 ve A2 için hesaplanan R^2 değerleri sırasıyla 0,973 ve 0,865 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, mevcut şartlar altında Nil tilapyasında derin anestezi amacıyla 2-Phenoxyethanol kullanıldığında, 5 dakikalık ayılma kriterine uygunluğun yanı sıra konsantrasyon ile ayılma süreleri arasında anlamlı bir ilişkinin sağlanabildiğini göstermektedir. Ayılma sonrası balıkların sağlık durumunun oldukça iyi olduğu gözlemlenmiş ve sonraki günlerde herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır.

4.2.2 Bayılma ve Ayılma Sırasında Sergilenen Davranışlar

Kullanılan anesteziğe, balık türüne, abiyotik ve biyotik şartlara bağlı olarak, bayılma ve ayılma sırasında, balık davranışlarında farklılıklar görülebilmektedir. “Literatür Taraması” başlığı altında sunulan Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’te anestezi işlemleri sırasında balıkların sergilediği davranışlara değinilmiş olsa da, literatürde yer alan bu sınıflandırmaların genel nitelikte olduğu ve doğal olarak spesifik davranış farklılıklarını yeterince açıklayamadığı görülmektedir. Balıklar, anestezi uygulamaları sırasında farklı çevresel ve biyolojik koşullara bağlı olarak değişken ve spesifik davranışlar sergileyebilmektedir. Bu çalışmada da iki farklı anestetik maddenin

kullanımı sırasında balıkların bayılma ve ayılma davranışlarında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Nil tilapyasında karanfil yağı kullanımı ile elde edilen davranışsal bulgular Tablo 4.1’de, 2-Phenoxyethanol kullanımı ile elde edilen bulgular ise Tablo 4.2’de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 4.1 Karanfil yağı kullanımında gözlemlenen balık davranışları

Anestezinin aşamaları	Balığın Davranışı
1	Vücut hareketlerinde genel bir yavaşlama meydana gelmiş ve yüzgeç hareketlerinde kısmi yavaşlama olmuştur. Operkular ventilasyon ritminde düzensizleşme ve göz reflekslerinde azalma görülmüştür.
2	İlk olarak ataklar şeklinde yüzme hareketlerinin görülmesinin ardından, balıkların denge kaybı yaşayarak lateral ekseninde 45-50° civarında yan yatarak sağa ve sola dönme hareketleri sergiledikleri görülmüştür. Sonrasında, tekli yüzgeç (dorsal, anal ve kaudal yüzgeçler) hareketleri durmuş ve pektoral yüzgeç ve operkulum ritimleri, neredeyse durma noktasına gelmiştir. Bu aşamada, balıkların bazıları dibe çökerken, bazıları düz veya ters şekilde yüzeyde kalmıştır.
Aylmanın aşamaları	Balığın Davranışı
1	İlk olarak, pektoral yüzgeç ve operkulum ritimlerinin hafif şekilde artmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bu hareketlerin ardından, tekli yüzgeçler yavaş yavaş hareket etmeye başlamış ve balığın denge kurma çabaları görülmüştür. Sonrasında balık, normal duruş olarak dengesini sağlamış ancak kafasını kovanının kenarına hafif hafif vurmaya başladığı (bu hareket anestezinin ikinci aşamasındaki atak hareketlerine benzemektedir ancak farklılık olarak, balık önünü açık bırakacak şekilde yüzmek yerine, kovanın kenar bölgesine, kafasını dayamış haldedir) görülmüştür ⁷ .
2	Kafa vurma hareketlerinin ortadan kalktığı görülmüş ve ardından göz reflekslerinin geri kazanılmasıyla, gözlerin sağa sola dönmeye, yani balığın etrafını izlemeye başladığı gözlemlenmiştir. Operkulum hareketleri daha düzenli bir ritim kazanmaya başlamış, ventilasyon daha düzenli ve derin bir hal almıştır. Yüzgeç hareketlerinde kısmi artış gözlenmiş ve vücut hareketleri giderek hızlanmıştır. Son olarak balık, anestezi madde etkisinden kurtularak, normal (gezer gibi) bir yüzüş hareketi kazanmıştır.

⁷ Gözlem amaçlı olarak ve ön deneme niteliğindeki toplu bayılma işleminin ardından ise, tüm balıkların (4-5 adet) kafa kafaya vererek, hafif ve kesikli hareketlerle, kafalarını kovanın kenarına çarptıkları görülmüştür.

Tablo 4.2 2-Phenoxyethanol kullanımında gözlemlenen balık davranışları

Anestezinin aşamaları	Balığın Davranışı
1	Yüzme aktivitesi yavaşlamış ve yüzgeç salınımları azalmıştır. Solungaç kapağı hareketleri ve ventilasyonda azalma görülmüş ve tek noktaya bakar halde, sakinleşme sağlanmıştır.
2	Şiddetli olmayan, kesikli ve çok kısa mesafeli yüzme atakları görülmüştür. Ardından, bu yüzüş şekli, yerini daha sakin ama dengesiz bir duruşa (ara ara hafifçe yan yatıp, toparlanma hali) bırakmıştır. Sonrasında, sırasıyla dorsal yüzgeç ve kaudal yüzgeç hareketleri durmuş, son olarak ve pektoral yüzgeç ve operkulum hareketleri neredeyse durma noktasına gelmiştir.
Ayılmanın aşamaları	Balığın Davranışı
1	Ayılmanın ilk aşamasında, pektoral yüzgeç ve operkulum hareketlerinde hafif bir artış gözlemlenmiştir. Ardından, kaudal ve dorsal yüzgeçlerin yavaş yavaş hareket etmeye başladığı fark edilmiştir. Balık, ara sıra dengesini sağlamak için çaba göstermiş, zaman zaman pozisyonunu düzeltebilse de, sıklıkla yan yatmaya devam etmiştir.
2	Dengenin kısmen geri kazanılmasıyla birlikte, kısa ve kontrollü yüzme hareketleri başlamış ve balık, çevresel uyarılarla daha uyumlu bir davranış sergilemeye başlamıştır. Bu aşamada, ventilasyon ritmi düzenli hale gelirken, solungaç kapağı hareketleri düzenli hale gelmiştir. Son olarak, yüzme aktivitesi daha akıcı bir hale gelmiş ve balık, anesteziik maddenin etkisinin tamamen geçmesiyle birlikte doğal yüzüş davranışlarına dönmüştür.

Karanfil yağı kullanımı sırasında balıklar, anesteziye geçiş sürecinde daha düzensiz ve hareketli davranışlar sergilemiş, özellikle ataklar şeklindeki ani yüzme hareketleri ve denge kayıpları belirgin şekilde öne çıkmıştır. Bu durum, özellikle 60 µL/L ve üzerindeki konsantrasyonlarda daha belirgin hale gelirken, anestezi derinliğine daha uzun sürede ulaşılan 40 µL/L konsantrasyonda, bayılma davranışlarının 2-Phenoxyethanol maruziyeti sırasında gözlemlenen daha sakin davranışlara benzer bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Ayılma aşamasında ise, balıkların kafalarını en ileri noktaya dayayarak çarpmaya yönelik hareketler (hafif şiddette ve kesikli olarak) sergilediği ve bu sürecin daha dinamik ve belirgin davranışlarla ilerlediği tespit edilmiştir. Balıkların tamamen toparlanma süreleri, 2-Phenoxyethanol kullanımı sonrasındaki ayılma sürecine kıyasla daha uzun sürmüştür.

Buna karşın, 2-Phenoxyethanol kullanımı sırasında balıkların bayılma ve ayılma süreçleri daha sakin bir şekilde ilerlemiştir. Bayılma aşamasında, yüzme ve yüzgeç hareketlerindeki azalma düzenli bir seyir izlemiştir; dengesizlik ve yan yatma hareketleri ise kısa süreli ve hafif şiddette olmuştur. Ayılma aşamasında, pektoral ve dorsal yüzgeç hareketleri ile ventilasyon ritminin kademeli olarak normale döndüğü ve balıkların toparlanma sürecinin genel olarak daha yumuşak geçişlerle tamamlandığı belirlenmiştir.

Derin anestezi uygulamalarında, 2-Phenoxyethanol'ün, balıkların bayılma ve ayılma süreçlerinde daha düzenli ve kontrollü davranışlar sergilemelerine olanak tanıdığı tespit edilmiştir.

4.3 Sedasyon Deneylerinden Elde Edilen Bulgular

Bu bölümde, deneyler sonrası su kalitesi, balık davranışı ve alınan kan numunelerindeki kortizol seviyeleri bulgularını göstermek amacıyla, farklı alt başlıklar oluşturulmuştur.

4.3.1 Sedasyonun Sonlandırılma Aşamasında Gözlemlenen Balık Davranışları

Deneyin sonlandırılma aşamasında yapılan gözlemler, farklı anestezi grupları ve konsantrasyonlar arasında belirgin davranış farklılıkları olduğunu ortaya koymuştur. Karanfil yağı gruplarında, derin anestezi konsantrasyonlarındaki davranışlarının aksine, balıklar genel olarak sakin bir davranış sergilemiştir. Özellikle 8 µL/L ve 10 µL/L konsantrasyonlarında, balıkların daha stabil hareket ettikleri, yüzeyde daha az vakit geçirdikleri ve daha az hareket ettikleri gözlemlenmiştir, ayrıca operkular ventilasyon sayılarının görece düşük olduğu bulunmuştur. Bu konsantrasyon gruplarındaki suların, görsel olarak daha temiz ve berrak bir durumda olduğu görülmüştür. En düşük konsantrasyon olan 4 µL/L grubunda ise, balıkların hareketlerinin biraz daha hızlı olduğu, dış uyaranlara karşı kolayca tepki verebildikleri gözlemlenmiştir.

2-Phenoxyethanol gruplarında ise, balıkların davranışları karanfil yağı gruplarına göre daha stresli bir tablo sergilemiştir. Özellikle 35 µL/L konsantrasyon grubundaki

balıklar, negatif kontrol grubuna yakın derecede stresli davranışlar sergilemişlerdir. Zaman zaman yüzeye çıkma, ani hareketler ve düzensiz yüzme davranışları bu grubun tüm tekerrürlerinde, negatif kontrol grubu kadar olmasa da, gözlemlenmiştir. Ventilasyon hızlarının da bu grupta daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Daha yüksek konsantrasyonlar olan 70 µL/L ve 105 µL/L konsantrasyon gruplarında, balıkların nispeten daha sakin olduğu, ancak ventilasyon hızlarının yine karanfil yağı gruplarına kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyon olan 140 µL/L konsantrasyon grubunda ise, balıkların hareketlerinin özellikle 105 µL/L konsantrasyon grubuna göre daha düzensiz olduğu ve ortamdan rahatsızlık duyduklarını hissettiren davranışlar gözlemlenmiştir.

Negatif kontrol grubundaki balıkların, tüm gruplar arasında en stresli davranışları sergilediği gözlemlenmiştir. Özellikle 48 saat grubundaki bireylerde hipoksi ile ilişkilendirilebilecek yüzeye çıkma ve toplu halde kafa kafaya yüzme davranışları dikkat çekmiştir.

4.3.2 Sedasyon Sonrası Su Parametreleri ve Yaşama Oranları

Sedasyon deneyleri sonrasında, farklı konsantrasyonlarda karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol kullanılarak oluşturulan, üç tekerrürden oluşan grupların yanı sıra, anestezi madde içermeyen ve en olumsuz durumu temsil eden negatif kontrol grubuna ait bazı parametreler, 24 saat ve 48 saatlik maruziyet uygulamaları sonrasında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler; balıkların davranışlarını, metabolik durumlarını yansıtan ventilasyon oranlarını ve yaşama oranlarının belirlendiği gözlemsel verileri ve ayrıca, çeşitli su parametresi değerlerinin ölçümünü kapsamaktadır. İlgili verileri içeren tablolar aşağıda sunulmaktadır.

Tablolarda, sadece deney sonundaki yaşama oranları değil, aynı zamanda deneyler sonunda canlı kalan balıkların (süreç dahilinde ölen ve kan numunesi almak için kullanılanlar haricinde kalanlar) 5 gün sonraki yaşama oranları da verilmiştir. Çünkü kapalı ortamlarda uzun süreli transfer işlemleri sırasında, su kalitesinin bozulması; balıkların düşük çözünmüş oksijen (DO) seviyelerine, yüksek çözünmüş CO₂ ve NH₃ seviyelerine maruz kalmalarına yol açmakta, bu durum ise işlem sonrası günlerde

ölümlere sebebiyet verebilecek fizyolojik stres ve metabolik bozukluklara neden olmaktadır (Bkz. Bölüm 2.1.3). Bu nedenle, balıkların deney sonrası 5 günlük yaşama oranlarının değerlendirilmesi, çevresel koşulların ve transfer sırasında oluşan stresin uzun vadeli etkilerini anlamak için kritik bir parametre olarak ele alınmıştır.

Tablolarda kullanılan kısaltmalarda, Kar. y., karanfil yağı; 2-Phe, 2-Phennoxethanol'ü; DO, çözünmüş oksijen miktarını; NH₃, amonyağı; TK toplam kütleyi; SY, stok yoğunluğunu; VPM, dakikadaki ventilasyon sayısını; YO, yaşama oranını; ÖSKBS, örneklem sonrası kalan balık sayısını; ÖHNYO⁸, kan numunesi alınan balıklar hariç, sedasyon deneyleri sonunda canlı kalan balıkların 5 gün sonunda nihai yaşama oranını; ND, belirsizliği, NK, negatif kontrol grubunu; Ort, ortalamayı ve Std. s, standart sapmayı temsil etmektedir.

Tablo 4.3'te, her iki anestezi ajan kullanımı sonrasında elde edilen bulgulara referans olması ve karşılaştırmaların yapılabilmesi amacıyla oluşturulmuş ortak grup olan negatif kontrol grubu ile 24 saatlik maruziyet uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.3 NK grubunda 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,11	0,96	7,07	277,92	27,792	42	5	62,5	2	1	50
2	0,97	1,09	6,99	297,34	29,734	45	4	50	1	0	0
3	1,06	1,04	7,13	293,06	29,306	38	4	50	1	0	0
Ort.	1,05	1,03	7,06	289,44	28,94	41,67	4,33	54,17	1,33	0,33	25
Std. s.	0,07	0,07	0,07	10,20	1,02	3,51	0,58	7,22	0,58	0,58	

Tablo 4.4'te, 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

⁸ ÖHNYO değerleri tekerrürlerin yaşama oranlarının ortalaması alınarak hesaplanmadığı için, standart sapma değeri verilmemiştir (zira tek değer olduğu için verilemez) ve koyu yazı stiliyle vurgulanmışlardır. 5 gün sonraki CS değerleri toplamı ile ÖSKBS değerleri toplamının oranıyla hesaplanmıştır.

Tablo 4.4 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,53	0,95	7,15	290,25	29,025	23	7	87,5	4	3	75
2	1,74	0,83	7,22	285,93	28,593	24	8	100	5	4	80
3	1,66	0,88	7,17	292,51	29,251	24	8	100	5	3	60
Ort.	1,64	0,89	7,18	289,56	28,96	23,67	7,67	95,83	4,67	3,33	71,43
Std. s.	0,11	0,06	0,04	3,34	0,33	0,58	0,58	7,22	0,58	0,58	

Tablo 4.5'te, 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.5 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	3,35	0,82	7,43	288,65	28,865	20	8	100	5	5	100
2	3,05	0,74	7,34	296,45	29,645	23	8	100	5	4	80
3	3,14	0,77	7,41	287,33	28,733	21	8	100	5	5	100
Ort.	3,18	0,78	7,39	290,81	29,08	21,33	8,00	100,00	5,00	4,67	93,33
Std. s.	0,15	0,04	0,05	4,93	0,49	1,53	0,00	0,00	0,00	0,58	

Tablo 4.6'da, 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.6 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	3,49	0,73	7,46	295,51	29,551	20	8	100	5	5	100
2	3,8	0,71	7,59	292,7	29,27	18	8	100	5	5	100
3	3,94	0,62	7,54	276,95	27,695	18	8	100	5	5	100
Ort.	3,74	0,69	7,53	288,39	28,84	18,67	8,00	100,00	5,00	5,00	100
Std. s.	0,23	0,06	0,07	10,00	1,00	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tablo 4.7'de, 10 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.7 10 µL/L konsantrasyonda karanfil yağı ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKBS	5 gün sonraki CS	ÖHNYO (%)
1	4,29	0,68	7,63	287,93	28,793	17	8	100	5	5	100
2	3,85	0,75	7,6	294,56	29,456	18	8	100	5	5	100
3	4,02	0,61	7,56	290,39	29,039	17	8	100	5	5	100
Ort.	4,05	0,68	7,60	290,96	29,10	17,33	8,00	100,00	5,00	5,00	100
Std. s.	0,22	0,07	0,04	3,35	0,34	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	

Aşağıda, çalışmada kullanılan diğer anestezi ajan olan 2-Phenoxyethanol ile 35 µL/L, 70 µL/L, 105 µL/L ve 140 µL/L konsantrasyonlarda, 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında ve sonraki 5 günde elde edilen verilere yer verilmiştir.

Tablo 4.8’de, 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.8 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKBS	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,37	0,93	7,14	289,45	28,945	31	6	75	3	1	33,33
2	1,3	0,98	7,12	296,23	29,623	31	6	75	3	2	66,67
3	1,69	0,9	7,21	279,17	27,917	30	7	87,5	4	2	50
Ort.	1,45	0,94	7,16	288,28	28,83	30,67	6,33	79,17	3,33	1,67	50
Std. s.	0,21	0,04	0,05	8,59	0,86	0,58	0,58	7,22	0,58	0,58	

Tablo 4.9’da, 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.9 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKBS	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	2,92	0,76	7,42	281,88	28,188	25	8	100	5	5	100
2	2,76	0,89	7,29	292,47	29,247	26	7	87,5	4	3	75
3	2,68	0,87	7,25	297,12	29,712	27	7	87,5	4	3	75
Ort.	2,79	0,84	7,32	290,49	29,05	26,00	7,33	91,67	4,33	3,67	84,62
Std. s.	0,12	0,07	0,09	7,81	0,78	1,00	0,58	7,22	0,58	1,15	

Tablo 4.10’da, 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.10 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	3,57	0,82	7,45	280,07	28,007	21	8	100	5	4	80
2	3,32	0,74	7,34	293,21	29,321	25	8	100	5	5	100
3	3,25	0,77	7,39	295,36	29,536	24	8	100	5	5	100
Ort.	3,38	0,78	7,39	289,55	28,95	23,33	8,00	100,00	5,00	4,67	93,33
Std. s.	0,17	0,04	0,06	8,28	0,83	2,08	0,00	0,00	0,00	0,58	

Tablo 4.11’de, 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.11 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 24 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	3,41	0,78	7,41	286,26	28,626	22	8	100	5	5	100
2	3,23	0,85	7,29	287,95	28,795	24	8	100	5	3	60
3	3,16	0,73	7,32	296,14	29,614	25	7	87,5	4	2	50
Ort.	3,27	0,79	7,34	290,12	29,01	23,67	7,67	95,83	4,67	3,33	71,43
Std. s.	0,13	0,06	0,06	5,28	0,53	1,53	0,58	7,22	0,58	1,53	

Tablo 4.12’de, her iki anestezi ajan kullanımı sonrasında elde edilen bulgulara referans olması ve karşılaştırmaların yapılabilmesi amacıyla oluşturulmuş ortak grup olan negatif kontrol grubu ile 48 saatlik maruziyet uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.12 NK grubunda 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	0,71	1,18	6,61	278,14	27,814	36	3	37,5	0	ND	ND
2	0,58	1,29	6,52	296,28	29,628	39	2	25	0	ND	ND
3	0,62	1,25	6,58	291,19	29,119	37	2	25	0	ND	ND
Ort.	0,64	1,24	6,57	288,54	28,85	37,33	2,33	29,17	0,00	ND	ND
Std. s.	0,07	0,06	0,05	9,36	0,94	1,53	0,58	7,22	0,00	ND	

Aşağıda, karanfil yağı ile 6 µL/L, 8 µL/L ve 10 µL/L konsantrasyonlarda, 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında ve sonraki 5 günde elde edilen verilere yer verilmiştir.

Tablo 4.13’de, 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.13 4 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,06	1,07	7,07	295,88	29,588	19	4	50	4	2	50
2	1,2	0,91	7,1	279,26	27,926	22	5	62,5	3	1	33,33
3	1,12	0,99	7,08	291,19	29,119	21	4	50	3	2	66,67
Ort.	1,13	0,99	7,08	288,78	28,88	20,67	4,33	54,17	3,33	1,67	50
Std. s.	0,07	0,08	0,02	8,57	0,86	1,53	0,58	7,22	0,58	0,58	

Tablo 4.14’de, 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.14 6 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,72	0,9	7,18	290,27	29,027	18	8	100	5	4	80
2	1,58	0,89	7,19	295,44	29,544	20	7	87,5	4	2	50
3	1,96	0,83	7,24	281,16	28,116	18	7	87,5	4	3	75
Ort.	1,75	0,87	7,20	288,96	28,90	18,67	7,33	91,67	4,33	3,00	69,23
Std. s.	0,19	0,04	0,03	7,23	0,72	1,15	0,58	7,22	0,58	1,00	

Tablo 4.15’te, 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.15 8 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	2,48	0,82	7,27	288,93	28,893	17	8	100	5	5	100
2	2,37	0,83	7,25	296,41	29,641	18	7	87,5	4	3	75
3	2,63	0,76	7,31	279,87	27,987	18	8	100	5	5	100
Ort.	2,49	0,80	7,28	288,40	28,84	17,67	7,67	95,83	4,67	4,33	92,86
Std. s.	0,13	0,04	0,03	8,28	0,83	0,58	0,58	7,22	0,58	1,15	

Tablo 4.16’da, 10 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.16 10 µL/L konsantrasyonda Kar. y. ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	2,89	0,81	7,36	293,26	29,326	15	8	100	5	5	100
2	2,98	0,71	7,42	279,94	27,994	17	7	87,5	4	4	100
3	2,71	0,79	7,29	294,41	29,441	17	8	100	5	5	100
Ort.	2,86	0,77	7,36	289,20	28,92	16,33	7,67	95,83	4,67	4,67	100
Std. s.	0,14	0,05	0,07	8,04	0,80	1,15	0,58	7,22	0,58	0,58	

Aşağıda, 2-Phenoxyethanol ile 35 µL/L; 70 µL/L; 105 µL/L ve 140 µL/L konsantrasyonlarda, 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında ve sonraki 5 günde elde edilen verilere yer verilmiştir.

Tablo 4.17’de, 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.17 35 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,03	1,03	7,03	290,76	29,076	29	4	50	1	0	0
2	0,97	1,09	6,99	294,49	29,449	31	4	50	1	0	0
3	1,05	0,99	7,09	283,61	28,361	29	5	62,5	2	1	50
Ort.	1,02	1,04	7,04	289,62	28,96	29,67	4,33	54,17	1,33	0,33	25,00
Std. s.	0,04	0,05	0,05	5,53	0,55	1,15	0,58	7,22	0,58	0,58	

Tablo 4.18’de, 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.18 70 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	1,46	0,94	7,11	294,27	29,427	26	4	50	1	1	100
2	1,73	0,86	7,16	286,81	28,681	26	6	75	3	1	33,33
3	1,58	0,91	7,2	290,48	29,048	24	6	75	3	2	66,67
Ort.	1,59	0,90	7,16	290,52	29,05	25,33	5,33	66,67	2,33	1,33	57,14
Std. s.	0,14	0,04	0,05	3,73	0,37	1,15	1,15	14,43	1,15	0,58	

Tablo 4.19’de, 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.19 105 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	2,33	0,85	7,21	297,41	29,741	24	7	87,5	4	3	75
2	2,45	0,79	7,29	279,65	27,965	22	7	87,5	4	3	75
3	2,26	0,87	7,22	289,73	28,973	26	6	75	3	1	33,33
Ort.	2,35	0,84	7,24	288,93	28,89	24,00	6,67	83,33	3,67	2,33	63,64
Std. s.	0,10	0,04	0,04	8,91	0,89	2,00	0,58	7,22	0,58	1,15	

Tablo 4.20’de, 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon uygulaması sonrasında elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 4.20 140 µL/L konsantrasyonda 2-Phe ile 48 saatlik sedasyon sonrasındaki su parametreleri, VPM ve YO değerleri

Tekerrür	DO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	pH	TK (g)	SY (kg/m ³)	Son VPM	CS	YO (%)	ÖSKB S	5 gün sonraki CS	ÖHN YO (%)
1	2,27	0,78	7,25	280,09	28,009	21	7	87,5	4	3	75
2	2,09	0,91	7,19	295,17	29,517	23	5	62,5	2	0	0
3	2,19	0,89	7,2	288,29	28,829	23	6	75	3	2	66,67
Ort.	2,18	0,86	7,21	287,85	28,79	22,33	6,00	75,00	3,00	1,67	55,56
Std. s.	0,09	0,07	0,03	7,55	0,75	1,15	1,00	12,50	1,00	1,53	

Sektörel transfer işlemleri de dikkate alınarak yapılan bu çalışma sırasında balıklar, 24 ve 48 saatlik uzun süreler boyunca su değişimi yapılmaksızın kapalı ortamda

tutuldukları için düşük çözünmüş oksijen (DO) seviyeleri ve yüksek amonyak (NH₃) birikimi gibi olumsuz çevresel koşullara maruz kalmıştır. Canlı balık nakil araçları kullanılmaksızın (on binlerce balığın transfer edildiği akuakültürel nakil işlemlerinde, çoğunlukla kullanılmaktadır), tamamen kapalı ortam şartlarında gerçekleştirilen transfer işlemlerinin temel alındığı negatif kontrol gruplarında, DO seviyelerinin belirgin şekilde düştüğü ve NH₃ seviyelerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Bu koşullar altında balıkların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilme çabaları incelenmiş ve sedasyon uygulamalarının bu etkiler üzerindeki potansiyel faydaları değerlendirilmiştir. Düşük konsantrasyondaki (4 µL/L Kar. y. ve 35 µL/L 2-Phe) uygulamalarda, NK'ye göre avantajlar sağlansa da, balıkların tam manasıyla sakinleşmeleri için yeterli olmadıkları, DO; NH₃; YO ve ÖHNYO gibi bulgulara dayalı olarak görülmüştür.

Karanfil yağı gruplarında, 24 saatlik deneylerde 4 µL/L konsantrasyonunda yaşama oranı %95,83 olarak belirlenmiş, bu oran 5 gün sonunda %71,43'e (kan örnekleri de alındıktan sonra geriye kalan canlı balıklar üzerinden hesaplanmıştır) düşmüştür. 6 µL/L konsantrasyonunda 24 saat sonunda yaşama oranı %100 iken, 5 gün sonunda %93,33 olmuştur. Daha yüksek konsantrasyonlar olan 8 µL/L ve 10 µL/L gruplarında, hem deney sonunda hem de 5 gün sonunda %100 yaşama oranı gözlemlenmiştir.

48 saatlik deneylerde, karanfil yağı için 4 µL/L konsantrasyonunda yaşama oranı deney sonunda %54,17; 5 gün sonunda ise %50 olarak tespit edilmiştir. 6 µL/L konsantrasyonunda, sedasyon deneyi sonunda yaşama oranı %91,67 iken, deney sonrası 5 gün sonunda %69,23'e düşmüştür. 8 µL/L ve 10 µL/L konsantrasyonlarında ise, deney sürecindeki yaşama oranları her iki grup için de %95,83 olarak tespit edilmiştir. Sedasyon uygulamasını takip eden 5 gün içinde ise, geriye kalan balıkların yaşama oranının 8 µL/L konsantrasyon grubu için %92,86; 10 µL/L konsantrasyon grubu için ise %100 olduğu görülmüştür.

2-Phenoxyethanol gruplarında, 24 saatlik deneylerde 35 µL/L konsantrasyonunda yaşama oranı %79,17; 5 gün sonunda %50 olarak hesaplanmıştır. 70 µL/L konsantrasyonunda 24 saat sonunda %91,67; 5 gün sonrasında ise %84,62 yaşama oranı belirlenmiştir. 105 µL/L konsantrasyonunda, deney sonunda %100 olan yaşama oranı, 5 gün sonunda %93,33'e düşmüştür. En yüksek konsantrasyon olan 140 µL/L

için 24 saat sonunda yaşama oranı %95,83; 5 gün sonrasında ise %71,43 olarak tespit edilmiştir.

48 saatlik deneylerde 2-Phenoxyethanol, 35 µL/L konsantrasyonda %54,17 yaşama oranı sağlarken, bu oran 5 gün sonunda %25'e düşmüştür. 70 µL/L konsantrasyonunda yaşama oranı deney sonunda %66,67; 5 gün sonunda ise %57,14 olarak belirlenmiştir. 105 µL/L konsantrasyonunda 48 saat sonunda yaşama oranı %83,33; 5 gün sonunda %63,64 olarak hesaplanmıştır. 140 µL/L için yaşama oranı 48 saat sonunda %75 iken, 5 gün sonunda ise %55,56'ya düşmüştür.

Negatif kontrol gruplarında, 24 saatlik deney sonunda yaşama oranı %54,17; 5 gün sonunda %25 olarak tespit edilmiştir. 48 saatlik negatif kontrol grubunda ise deney sonunda %29,17 yaşama oranı hesaplanmış ancak balık sayısının yetersizliği nedeniyle (yaşayan 7 balığın tamamı kortizol analizi için kullanılmıştır) 5 gün sonrasına dair bir yaşama oranı hesaplanamamıştır.

4.3.3 Kortizol Seviyeleri

Kortizol analizleri sonrasında elde edilen veriler için Shapiro-Wilk testi uygulanmış, tüm grupların kortizol seviyesi dağılımlarının grup içi normaliteyi sağladığı görülmüştür. Sedasyon deneyleri ve kontrol gruplarından elde edilen kortizol değerlerine bağlı normalite test sonucu, Şekil 4.8'de görülmektedir. P değerinin 0,05'ten büyük olduğu tüm grup sonuçlarının normal dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tests of Normality							
Grup	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
Kortizol Miktarı (ng/mL)							
Pozitif Kontrol	,222	9	,200*	,921	9	,403	
Negatif Kontrol 24 saat	,120	9	,200*	,971	9	,907	
4 µL/L Kar. Y. 24 saat	,147	9	,200*	,971	9	,902	
6 µL/L Kar. Y. 24 saat	,284	9	,035	,848	9	,071	
8 µL/L Kar. Y. 24 saat	,231	9	,184	,868	9	,116	
10 µL/L Kar. Y. 24 saat	,207	9	,200*	,907	9	,295	
Negatif Kontrol 48 saat	,236	7	,200*	,907	7	,375	
4 µL/L Kar. Y. 48 saat	,159	9	,200*	,979	9	,961	
6 µL/L Kar. Y. 48 saat	,170	9	,200*	,915	9	,354	
8 µL/L Kar. Y. 48 saat	,204	9	,200*	,868	9	,116	
10 µL/L Kar. Y. 48 saat	,210	9	,200*	,886	9	,183	
35 µL/L 2-Phe. 24 saat	,246	9	,125	,898	9	,242	
70 µL/L 2-Phe. 24 saat	,163	9	,200*	,960	9	,796	
105 µL/L 2-Phe. 24 saat	,224	9	,200*	,858	9	,092	
140 µL/L 2-Phe. 24 saat	,218	9	,200*	,847	9	,069	
35 µL/L 2-Phe. 48 saat	,225	9	,200*	,876	9	,143	
70 µL/L 2-Phe. 48 saat	,213	9	,200*	,956	9	,759	
105 µL/L 2-Phe. 48 saat	,194	9	,200*	,973	9	,920	
140 µL/L 2-Phe. 48 saat	,147	9	,200*	,960	9	,795	

Şekil 4.8 Kortizol verileri için normalite test sonuçları

Normalite şartının sağlanması nedeniyle, gruplara bağlı sonuçlar arasındaki istatistiksel farkları değerlendirmek amacıyla parametrik analiz yöntemleri tercih edilmiş; bu kapsamda varyans analizi ve Welch ANOVA testi uygulanmıştır. Gruplar arasındaki farklar ise Tukey Post-Hoc testi ile detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

Aşağıdaki tablolarda, plazma kortizol miktarları ng/mL birimiyle sunulmuş ve veriler ortalama $\pm$ standart hata olarak belirtilmiştir. Grup başına örneklem sayısı 9'dur (48 saatlik negatif kontrol grubu için N=7; mortalite sebebiyle). Gruplar arasındaki farklar, Tukey Post-Hoc testi ile analiz edilmiş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $P < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Aynı sütunda aynı harfle işaretlenen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, farklı harflerle işaretlenen gruplar arasında anlamlı farklar olduğu vurgulanmıştır. 24 saat ve 48 saatlik sedasyon ve maruziyet (negatif kontrol grupları) uygulamaları sonrasında elde edilen verilerin karşılaştırılması iki farklı şekilde yapılmıştır: Orta dikmesi bulunan tablolarda, 24 saat ve 48 saatlik sonuçlar ayrı ayrı ve kendi içinde karşılaştırılmış; orta dikmesi bulunmayan tablolarda ise her iki sürede elde edilen sonuçlar topluca değerlendirilmiştir. Üst indis olarak birden fazla harfin yer aldığı (örneğin, 'ab') harflendirmeler, bu grubun hem 'a' hem de 'b' gruplarıyla kısmi benzerlik gösterdiğini ancak istatistiksel olarak tamamen aynı olmadığını ifade etmektedir; bu durum, gruplar

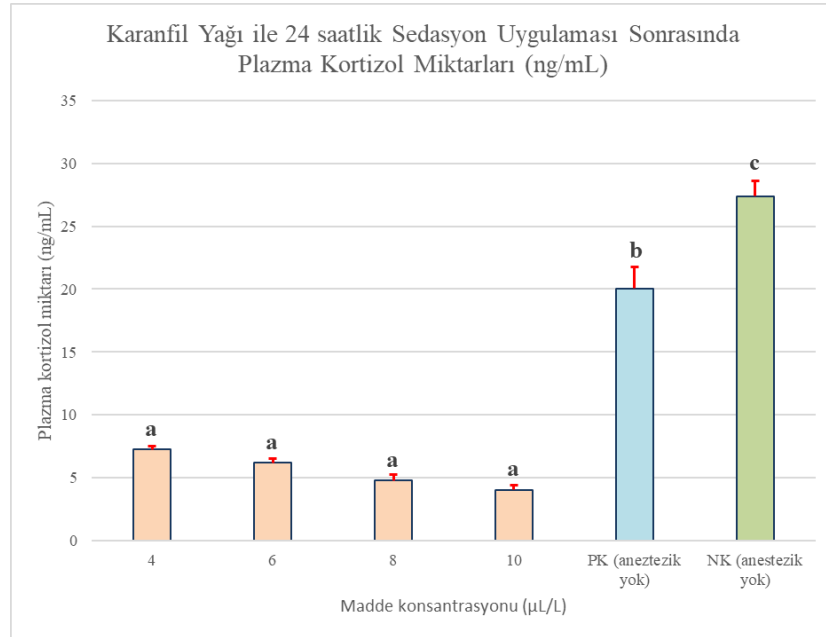
arasında tam ayrışmanın mevcut olmadığı veya istatistiksel örtüşmelerin bulunduğu sonuçlarda ortaya çıkmaktadır.

Karanfil yağı kullanımıyla sağlanan 24 saat ve 48 saatlik hafif sedasyon uygulamaları sonunda elde edilen plazma kortizol miktarlarının, 24 saatlik ve 48 saatlik süreler için ayrı ayrı kendi içlerinde değerlendirildiği tablo (Tablo 4.21), aşağıda görülmektedir.

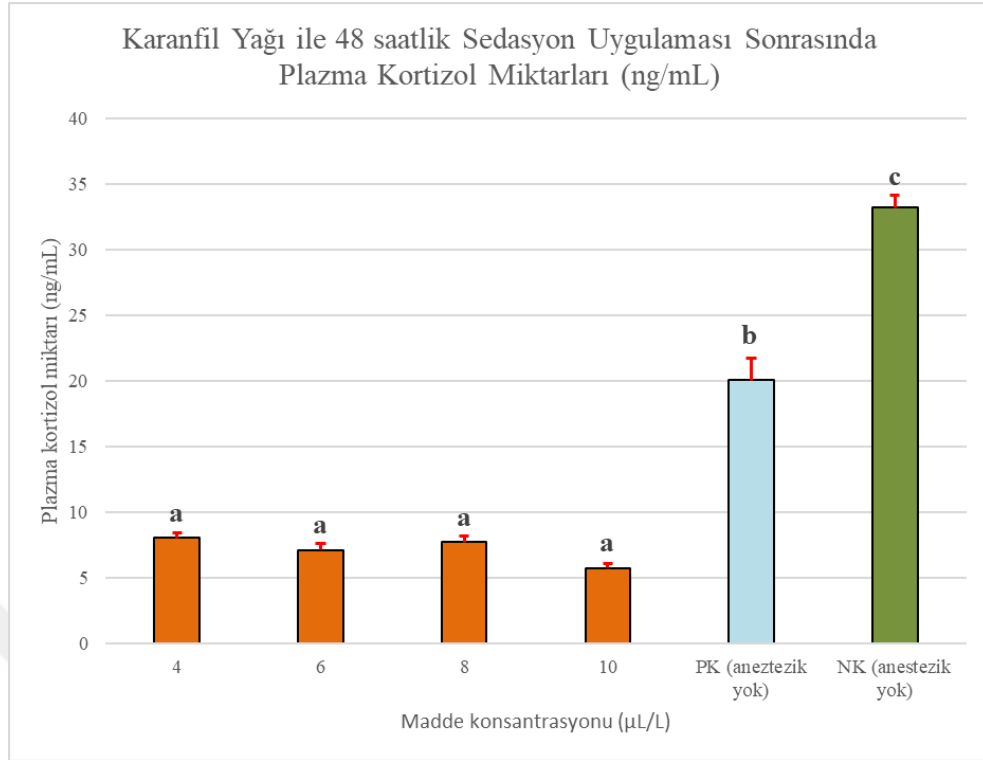
Tablo 4.21 Karanfil yağı ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının uygulama süresine bağlı olarak karşılaştırması

Karanfil yağı Konsantrasyonu (µL/L)	24 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)	48 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)
4	7,256 ^a ± 0,294	8,074 ^a ± 0,328
6	6,21 ^a ± 0,343	7,117 ^a ± 0,539
8	4,798 ^a ± 0,477	7,717 ^a ± 0,496
10	4,046 ^a ± 0,351	5,752 ^a ± 0,379
PK (anestezi yok)	20,066 ^b ± 1,7038	20,066 ^b ± 1,7038
NK (anestezi yok)	27,388 ^c ± 1,222	33,176 ^c ± 1,002

Tablo 4.21’de sunulan kortizol miktarları ve gruplar arası farkların görselleştirildiği sonuçlar, tek yönlü standart hata çubuklarıyla birlikte, 24 saatlik sedasyon uygulaması grupları için Şekil 4.9’da ve 48 saatlik gruplar için Şekil 4.10’da verilmiştir. Farklı harfler, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.9 Karanfil yağı ile 24 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları



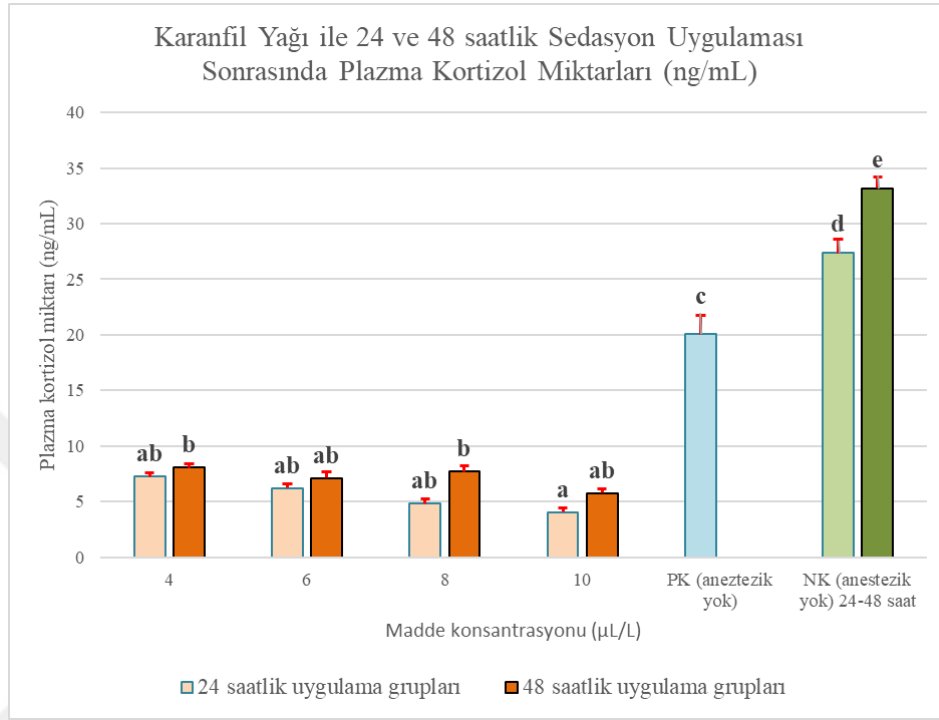
Şekil 4.10 Karanfil yağı ile 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları

Karanfil yağı kullanımıyla sağlanan 24 saat ve 48 saatlik hafif sedasyon uygulamaları sonunda elde edilen plazma kortizol miktarlarının, tüm gruplar arasında ve her iki süreyi bir arada kapsayan şekilde değerlendirildiği ve karşılaştırıldığı veriler, Tablo 4.22’de sunulmuştur. Bu tabloda, gruplar arasındaki farklar hem 24 saatlik hem de 48 saatlik verilerin birlikte analize tabi tutulmasıyla harflendirilmiştir; böylece iki zaman dilimi arasında istatistiksel farklılıklar da ortaya konulmuştur.

Tablo 4.22 Karanfil yağı ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının toplu olarak karşılaştırması

Karanfil yağı Konsantrasyonu (µL/L)	24 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)	48 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)
4	7,256 ^{ab} ± 0,294	8,074 ^b ± 0,328
6	6,21 ^{ab} ± 0,343	7,117 ^{ab} ± 0,539
8	4,798 ^{ab} ± 0,477	7,717 ^b ± 0,496
10	4,046 ^a ± 0,351	5,752 ^{ab} ± 0,379
PK (anestezik yok)	20,066 ^c ± 1,7038	20,066 ^c ± 1,7038
NK (anestezik yok)	27,388 ^d ± 1,222	33,176 ^e ± 1,002

Tablo 4.22’de sunulan kortizol miktarları ve gruplar arası farkların görselleştirildiği sonuçlar, tek yönlü standart hata çubuklarıyla birlikte, 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları için bir arada, Şekil 4.11’de sunulmuştur.



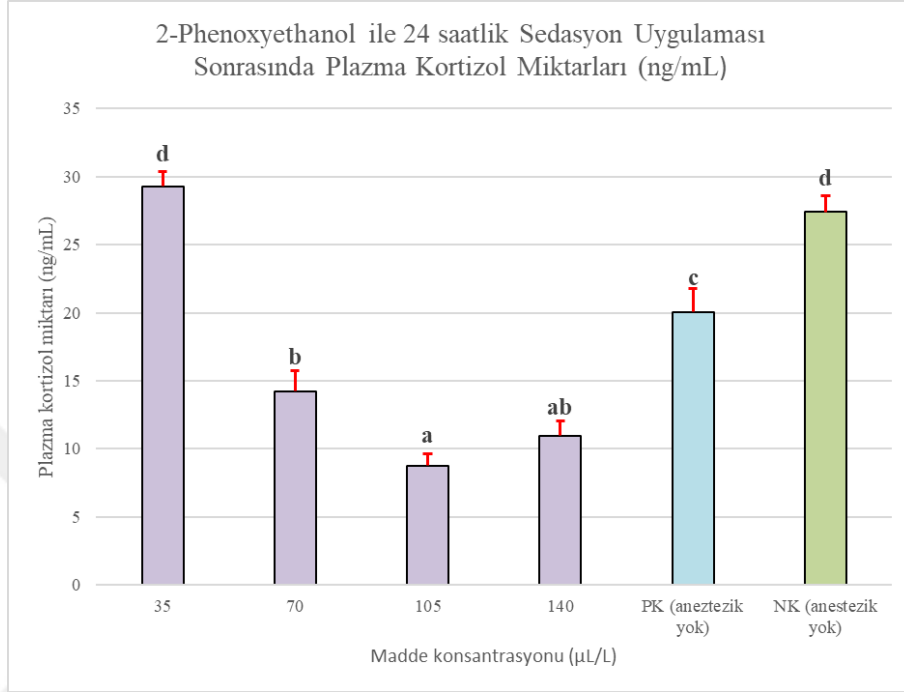
Şekil 4.11 Karanfil yağı ile 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları

2-Phenoxyethanol kullanımıyla sağlanan 24 saat ve 48 saatlik hafif sedasyon uygulamaları sonunda elde edilen plazma kortizol miktarları, 24 saatlik ve 48 saatlik süreler için kendi içlerinde ayrı ayrı karşılaştırılmış olarak, Tablo 4.23’te sunulmuştur.

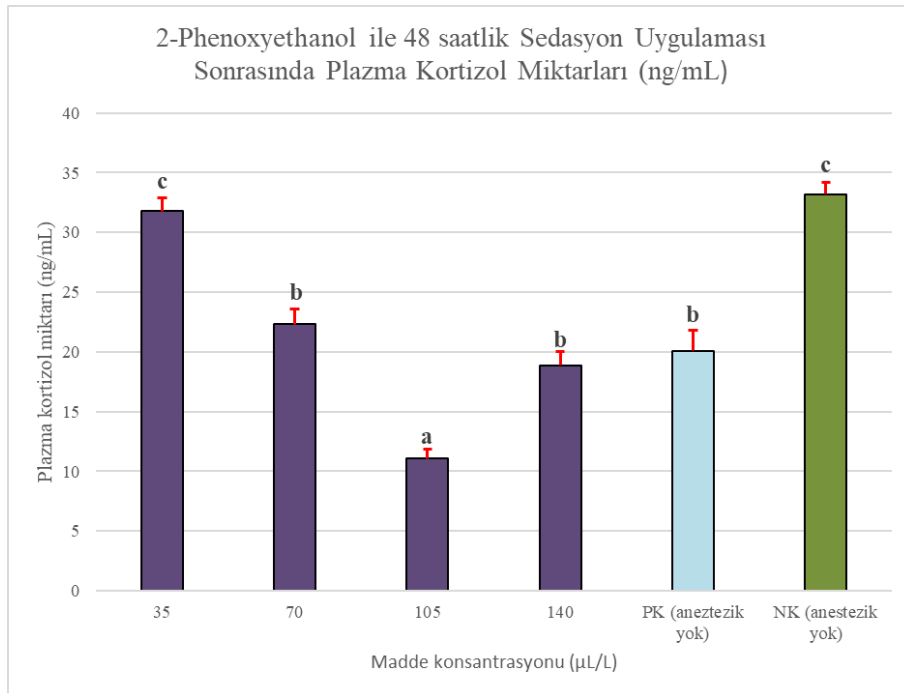
Tablo 4.23 2-Phenoxyethanol ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının uygulama süresine bağlı olarak karşılaştırması

2-Phenoxyethanol Konsantrasyonu (µL/L)	24 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)	48 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)
35	29,273 ^d ± 1,062	31,789 ^c ± 1,081
70	14,233 ^b ± 1,487	22,323 ^b ± 1,25
105	8,761 ^a ± 0,898	11,054 ^a ± 0,77
140	10,966 ^{ab} ± 1,091	18,866 ^b ± 1,144
PK (anestezik yok)	20,066 ^c ± 1,7038	20,066 ^b ± 1,7038
NK (anestezik yok)	27,388 ^d ± 1,222	33,176 ^c ± 1,002

Tablo 4.23’te sunulan kortizol miktarları ve gruplar arası farkların görselleştirildiği sonuçlar, tek yönlü standart hata çubuklarıyla birlikte, 24 saatlik sedasyon uygulaması grupları için Şekil 4.12’de ve 48 saatlik gruplar için Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.12 2-Phenoxethanol ile 24 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları



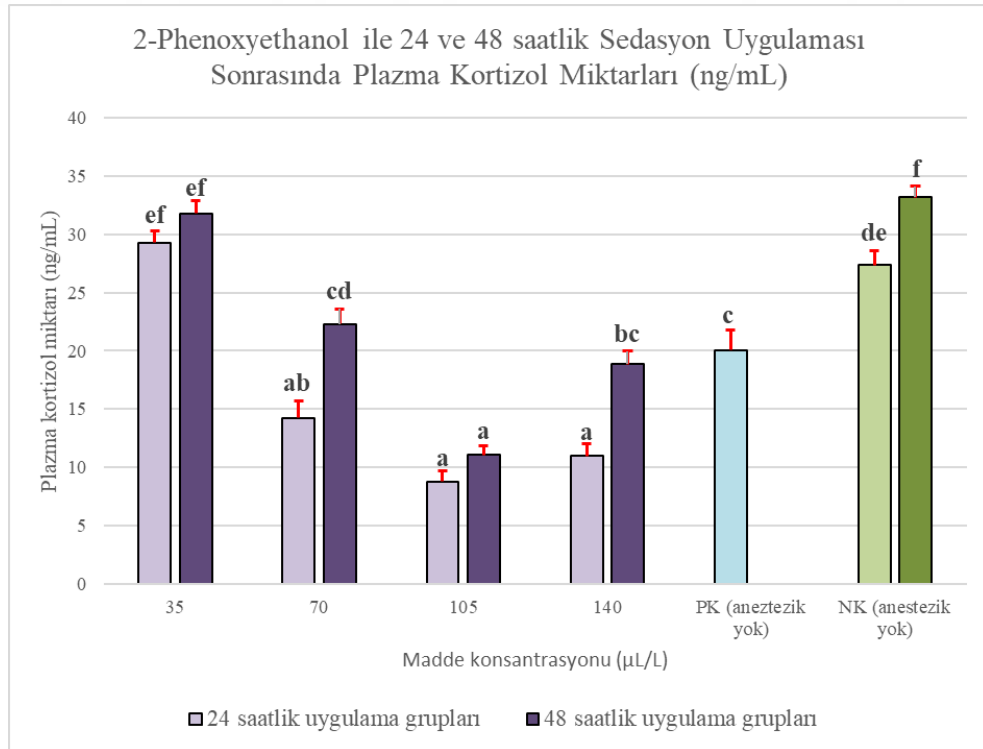
Şekil 4.13 2-Phenoxethanol ile 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları

2-Phenoxyethanol kullanımıyla sağlanan 24 saat ve 48 saatlik hafif sedasyon uygulamaları sonunda elde edilen plazma kortizol miktarlarının, tüm gruplar arasında ve her iki süreyi bir arada kapsayan şekilde değerlendirildiği ve karşılaştırıldığı veriler, Tablo 4.24'te sunulmuştur.

Tablo 4.24 2-Phenoxethanol ile sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarlarının toplu olarak karşılaştırması

2-Phenoxyethanol Konsantrasyonu (µL/L)	24 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)	48 Saat Sonunda Kortizol Seviyesi (ng/mL)
35	29,273 ^{ef} ± 1,062	31,789 ^{ef} ± 1,081
70	14,233 ^{ab} ± 1,487	22,323 ^{cd} ± 1,25
105	8,761 ^a ± 0,898	11,054 ^a ± 0,77
140	10,966 ^a ± 1,091	18,866 ^{bc} ± 1,144
PK (anestezi yok)	20,066 ^c ± 1,7038	20,066 ^c ± 1,7038
NK (anestezi yok)	27,388 ^{de} ± 1,222	33,176 ^f ± 1,002

Tablo 4.24'te sunulan kortizol miktarları ve gruplar arası farkların görselleştirildiği sonuçlar, tek yönlü standart hata çubuklarıyla birlikte, 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları için bir arada, Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.14 2-Phenoxyethanol ile 24 saat ve 48 saatlik sedasyon uygulamaları sonrasında oluşan plazma kortizol miktarları

5. TARTIŞMA

Sektörel uygulamalarda sıklıkla ve zorunlu olarak gerçekleştirilen transfer işlemleri, balıkların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesini zorlaştıran olumsuz çevresel koşullar oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, negatif kontrol grupları kullanılarak bu koşullar simüle edilmeye çalışılmış ve sedasyon uygulamalarının bu sorunlara ne ölçüde çözüm sunabileceği değerlendirilmiştir.

Balık türü, yaşı, su parametreleri, anestezi ajanının etkinliği ve stresi düşürme veya kendisinin de strese neden olması gibi birçok faktöre bağlı olarak, sedasyon uygulaması için uygun olabilecek konsantrasyon aralığını en baştan tahmin etmek, çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, ilk etapta derin anestezi çalışmaları yapılmış ve tespit edilen optimum konsantrasyonlar referans alınarak, sedasyon için tercih edilecek konsantrasyonlarla ilgili öngöründe bulunulmuştur. Sedasyon deneme grupları, derin anestezi için uygun bulunan konsantrasyonun 1/10'u kadar konsantrasyonun yanı sıra, bu konsantrasyondan daha düşük ve daha yüksek konsantrasyonlar kullanılarak oluşturulmuştur.

Balıkların 24 saat ve 48 saat gibi uzun süreler boyunca, su değişimi ve oksijen takviyesi yapılmaksızın kapalı ortamlarda tutulmaları, doğal olarak düşük DO seviyeleri ve yüksek NH_3 birikimi gibi olumsuz koşulların oluşmasına neden olmuştur. Balıklar için son derece stresli olan bu şartlar altında, iki farklı anestezi ajanının etkinliği incelenmiş; davranış, yaşama oranı, su kalitesindeki değişimler ve en önemli stres biyoindikatörü olan kortizol seviyelerinin belirlenmesi gibi çoklu parametreler üzerinden hafif sedasyon uygulamalarının başarısı araştırılmıştır.

5.1 Derin Anestezi Uygulaması

Transfer uygulamalarına yönelik optimum konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bu konsantrasyonların balık davranışları ve fizyolojik tepkileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, öncelikli olarak derin anestezi denemeleri gerçekleştirilmiş ve karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol'ün farklı avantaj ve sınırlamalar sunduğunu görülmüştür.

Karanfil yağı, düşük konsantrasyonlarda da etkili olmakla birlikte, bayılma süresi ile ayılma süresi arasında hassas bir denge gerektirmektedir. Ayrıca, bayılma ve ayılma süreçlerinde, balıkların madde maruziyetine karşı tepki verdikleri gözlemlenmiştir. Çalışma sonucuna göre optimum konsantrasyon olan 80 µL/L'de sağlanan hızlı bayılma süresi, anestezi etkinliğini doğrularken, bu maddenin yüksek konsantrasyonlarda veya düşük konsantrasyona rağmen uzun süreli maruziyet halinde, balıkların toparlanma sürecini uzatabileceği gözlemlenmiştir. Bu durum, karanfil yağının anestezi sonrası toparlanma süresine etkisi hakkında daha detaylı araştırmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonlarda etkinliğin artmasına rağmen, toksisite risklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Balıkların sağlıklı şekilde toparlanması ve sonraki günlerde herhangi bir olumsuzluk gözlemlenmemesi, çalışma şartlarında ve denenen konsantrasyon aralığında, bu ajanın güvenilir bir seçenek olduğunu göstermektedir. Yine de, sektörel uygulamalarda, özellikle kısa sürede derin anesteziye ulaşılmasının hedeflendiği rutin işlemler sırasında, bilinçli şekilde ve konsantrasyon hesabı yapılarak kullanılması önem arz etmektedir. Ayrıca, suda doğrudan çözünemeyen bir madde olması sebebiyle, önce etil alkolde çözündürülmüş olsa da, anestezi gerçekleştirilen ortamda, iyi bir su sirkülasyonunun sağlanması, önemli bir kriterdir.

2-Phenoxyethanol ise, bayılma ve ayılma sırasındaki daha sakin balık davranışları da dikkate alındığında, daha geniş bir konsantrasyon aralığında güvenilir ve etkili bir performans göstermiştir. Özellikle tüm konsantrasyon gruplarında 5 dakika içinde ayılmanın sağlanabilmesi, bu maddenin operasyonlara esneklik kazandırdığını ortaya koymaktadır. Ancak, düşük konsantrasyonlarda bayılma süresinin uzadığı ve 400 µL/L gibi görece düşük değerlerde hedeflenen anestezi süresine ulaşamadığı görülmüştür. Düşük konsantrasyonların yeterli etkinliği sağlayamaması ve ayrıca tüm konsantrasyon değerlerinde, hızlı bir şekilde ayılmanın sağlanabilmesi; derin anestezi gerektiren sektörel uygulamalarda, genellikle tercih edilen göz kararı (konsantrasyon hesabı yapılmaksızın) uygulama yöntemleri için karanfil yağına göre çok daha uygun bir anestezik ajan olduğunu göstermektedir. Yüksek R^2 değerleri ise, bu anestezik maddenin hem bayılma hem de ayılma süreleri ile konsantrasyon arasında düzenli ve güçlü bir ilişki sunduğunu göstermektedir.

5.2 Sedasyon Uygulamasının Su Parametrelerine ve Balık Davranışına Etkileri

Balık yetiştiriciliğinde stok yoğunluğu, birçok parametreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu parametreler arasında, yetiştirilen balığın türü, su sıcaklığı, balığın yaşam evresi (larval, juvenil, pazar öncesi ya da anaç stoğu için olgun dönem), yetiştiriciliğin gerçekleştirildiği ortam (tank, beton havuz, toprak havuz veya kafes) ve çevresel faktörler (su değişim oranı, kafeslerin bulunduğu bölgenin derinliği, su akıntısı, su kalitesi, vb.) yer almaktadır (Oké ve Goosen, 2019). Benzer şekilde, canlı balık transferlerinde kullanılan yöntemlere göre de stok yoğunluğu farklılık gösterebilmektedir. Su filtrasyonu ya da saf oksijen desteği sağlanabilen nakil araçlarında, özellikle hava sıcaklıklarının düşük olduğu dönemlerde (Bittencourt vd., 2018), balıkların hayatta kalma oranları genellikle yüksek olur ve önemli bir sorun yaşanmaz. Ancak tamamen kapalı ortamlarda (örneğin, torba veya konteyner gibi) gerçekleştirilen nakillerde, stok yoğunluğunun doğru bir şekilde ayarlanması kritik bir önem taşımaktadır (Wu vd., 2018). Canlı balık transferinde, stok yoğunluğunun iki önemli gereksinimi dengeleyecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir: Su kalitesini mümkün olduğunca koruyarak balıkların sağ kalım oranını yüksek tutacak kadar düşük (Portz vd., 2006), ancak aynı zamanda nakliye maliyetlerini optimize edecek kadar yüksek olmalıdır (Abdel-Tawwab vd., 2014). Hem balık refahı hem de ekonomik verimlilik göz önünde bulundurularak, Nil tilapyası yetiştiriciliği için optimum stok yoğunluğu, 36,86 kg/m³ olarak belirtilmiştir (Manduca vd., 2021). Bununla birlikte, kapalı sistemlerde ve herhangi bir filtrasyon veya iyileştirme bileşeni olmaksızın 48 saate kadar maruziyeti içeren bu çalışmada, yaklaşık 29 kg/m³ stok yoğunluğunun tercih edilmesi, mevcut koşulların zorluğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, sektörel transfer uygulamaları için önemli bir referans oluşturulması ve sedasyonun potansiyel olumlu etkilerinin daha iyi anlaşılmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Zorlu şartların sağlanması ile birlikte sedasyon deneyinden elde edilen bulgular, Bölüm 4.3.2’de gruplara özel farklı tablolar dahilinde paylaşılmış olmakla birlikte, Tablo 5.1’de tüm grupların verileri bir arada sunulmuş ve toplu sonuçlara göre gruplar arası farklılıklar gösterilmiştir. Çalışma dahilinde tercih edilen konsantrasyonlar

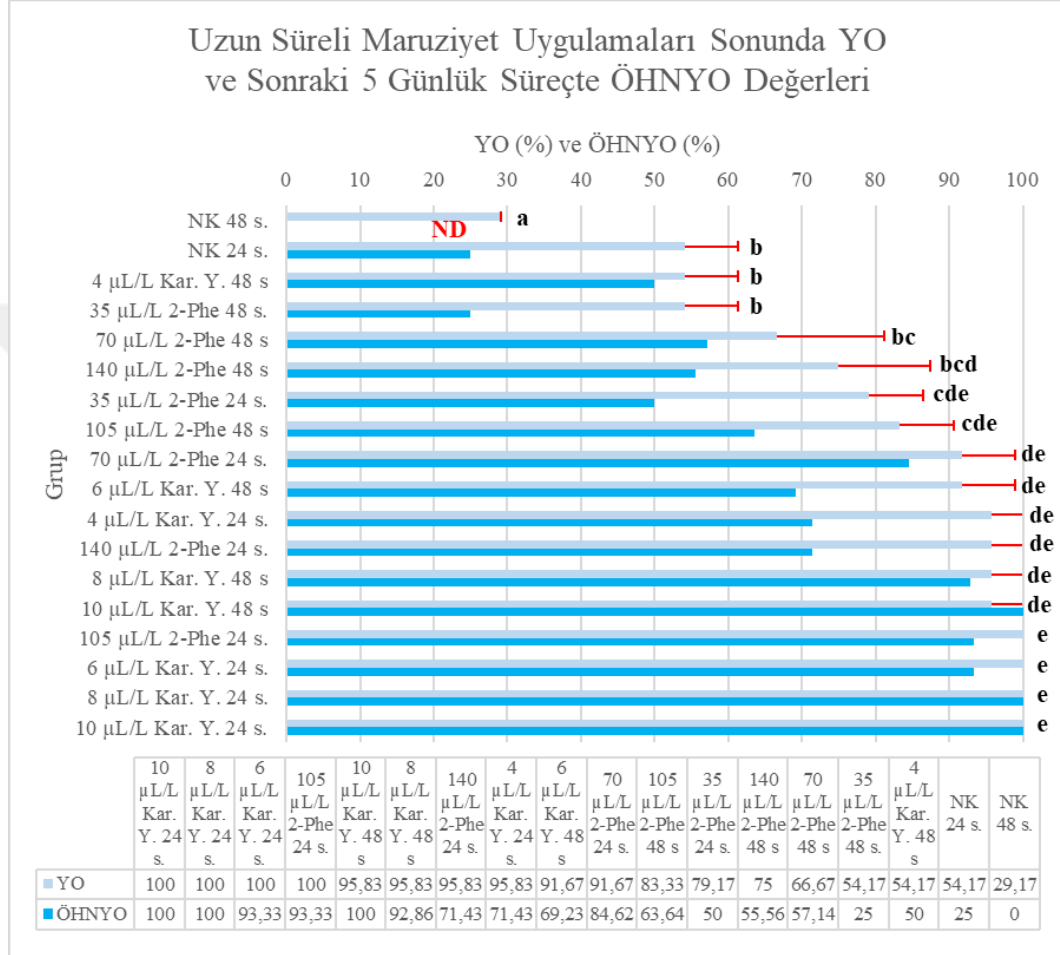
özelinde optimum sedasyon konsantrasyonunun belirlenmesinde; DO; pH; YO ve ÖHNYO değerlerinin görece yüksek, NH₃ ve pH değerlerinin görece düşük olduğu gruplar referans alınmıştır. ÖHNYO, her grup için tek sonuç olduğu ve bu nedenle varyans analizi yapılamayacağı için, tabloya dahil edilmemiş, ancak Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Aynı sütunda aynı harfle işaretlenen gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, farklı harflerle işaretlenen gruplar arasında anlamlı farklar vardır (P < 0,05).

Tablo 5.1 Sedasyon sonrası su parametreleri ve yaşama oranları

Grup	DO	NH ₃	pH	Son VPM	YO
NK 24 s.	1,047 ^{abc}	1,03 ^{de}	7,06 ^{bc}	41,67 ^j	54,17 ^b
4 µL/L Kar. Y. 24 s.	1,64 ^d	0,89 ^{bcd}	7,18 ^{bcd}	23,67 ^{def}	95,83 ^{de}
6 µL/L Kar. Y. 24 s.	3,18 ^{hij}	0,78 ^{ab}	7,39 ^{gh}	21,33 ^{bcd}	100 ^e
8 µL/L Kar. Y. 24 s.	3,74 ^{kl}	0,69 ^a	7,53 ^{hi}	18,67 ^{abc}	100 ^e
10 µL/L Kar. Y. 24 s.	4,05 ^l	0,68 ^a	7,6 ⁱ	17,33 ^{ab}	100 ^e
35 µL/L 2-Phe 24 s.	1,45 ^{cd}	0,94 ^{bcd}	7,16 ^{bcd}	30,67 ^h	79,17 ^{cde}
70 µL/L 2-Phe 24 s.	2,79 ^{gh}	0,84 ^{abc}	7,32 ^{efg}	26 ^g	91,67 ^{de}
105 µL/L 2-Phe 24 s.	3,38 ^{jk}	0,78 ^{ab}	7,39 ^{gh}	23,33 ^{def}	100 ^e
140 µL/L 2-Phe 24 s.	3,27 ^{ij}	0,79 ^{ab}	7,34 ^{fg}	23,67 ^{def}	95,83 ^{de}
NK 48 s.	0,64 ^a	1,24 ^f	6,57 ^a	37,33 ⁱ	29,17 ^a
4 µL/L Kar. Y. 48 s	1,13 ^{bc}	0,99 ^{cde}	7,08 ^{bc}	20,67 ^{abcd}	54,17 ^b
6 µL/L Kar. Y. 48 s	1,75 ^{de}	0,87 ^{bcd}	7,2 ^{cdef}	18,67 ^{abc}	91,67 ^{de}
8 µL/L Kar. Y. 48 s	2,49 ^{fg}	0,8 ^{ab}	7,28 ^{defg}	17,67 ^{ab}	95,83 ^{de}
10 µL/L Kar. Y. 48 s	2,86 ^{ghi}	0,77 ^{ab}	7,36 ^{fg}	16,33 ^a	95,83 ^{de}
35 µL/L 2-Phe 48 s.	1,02 ^{ab}	1,04 ^e	7,04 ^b	29,67 ^{gh}	54,17 ^b
70 µL/L 2-Phe 48 s	1,59 ^d	0,9 ^{bcd}	7,16 ^{bcd}	25,33 ^{efg}	66,67 ^{bc}
105 µL/L 2-Phe 48 s	2,37 ^f	0,84 ^{abc}	7,24 ^{defg}	24 ^{def}	83,33 ^{cde}
140 µL/L 2-Phe 48 s	2,18 ^{ef}	0,86 ^{bcd}	7,21 ^{cdef}	22,33 ^{cdef}	75 ^{bcd}

Tablodaki farklı parametrelerin her birinin ayrı ayrı ele alınması ve değerlendirilmesi, su parametreleri ve yaşama oranı bulgularına bağlı olarak optimum sedasyon konsantrasyonlarını belirlemek açısından faydalı olacağı için, farklı parametrelere özel oluşturulan grafikler, aşağıda sunulmuştur.

Şekil 5.1’de maruziyet uygulamaları sonunda ve sonraki 5 günde yaşama oranlarını, en düşük değerden en yüksek değere doğru sıralı olarak gösteren grafik, standart sapma çubuklarıyla birlikte görülmektedir. Farklı harfler, gruplar arası istatistiksel farklara işaret etmektedir ($P < 0,05$).



Şekil 5.1 YO ve ÖHNYO değerleri

Grafikte, uzun süreli maruziyet uygulamaları sonunda yaşama oranları (YO) ve örneklem harici nihai yaşama oranları (ÖHNYO) incelenmiştir. Negatif kontrol gruplarında gözlemlenen YO ve ÖHNYO değerleri, çevresel stres faktörlerinin balıklar üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça göstermektedir. NK 24 s. grubunda YO %54,17; ÖHNYO ise %25 olarak tespit edilmiştir. NK 48 s. grubunda YO %29,17 olarak kaydedilirken, ÖHNYO için yeterli balık olmadığı için bir sonuç elde edilememiştir. Bu sonuçlar, negatif kontrol gruplarında balıkların uzun süreli olumsuz koşullara dayanamadığını ve bu nedenle sedasyon uygulamalarının önemini açıkça ortaya koymaktadır.

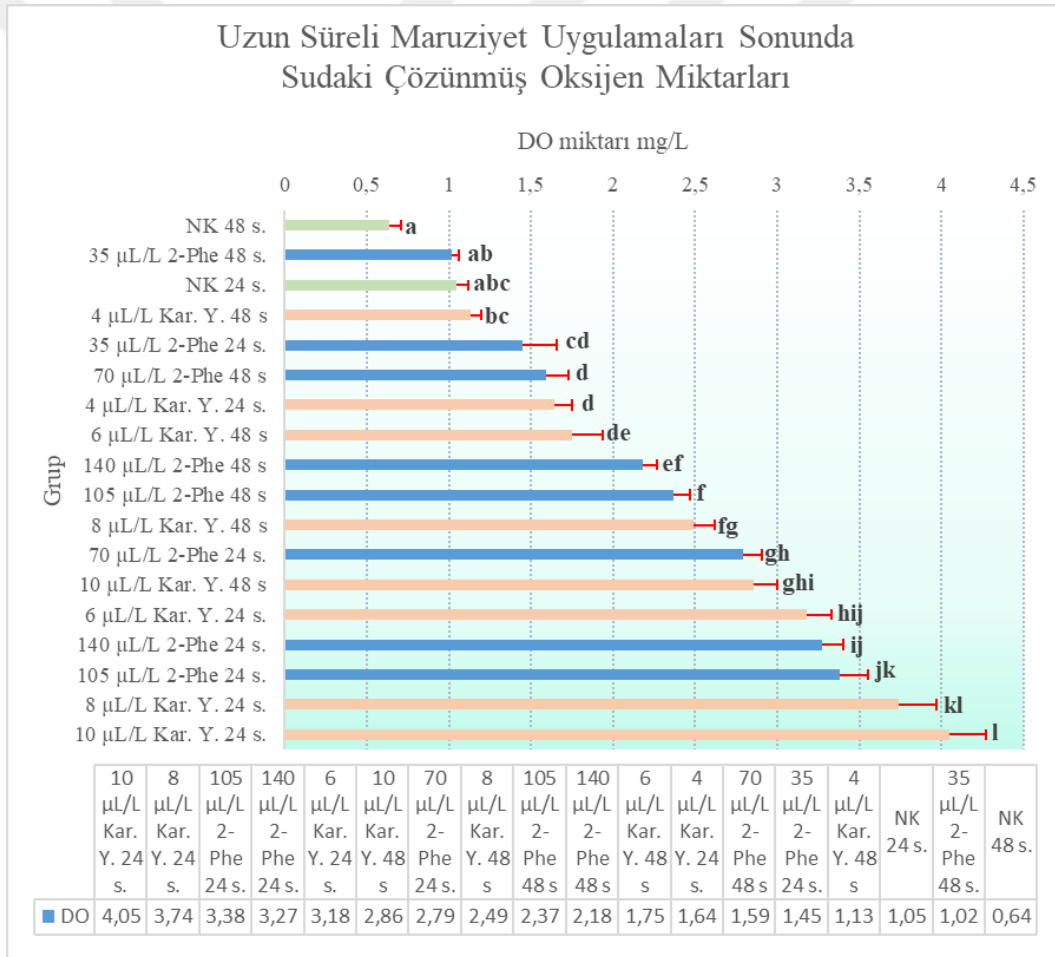
Karanfil yağı ile gerçekleştirilen sedasyon uygulamalarında, 24 saatlik maruziyet boyunca tüm konsantrasyon gruplarında %95 üzeri YO elde edilmiştir. Özellikle 80 ve 100 µL/L konsantrasyonlarda %100 YO ve ÖHNYO sağlanması, bu anestezi ajanının uzun süreli transferler için etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Ancak, 4 µL/L konsantrasyon grubunda ÖHNYO değeri %71,43'e, 48 saatlik uygulamada ise %50'ye düşmüştür. Bu durum, düşük konsantrasyonlarda balıkların, kısa vadede yaşama oranlarını sürdürebildiğini ancak stres faktörlerinin uzun vadede kayıplara yol açtığını göstermektedir. Bununla birlikte, 48 saatlik sürede, 8 ve 10 µL/L konsantrasyonlarında %95'in üzerinde nihai yaşama oranlarının korunabilmesi, karanfil yağının uzun süreli maruziyetler boyunca dahi balıkların refahını koruma noktasında etkin bir çözüm sunduğunu kanıtlamakta ve optimum konsantrasyonlarda sedasyon uygulamaları için çok etkili bir anestezi olduğunu göstermektedir.

2-Phenoxyethanol için ise, 24 saatlik maruziyet boyunca YO değerleri düşük konsantrasyonlarda (35 µL/L: %79,17) daha düşük seviyelerde kalmış, daha yüksek konsantrasyonlarda (70 µL/L: %91,67; 105 µL/L: %100; 140 µL/L: %95,83) ise daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak ÖHNYO değerleri, özellikle düşük (35 µL/L: %50) ve yüksek (140 µL/L: %71,43) konsantrasyonlarda belirgin bir düşüş göstermiştir. Bu durum, düşük konsantrasyonların yetersiz etkinlik sağladığını, yüksek konsantrasyonların ise toksisiteye neden olabileceğini ortaya koymaktadır. 48 saatlik maruziyetlerde, 2-Phenoxyethanol gruplarında YO değerleri düşük konsantrasyonlarda (35 µL/L: %54,17) daha düşük kalmış, orta ve yüksek konsantrasyonlarda (70 µL/L: %66,67; 105 µL/L: %83,33; 140 µL/L: %75) daha iyi seviyelerde gözlemlenmiştir. ÖHNYO değerleri ise, 35 µL/L (%25) ve 140 µL/L (%55,56) konsantrasyonlarında oldukça düşük kalırken, 105 µL/L konsantrasyonunda %63,64 olarak kaydedilmiştir. Bu bulgular, 2-Phenoxyethanol'ün uzun süreli maruziyetlerde karanfil yağına kıyasla daha sınırlı bir performans sunduğunu göstermektedir.

Karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol arasındaki karşılaştırmada, karanfil yağı, hem YO hem de ÖHNYO sonuçlarında daha üstün bir performans sergilemiştir. Özellikle 48 saatlik uzun süreli maruziyetlerde, karanfil yağının daha stabil sonuçlar sunduğu ve balıkların refahını artırmada daha etkili olduğu görülmektedir. Bu bulgular, karanfil

yağının transfer uygulamalarında öncelikli olarak tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, her iki anestezi madde de uygun konsantrasyon aralıklarında, sektörel transfer işlemlerinde balık refahını korumaya ve sedasyon uygulanmamış transferlere göre daha yüksek YO sağlamaya yönelik önemli bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 5.2’de maruziyet uygulamaları sonunda DO seviyeleri, en düşük değerden en yüksek değere doğru sıralı olarak gösteren grafik, standart sapma çubuklarıyla birlikte görülmektedir. Farklı harfler, gruplar arası istatistiksel farkları vurgulamaktadır ($P < 0,05$).



Şekil 5.2 DO değerleri

Negatif kontrol gruplarında ölçülen çözünmüş oksijen (DO) seviyelerinin son derece düşük olduğu görülmüştür. Özellikle NK 48 s. grubunda, DO miktarının yalnızca 0,64 mg/L ile en düşük seviyede ölçülmesi, bu koşullarda metabolik faaliyetlerin

desteklenemeyeceğini açıkça ortaya koymaktadır. NK 24 s. grubunda ise DO miktarı 1,05 mg/L olarak tespit edilmiş, ancak bu değer de balıklar için stresli bir ortamın göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, sedasyon uygulanmayan negatif kontrol gruplarında, içgüdüsel olarak hayatta kalmaya yönelik fizyolojik yanıtlar (Fernandes ve Rantin, 1989; Kramer, 1987) bile metabolik aktivitenin yeterince baskılanamadığına ve dolayısıyla oksijen tüketiminin yüksek kaldığına işaret etmektedir. Ancak Nil tilapyası, düşük DO seviyelerine karşı toleransı yüksek bir tür olduğu için (FAO, 2024b), 48 saat sonunda ve ilerleyen günlerde %100 mortalite ile karşılaşılma riski olabilir.

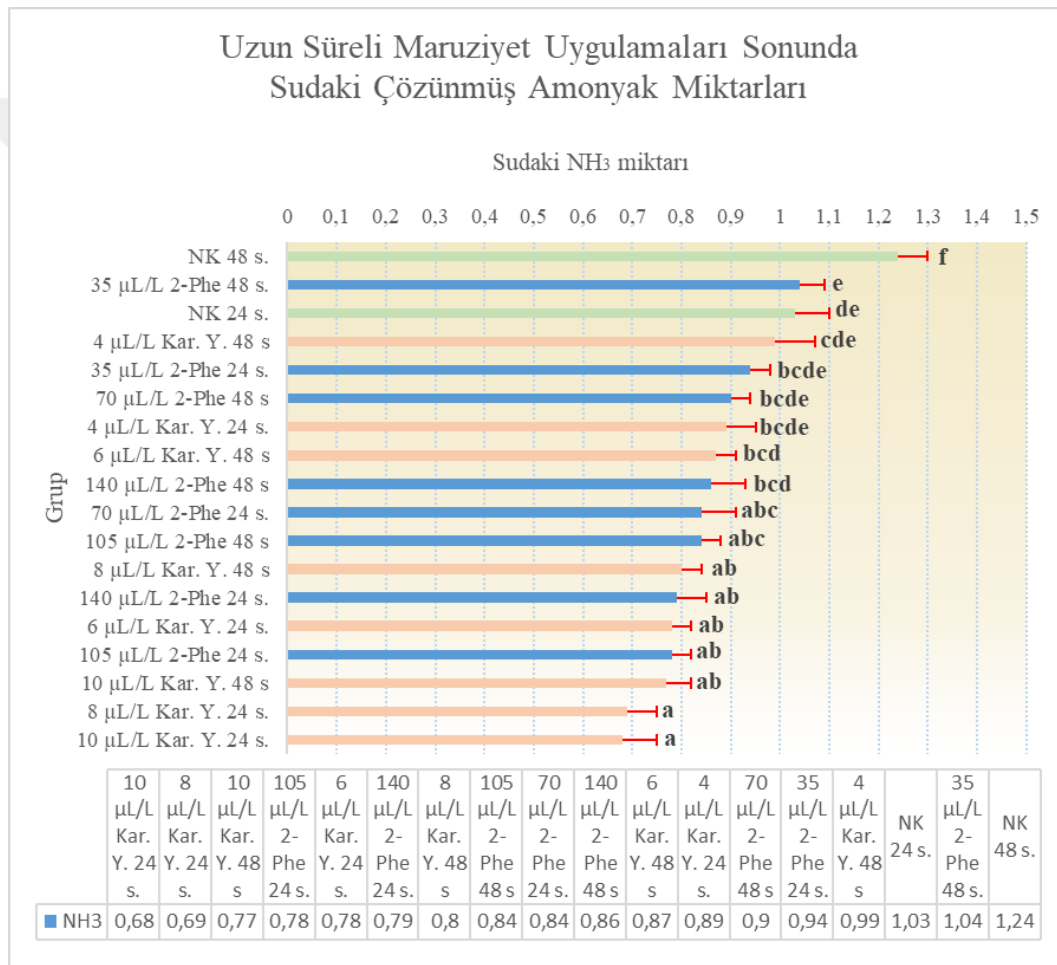
Karanfil yağı (Kar. Y.) ve 2-Phenoxyethanol (2-Phe) uygulamalarına sahip gruplarda, DO seviyelerinin belirgin şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Karanfil yağı ile gerçekleştirilen uygulamalarda, özellikle 24 saatlik gruplarda DO miktarlarının 4,05 mg/L'ye kadar korunduğu (10 µL/L) görülmüştür. Bu sonuç, karanfil yağının metabolik aktiviteleri yavaşlatarak oksijen tüketimini azalttığını ve bu nedenle balık refahını artırabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda, 48 saatlik gruplarda DO seviyeleri biraz daha düşük olmasına rağmen, 2,86 mg/L (10 µL/L) seviyelerine kadar korunabilmiştir. Bu durum, uzun süreli sedasyonun metabolizma üzerindeki olumlu etkilerini doğrular niteliktedir.

2-Phenoxyethanol gruplarında, düşük konsantrasyonlarda (35 µL/L ve 70 µL/L) DO seviyelerinin nispeten daha düşük olduğu, ancak 105 µL/L ve 140 µL/L gibi daha yüksek konsantrasyonlarda DO miktarlarının daha iyi korunduğu görülmüştür. 140 µL/L 2-Phe 24 s. grubunda ölçülen 3,27 mg/L ve 48 saatlik grupta 2,18 mg/L seviyeleri, bu maddenin oksijen tüketimini azalttığını göstermektedir. Ancak, 2-Phenoxyethanol gruplarında DO seviyelerinin korunabilmesi, karanfil yağına göre daha sınırlıdır. Bu durum, 2-Phenoxyethanol'ün metabolizmayı daha az baskıladığı veya oksijen tüketimini azaltmada karanfil yağı kadar etkili olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol ile sedasyon uygulamalarının her ikisinin de O₂ tüketimine yönelik olumlu bir etki oluşturduğu, ancak karanfil yağının daha yüksek konsantrasyonlarda daha etkin olduğu görülmüştür. Bu durum, sektörel uygulamalarda

oksijen yetersizliğinin önlenmesi ve metabolik stresin azaltılması açısından karanfil yağının tercih edilmesini desteklemektedir. Ancak, 2-Phenoxyethanol'ün de belirli konsantrasyonlarda güvenli ve etkili bir seçenek sunduğu dikkate alınmalıdır.

Şekil 5.3'te maruziyet uygulamaları sonunda biriken NH_3 seviyeleri, en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralı olarak gösteren grafik, standart sapma çubuklarıyla birlikte görülmektedir. Farklı harfler, gruplar arası istatistiksel farkları vurgulamaktadır ($P < 0,05$).



Şekil 5.3 NH_3 değerleri

Negatif kontrol gruplarında ölçülen amonyak (NH_3) seviyeleri, kapalı ortamda su değişiminin yapılmadığı koşullarda balık metabolizmasının ürettiği atıkların birikimini açıkça göstermektedir. Özellikle NK 48 s. grubunda ölçülen 1,24 mg/L NH_3 değeri, birçok balık türü için tolerans sınırlarının üzerinde olup, bu seviyelerde balık refahının ciddi şekilde etkilendiğini ortaya koymaktadır. NK 24 s. grubunda ise 1,03

mg/L olarak ölçülen NH_3 seviyesi, daha kısa süreli maruziyetin etkisini yansıtsa da, yine de stres faktörlerini ve metabolizmanın yeterince yavaşlamadığını yansıtacak düzeydedir. Bu bulgular, negatif kontrol gruplarında metabolik atık birikiminin ciddi bir sorun olduğunu ve herhangi bir müdahale olmadan balıkların bu koşullarda hayatta kalmasının zor olduğunu göstermektedir.

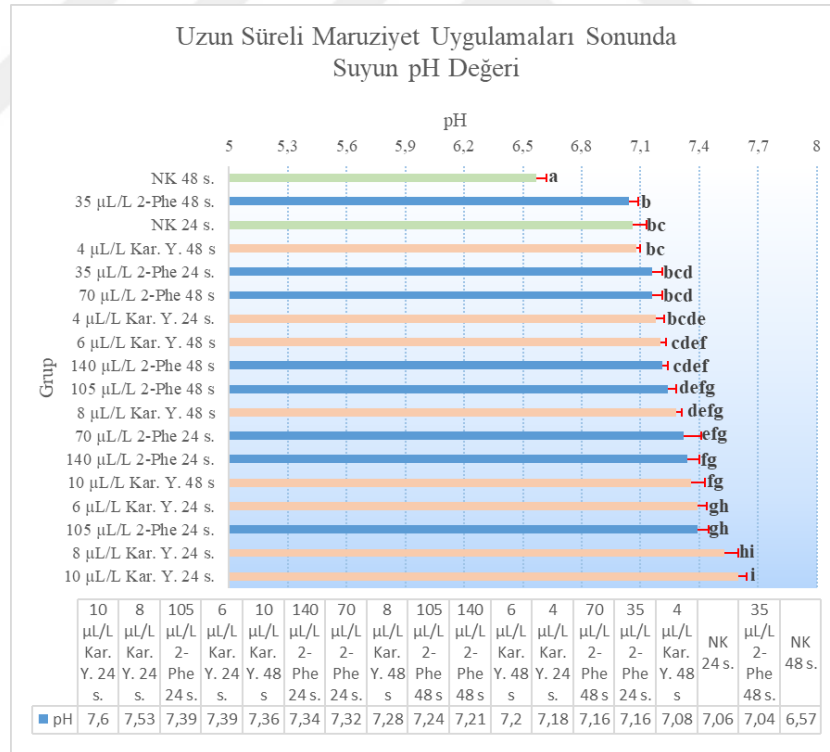
Tüm gruplar genelinde oluşan NH_3 birikimi oldukça yüksektir ve bu seviyelere daimî maruz kalan balıkların hayatta kalma ihtimali çok düşüktür. Ancak, birikimin yavaş yavaş gerçekleşmesi ve sınırlı sürelerle maruz kalmış olmak, balıkların önemli bir kısmının, bu olumsuz durumu tolere edebilmesini sağlamış olabilir.

Karanfil yağı uygulanan gruplar, NH_3 birikiminin kontrol edilmesinde daha etkili sonuçlar sunmuştur. Özellikle 24 saatlik maruziyet uygulamalarında, 10 $\mu\text{L/L}$ Kar. Y. grubunda NH_3 miktarının 0,68 mg/L gibi görece düşük bir seviyede kalması, bu anestezi maddenin metabolik faaliyetleri yavaşlatarak amonyak oluşumunu sınırlandırmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, karanfil yağının metabolizmayı baskılama mekanizmasıyla, su kalitesini olumsuz etkileyen atık birikimini kontrol altında tutabildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, 48 saatlik gruplarda NH_3 seviyelerinin nispeten daha yüksek olması (örneğin, 0,89 mg/L), daha uzun süreli maruziyetin etkilerini yansıtmakta ve düşük konsantrasyonların balıkların tam manasıyla sakinleşmesi için yeterli olmadığını göstermektedir. Ancak, bu değerler bile negatif kontrol gruplarına kıyasla oldukça düşüktür ve karanfil yağının uzun vadeli etkilerinin olumlu olduğunu göstermektedir.

2-Phenoxyethanol uygulamalarında, NH_3 seviyelerinin karanfil yağına kıyasla daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Düşük konsantrasyonlarda (örneğin, 35 $\mu\text{L/L}$ 2-Phe 24 s.), NH_3 seviyeleri 0,94 mg/L gibi görece yüksek bir değerde kalmış, ancak yüksek konsantrasyonlarda (140 $\mu\text{L/L}$ 2-Phe 24 s.), bu miktar 0,84 mg/L'ye kadar seviyesinde ölçülmüştür. Bu durum, 2-Phenoxyethanol'ün metabolizmayı baskılayarak NH_3 birikimini azaltma yeteneğinin, karanfil yağı kadar etkili olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, 2-Phenoxyethanol gruplarında NH_3 seviyelerinin negatif kontrol gruplarına göre önemli ölçüde düşük olması, bu ajanın da metabolik aktiviteyi azaltmada etkili bir seçenek olduğunu kanıtlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, sedasyon uygulamalarının sudaki amonyak birikimini kontrol altına almak için kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Karanfil yağı, nispeten düşük NH_3 birikimine neden olması ile daha üstün bir performans sergilerken, 2-Phenoxyethanol'ün etkileri daha sınırlı kalmıştır. Bu sonuçlar, her iki anestezik ajanın da metabolik faaliyetleri baskılayarak çevresel stres faktörlerini azaltabileceğini, ancak karanfil yağının bu konuda daha etkili bir seçenek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, uzun süreli maruziyet koşullarında NH_3 seviyelerindeki artış eğilimi, uygulama sürelerinin ve konsantrasyonlarının dikkatlice optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Şekil 5.4'te maruziyet uygulamaları sonunda biriken pH seviyeleri, en düşük değerden en yüksek değere doğru sıralı olarak gösteren grafik, standart sapma çubuklarıyla birlikte görülmektedir. Farklı harfler, gruplar arası istatistiksel farkları vurgulamaktadır ($P < 0,05$).



Şekil 5.4 pH değerleri

pH seviyelerinin ölçülmesinin sebebi, metabolik aktivitenin değerlendirilmesidir. Normal şartlarda metabolizma hızı ile O_2 tüketimi ve CO_2 üretimi doğru orantılıdır. Sularda çözünmüş CO_2 'in tepkimeye girmesi sonucu, güçsüz bir asit olan H_2CO_3

oluşmakta ve bu da, suyun pH'sının düşmesine sebep olmaktadır (Heuer ve Grossell, 2014). Sonuçlara bakıldığında, tüm deney gruplarındaki pH seviyesinin, deneyin başladığı andaki seviyeye (7,98) göre düştüğü görülmektedir. Düz mantıkla, en düşük seviyeye düşen gruplarda, metabolizmanın ve stresin baskılanamadığını söylemek mümkündür. Çünkü, daha fazla O₂ tüketimi ve daha fazla CO₂ üretimi, pH seviyesinin düşmesi anlamına gelmektedir.

Negatif kontrol gruplarında ve 48 saatlik sedasyon gruplarında (her iki anestezi), pH seviyelerinin diğer tüm gruplara göre en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durum CO₂ üretiminin baskılanamadığını, yani metabolizmanın tam manasıyla yavaşlamadığını göstermektedir.

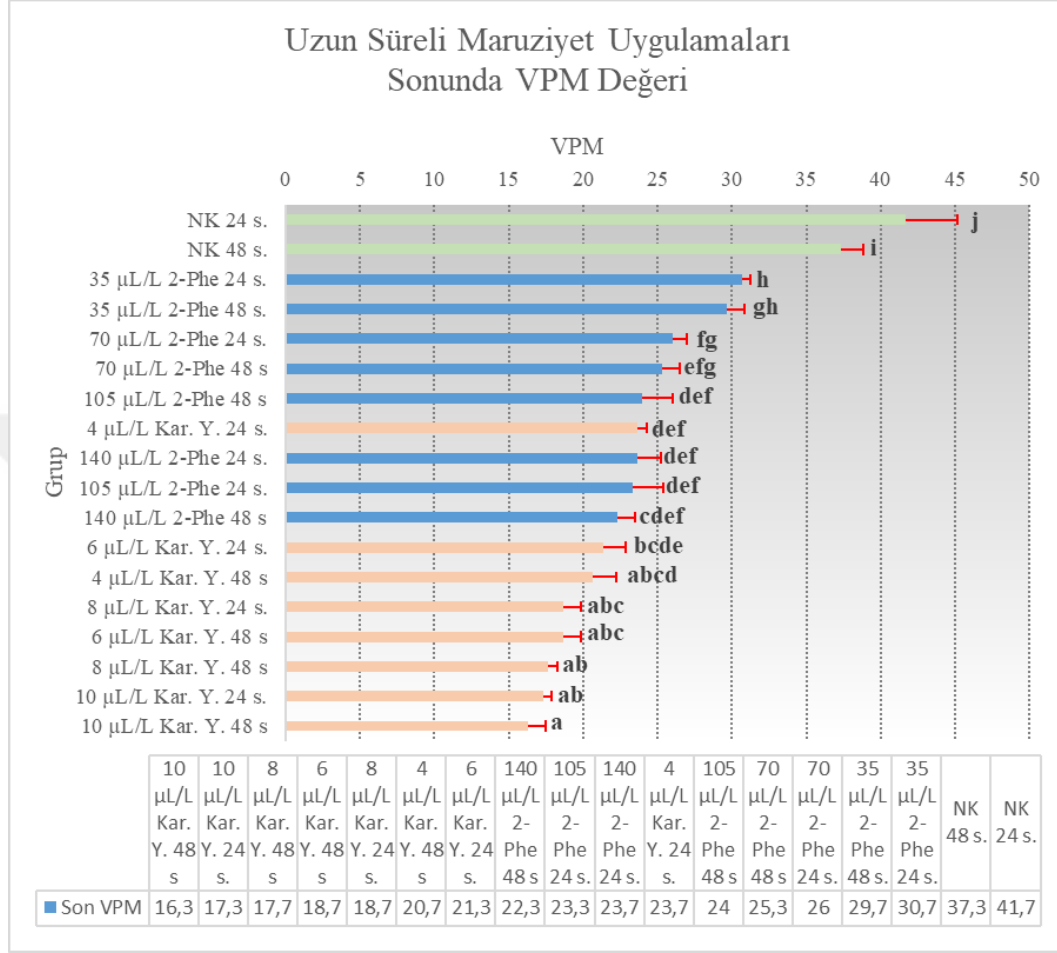
Karanfil yağı ile sedasyon uygulanan gruplarda, özellikle 24 saatlik maruziyet sonunda pH seviyelerinin daha yüksek olduğu ve metabolizmanın daha iyi baskılandığı görülmektedir. En yüksek pH seviyesi, 10 µL/L konsantrasyonlu Kar. Y. 24 s. grubunda 7,60 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, karanfil yağının metabolizmayı etkili bir şekilde yavaşlattığını ve CO₂ birikimini azalttığını göstermektedir. Ancak, 48 saatlik gruplarda pH seviyeleri biraz daha düşmüş, bu durum uzun süreli kapalı ortam maruziyetin, birikimle birlikte, su kalitesini etkilediğini göstermektedir.

2-Phenoxyethanol ile sedasyon uygulanan gruplarda da benzer bir eğilim gözlemlenmiştir, ancak pH seviyelerinin korunmasında karanfil yağına göre daha düşük bir etkinlik göstermiştir.

pH seviyesi ile NH₃ toksisitesi arasında, balık sağlığı açısından önemli bir ilişki vardır. Sular bazik karakter kazandıkça ve pH seviyesi arttıkça, NH₃ toksisitesi de artmaktadır (Wang vd., 2008) ve Nil tilapyası, yüksek alkali sulardan olumsuz yönde etkilenmektedir (Wang vd., 2024). Negatif kontrol gruplarında NH₃ seviyelerinin yüksek olmasına rağmen, pH seviyelerinin de düşük olması NH₃ toksisitesini azaltıp, balıkların daha az zarar görmesini sağlamış olabilir.

Şekil 5.5'te maruziyet uygulamaları sonunda VPM değerleri, en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralı olarak gösteren grafik, standart sapma çubuklarıyla birlikte

görülmektedir. Farklı harfler, gruplar arası istatistiksel farkları vurgulamaktadır ($P < 0,05$).



Şekil 5.5 VPM değerleri

Pozitif kontrol grubundaki Nil tilapya balıklarının ventilasyon sayısı, balıkların normal çevresel şartlar altında metabolik süreçlerini sürdürebildiklerini gösteren dakikada yaklaşık 65-85 aralığında seyrederken, negatif kontrol grubundaki bireylerde, tamamen kapalı bir ortamda oksijen girişinin sağlanmaması nedeniyle ventilasyon sayısının 37'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, kapalı sistemdeki balıkların hipoksiye maruz kalması sonucu, hayatta kalma stratejisi olarak metabolik aktivitelerini yavaşlatmasından kaynaklanmaktadır. Hipoksik koşullarda, balıklar oksijen tüketimini minimize ederek enerji gereksinimlerini düşürmeye çalışır. Ventilasyon hızındaki bu belirgin azalma, metabolik baskılama mekanizmalarının bir göstergesi olup, Nil tilapya balığının bu tür koşullara adaptasyon kabiliyetine işaret etmektedir. Negatif kontrol grubunda gözlemlenen düşük ventilasyon değerleri, aynı

zamanda solungaç hareketlerinin enerji maliyetini en aza indirme çabasını da temsil etmektedir. Bu tür hipoksik durumlarda ventilasyon hızının düşmesi, metabolik süreçlerin sınırlandırılmasının ve enerji tasarrufunun temel bir bileşenidir. Bu bulgular, hipoksiye fizyolojik yanıt olarak ventilasyon hızının arttığı ancak uzun süreli hipoksik maruziyetle metabolik aktivitelerin baskılanması nedeniyle ventilasyon hızının düşmeye başladığı literatürdeki verilerle de tutarlıdır (Fernandes ve Rantin, 1989). Nil tilapyasının hipoksi toleransı yüksek bir tür olduğu bilinmekle birlikte, bu durumun uzun süreli devam etmesi, stres yanıtlarının kortizol düzeyindeki artışla birlikte ölümcül sonuçlara yol açabileceğini de göstermektedir. Sonuç olarak, pozitif kontrol grubunda normal çevresel koşullarda yaşarken yüksek ventilasyon hızını koruyan balıkların, negatif kontrol grubunda oksijen yetersizliği nedeniyle ventilasyon hızını düşürmesi, hipoksi koşullarına adaptasyonun önemli bir bileşeni olan metabolik baskılama stratejisinin etkili bir örneğini sunmaktadır. Bu bulgu, kapalı sistemlerde balıkların hayatta kalma süreçlerini anlamak ve bu tür sistemlerde oksijen yönetiminin önemini vurgulamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

İki farklı anestezi karşılaştırıldığında ise, karanfil yağının neredeyse tüm gruplarda daha düşük VPM değerleri sağladığı görülmektedir. Bu durum, bu ajanın balıkları daha etkili şekilde sakinleştirdiği veya solunumu baskıladığı sonucu çıkarmaktadır. Karanfil yağı kullanımı ile elde edilen düşük VPM değerleri, daha az DO tüketimi sonuçlarıyla da örtüşmektedir.

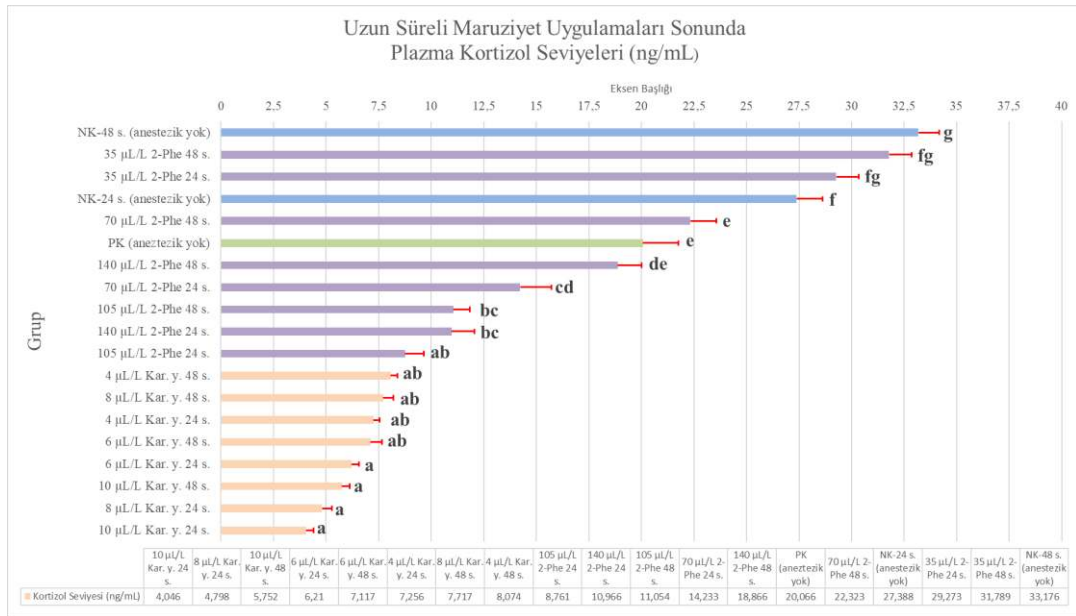
Balık davranışı açısından kıyaslama yapılacak olursa; derin anestezi uygulamalarındaki davranışların tam tersi olarak, karanfil yağı ile sedasyon sağlanan gruplardaki balıkların, 2-Phenoxyethanol ile sedasyon sağlanan gruplardaki balıklara göre daha sakin oldukları gözlemlenmiştir. Negatif kontrol gruplarında ise, balıkların çevresel uyaranlara karşı çok hassas ve tepkili oldukları görülmüştür. Özellikle 48 saatlik negatif kontrol grubundaki balıkların, su yüzeyinde ve dış ortamdan solumaya çalışır şekilde (düşük DO seviyesinin bir sonucu) ve yan yana, kafaları birbirlerine temas halinde yüzdükleri fark edilmiştir. Her iki anesteziğin 48 saatlik en düşük konsantrasyon gruplarındaki balıkların ise, diğer konsantrasyon grupları kadar sakin olmadıkları gözlemlenmiştir.

Sedasyon sonrasında elde edilen su kalite parametrelerine ait değerler, YO ve ÖHNYO bulguları, VPM'yi de kapsam üzere davranışa dayalı gözlemler; anestezi ajan kullanımının balıkları sakinleştirdiğini ve sektörel uygulamalarının çoğunluğunu yansıtan negatif kontrol gruplarına göre büyük avantaj sağladığı sonucunu vermiştir.

Karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol karşılaştırıldığında ise, sedasyon uygulamaları için karanfil yağının daha etkili bir anestezi olduğu söylemek mümkündür.

5.3 Stres Yanıtı

Davranış, yaşama oranı ve metabolik aktivitenin baskılanmasına yönelik yapılan analizlere ek olarak, bir canlıdaki stres oluşumuyla ilgili en net sonuçları veren kortizol hormonu için yapılan analizlerin sonuçlarını içeren tablolar, farklı karşılaştırmalar dahilinde, Bölüm 4.3.3'te sunulmuştur. Şekil 5.6'da ise tüm grupların verilerinden ve standart hata çizgilerinden oluşturulmuş grafik, grup sonuçlarını karşılaştıracak şekilde sunulmuş ve toplu sonuçlara göre gruplar arası farklılıklar, farklı harflerle gösterilmiştir ($P < 0,05$).



Şekil 5.6 Kortizol değerleri (ng/mL)

NK gruplarının kortizol seviyelerinin en yüksek düzeylerde olduğu görülmektedir. NK 48 s. grubu 33,176 ng/mL ile en yüksek kortizol seviyesine sahipken, NK 24 s. grubu 27,388 ng/mL kortizol seviyesiyle ikinci sırada yer almaktadır. Bu sonuçlar, anestezi

uygulanmayan gruplarda balıkların yüksek stres altında olduklarını ve bu stresin fizyolojik yanıtlarını yoğun şekilde gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Özellikle NK 48 s. grubundaki yüksek değerler, uzun süreli kapalı ortam stresinin kortizol seviyelerini artırmada ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

PK grubunda kortizol seviyesi 20,066 ng/mL olarak ölçülmüştür. Bu grup, herhangi bir kapalı ortam stresi yaşamayan ve balıkların insan kontrolü altındaki normal yaşamını temsil eden bir referans grup olarak düşünülmüştür. Ancak, bu grubun kortizol seviyesi özellikle sedasyon grupları ile karşılaştırıldığında görece yüksek bir değer olarak dikkat çekmektedir ve istatistiksel analizlerle de birçok sedasyon grubundan farklı olduğu doğrulanmıştır. Bu durum, kortizol analizleri için balıklardan kan alınması ve bu işlemin invaziv bir yöntem olmasıyla ilişkilendirilebilir. Özellikle balıkların ortamlarından kepçeyle alınarak kan örnekleme yapılması, kısa süreli akut strese yol açabilmektedir. Bu tür insan müdahalelerine balıkların verdiği stres yanıtı, literatürde sıkça rapor edilen ve beklenen bir durumdur.

Alternatif olarak, balıklardan kortizol analizi yapılması için daha az invaziv yöntemler de bulunmaktadır. Örneğin, balıkların yaşadığı sudan kortizol konsantrasyonlarının ölçülmesi veya mukus ve pul gibi vücut dışı materyallerden analiz yapılması mümkündür. Bu yöntemler, balıkların doğal yaşantısındaki stres seviyelerini daha sağlıklı bir şekilde değerlendirme imkânı sunar. Ancak, bu tür analizlerin uygulanması için, genellikle radyoimmünolojik analiz (RIA) gibi yöntemler kullanılmaktadır. RIA yöntemleri, radyoaktif madde içerikleri nedeniyle kullanıcı için sağlık riskleri taşımakta ve laboratuvar şartlarında güvenlik zorlukları oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bu nedenle daha spesifik ve güvenli bir yöntem olan ELISA kiti tercih edilmiştir. ELISA yöntemi, hem güvenlik hem de hassasiyet açısından uygun bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Bu durum, PK grubundaki görece yüksek kortizol seviyesinin değerlendirilmesini hem bağlamsal hem de metodolojik bir perspektiften anlamlandırmayı sağlamaktadır.

2-Phenoxyethanol uygulanan gruplarda, kortizol seviyelerinin doza ve süreye bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Örneğin, 35 µL/L 2-Phe 48 s. grubu 31,789 ng/mL ile oldukça yüksek bir kortizol seviyesine sahipken, 140 µL/L 2-Phe 24 s. grubu 14,233

ng/mL gibi nispeten düşük bir kortizol seviyesi göstermiştir. Bu bulgular, 2-Phenoxyethanol'ün düşük konsantrasyonlarda etkisiz kaldığını, ancak yüksek konsantrasyonlarda stresi hafifletebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, 48 saatlik maruziyetin, doğal olarak kortizol seviyelerini artırdığı görülmüştür.

Karanfil yağı ile sedasyon uygulanan gruplar, diğer gruplara kıyasla en düşük kortizol seviyelerini sağlamışlardır. Örneğin, 10 µL/L Kar. y. 24 s. grubunda kortizol seviyesi sadece 4,046 ng/mL olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, karanfil yağının stres azaltıcı etkisinin son derece güçlü olduğunu ve metabolizmayı yavaşlatarak stres yanıtlarını minimuma indirebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, 48 saatlik gruplarda kortizol seviyelerinin biraz daha yüksek olduğu görülmektedir, ancak bu değerler hâlâ diğer anestezi gruplarından düşüktür.

Genel olarak, 24 saatlik grupların kortizol seviyelerinin 48 saatlik gruplara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, uzun süreli kapalı ortam koşullarının ve çevresel stresin, sedasyonun etkisini sınırlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca, hem karanfil yağı hem de 2-Phenoxyethanol için daha yüksek konsantrasyonların kortizol seviyelerini daha etkili şekilde düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen kortizol seviyesi bulgularına göre, karanfil yağı için 8 ve 10 µL/L; 2-Phenoxyethanol için 105 µL/L, uzun süreli sedasyon uygulamaları için en ideal konsantrasyonlardır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, akuakültür sektörü ve doğadan yakalanarak nakil işlemleri gerçekleştirilen balıkların refahını artırmaya yönelik olarak, sedasyon uygulamalarının etkilerini kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan iki farklı anesteziik maddenin (karanfil yağı ve 2-Phenoxyethanol) etkinliklerini, güvenilirliklerini ve olası toksik etkilerini ortaya koymuş ve bu alanda önemli bulgular sunmuştur.

Çalışmada karanfil yağının 8 µL/L ve 10 µL/L konsantrasyonlarında, hem 24 saatlik hem de 48 saatlik uygulama süreçlerinde, sırasıyla %100 ve %95,83'lük değerler ile en yüksek yaşama oranlarını sağladığı görülmüştür. İşlem sonrasındaki günlerde de çok yüksek yaşama oranlarının sağlanması, önemli ve ümit vaat edici bir sonuçtur. Ayrıca, bu konsantrasyonlar, balıkların çevresel stres faktörlerine karşı korunmasını sağlamış ve toksik etki emaresi göstermemiştir. Ancak, daha düşük konsantrasyonlarda (4 µL/L), özellikle uzun süreli maruziyet sonrasında, yaşama oranlarında düşüş gözlemlenmiştir (%71,43). Bu sonuç, karanfil yağının düşük konsantrasyonlarda yetersiz olabileceğini, ancak uygun konsantrasyonlarda balık refahını etkili bir şekilde artırabileceğini göstermektedir.

2-Phenoxyethanol için 105 µL/L konsantrasyonu, hem 24 saat sürecinde (%100) hem de 48 saatlik uygulamada (%93,33); bu ajanın kullanımıyla oluşturulan gruplar içinde en iyi sonuçları vermiştir. Ancak, daha düşük konsantrasyonlarda (35 µL/L), yaşama oranlarının belirgin şekilde düştüğü görülmüştür (%50; 5 gün sonrası %25). Daha yüksek konsantrasyon olan 140 µL/L'de ise toksisite riskine işaret eden düşüşler gözlemlenmiştir (%75; 5 gün sonrası %55,56). Bu durum, 2-Phenoxyethanol'ün optimal konsantrasyonlarının titizlikle belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anesteziik uygulanmayan negatif kontrol gruplarındaki balıkların, kapalı sistemlerde yüksek NH₃ birikimi ve hipoksi gibi stres faktörlerine karşı savunmasız olduğu açıkça gözlemlenmiştir. 24 saat sonunda %54,17; 48 saat sonunda ise %29,17 yaşama oranları ile karşılaşılmıştır. Bu gruplardaki düşük yaşama oranları, sedasyon uygulamalarının balık refahı için kritik bir öneme sahip olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

Sedasyon uygulamaları, balıkların metabolizmasını baskılayarak daha az O₂ tüketimini ve daha az CO₂ ve NH₃ salınımı sağlamış, bu da suyun pH ve DO seviyelerinin korunmasına katkıda bulunmuştur. Bunun yanı sıra, yüksek NH₃ seviyelerine rağmen sedasyon gruplarında mortalitenin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Kortizol seviyeleri açısından da, sedasyon gruplarında stresin etkili bir şekilde kontrol edildiği gözlemlenmiştir. Özellikle karanfil yağının, stresi baskılama konusunda çok başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hem karanfil yağı hem de 2-Phenoxyethanol'ün sektörel uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi için, farklı balık türleri ve çevresel koşullar için konsantrasyon optimizasyonuna yönelik daha fazla araştırma yapılmalıdır. Özellikle kapalı ortam şartlarında taşınan ve doğal ekosistemlerden toplanan balıkların transferlerinin daha sağlıklı şekilde gerçekleştirilebilmesi için, bu tip çalışmalara ihtiyaç vardır.

Özellikle 48 saat ve üzeri süreler boyunca balıkların kapalı ortamlarda maruz kaldıkları koşulların daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu sürelerde anesteziklerin toksik etkileri ve balık sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Kortizol seviyelerinin değerlendirilmesi için daha az invaziv yöntemler (örneğin, su veya mukustan alınan örneklerle yapılan analizler) tercih edilmeli ve yaygınlaştırılmalıdır. Bu, balıkların stres düzeylerini daha hassas bir şekilde değerlendirmek için önemli bir katkı sağlayabilir. Ayrıca, sedasyon deneyleri sırasında, sık aralıklarla su numunesi alınması (vana ile) sayesinde, zamana bağlı kortizol artışı sonuçlarını elde etmek de mümkün hale gelebilir.

Karanfil yağı, çok düşük konsantrasyonlarda bile sedasyon uygulamaları için etkili olması nedeniyle hem ekonomik hem de balık refahı için çok olumlu sonuçlar sağlayan bir seçenek sunmaktadır. Ancak, derin anestezi uygulamalarında toparlanma sürelerinin daha uzun olması sebebiyle, kullanım esnasında dikkatli konsantrasyon ayarlamaları yapılmalıdır. Buna karşılık, 2-Phenoxyethanol, derin anestezi uygulamalarında, daha geniş bir konsantrasyon aralığında güvenilir sonuçlar sağladığı için esnek kullanım avantajı sunmaktadır.

Özellikle biyofiltre veya su yenileme sistemlerinin bulunmadığı kapalı sistemlerde, NH_3 birikimini önlemek için alternatif çözümler (örneğin, daha düşük stok yoğunluğu, düzenli su değişimi) uygulanmalıdır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler, derin anestezi ve sedasyon uygulamalarında uygun konsantrasyon seçiminin kritik öneme sahip olduğunu ve düşük konsantrasyonların yetersiz kalırken, yüksek konsantrasyonların ise toksik etkiler oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Negatif kontrol grupları ise, kapalı sistemlerde anesteziğin stres yönetimi açısından ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.



KAYNAKLAR

- Abdel-Tawwab, M., Hagra, A. E., Elbaghdady, H. A. M., & Monier, M. N. (2014). Dissolved Oxygen Level and Stocking Density Effects on Growth, Feed Utilization, Physiology, and Innate Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 26(4), 340-355. <https://doi.org/10.1080/10454438.2014.959830>
- Acıbadem. (2024). Anestezi Nedir, Anestezi Türleri Nelerdir? <https://www.acibadem.com.tr/tibbi-birim/anesteziyoloji/> Erişim tarihi: 10/11/2024
- Ackerman, Paige & Morgan, J.D. & Iwama, George. (2005). Anesthetics. Guidelines on the care and use of fish in research, teaching and testing. URL-1: https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Fish_Anesthetics.pdf Erişim tarihi: 20/05/2024
- Adel, M. Akar. (2012). Effect of Sex Ratio on Reproductive Performance of Broodstock Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Suspended Earthen Pond Hapas. *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 7(1), 19-28.
- Akian, D. D., Yao, K., Clota, F., Lozano, P., Baroiller, J. F., Chatain, B., & Bégout, M. L. (2017). Reproductive behaviour of two tilapia species (*Oreochromis niloticus*, Linné, 1758; *Sarotherodon melanotheron*, Rüppel, 1852) in freshwater intra and interspecific pairing context. *Applied Animal Behaviour Science*, 193, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.03.005>
- Alagöz, K., Paruğ, Ş., Taştan, Y., Bilen, S., & Sönmez, A. Y. (2021). Spurge (*Euphorbia rigida*) exhibits anaesthetic effect in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) without altering plasma cortisol levels. *Aquaculture Research*, 52(11), 5441-5451. <https://doi.org/10.1111/are.15414>
- Anderson, W. G., Mckinley, R. S., & Colavecchia, M. (1997). The Use of Clove Oil as an Anesthetic for Rainbow Trout and Its Effects on Swimming Performance. *North American Journal of Fisheries Management*, 17, 301-307.
- Antalyalı, Ö. L. (2016). Varyans analizi (ANOVA-MANOVA). Ş. Kalaycı (Ed.), *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*. 7. baskı. (pp. 131-182). Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Antonucci, F., & Costa, C. (2020). Precision aquaculture: A short review on engineering innovations. *Aquaculture International*, 28(1), 41-57. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00443-w>
- Auperin, B., Baroiller, J. F., Ricordel, M. J., Fostier, A., & Prunet, P. (1997). Effect of Confinement Stress on Circulating Levels of Growth Hormone and Two Prolactins in Freshwater-Adapted Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *General and*

Comparative Endocrinology, 108(1), 35-44. <https://doi.org/10.1006/gcen.1997.6938>

Azaza, M. S., Dhraïef, M. N., & Kraïem, M. M. (2008). Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in geothermal waters in southern Tunisia. *Journal of Thermal Biology*, 33(2), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.05.007>

Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>

Balarin, J. D., & Hatton, J. P. (1979). *Tilapia: A guide to their biology and culture in Africa*. Stirling, UK: University of Stirling.

Ballıkaya, G. (2016). *Akvaryum Balıklarından Melek Balığında (Pteropylum scalare) Anestezisi ve Sedasyon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Barlow, G. W. (2000). *The Cichlid fishes: Nature's grand experiment in evolution*. Cambridge, MA: Perseus Publishing.

Baroiller, J.-F., & D'Cotta, H. (2018). Sex control in tilapias. H.-P. Wang, F. Piferrer, S.-L. Chen, & Z.-G. Shen (Eds.), *Sex Control in Aquaculture* (pp. 163-195). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119127291.ch9>

Barton, B. A. (2002). Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517-525. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>

Başaran, F., Şen, H., & Karabulut, Ş. (2007). Effects of 2-phenoxyethanol on survival of normal juveniles and malformed juveniles having lordosis or nonfunctional swimbladders of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758). *Aquaculture Research*, 38(9), 933-939. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01753.x>

Bittencourt, F., Damasceno, D. Z., Lui, T. A., Signor, A., Sanches, E. A., & Neu, D. H. (2018). Water quality and survival rate of Rhamdia quelen fry subjected to simulated transportation at different stock densities and temperatures. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40(1), 37285. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37285>

Bodur, T., León-Bernabeu, S., Navarro, A., Tort, L., Afonso, J. M., & Montero, D. (2018). Effects of new plant based anesthetics *Origanum* sp. and *Eucalyptus* sp. oils on stress and welfare parameters in *Dicentrarchus labrax* and their comparison with clove oil. *Aquaculture*, 495, 402-408. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.021>

- Borowitzka, M. (1997). Microalgae for aquaculture: Opportunities and constraints. *Journal of Applied Phycology*, 9, 393-401. <https://doi.org/10.1023/A:1007921728300>.
- Bowser, P. R. (2001). Anesthetic options for fish. In R. D. Gleed & J. W. Ludders (Eds.), *Recent advances in veterinary anesthesia and analgesia: Companion animals* (pp. 3). International Veterinary Information Service. Ithaca, NY.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment* (1. bs). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118857915>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Boyd, C. E., Eugene, L. T., & Craig, S. T. (2018). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(1), 7-70. <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>
- Can, E., Kizak, V., Can, Ş. S., & Özçiçek, E. (2018). Anesthetic potential of geranium (*Pelargonium graveolens*) oil for two cichlid species, *Sciaenochromis fryeri* and *Labidochromis caeruleus*. *Aquaculture*, 491, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.013>
- Can, E., Kizak, V., Özçiçek, E., & Sehaneyildiz, C. (2017). The efficacy of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) oil as a promising anaesthetic agent for two freshwater aquarium fish species. *Isr J AquacultBamid*, 1437(69), 1–8.
- Carriquiry, J. D., Cupul-Magaña, A. L., Rodríguez-Zaragoza, F., & Medina-Rosas, P. (2001). Coral bleaching and mortality in the mexican pacific during the 1997–98 el Niño and prediction from a remote sensing approach. *Bulletin of Marine Science*, 69(1), 237-249.
- Chakrabarty, P. (2006). Systematics and historical biogeography of greater Antillean Cichlidae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 39(3), 619-627. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.01.014>
- Chew, K., Yap, J., Show, P., Suan, N., Juan, J., Ling, T., Lee, D., & Chang, J. (2017). Microalgae biorefinery: High value products perspectives. *Bioresource technology*, 229, 53-62 . <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006>
- Chirwa, E. R., Weyl, O. L., Rusuwa, B. B., & Mhone, O. N. (2022). Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): A threat to native fishes of Lake Malawi. *Aquatic Invasions*, 17(1), 45-53.
- Cinner, J. E., Maire, E., Huchery, C., MacNeil, M. A., Graham, N. A. J., Mora, C., McClanahan, T. R., Barnes, M. L., Kittinger, J. N., Hicks, C. C., D'Agata, S., Hoey, A. S., Gurney, G. G., Feary, D. A., Williams, I. D., Kulbicki, M., Vigliola,

- L., Wantiez, L., Edgar, G. J., ... Mouillot, D. (2018). Gravity of human impacts mediates coral reef conservation gains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(27). <https://doi.org/10.1073/pnas.1708001115>
- Clement, S., & Lovell, R. T. (1994). Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 119(4), 299-310. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90184-8)
- Copatti, C. E., Bolner, K. C. S., Londero, É. P., Rosso, F. L. D., Pavanato, M. A., & Baldisserotto, B. (2019). Low dissolved oxygen levels increase stress in piava (*Megaleporinus obtusidens*): Iono-regulatory, metabolic and oxidative responses. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3), e20180395. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180395>
- Coward, K., & Bromage, N. R. (2000). Reproductive physiology of female tilapia broodstock. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(1), 1-25. <https://doi.org/10.1023/A:1008942318272>
- Coyle, S. D., Durborow, R. M., & Tidwell, J. H. (2004). Anesthetics in Aquaculture. *SRAC Publications*, 3900, 6.
- Coyne, J. A. (2007). Sympatric speciation. *Current Biology*, 17(18), R787–R788. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.056>
- Dağdelen, Y., & Taşbozan, O. (2023). Determination of growth and nutritional composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with L-Glutamic acid supplemented feeds. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 75(2). <https://doi.org/10.46989/001c.90850>
- De Silva, S. S., & Yuan, D. (2022). *Regional review on status and trends in aquaculture development in Asia and the Pacific – 2020*: C. No. 1232/6. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb8400en>
- Dillard, H. R. (2019). Global food and nutrition security: From challenges to solutions: Report of the international congress of plant pathology 2018, Boston, USA, 29th July – 3rd August 2018 with the title plant health in a global economy. *Food Security*, 11(1), 249-252. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00893-3>
- Dong, X., Qin, J., & Zhang, X. (2011). Fish adaptation to oxygen variations in aquaculture from hypoxia to hyperoxia. *Journal of Fisheries and Aquaculture*, 2(2), 23-28.
- El-Greisy, Z. A., & El-Gamal, A. E. (2012). Monosex production of tilapia, *Oreochromis niloticus*, using different doses of 17 α -methyltestosterone with respect to the degree of sex stability after one year of treatment. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(1), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.08.005>

- Ellis, T., Yildiz, H. Y., López-Olmeda, J., Spedicato, M. T., Tort, L., Øverli, Ø., & Martins, C. I. M. (2012). Cortisol and finfish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 163-188. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9568-y>
- El-Sayed, A. F. M. (2002). Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquaculture Research*, 33, 621-626. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00700.x>
- El-Sayed, A. F. M. (2006). *Tilapia Culture*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- El-Sherif, M. S., Mohamed, A., & El-Feky, I. (2009). Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fingerlings. I. Effect of pH. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 297-300.
- Fajardo, C., Martinez-Rodriguez, G., Blasco, J., Mancera, J. M., Thomas, B., & De Donato, M. (2022). Nanotechnology in aquaculture: Applications, perspectives and regulatory challenges. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 185-200. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.12.006>
- FAO. (2024a). Fisheries and Aquaculture - Statistical collections - FishStat, <https://www.fao.org/fishery/en/fishstat/collections> Erişim tarihi: 30/07/2024
- FAO. (2024b). Nile Tilapia, https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/en/en_niletilapia.htm, Erişim tarihi: 08/07/2024
- FAO. (2024c). Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Aquaculture, https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity Erişim tarihi: 23/08/2024
- Fernandes, M. N., & Rantin, F. T. (1989). Respiratory responses of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae) to environmental hypoxia under different thermal conditions. *Journal of Fish Biology*, 35(4), 509-519.
- Fessehaye, Y., El-Bialy, Z., Rezk, M. A., Crooijmans, R., Bovenhuis, H., & Komen, H. (2006). Mating systems and male reproductive success in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in breeding hapas: A microsatellite analysis. *Aquaculture*, 256(1-4), 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.024>
- Filote, C., Santos, S., Popa, V., Botelho, C., & Volf, I. (2020). Biorefinery of marine macroalgae into high-tech bioproducts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 969 - 1000. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01124-4>
- Fishbase. (2024a). Family Cichlidae – Cichlids, https://fishbase.mnhn.fr/identification/SpeciesList.php?class=Teleostei&order=Cichliformes&famcode=349&subfamily=Pseudocrenilabrinae&areacode=&c_code=&depth=&spines=&fins=&TL=&BD=&resultPage=1&sortby=species, Erişim tarihi: 09/07/2024
- Fishbase. (2024b). *Coptodon guineensis* (Günther, 1862) Guinean tilapia, <https://fishbase.mnhn.fr/summary/2488>, Erişim tarihi: 15/08/2024

- Foss, A., Vollen, T., & Øiestad, V. (2003). Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and interactive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture*, 224(1-4), 105-116. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00209-6)
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & Van der Laan, R. (Eds.). (2024). *Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, species, references*. California Academy of Sciences. <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> Erişim tarihi: 02/08/2024
- Friedman, M., Keck, B. P., Dornburg, A., Eytan, R. I., Martin, C. H., Hulsey, C. D., Wainwright, P. C., & Near, T. J. (2013). Molecular and fossil evidence place the origin of cichlid fishes long after Gondwanan rifting. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1766), 20131733. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1733>
- Fryer, G., & Iles, T. D. (1972). *The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa: Their Biology and Evolution*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Ghanawi, J., Monzer, S., & Saoud, I. P. (2013). Anaesthetic efficacy of clove oil, benzocaine, 2-phenoxyethanol and tricaine methanesulfonate in juvenile marbled spinefoot (*Siganus rivulatus*). *Aquaculture Research*, 44(3), 359-366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03039.x>
- Gilderhus, P. A., & Marking, L. L. (1987). Comparative Efficacy of 16 Anesthetic Chemicals on Rainbow Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 7(2), 288-292. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1987\)7<288:CEOACO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1987)7<288:CEOACO>2.0.CO;2)
- Gressler, L. T., Riffel, A. P. K., Parodi, T. V., Saccol, E. M. H., Koakoski, G., Da Costa, S. T., Pavanato, M. A., Heinzmann, B. M., Caron, B., Schmidt, D., Llesuy, S. F., Barcellos, L. J. G., & Baldissotto, B. (2014). Silver catfish *Rhamdia quelen* immersion anaesthesia with essential oil of *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton or tricaine methanesulfonate: Effect on stress response and antioxidant status. *Aquaculture Research*, 45(6), 1061-1072. <https://doi.org/10.1111/are.12043>
- Haetami, K., & Pratiwy, F. M. (2023). Relationship between feeding regime and fish growth. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 24(2), 36-41. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2023/v24i2631>
- Harmon, T. S. (2009). Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: A review of the basics. *Reviews in Aquaculture*, 1(1), 58-66. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2008.01003.x>
- Hayashi, M., Kita, J., & Ishimatsu, A. (2004). Comparison of the acid-base responses to CO₂ and acidification in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Marine Pollution Bulletin*, 49(11-12), 1062-1065. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.07.013>

- Heuer, R. M., & Grosell, M. (2014). Physiological impacts of elevated carbon dioxide and ocean acidification on fish. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 307(9), R1061-R1084. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00064.2014>
- Hilton, J.W., & Dixon, D.G. (1982). Effect of increased liver glycogen and liver weight on liver function in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson: recovery from anaesthesia and plasma 35S-sulphobromophthalein clearance. *Journal of Fish Diseases*, 5, 185-195.
- Iversen, M. H., Økland, F., Thorstad, E. B., & Finstad, B. (2013). The efficacy of Aquis vet. (Iso-eugenol) and metomidate as anaesthetics in European eel (*Anguilla anguilla* L.), and their effects on animal welfare and primary and secondary stress responses. *Aquaculture Research*, 44(8), 1307–1316. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03140.x>
- Iversen, M., & Eliassen, R. A. (2009). The Effect of AQUIS® Sedation on Primary, Secondary, and Tertiary Stress Responses during Salmon Smolt, *Salmo salar* L., Transport and Transfer to Sea. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40(2), 216-225. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00244.x>
- Iwama, G. K., McGeer, J. C., & Pawluk, M. P. (1989). The effects of five fish anaesthetics on acid–base balance, hematocrit, blood gases, cortisol, and adrenaline in rainbow trout. *Canadian Journal of Zoology*, 67(8), 2065-2073. <https://doi.org/10.1139/z89-294>
- Jiang, Y., Bolnick, D. I., & Kirkpatrick, M. (2013). Assortative mating in animals. *The American Naturalist*, 181(6), E125–E138. <https://doi.org/10.1086/670160>
- Joyce, D. A., Lunt, D. H., Bills, R., Turner, G. F., Katongo, C., Duftner, N., Sturmbauer, C., & Seehausen, O. (2011). An extant cichlid fish radiation emerged in an extinct Pleistocene lake. *Nature*, 435, 90-95. <https://doi.org/10.1038/nature03489>
- Kaizer, R. R., Loro, V. L., Schetinger, M. R. C., Morsch, V. M., Tabaldi, L. A., Rosa, C. S. D., Garcia, L. D. O., Becker, A. G., & Baldisserotto, B. (2009). NTPDase and acetylcholinesterase activities in silver catfish, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) (Heptapteridae) exposed to interaction of oxygen and ammonia levels. *Neotropical Ichthyology*, 7(4), 635-640. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252009000400012>
- Karaatlı, M. (2016). Verilerin düzenlenmesi ve gösterimi. Ş. Kalaycı (Ed.), *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*. 7. baskı. (pp. 3-47). Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Keene, J. L., Noakes, D. L. G., Moccia, R. D., & Soto, C. G. (1998). The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 29(2), 89-101. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1998.tb01113.x>

- King, W., Hooper, B., Hillsgrove, S., Benton, C., & Berlinsky, D. L. (2005). The use of clove oil, metomidate, tricaine methanesulphonate and 2-phenoxyethanol for inducing anaesthesia and their effect on the cortisol stress response in black sea bass (*Centropristis striata* L.). *Aquaculture Research*, 36(14), 1442-1449. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01365.x>
- Kızak, V., Can, E., Danabaş, D., & Can, Ş. S. (2018). Evaluation of anesthetic potential of rosewood (*Aniba rosaeodora*) oil as a new anesthetic agent for goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture*, 493, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.013>
- Kramer, D. L. (1987). Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes*, 18(2), 81-92. <https://doi.org/10.1007/BF00002597>
- Lamboj, A. (2004). *The Cichlid Fishes of Western Africa*. Bornheim, Germany: Birgit Schmettkamp Verlag
- Lambooi, B., Pilarczyk, M., Bialowas, H., Reimert, H., André, G., & Van De Vis, H. (2009). Anaesthetic properties of Propiscin (Etomidate) and 2-phenoxyethanol in the common carp (*Cyprinus carpio* L.), neural and behavioural measures. *Aquaculture Research*, 40(11), 1328-1333. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02233.x>
- Lawrence, E., Henderson, I. F., & Henderson, I. F. (Ed.). (2005). *Henderson's dictionary of biology* (13. ed). Pearson/Prentice Hall.
- Lee, S., Wang, Y., Hung, S. S. O., Strathe, A. B., Fangue, N. A., & Fadel, J. G. (2014). Development of optimum feeding rate model for white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture*, 433, 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.06.007>
- Li, M., Gong, S., Li, Q., Yuan, L., Meng, F., & Wang, R. (2016). Ammonia toxicity induces glutamine accumulation, oxidative stress and immunosuppression in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 183-184, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2016.01.005>
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H. F., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
- Manduca, L. G., Silva, M. A. D., Alvarenga, É. R. D., Alves, G. F. D. O., Ferreira, N. H., Teixeira, E. D. A., Fernandes, A. F. A., Silva, M. D. A. E., & Turra, E. M. (2021). Effects of different stocking densities on Nile tilapia performance and profitability of a biofloc system with a minimum water exchange. *Aquaculture*, 530, 735814. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735814>
- Martínez-Porchas, M., & Martínez-Córdova, L. R. (2009). Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(2), 158-178.

- Mashaii, N., & Rajabipour, F. (2022). A review on the breeding of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* in brackish water hatchery, Iran. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, 2(2), 29-45. <https://doi.org/10.52547/injoar.2.2.29>
- McKaye, K. R., & Marsh, A. (1983). Food Switching by Two Specialized Algal-Scraping Cichlid Fishes in Lake Malawi, Africa. *Oecologia*, 56(3), 245-248. <https://doi.org/10.1007/BF00379697>
- Memorial. (2024). Anestezi Nedir? Anestezi Türleri Nelerdir? <https://www.memorial.com.tr/saglik-rehberi/anestezi-nedir> Erişim tarihi: 10/11/2024
- Mendonça, F. Z., & Gonçalves-de-Freitas, E. (2008). Nest deprivation and mating success in Nile tilapia (Teleostei: Cichlidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 25(3), 413-418.
- Mohamed S (1999) Comparative efficacy of four anesthetics on common carp *Cyprinus carpio* L. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 29(2): 91-97. <https://doi.org/10.3750/AIP1999.29.2.08>
- Mylonas, C. C., Cardinaletti, G., Sigelaki, I., & Polzonetti-Magni, A. (2005). Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*) at different temperatures. *Aquaculture*, 246(1-4), 467-481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.046>
- Navarro, R. D., Pereira Navarro, F. K. S., Filho, O. P. R., Ferreira, W. M., Pereira, M. M., & Filho, J. T. S. (2012). Quality of polyunsaturated fatty acids in Nile tilapias (*Oreochromis niloticus*) fed with vitamin E supplementation. *Food Chemistry*, 134(1), 215-218. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.097>
- Neiffer, D. L., & Stamper, M. A. (2009). Fish Sedation, Anesthesia, Analgesia, and Euthanasia: Considerations, Methods, and Types of Drugs. *ILAR Journal*, 50(4), 343-360. <https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343>
- Nie, P., & Hallerman, E. (2021). Advancing the sustainability of aquaculture. Reviews in Aquaculture, 13(2), 781-782. <https://doi.org/10.1111/raq.12548>
- Nivelle, R., Gennotte, V., Kalala, E., Ngoc, N., Muller, M., Mélard, C., & Rougeot, C. (2019). Temperature preference of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles induces spontaneous sex reversal. *PLOS ONE*, 14(2), e0212504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212504>
- Nobah, C. S., Koné, T., N'Douba, V., Snoeks, J., Gooré Bi, G., & Kouamélan, E. P. (2006). Comparative analysis of the aquaculture potential of hybrid *Tilapia zillii* (male) × *T. guineensis* (female) (Teleostei: Cichlidae) in floating cages, cement tanks and earth ponds. *African Journal of Aquatic Science*, 31(2), 319-323. <https://doi.org/10.2989/16085910609503902>

- Nóbrega, R. O., Banze, J., Batista, R. O., & Fracalossi, D. (2020). Improving winter production of Nile tilapia: What can be done? *Aquaculture Reports*, 18, 100453. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100453>
- Oké, V., & Goosen, N. J. (2019). The effect of stocking density on profitability of African catfish (*Clarias gariepinus*) culture in extensive pond systems. *Aquaculture*, 507, 385-392.
- Ortuño, J., Esteban, M. A., & Meseguer, J. (2002a). Effects of four anaesthetics on the innate immune response of gilthead seabream (L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 12(1), 49-59. <https://doi.org/10.1006/fsim.2001.0353>
- Ortuño, J., Esteban, M. A., & Meseguer, J. (2002b). Effects of phenoxyethanol on the innate immune system of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) exposed to crowding stress. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 89(1-2), 29-36. [https://doi.org/10.1016/S0165-2427\(02\)00183-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2427(02)00183-6)
- Pankhurst, N. W. (2011). The endocrinology of stress in fish: An environmental perspective. *General and Comparative Endocrinology*, 170(2), 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2010.07.017>
- Paruğ, Ş. Ş. (2012). *Deniz Balıkları Yetiştiriciliğinde Farklı Anestezik Maddelerin Yöntem ve Uygulama Dozlarının Araştırılması* [Doktora Tezi]. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Paruğ, Ş., Jabbr, A., & Lazrag, F. A. H. (2024). Sustainable development of fisheries and aquaculture in North Africa: Current status and future prospects. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(1), 90–105. <https://doi.org/10.58626/menba.1455763>
- Pawar, H. B., Sanaye, S. V., Sreepada, R. A., Harish, V., Suryavanshi, U., Tanu, & Ansari, Z. A. (2011). Comparative efficacy of four anaesthetic agents in the yellow seahorse, *Hippocampus kuda* (Bleeker, 1852). *Aquaculture*, 311(1-4), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.007>
- Person-Le Ruyet, J., Galland, R., Le Roux, A., & Chartois, H. (1997). Chronic ammonia toxicity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 154(2), 155–171.
- Petenuci, M. E., Stevanato, F. B., Visentainer, J., Matsushita, M., Garcia, E. E., & Souza, N. E. (2008). Fatty acid concentration, proximate composition, and mineral composition in fishbone flour of Nile Tilapia. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 58(1), 87-90.
- Piedrahita, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Portz, D. E., Woodley, C. M., & Cech, J. J. (2006). Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16(2), 125-170. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-9012-z>

- Pramod, P. K., Ramachandran, A., Sajeevan, T. P., Thamby, S., & Pai, S. S. (2010). Comparative efficacy of MS-222 and benzocaine as anaesthetics under simulated transport conditions of a tropical ornamental fish *Puntius filamentosus* (Valenciennes). *Aquaculture Research*, 41(2), 309-314. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02333.x>
- Pullin, R. S. V., & Lowe-McConnell, R. H. (1982). *The Biology and Culture of Tilapias*. ICLARM.
- Rairat, T., Chi, Y., Hsieh, C.-Y., Liu, Y.-K., Chuchird, N., & Chou, C.-C. (2021). Determination of Optimal Doses and Minimum Effective Concentrations of Tricaine Methanesulfonate, 2-Phenoxyethanol and Eugenol for Laboratory Managements in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 11(6), 1521. <https://doi.org/10.3390/ani11061521>
- Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics—Integrating fish and plant culture. In J. Tidwell (Ed.), *Aquaculture production systems* (pp. 343–364). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch14>
- Rana, K. J. (1988). Reproductive biology and the hatchery rearing of tilapia eggs and fry. Muir, J.F., & Roberts, R.J. (Eds.), *Recent Advances in Aquaculture* (Vol. 3, pp. 343-406). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-9743-4_5
- Ridha, M. T. & Cruz, E. M. (2001). Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. *Aquaculture Engineering*, 24, 157-166.
- Ross, L. G., & Ross, B. (2008). *Anaesthetic and Sedative Techniques for Aquatic Animals*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Saccol, E. M. H., Jerez-Cepa, I., Ourique, G. M., Pês, T. S., Gressler, L. T., Mourão, R. H. V., Martínez-Rodríguez, G., Mancera, J. M., Baldisserotto, B., Pavanato, M. A., & Martos-Sitcha, J. A. (2018). Myrcia sylvatica essential oil mitigates molecular, biochemical and physiological alterations in *Rhamdia quelen* under different stress events associated to transport. *Research in Veterinary Science*, 117, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.12.009>
- Sadoul, B., & Geffroy, B. (2019). Measuring cortisol, the major stress hormone in fishes. *Journal of Fish Biology*, 94(4), 540-555. <https://doi.org/10.1111/jfb.13904>
- Sadoul, B., & Vijayan, M. M. (2016). Stress and Growth. C. B. Schreck, L. Tort, A. P. Farrell, & C. J. Brauner (Eds.), *Fish Physiology* (C. 35, ss. 167-205). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00005-9>
- Şahin, B., & Kızak, V. (2023). Farklı Su Sıcaklıklarında Gül Ağacı (*Aniba rosaeodora*) Esansiyel Yağının ve 2-fenoksietanolün Japon Balığı (*Carassius auratus*) Üzerindeki Anestezik Etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 9(2), 15-26.

- Sandodden, R., Finstad, B., & Iversen, M. (2001). Transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Anaesthesia and recovery. *Aquaculture Research*, 32(2), 87-90. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00533.x>
- Sedgwick, C. J. (1986). Anesthesia for Fish. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 2(3), 737-742. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)31215-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)31215-9)
- Siddique, M., Mahalder, B., Haque, M., Bashar, A., Hasan, M., Shohan, M., Talukdar, M., Biswas, J., & Ahammad, A. (2023). Assessment of Embryonic and Larval Development of Nile Tilapia under the Traditional and Re-Circulatory Thermostatic System in Relation to Climatic and Water Quality Variations. *Aquaculture Journal*. <https://doi.org/10.3390/aquacj3020008>
- Skår, M. W., Haugland, G. T., Powell, M. D., Wergeland, H. I., & Samuelsen, O. B. (2017). Development of anaesthetic protocols for lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.): Effect of anaesthetic concentrations, sea water temperature and body weight. *PLOS ONE*, 12(7), e0179344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179344>
- Skelton, P. H. (2001). *A Complete Guide to the Freshwater Fishes of Southern Africa*. 2. Baski, Cape Town, South Africa: Struik Publishers.
- Small, B. C. (2003). Anesthetic efficacy of metomidate and comparison of plasma cortisol responses to tricaine methanesulfonate, quinaldine and clove oil anesthetized channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 218(1-4), 177-185. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00302-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00302-2)
- Small, B. C. (2004). Effect of isoeugenol sedation on plasma cortisol, glucose, and lactate dynamics in channel catfish *Ictalurus punctatus* exposed to three stressors. *Aquaculture*, 238(1-4), 469-481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.021>
- Stickney, R. (1986). Tilapia Tolerance of Saline Waters: A Review. *The Progressive Fish-Culturist*, 48, 161-167.
- Sudhakar, M., Kumar, B., Mathimani, T., & Arunkumar, K. (2019). A review on bioenergy and bioactive compounds from microalgae and macroalgae-sustainable energy perspective. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.287>
- Summerfelt, R., & Smith, L. (1990). Anesthesia, surgery, and related techniques. İçinde C. B. Schreck & P. B. Moyle (Ed.), *Methods for Fish Biology* (ss. 213-272). *American Fisheries Society*. <https://doi.org/10.47886/9780913235584>
- Tacon, P., Ndiaye, P., Cauty, C., Menn, F., & Jalabert, B. (1996). Relationships between the expression of maternal behaviour and ovarian development in the mouthbrooding cichlid fish *Oreochromis Niloticus*. *Aquaculture*, 146(3-4), 261-275. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01389-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01389-0)
- Teugels, G. G., & Thys van den Audenaerde, D. F. E. (1991). A Taxonomic Revision of the Genus *Oreochromis*. *Belgian Journal of Zoology*, 121(1), 101-124.

- Tine, M., Thiombane, A. B., Sonko, F., Ndiaye, N. D., & Diadhiou, H. D. (2022). Suitable Temperature, Stocking Density and Feeding Rate for Optimal Growth of Sex Reversed Fry of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Senegal River Strain). *Agricultural Sciences*, 13(07), 897-915. <https://doi.org/10.4236/as.2022.137056>
- Trewavas, E. (1980). A Synopsis of Tilapiine Fish Genera. *Journal of Natural History*, 14(6), 559-564.
- Trewavas, E. (1983). *Tilapiine Fishes of the Genera Sarotherodon, Oreochromis, and Danakilia*. British Museum (Natural History).
- Troell, M., Naylor, R. L., Metian, M., Beveridge, M., Tyedmers, P. H., Folke, C., Arrow, K. J., Barrett, S., Crépin, A.-S., Ehrlich, P. R., Gren, Å., Kautsky, N., Levin, S. A., Nyborg, K., Österblom, H., Polasky, S., Scheffer, M., Walker, B. H., Xepapadeas, T., & De Zeeuw, A. (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(37), 13257-13263. <https://doi.org/10.1073/pnas.1404067111>
- Turner, G. F., Seehausen, O., Knight, M. E., Allender, C. J., & Robinson, R. L. (2001). How many species of cichlid fish are there in African lakes? *Molecular Ecology*, 10(3), 793-806. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2001.01200.x>
- Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water Supply and Water Scarcity. *Water*, 12(9), 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
- Van Der Laan, R., Eschmeyer, W. N., & Fricke, R. (2014). Family-group names of Recent fishes. *Zootaxa*, 3882(1), 1-230. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3882.1.1>
- Velíšek, J., & Svobodová, Z. (2004). Anaesthesia of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.) with 2-phenoxyethanol: Acute Toxicity and Effects on Biochemical Blood Profile. *Acta Veterinaria Brno*, 73(2), 247-252. <https://doi.org/10.2754/avb200473020247>
- Velíšek, J., Svobodová, Z., & Piačková, V. (2005). Effects of Clove Oil Anaesthesia on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno*, 74(1), 139-146. <https://doi.org/10.2754/avb200574010139>
- Velíšek, J., Svobodová, Z., & Piačková, V. (2007). Effects of 2-phenoxyethanol Anaesthesia on Haematological Profile on Common Carp (*Cyprinus carpio*) and Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Acta Veterinaria Brno*, 76(3), 487-492. <https://doi.org/10.2754/avb200776030487>
- Wagner, G. N., Singer, T. D., & Scott McKinley, R. (2003). The ability of clove oil and MS-222 to minimize handling stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): Anaesthetic effects on handling stress. *Aquaculture Research*, 34(13), 1139-1146. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00916.x>

- Walsh, C. T., & Pease, B. C. (2002). The use of clove oil as an anaesthetic for the longfinned eel (*Anguilla reinhardtii*, Steindachner). *Aquaculture Research*, 33(8), 627–635. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00701.x>
- Wang, M., Yan, Y., Liu, W. vd. (2024). Proline metabolism is essential for alkaline adaptation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J Animal Sci Biotechnol* 15, 142. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01100-w>
- Wang, N., Erickson, R., Ingersoll, C., Ivey, C., Brunson, E., Augspurger, T., & Barnhart, M. (2008). Influence of pH on the acute toxicity of ammonia to juvenile freshwater mussels (fatmucket, *Lampsilis siliquoidea*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27. <https://doi.org/10.1897/07-193.1>
- Watanabe, W. O., Losordo, T. M., Fitzsimmons, K & Hanley, F. (2002). Tilapia production systems in the Americas: Technological advances, trends, and challenges. *Reviews in Fisheries Science*, 10(3-4): 465–498. <http://dx.doi.org/10.1080/20026491051758>
- Wu, F., Wen, H., Tian, J., Jiang, M., Liu, W., Yang, C., Yu, L., & Lu, X. (2018). Effect of stocking density on growth performance, serum biochemical parameters, and muscle texture properties of genetically improved farm tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, 26(5), 1247-1259. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0281-z>
- Xu, Z., Cao, J., Qin, X., Qiu, W., Mei, J., & Xie, J. (2021). Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. *Animals*, 11(11), 3304. <https://doi.org/10.3390/ani11113304>
- Xuan, B. B., Sandorf, E. D., & Ngoc, Q. T. K. (2021). Stakeholder perceptions towards sustainable shrimp aquaculture in Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 290, 112585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112585>
- Yamaguchi, R., & Iwasa, Y. (2013). First passage time to allopatric speciation. *Interface Focus*, 3(6), 20130026. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2013.0026>
- Yıldız, M., Kayım, M., & Akin, S. (2013). The Anesthetic Effects of Clove Oil and 2-Phenoxyethanol on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) at Different Concentrations and Temperatures. *Iranian Journal of Fisheries Science*, 12(4), 947-961
- Yılmaz, B., 1999. *Hormonlar ve Üreme Fizyolojisi*. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Zahl, I. H., Samuelsen, O., & Kiessling, A. (2012). Anaesthesia of farmed fish: Implications for welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 201-218. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9565-1>
- Zhang, H., Wang, Q., Dong, Y., Mei, J., & Xie, J. (2023). Effects of Tricaine Methanesulphonate (MS-222) on Physiological Stress and Fresh Quality of Sea

Bass (*Lateolabrax maculatus*) under Simulated High-Density and Long-Distance Transport Stress. *Biology*, 12(2), 223. <https://doi.org/10.3390/biology12020223>



EKLER

EK A. Kastamonu Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu Kararı



T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu

Sayı : E-16498365-000-2200064926
Konu : HADYEK Karar

05.07.2022

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Şenol PARUĞ

23.06.2022 tarihli dilekçeniz Kastamonu Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulumuzun 24.06.2022 tarih ve 3 sayılı oturumunda görüşülmüştür.

TOPLANTI TARİHİ : 24.06.2022

TOPLANTI SAYISI : 3

KARAR NO 15:

Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Şenol Paruğ'un yürütücülüğünde yapılacak olan "**Ciklitgiller (Cichlidae) için Anestezi ve Uzun Süreli Kapalı Ortam Transferlerine Yönelik Hafif Sedasyon Konsantrasyonlarının Stres İndikatörleriyle Birlikte Belirlenmesi**" isimli çalışma ile ilgili Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Şenol Paruğ'un 23.06.2022 tarihli dilekçesi ile ekleri görüşüldü.

Yapılan görüşmelerden sonra adı geçen araştırma çalışmasının 732 hayvanda yürütülmesinin oy çokluğu ile kabulüne karar verildi.

Doç. Dr. Elif DOĞAN
Kurul Başkanı

Belge Doğrulama Kodu: 4AHTCD7

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Takip Adresi: www.kastamonu.edu.tr/belgedogrulama

Adres: Kastamonu Üniversitesi Rektörlüğü, Kureykest Kampüsü, Merkez Kastamonu

Telefon No: (0 366) 2801102

e-Posta:

Kep Adresi: kastamonuuniversitesi@hs01.kep.tr

Faks No: (0 366) 2801038

İnternet Adresi: www.kastamonu.edu.tr

Bilgi için :

Elif Doğan

Kurul Başkanı

Telefon No:

(0 366) 2805110

