

## BALIK YEMLERİNDE DOĞAL KAROTENOİD KAYNAKLARININ KULLANIMI

Nihat Yeşilayer<sup>1\*</sup>, Gaye Doğan<sup>2</sup>, Muammer Erdem<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi Almus Meslek Yüksekokulu, Tokat

<sup>2</sup>Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Sinop

### Özet:

Hayvansal ürünlerin üretim ve pazarlamasında tüketici istekleri göz önüne alındığında tüketicinin seçimini etkileyecek bazı fiziksel özelliklerin ön plana çıkarılması gerekmektedir. Bu fiziksel özelliklerden birisi de renktir. Tüketiciler, genelde hoş giden pembe-kırmızı renkli balık etlerini tercih etmekte ve bu ürünlere daha fazla fiyat vermektedirler. Balık etinde görülen renk, lezzet üzerinde herhangi bir etki yapmamasına rağmen, tüketicinin tercihinde önemli kalite kriterlerinden birisidir. Su ürünlerinde deri ve ette arzu edilen renk, karotenoid grubu renk maddelerinin kullanımı ile sağlanmaktadır. Karotenoidleri sadece bitkiler, algler, bazı mantar ve bakteri türleri kendi kendilerine sentezleyebilirler. Balıklar karotenoidleri kendileri sentezleyemedikleri için yemlerine renk maddesi olarak sentetik ya da doğal karotenoid kaynakları ilave edilmelidir. Ancak yemlere ilave edilen sentetik karotenoidlerin, yemin fiyatını % 20-25 oranında artırdığı düşünüldüğünde, balıkların pigmentasyonunda kullanılabilecek yurt içinde üretilen doğal karotenoid kaynaklarının kullanılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Bu derlemede, kültürü yapılmakta olan balıkların yemlerine ilave edilebilecek doğal karotenoidlerin kullanımı özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karotenoid, pigmentasyon, balık yemi

### Abstract:

### The use of natural carotenoid sources in fish feed

Consumer request must be considered on culture and marketing of animal products. Some physical factors are considered based on consumer preferences. One of the physical properties is colour. Consumers have generally preferred pink-red colored products of fish and pay more cost. Although colour of fish flesh has no affect on flavor, it is an important quality criteria for consumer. The desired colour in flesh and skin of aquatic organism is obtained by the pigment materials known as carotenoids. Carotenoids can be synthesized only plants, alg, some fungus and bacterium spp. Carotenoids are the major pigmenting compounds and can not typically be synthesized by fish; therefore it must be supplemented by synthetic or natural carotenoid sources to the fish feed. However addition of carotenoids to fish feeds increase the cost of fish feed about 20-25 %. Therefore the use of native carotenoid sources for fish pigmentation. In this review, the use of natural carotenoid sources are summarized for fish feed in aquaculture.

**Keywords:** Carotenoid, pigmentation, fish feed

\* Correspondence to: Dr. Nihat YEŞİLAYER, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Almus Meslek Yüksekokulu, Tokat-TÜRKİYE

Tel: +90 356 2521616/2782 Fax: +90 356 2521232

E-mail: [nihatvesilayer@hotmail.com](mailto:nihatvesilayer@hotmail.com)

## Giriş

Ülkemizde, su ürünleri sektöründe modern yetiştiricilik ünitelerinin kurulması ve yeni türlerin ülkemizde yetiştiriciliğinin başlaması sonucu yetiştiricilik yoluyla, toplam su ürünleri üretimindeki payı % 15'e yaklaşmıştır.

Üretimin artması ve kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını sağlamak için, ekosistemi bozmadan devamlılığın sağlanması esas olmalıdır. Bu gelişim süreci içerisinde her şeyin doğal olmasını isteyen tüketici talepleri, gelişmiş ülkelerde giderek artmaktadır. Artan üretim, beraberinde birtakım problemleri de getirmektedir. Bunların başında pazarlama gelmektedir. Tüketicinin seçimini etkileyecek ve isteğine cevap verebilecek ürünün dış görünüşü, renk, tazelik gibi fiziksel özellikler büyük önem taşımaktadır. Diler ve Gökoğlu (2004)'ün, Gökkuşluğu alabalığı yemlerine pigment ilavesi olarak eşit oranlarda (60 mg/kg) sentetik astaksantin, karides unu ve kırmızı biber unu ilave ettikleri çalışmanın sonunda, pigment ilave edilen yemlerle beslenen gruplardaki balıkların et rengi, genel görünüş ve lezzet bakımından (duyusal özellikler) kontrol gruplarındaki balıklara göre önemli derecede farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Tüketicinin isteğini karşılayan standart ürünler elde edilmesi, Türkiye'nin ihracatında sağlam bir pazar ortamının yaratılması açısından da çok önemlidir (Ergün, 1998).

Hayvansal ürünlerin üretim ve pazarlamasında tüketici istekleri ön plana çıkarılarak, tüketicinin seçimini etkileyecek bazı fiziksel özelliklerin bulunması gerekir. Bu fiziksel özelliklerin birisi de renktir. Tüketici tercihlerinde farklılıklar olmakla birlikte, doğal ortamda yetişen alabalıklarda et rengi pembe-kırmızı olduğundan, kültüre alınan alabalıklarda da, tüketici tarafından pembe-kırmızı renk aranmakta ve bu ürünlere daha yüksek değer verilmektedir (Chaubert, 1983; Torrison, 1986). Balık rasyonlarında pazar problemini yaşatmayacak renk maddelerinin uygun şekilde kullanılması, su ürünlerinde başarılı olmanın şartlarından biridir.

Pigmentasyon, deniz balıkları, tatlısu balıkları, karides, istakoz ve akvaryum balığı yetiştiriciliğini kapsayan önemli bir konudur. Su ürünlerinde pigmentasyon, yemlerde karotenoid kullanımı ile balıkların ve diğer canlıların deri, et ve yumurtalarının kırmızı, sarı, pembe vb. renkler içermesi ile gerçekleşir.

Karotenoidler birçok meyve (domates, mango, ananas, biber), çiçek, kuş (flamingo, kanarya), böcek ve sucul organizmanın (krustase, salmon) güzel renkli olmasını sağlarlar. Doğadaki toplam karotenoid üretiminin yaklaşık 100 milyon ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Gouveia, 2003).

Doğada karotenoidler 700'ün üzerinde yağda çözünebilir bir pigment grubunu oluşturur. Bu pigmentler çok sayıda bulunmasına rağmen balık, karides gibi canlılar karotenoidleri besin zinciri içerisinde avlarından alırlar. Karotenoidleri sadece bitkiler, algler, bazı mantar türleri ve bakteri türleri kendi kendilerine sentezleyebilirler (Lorenz ve Cysewski, 2000).

Balıklar, karotenoidleri dönüştüremezler yalnızca yemin içinde bulunan karotenoidleri deri ve etlerinde tutabilirler. Salmonlarda etin rengi pembe veya kırmızı olmaktadır. Doğada yaşayan gökkuşluğu alabalıklarının etinde bulunan karotenoid astaksantin'dir. Astaksantin antikanserojen ve antioksidandır (Schiedt et al., 1985). Astaksantin'in yanı sıra doğal salmonidlerde bulunan başlıca karotenoidler; kantaksantin,  $\beta$ - karoten, lutein, tunaksantin, fukosantin ve zeaksantindir. Astaksantin genellikle ette serbest formda, deride mono ve diester olarak bulunmaktadır (Chritophersen ve ark., 1989).

Alabalıklarda pigmentasyonu sağlayan karotenoidleri araştırmak için yemlere; hayvansal kaynaklardan olan krustase ve bunların yan ürünleri, zooplankton, bitkisel kaynaklardan ise kırmızı biber, kadife çiçeği, yonca unu, kabak çiçeği, alglerden *Spirulina* spp., *Haemococcus* spp., mayalardan da *Rhodospirillum rubrum* ve *Phaffia* spp. katılmıştır (Torrison ve ark., 1989).

Salmonid türü balıkların etinin renklendirilmesi, pazarlama aşamasında karşılaşılan sorunlardan birisidir. Doğadaki balıklar ile kültürü yapılan balıklar arasındaki farkın en aza indirilmesi, daha kolay alıcı bulunmasını sağlayacaktır. Yetiştiricilik yoluyla, üretim miktarının artışına bağlı olarak pazarda rekabet artmakta ve dolayısıyla, kalite ve fiyat pazarda önemli faktörler haline gelmektedir. Yetiştiricilik yoluyla üretilen salmonidler, dünyanın değişik bölgelerine çeşitli kalite isteklerine göre ihraç edilmekte ve bu pazarların istekle-

rine göre ürün elde etmek, rekabet açısından büyük önem taşımaktadır (Torrissen ve ark., 1995).

Yeme ilave edilen sentetik karotenoidlerin maliyetin yükselmesine sebep olması (yaklaşık olarak 2500 A.B.D. Dolar/Kg) ve doğala yakın ürünler için tüketici taleplerinin sentetikten yana olmaması, doğal karotenoidlerin tercih edilmesi sonucunu doğurmuştur (Lorenz ve Cysewski, 2000). Yetiştiricilikte salmonid yemlerine ilave edilen sentetik karotenoidlerin, yemin fiyatını %20-25 artırdığı, toplam ürün maliyetini ise %10 yükselttiği belirtilmiştir (Torrissen ve ark., 1995). Son yıllarda yapılan araştırmalarda, pigmentasyon amacı ile balık yemlerine karotenoid ilave edilmesine ek olarak, yavruların yemlerine en az 5.3 mg/kg karotenoid katılmasının, balıkların büyüme ve yaşama oranlarında artışa neden olduğu kanıtlanmıştır (Christiansen, 1995). Bu derlemede, balık yemlerine ilave edilebilecek doğal karotenoidlerin kullanımı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

### Karotenoidlerin Tanımı

Karotenoid, hayvanlar ve bitkiler aleminde doğal olarak meydana gelen pigmentlerin en yaygın gruplarından birisinin genel ismidir. Bugüne kadar; sarıdan kırmızıya değişen renklerde, doğada 700'ün üzerinde karotenoid tanımlanmıştır. Karotenoidlerin çoğu çift halkalı, 40 karbon atomu içeren doymamış hidrokarbonlardır. Karotenoidlerin oksijen içerenleri ksantofiller olarak adlandırılırken, tamamen karbon ve hidrojenenden oluşanlar ise karotenler adlandırılır. Karotenoidler esas pigment bileşikleri olup, balıklar tarafından sentezlenemezler fakat diğer çoğu pigment bileşikler balıklar tarafından üretilebilir (Anderson, 2000).

Karotenoidler diğer lipidler gibi, organik çözücülerde çözünürler ve bunların yardımı ile bitkilerden ekstrakte edilebilirler. Bunlar yağda da çözünürler. Birçok doğal yağa sarı rengi veren karotenoidlerdir. Karotenoidler, çift bağ ihtiva ettikleri için havadaki oksijenle ve ultraviyole ışınlarla hızla oksitlenmektedirler (Akyurt, 1993).

### Karotenoid çeşitleri

Renklenme, doğadaki balıkların savunma mekanizmalarının yanısıra, sosyal yapılarında da rol oynar. Balıklar değişik görünmelerini sağlayan birçok hassas yapıya sahiptirler. Ba-

lıkların vücut renkleri, derilerindeki kromatafor denilen özel hücrelerin varolmasına bağlıdır. Bu hücreler pigmentleri veya ışık yayan yada ışık yansıtan organelleri kapsar. Biyolojide, bitki veya hayvan doku veya hücrelerindeki renklenmeyi sağlayan her maddeye pigment denir (Anderson, 2000). Hücrelerdeki renklenmeyi sağlayan pigmentlerin 4 ana grubu vardır. Bunlar;

1. **Melanin:** Balıklarda siyah renklenmeyi sağlayan pigment çeşitidir.
2. **Pteridin:** Suda çözünen bileşiklerdir. Karotenoidler gibi parlak renk verirler. Karotenoidlerle karşılaştırıldığında renklenmede küçük bir rol oynarlar.
3. **Purine:** Guanin en çok bilinen çeşitidir. Guanin, çoğu balık türünün derisinde gümüşü renkli karın kısmında çok fazla miktarda bulunur.
4. **Karotenoid:** Sarı ve kırmızı renkleri veren ve yağda çözünen renk maddesidir.

Bu temel bileşikler protein gibi diğer bileşiklerle kombine olabilirler ve mavi, menekşe ve yeşil renkleri üretmek için balıklarda dağılım gösterirler. Karotenoid, etteki dominant pigment maddesidir. İstakoz ve karideste, astaksantin, karotenoprotein üretmek için bir protein ile bağlanır. Bu karotenoprotein krustaselerde mavi bir renk oluşturur. Karotenoprotein molekülü sıcaklıkta bağlanır ve astaksantin karakteristik özelliği sonucu, pişirilmiş istakoz ve karides kırmızı renk alır (Anderson, 2000).

Karotenoidler, pazara sunulan ürünlerin, renk bakımından doğal yetişenler ile benzerlik sağlaması amacıyla yetiştiriciliği yapılan türlerin yemlerine katılırlar (Anderson, 2000).

Çeşitli araştırmacılar tarafından renk verici karotenoidler kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmıştır. Nitekim, Braunlich ve Hoffman (1974)'e atfen Kırkpınar (1993) renk verici karotenoidleri 5 gruba ayırmıştır.

1. **Hidroksi-karotenoidler:** Lutein, zeaksantin, kriptosantini örnek olarak verebiliriz. Karotenoidlerden en önemli olanı ksantofil (Lutein) et ve yumurtaya sarı renk verendir. Doğadaki birçok bitkisel organizmada özellikle mısır, kadife çiçeğinde bulunur (Akyurt, 1993).

2. **Keto-karotenoidler:** Astaksantin, kantaksantin, ekinekon. Sucul organizmaların çoğunluğunda az miktarda da olsa mevcuttur.
3. **Alkoloid-karotenoidler:** Kapsantin, kapsorubin ve kırmızı biberi örnek verilebilir.
4. **Polioksi-karotenoidler:** Viyolaksantin, neoksantin  **$\beta$ -karotenin parçalanma üniteleri:**  $\beta$ -apo-8 karotenol,  $\beta$ -apo-8 – karotenoik asit etil ester. Karotenler tabiatla alfa beta, gama formlarında bulunmaktadır. Bu üçü arasındaki fark, zincir sonundaki farklı iyonun halkasından kaynaklanmaktadır (Akyurt, 1993).

### Karotenoidlerin fonksiyonları

- Üreme dönemindeki erkek balıkların derisine çekici bir görünüm verirler.
- Sperm için çekicidirler.
- Döllenmeyi artırıcı bir maddedir, yumurtaların daha yüksek bir oranda döllenmesini sağlarlar.
- Çevresel etkilere karşı koruyucudurlar. Zararlı ışığa, yüksek sıcaklığa, düşük oksijen ve amonyak gerilimine karşı etkilidirler.
- Antioksidan ve antikanserojen etkilere sahiptirler.
- Strese karşı koruma sağlarlar.
- Vitamin A yetmezliği olan yemlerde, provitamin A olarak yetmezliği tolere ederler. Provitamin A1 ve A2 balık vücudunda vitamin A'ya çevrilir.
- İmmün(bağışıklık) sistemin gelişimini desteklerler.
- Larval yemlere ilave edildiğinde yaşama ve büyüme oranında artış sağlarlar.
- Üreme dönemine doğru balık etinden üreme organları ve yumurtalara taşınırlar.
- Büyüyen balıkların deri ve etlerinde birikerek seksüel cazibe yaratırlar dolayısıyla üremede rol oynarlar.
- Yetiştiriciliği yapılan balıkların etlerinde tutunma sağlayarak doğadaki balıklarla aynı görünümü kazanırlar ve pazarlamada yetiştiricilere kolaylık

sağlarlar (Meyers, 1994 ; Torrissen, 1989a, 1989 b; Torrissen ve ark., 1989).

Balıklarda pigmentasyonu etkileyen faktörler; karetonoid kaynağı, balık türü, balık büyüklüğü, yemleme süresi, yemin içeriği, rasyondaki karotenoid konsantrasyonu, yemleme düzeyi, balığın hayat devresi, kalıtsal faktörler ve çevresel faktörler şeklinde sıralanabilir.

### Balık Yemlerinde Kullanılan Karotenoid Kaynaklar

Su ürünlerinde, yetiştiriciliği yapılan canlıların renklenmesi için, kimyasal yollarla elde edilen **sentetik** ve **doğal** karotenoid kaynakları kullanılmaktadır. Balık yemlerinde sentetik karotenoid kaynakları kullanımı "Roche" firmasının 1964 yılında kantaksantini (Torrissen ve ark., 1989), daha sonraki yıllarda ise su ürünleri yetiştiriciliğinde en fazla kullanılan astaksantini üretmesiyle başlamıştır. Jelatin veya benzeri taşıyıcılar içinde dayanıklı bileşikler olarak yeme ilave edilen sentetik astaksantin ve kantaksantin, salmonid türü balıkların yemlerinde en çok kullanılan karotenoid kaynaklarıdır. "Carophyll red" ve "Carophyll pink" adı altında satılan bu ürünler oldukça pahalıdır, fakat saklanmaları, kullanılmaları ve piyasadan temin edilmeleri kolaydır.

### Su ürünleri yetiştiriciliğinde doğal karotenoidlerin kullanılmaları

#### Deniz balıkları ve salmonidler

Bu tür canlıların genellikle deri ve etlerindeki renklenme önemlidir. Aynı zamanda damızlık balıkların karotenoidli yemlerle beslenmesi yumurta üretimi ve kalitesini artırır. Ayrıca Vit-A kaynağı ve antioksidan madde olarak kullanılırlar; bu türler aşağıda belirtilmiştir.

Karotenoidler, salmonlar, gökkuşuğu alabalığı, kırmızı mercan, çipura, fangri ve sarı kuyruk balıklarında uygulanmıştır.

**Salmon ve alabalık yetiştiriciliği:** Salmon yetiştiriciliğinin hızlı büyümesi pigmentler için aşırı talep yaratmaktadır. Salmonlarda et rengi, balıklara verilen yemin içerdiği astaksantin ve diğer karotenoidlerin absorpsiyonu ve ette depolanması sonucunda oluşur. Salmonlar karotenoidleri sentezleyemedikleri için karote-

noid pigmentleri yapay yemlerden sağlamaktadırlar (Steven, 1948; Goodwin, 1984).

Norveç'te yapılan son araştırmalar, karotenoidlerin sadece pigmentasyon amacıyla değil aynı zamanda atlantik salmon yavrularının yemlerine katıldığında iyi bir büyüme ve yaşama oranı elde edildiğini ortaya çıkarmıştır (Christiansen, 1995). 5.3 ppm'den daha yüksek düzeylerde karotenoid içeren yemlerle beslenen balıklarda normal bir büyüme sağlanmış ve lipid seviyesi önemli derecede yüksek bulunmuştur. Yavru salmonların yemlerine 1 ppm'den düşük düzeyde astaksantin katıldığında yaşama oranının az olduğu ve bireylerin %50'den fazlasının öldüğü; bu gruplara 1 ppm'den yüksek düzeyde astaksantin verildiğinde ise yaşama oranının % 90'dan fazla olduğu görülmüştür. Böylece, astaksantin minimum 5.1 ppm düzeyinde yeme ilave edilmesiyle, esansiyel bir vitamin olarak tespit edildiği ilk tür Atlantik salmonudur. Aynı zamanda yemdeki düzeyin 13.7 ppm ve yağ oranının %20 seviyesine çıkartılmasının 5.3 ppm'lik seviyeden daha iyi bir sonuç verdiği belirtilmiştir (Christiansen, 1995).

Günümüzde, salmonlarda pigmentasyon için sentetik astaksantine alternatif en iyi kaynak kırmızı maya *Phaffia rhodozyma* ve pigmentasyon kaynaklarının karşılaştırması yapıldığında ise *Haematococcus* alg ununun sentetik astaksantine eşit veya daha iyi pigmentasyon sağladığı görülmüştür (Lorenz ve Cysewski, 2000). *Haematococcus* alg unu ilave edilen yemlerle beslenen gökkuşuğu alabalıklarının deneme sonunda etlerindeki karotenoid konsantrasyonu (6.2 mg/kg) pazar için kabul edilen değerlerin üstünde çıkmıştır (Choubert ve Heinrich, 1993).

Kırmızı maya ve sentetik astaksantin karşılaştırmasının yapıldığı çalışmada Atlantik salmonun etindeki karotenoid miktarı kırmızı maya ilave edilen grupta daha iyi bulunmuştur (Bjerkeng ve ark., 2007).

Ülkemizde kırmızı biber unu ve ekstratının salmon ve alabalık yetiştiriciliğinde alternatif doğal karotenoid kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Kırmızı biber ve sentetik astaksantin karşılaştırılmasının yapıldığı araştırmada rasyona %3 ve %6 oranında kırmızı biber, sentetik astaksantin ise %0.05 (Carophyll pink %8) oranında katılmıştır. Ette karotenoid konsantrasyonu, kırmızı biberle beslenen balıklarda sentetik astaksantinle bes-

lenen gruba göre düşük olmakla beraber, kontrol grubuna göre önemli derecede farklı bulunmuştur (Ergün ve Erdem, 2000). Diler ve diğerleri (2005), gökkuşuğu alabalığı etinde istenen renklenmeyi sağlamak için yemlere karotenoid kaynağı olarak sırasıyla 30 ve 60 ppm oranlarında kırmızı biber unu, karides artık unu ve sentetik astaksantin kattıkları denemede balık etindeki en iyi karotenoid konsantrasyonunun 60 ve 30 ppm'lik sentetik astaksantin grubunda olduğunu tespit etmişlerdir. Bu grupları 60 ve 30 ppm'lik kırmızı biber unu takip etmiştir. Kırmızı biber ununun fiyat avantajı ve uzun süreli bir kullanım sonrasında alabalıklarda yeterli pigmentasyonu sağlayabileceği sonucuna varmışlardır. Son yapılan araştırmalarda alabalık yemlerine 80 mg/kg oranında ilave edilen kırmızı biber ekstratlarının (oleoresin paprika) alabalık etinde istenen pigmentasyonu sağladığı belirtilmiştir (Ingle de la Mora ve ark., 2006).

#### **Kırmızı mercan ve çipura yetiştiriciliği :**

Kırmızı mercan (*Chrysophrys major*, *Pagrus major*), Çipura (*Sparus aurata*) vb. balıkların derisindeki pigmentasyonun yoğunluğu, bu balıkların pazar değerini artırır (Tanaka ve ark., 1976). Çipura yetiştiriciliğinde balıklardaki renk azalmasının nedeni, astaksantin içermeyen yemlerin pigment maddesi noksanlığından kaynaklanmaktadır. Çipura doğal yaşam ortamında sadece %5 düzeyinde astaksantin içeren yemlerle beslenir, geri kalan kısmı ise astaksantin içermeyen yemler oluşturur. Doğadan yakalanan balıkların mide içeriklerinde *Squilla oratoria* ve astaksantin ihtiyacını sağlayan diğer krustaseler bulunmuştur (Katayama ve ark., 1972). Çipuralar, beta karoten, lutein, kantaksantin ve zeaksantin gibi karotenoid içeren yemleri astaksantine çeviremediğinden renksiz olmaktadır. Yetersiz karotenoid alımı sonucunda metabolizmada yavaşlama ve kötüye gitme görülür ki buda deride ve ette renk kaybına neden olur. Bu sebeplerden dolayı yetiştiriciliği yapılan çipuralarda kırmızı pigmentasyon elde etmek için astaksantin içeren karotenoid kaynaklarına ihtiyaç duyulur (Tanaka ve ark., 1972; Katayama ve ark., 1965). Astaksantinli yemlerle yapılan çalışmada, 100 ppm astaksantin içeren yemle beslenen balıkların, serbest astaksantinli yemle beslenenlere oranla ikinci aydan sonra 1.7 kat deride daha iyi bir renklenme gösterdiği bildirilmiştir (Ito ve ark., 1986). *Chlorella vulgaris* ilave edilen yemlerle

beslenen çipura balıkları 9 haftanın sonunda sentetik karotenoid kaynağı astaksantine göre deri ve ette benzer sonuçlar elde edilmiştir (Gouveia ve ark., 2002). *Haematococcus pluvisais* unu ve karides kabuğu unu ilave edilen yemlerle yapılan çalışmalarda *Pagrus pagrus* balıklarında da pigmentasyon sağlanmıştır (Kalinowski ve ark., 2005; Tejera ve ark., 2007).

Agius ve ark. (2001) damızlık sarı kuyruk (*Seriola quinqueradiata*) balıklarının yarı nemli peletlerine karotenoid kaynağı olarak kırmızı biber ilavesinin kuluçka randımanına etkisini araştırmışlardır. Kırmızı biber ilavesi yumurta ve besin kesesi çekilmemiş larvaların yağ asidi ve lipid profilini etkilememiştir. Bu sonuçlar altında kırmızı biber ilaveli yarı nemli yemin sarı kuyrukta yumurta üretiminde, yaşama oranında ve iyi kalitede yavru üretiminde etkili olduğu belirtilmiştir.

### Tatlı su balıkları

Akvaryum balıkları (Ornamental balıklar), Sazan, Çiklit, Tilapia, Altın balık ve Koi balıklarının yetiştiriciliğinde karotenoid uygulanmaktadır.

**Akvaryum balığı yetiştiriciliği:** Tropikal balıkların parlak karotenoid renklere sahip olması, sadece çiftleşmenin sinyali ve türlerin tespit anahtarı olmayıp, aynı zamanda önemli fizyolojik rollere de sahiptir. Akvaryum balıkları, karotenoidleri algler, mercanlar ve avlarından aldıkları pigmentlerden elde ederler. Kopepod, euphasia ve mikro krustaseler büyük bir çeşitlilikle bütün deniz canlılarının ilk besinini oluşturan ve bol miktarlarda bulunan canlılardır. Astaksantin ve tunaksantin kompleks veya kompleks oluşturmadan bütün denizel organizmalarda bol miktarlarda bulunur.

Tropikal deniz akvaryum balık yetiştiriciliğinin en büyük sorunlarından biri balığın doğal renklenmesini kusursuz bir şekilde sağlamak ve rengin bozulmadan kalmasını beslenme süresince devam ettirmektir. Birçok araştırma ve bilimsel çalışmada pigmentasyon kaybının sonucu olarak, balıkların iyi şekilde pazarlanmasının yapılamadığı belirtilmiştir. Birçok karotenoid kaynağında bu problemin giderilmesi için çalışılmış, fakat hiçbiri *Haematococcus* türünden daha etkili bir sonuç vermemiştir. Ticari anlamda, 30 ppm oranında astaksantin, canlı ve yüzen yemlere ilave edilerek kullanıldığında tetra, çiklit, gurami, altın

balık, koi ve danios'larda önemli bir renk gelişmesi sağlandığı görülmüştür. Son yapılan çalışmalarda ise, palyaço balıklarının yemlerine 100 ppm'lik astaksantin ilavesi (*Amphripion ocellaris* ve *Premnas biaculeatus*) yapıldığında, bir haftalık periyot içerisinde sarı, kestane ve siyah pigmentasyon palyaço balıklarında önemli oranda artmıştır. Sonradan %1'lik *Haematococcus* alg unu kılıçkuyruk, kırmızı velvet, rainbow köpekbalığı, topaz ciklit, diskus, pembe dudaklı gurami ve rosy barb ların büyüme yemlerine katıldığında, bir hafta içinde her türün pigmentasyonunda önemli gelişmeler saptanmış ve bazı türlerde ise hızlı büyüme oranları yakalanmıştır. *Haematococcus* algi nisbi olarak yüksek konsantrasyonlarda kullanılmasına rağmen birçok ticari üretici pazar için hızlı bir pigmentasyon muamelesi kullanmayı tercih eder. Pigmentasyon için, daha düşük dozajlar etkili olabilir (Ako ve Tamaru, 1999).

Tropikal akvaryum balıklarından tetrazon (*Barbus tetrazona*), altın mermer balığı (*Pterophyllum scalare*) ve altın tilapya (*Oreochromis mossambicus*) balığını kapalı devre tatlı su sisteminde farklı karotenoid pigment kaynağı içeren yemlerle besleyen Duncan ve ark. (1994), karotenoid kaynağı olarak yemlere, 50 ve 200 ppm oranlarında kırmızı biberden (*Capsicum annum*) elde edilen ekstrakt ve mavi yeşil alglerden *Spirulina* sp. ilave etmişlerdir. 10 hafta boyunca günde iki kez yemlenen balıklar deneme sonunda, panelistler tarafından renk standartlarına göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, karotenoidli yemlerle beslenen tüm balıkların karotenoid içermeyen kontrol grubuna göre derilerinin daha iyi renklendikleri ve tetrazon için en iyi renklenmenin 200 ppm toplam karotenoid içeren kırmızı biber ekstraktı veya mavi yeşil alg katılan yemlerle beslenenlerde görüldüğü ancak, 50 ve 200 ppm kırmızı biber ekstraktı içeren yemle beslenen balıklar arasında renklenme oranında bir fark görülmediği bildirilmiştir. *Spirulina* sp. ile beslenen tetrazonlarda, sarı-portakal renginden portakal-kırmızı renge kadar değişen deri renkleri ve kırmızı biberle beslenenlerde ise daha kırmızısı-portakal deri renginin oluştuğu saptanmıştır. Benzer şekilde, kırmızı biber ekstraktı ile beslenen altın mermer balıklarında portakal kırmızısı renk ile en iyi deri renklenmesinin oluştuğu belirtilmiştir. Altın tilapya da yine aynı pigment kaynakları içeren yemlerle beslenmiş ve sonuçta tüm

pigment kaynaklarının derinin pigmentasyonu üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir. Kırmızı biberin diğer balıklarda olduğu gibi tilapyada da deride, portakal-kırmızı renge, buna karşın *Spirulina* sp.'nin ise deride sarı-portakal renge yol açtığı bildirilmiştir.

**Karides yetiştiriciliği :** Dünyada kuruma karides (*Penaeus japonicus*) ve kaplan karides (*Penaeus monodon*)'in talep ve üretimi devamlı olarak artmakta ve yaygın şekilde yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu karideslerin pazar değeri vücut renklerinin görsel cazibe temeline dayanır. Astaksantin penaeus karideslerinden izole edilen dominant pigment olarak belirtilmiştir. Pişirildiğinde ortaya çıkan kırmızı renk istenilen sonuçtadır. Krustaseler vücut rengi hypodermal kromotoforlar ve epidermal dış iskeletteki pigment tabakasında mevcut olan karotenoidlerin kalitatif ve kantitatifine bağlıdır. (Katayama ve ark., 1972). Epidermal dokudaki mevcut astaksantin monoesterli formudur. Dış iskelette yoğunluğu fazla olan karotenoid ve protein (karotenoproteinler ve karotenolipoproteinler) kompleksidir. Astaksantin kırmızı bir pigment oluşturur fakat diğer proteinlerle yapı oluşturduğunda maviyesilden, kahverengiye kadar değişen renkler oluşturur ve ışık absorbansı değişir. Böylece astaksantin farklı yapıda olmasına rağmen, bir çok farklı renk meydana getirebilir.

Pişmiş krustaselerin kırmızı rengi alması, sıcaklığa maruz kaldığında karotenoproteinlerden prosthetic grubun astaksantinden ayrılmasıyla meydana gelmektedir.

*Penaeus monodon* yetiştiriciliğinde yemdeki astaksantin eksikliği mavi renk sendromu veya mavi hastalığının sebebi olarak gösterilir. 50 ppm astaksantin içeren yemlerle 4 haftalık beslemeden sonra hastalıklı karidesler normal yeşilimsi kahverengi pigmentasyonlu haline geri dönmüştür. Dokularındaki analizlerde karotenoid içeriğinde %300' den fazla bir artış göstermiş ve normal bir görünüş sağlamışlardır. Astaksantin içermeyen ticari yemlerle beslenen karidesler ise sadece % 14'lük bir karotenoid artışı göstermiş ve mavi bir renk oluşmuştur. Doğada yetişen ve yeterli astaksantin ilavesi yapılmış yemlerle beslenen karideslerin dış iskeletinden izole edilen karotenoid konsantrasyonu 26.3 ppm' dir. Tam

tersi olarak mavi hastalık görülen bireylerin dış iskeletinde 4-7 ppm'lik karotenoid konsantrasyonu bulunmuştur. Mavi hastalıklı karidesler pişirildiğinde, soluk bir yeşil renk görülmekte ve doğal karidesin kırmızı rengi ile karşılaştırıldığında pazarlamada güçlüklerle karşılaşılır (Menasveta ve ark., 1993).

Çeşitli karotenoidlerin yeme katılmasının pigmentasyona etkisinin (Beta karoten, astaksantin, kantaksantin) incelendiği bir araştırmada, *P. japonicus*' un yemlerine 100 ppm kadar ilave edildiğinde her üç karotenoidin de dokularda depo edildiği bulunmuştur. Astaksantinle beslenenlerin dokularında astaksantin düzeyi 16.5 mg/kg olarak kantaksantinle beslenenlerden yaklaşık %23, betakarotenle beslenenden %43 daha yüksek olması ile astaksantin pigmentasyon için en etkili karotenoid kaynağı olduğu görülmüştür. Başka bir araştırmada 200 ppm' in üzerinde astaksantin ilavesi yapıldığında maksimum 29.1 mg/kg olduğu ve karotence zenginleştirilmemiş yemlerle beslenen yetişkin karideslerle karşılaştırıldığında ölüm oranında azalma olduğu ve 100 ppm astaksantin içeren yemde % 91'lik yaşama oranı kontrol grubunda ise bu oranın %57 olduğu bulunmuştur (Yamada ve ark., 1990).

Chien ve Jeng astaksantini beta karotenle karşılaştırdıklarında bunun *P. japonicus* için en etkili karotenoid kaynağı olduğunu görmüş ve yaşama oranı ile pigment konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyonun olduğunu tespit etmişlerdir. Astaksantin intracellülar oksijen rezervine yardımcı olur, bu da havuz yetiştiriciliğinde düşük kondüsyonlar altında karideslerin yaşamasını sağlar. Karidesler 100 mg/kg astaksantin içeren yemlerle beslendiğinde ortalama yaşama oranı % 77, Beta karotenle beslenen karideslerde yaklaşık % 40 tır (Chien., 1996). Karideslerde; hasattan önce yapılan uygulamalarda 3 aydan önce 75–100 ppm, 6 aydan önce 40 – 50 ppm kullanılması önerilmektedir (Diler ve Dilek, 2002).

Buraya kadar, çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalarda balık yemlerinde kullanılan doğal karotenoid kaynaklarını, içerdikleri karotenoid türünü ve yeme ilave miktarlarını Tablo 1'de belirtildiği gibi özetleyebiliriz.

**Tablo 1.** Su Ürünleri türlerinin pigmentasyonu için yemlere ilave edilen pigment kaynaklarının karotenoid konsantrasyonları (Ergün, 1998; Yeşilayer, 2007).**Table 1.** Carotenoid concentration of dietary pigment sources for aquaculture

Gruplar	Pigment kaynağı	Uygulanan karotenoid	Uygulanan canlı	Miktar
<b>Krustaseler</b>	Krill, <i>Euphasia spp.</i>	Astaksantin	Salmonid, Kırmızı mercan	22-144 mg/kg
	Krill unları.	Astaksantin	Salmonid	200 mg/kg
	Kırmızı yengeç	Astaksantin	Salmonid	100-160 mg/kg
	Kırmızı yengeç ekst.	Astaksantin	Salmonid	1550 mg/kg
	Karides unları	Astaksantin	Salmonid	20-190 mg/kg
	Karides atıkları	Astaksantin	Salmonid	100-192 mg/kg
	Kerevit unları	Astaksantin	Salmonid	% 5-10
	Kerevit ekstratı	Astaksantin	Salmonid	750 mg/kg
	<i>Gammarus spp.</i>	Astaksantin	Salmonid	% 8.6-25.9
<b>Bitkisel Ürünler</b>	Kırmızı Biber unu	Kapsantin-Kapsorubin	Salmonid, Sarı kuyruk	275-1650 mg/kg
	Kırmızı biber ekst.	Kapsantin-Kapsorubin	Salmonid	80-765 mg/kg
	Kadife çiçeği unu	Lutein	Salmonid, Kırmızı tilapiya	% 5-10
	Kabak çiçeği	Zeaksantin, Lutein B-karoten	Salmonid	% 5-10
	Kurutulmuş havuç	B-karoten	Salmonid	65 mg/kg
	Mısır gluten unu	Lutein, Zeaksantin	Salmonid	90- 350 mg/kg
	Yonca unu	Lutein	Salmonid	100-550 mg/kg
<b>Algler</b>	<i>Spirulina spp.</i>	B-karoten, Zeaksantin, Kriptosantin	Salmonid, Kırmızı tilapiya	151-434 mg/kg (%10)
	<i>Scenedesmus spp.</i>	Zeaksantin, Lutein, Astaksantin	Salmonid	520-2500 mg/kg
	<i>Chlorella spp.</i>	Astaksantin	Salmonid	40- 80 mg/kg
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaksantin	Salmonid, Kırmızı mercan, Karides, Akvaryum balıkları	20-100 mg/kg
<b>Maya</b>	Kırmızı maya ( <i>Phaffia rhodozyma</i> )	Astaksantin	Salmonid, Fangri, Kırmızı mercan	40-100 mg/kg
<b>Sentetik Ürünler</b>	Carophyll pink, Lucantin pink	Astaksantin	Salmonid, Karides, İstakoz, K. mercan türleri, Akvaryum balıkları	10-200 mg/kg
	Carophyll Red, Lucantin red	Kantaksantin	Salmonid, Akvaryum balıkları, Karides	40-200 mg/kg

## Sonuç

Pazara sunulacak balıkların özellikle et ve deri renginin belirli değerlere sahip olması, tüketicinin aradığı kriterlerdir. Salmonid türü balıkların etinde 3-4 mg/kg karotenoid konsantrasyonu yeterli olabilir ancak işleme ve depolama esnasında çeşitli karotenoid kayıpları meydana gelebilir ve bu nedenle balık etinde istenen rengin sağlanabilmesi için karotenoid konsantrasyonunun en az 4 mg/kg'ın üzerinde olması istenmektedir (Torrissen ve ark., 1989).

Yemlere sentetik karotenoidlerin ilave edilmesinin yem maliyetini % 10–15 oranında artırdığı belirtilirken (Kamata ve Simpson, 1992), Atlantik salmonu yemlerinde bu oranın % 20-25 olduğu ve toplam üretim maliyetinin ise yaklaşık % 10'unu oluşturduğu bildirilmiştir (Torrissen ve ark., 1995).

Karotenoidlerin su ürünleri yetiştiriciliği açısından yeni fonksiyonlarının ortaya çıkarılması, bu maddeye olan talebi gelecekte daha da artıracaktır.

Ülkemizde bu konu üzerine yapılan çalışmalar yeterli düzeyde ve sayıda değildir. Gelişmiş ülkelerde tüketici talepleri ve başka sebeplerden dolayı bu konuda bir çok çalışma yapılmış ve pigmentasyonda etkili olabilecek yeni doğal karotenoidlerin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda da sentetik maddelere alternatif bitkisel ve hayvansal kökenli doğal karotenoidler su ürünleri pazarındaki yerini almıştır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde, yurtdışı kaynaklı olarak kullanılan sentetik karotenoidlerin oldukça yüksek bir fiyattan satılması döviz kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle balıkların pigmentasyonunda kullanılabilecek yurt içinde temini ve üretimi olan doğal karotenoid kaynakların araştırılması, su ürünleri üretiminin daha uygun fiyatlarda dış pazarlara satımını kolaylaştırması suretiyle üretimin artmasını sağlayacaktır.

## Kaynaklar

Agius, R. W., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V., Imaizumi, H., Yamazaki, T., and Kawano, K., (2001). Supplementation of paprika as carotenoid source in soft-dry pellets for broodstock yellowtail *Seriola quinqueradiata* (Temminck & Schlegel), *Aquaculture Research*, **32**: 263-272.

Ako, H., Tamaru, C.,S., (1999). Are feeds for food fish practical for aquarium fish, *International Aquafeeds*, **2**: 30-36.

Akyurt, İ., (1993). Balık besleme. Atatürk Üniversitesi, Zir. Fak., Ders Notları No: 156, 220 s., Erzurum.

Anderson, S., (2000). Salmon color and consumer, *International Institute of Fisheries Economics and Trade*, 2000. 1-4.

Bjerkeng, B., Peisker, M., Von Schwartzberg, K., Ytrestøyl T., Asgard T., 2007. Digestibility and muscle retention of astaxanthin in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with the red yeast *Phaffia rhodozyma* in comparison with synthetic formulated astaxanthin, *Aquaculture*, **269**(1): 476- 489.

Braunlich, K., Hofmann, F., (1974). The chemistry and action of pigmenters in avian diets. XV World's Poultry Congress Proceedings, August 11-16, New Orleans. Alınmıştır: Kırkpınar, F., 1993.

Chien, Y., (1996). Biological effects of astaxanthin in shrimp, a review (Hunter, B.,) *The 3rd annual roche aquaculture centre conference on nutrition and disease*.

Choubert, G., (1983). La canthaxanthine: ses effets sur la pigmentation de la truite arc-en-ciel *Salmo gairdneri* Richardson, *Bulletin of Society Zoology France*, **108**: 267-276.

Choubert, G., Heinrich, O., (1993). Carotenoid pigments of the green alga *Haematococcus pluvialis*: Assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin, *Aquaculture*, **112**: 217-226.

Christiansen, R., Lie, O., Torrissen, O.J., (1995). Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed different dietary levels of astaxanthin. First-feeding fry, *Aquaculture Nutrition*, **1**: 189-198.

Christophersen, A G., Knuthsen, P. and Skipsted, L. H., (1989). Determination of carotenoids of salmonids, *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, **188**: 413-418.

Diler, İ. ve Dilek, K., (2002). Significance of pigmentation and use in aquaculture,

- Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **2**: 97-99.
- Diler, İ., Gökoğlu, N., (2004). Investigation of the sensory properties of the flesh of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with astaxanthin, shrimp waste meal and red pepper meal, *European Food Research and Technology*, **219**: 217-222.
- Diler, İ., Hoşsu, B., Dilek, K., Emre, Y., Sevgili, H., (2005). Effects of natural and synthetic pigments in diets on flesh coloration and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Bamidgeh*, **57**(3): 175-184.
- Duncan, D. L., Lovell, R. T., Ramboux, A.C., (1994). Effectiveness of different carotenoid sources in enhancing pigmentation in ornamental fishes, W. A. S. *World Aquaculture*, 94-Book of Abstracts, January 14-18.
- Ergün, S., (1998). Doğal ve Sentetik Karotenoid Kaynaklarının Gökkuşığı Alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) Pigmentasyona Etkisi, *Doktora tezi*, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.
- Ergün, S., Erdem, M., (2000). Doğal ve sentetik karotenoid kaynaklarının Gökkuşığı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) pigmentasyona etkisi, *Turkish Journal Veterinary and Animal Sciences*, **24**: 393-402.
- Goodwin, T. W., (1984). The biochemistry of the Carotenoids, **Vol. 1.2.**, Chapman& Hall.
- Gouveia, L., Choubert, G., Pereira, N., Santinha, J., Empis, J., Gomes, E., (2002). Pigmentation of gilthead seabream, *Sparus aurata* (L.1875), using *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Volvocales) microalga, *Aquaculture Research*, **33**: 987-993.
- Gouveia, L., Empis, J., (2003). Relative stabilities of microalgal carotenoids in microalgal extracts, biomass and fish feed: effect of storage conditions, *Innovative Food science and Emerging Technologies*, **4**: 227-233.
- Ingle de la Mora, G., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Polofox, J.T., Delos Angeles Barriga-Soca, I., Vernon-Carter, J.E., (2006). Comparison of red chili (*Capsicum annuum*) oleoresin and astaxanthin on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet pigmentation, *Aquaculture*, **258**: 487-495.
- Ito, Y., et al. (1986). Studies on the improvement of body color of red sea bream *Pagrus major* by astaxanthin and astaxanthin esters. *Suisanzoshoku*, **34**: 77-80.
- Kalinowski, C.T., Robaina, L.E., Ferna'ndez-Palacios, Schuchardt, H., D., Izquierdo, M.S., (2005). Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour, *Aquaculture*, **244**: 223-231.
- Kamata, T., Simpson, K. L., (1992). A study of astaxanthin its application for the pigmentation of salmonid fish, *Bulletin of The Kagoshima Prefectural Jr. College*, **43**: 11-39.
- Katayama, T., Ikeda, N., Harada, K., (1965). Carotenoids in sea breams, *Chryssophrys major* and *schlegel*, *Bulletin of The Japanese Society of Scientific Fisheries*, **31**: 947-952.
- Katayama, T., Shintani, K., Shimaya, M., Imai, S., Chichester, C.O., (1972). The transformation of labeled astaxanthin from the diet of sea bream *Chryssophrys major* to their body astaxanthin, *Bulletin of The Japanese Society of Scientific Fisheries*, **38**: 1399-1403.
- Kırkpınar, F., (1993). Bazı doğal ve sentetik renk maddelerinin broyler deri rengi ve verimle ilgili çeşitli kriterler üzerine etkileri, Ege Univ. Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, 147 s. İzmir.
- Lorenz, R. T., Cysewski, G. R., (2000). Commercial potential for Haematococcus microalga as a natural source of astaxanthin, *Tibtech*, **18** : 160-167.
- Manesveta, P. (1993). Correction of black tiger prawn (*Penaeus monodon fabricus*) coloration by astaxanthin, *Aquaculture Engineering*, **12** : 203-213.
- Meyers, S.P., (1994). Developments in world aquaculture, feed formulations, and role of carotenoids, *Pure and Application Chemistry*, **66**: 1069-1076.
- Schiedt, K., Leuenberger, F. J., Vecchi, M., Glinz, E., (1985). Absorbtion, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken, *Pure and Application Chemistry*, **57**: 685-692.

- Stewen, D. M. (1948). Studies on animal carotenoids. I. Carotenoids of the brown trout (*Salmo trutta*), *Journal of Experimental Biology*, **25**: 369.
- Tanaka, Y., et al. (1976). The carotenoids in marine red fish and the metabolism of the carotenoids in sea bream. *Chrysophrys major Temminch and schegel*, *Bulletin of The Japanese Society of Scientific Fisheries*, **42**: 1177- 1182.
- Tejera, N., Cejas, J.R., Rodriguez, C., Bjerkeng, B., Jerez, S., Bolanos, A., Lorenzo, A., (2007). Pigmentation, carotenoids, lipid peroxides and lipid composition of skin of red porgy (*Pagrus pagrus*) fed diets supplemented with different astaxanthin sources, *Aquaculture*, **270**: 218-230.
- Torrissen, O. J., (1986a). Pigmentation of salmonids-a comparison of astaxanthin and canthaxanthin as pigment sources for rainbow trout, *Aquaculture*, **53**: 271-278.
- Torrissen, O. J., (1989b). Pigmentation of salmonids: Interactions of astaxanthin and canthaxanthin on pigment deposition in rainbow trout. *Aquaculture*, **79**: 363-374.
- Torrissen, O. J., Hardy, R. W. and Shearer, K. D., (1989). Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism, *Reviews in Aquatic Science*, **1**: 209-225.
- Torrissen, O. J., Chnstiansen, R., Struksnaes G., Estermann, R., (1995). Astaxanthin deposition in the flesh of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to dietary astaxanthin concentration and feeding period, *Aquaculture Nutrition*, **1**: 77-84.
- Yamada, S., Tanaka, Y., Sameshima, M., Ito, Y., (1990). Pigmentation of prawn with carotenoids: I. Effects of dietary astaxanthin,  $\beta$ -carotene and canthaxanthin on pigmentation, *Aquaculture*, **87**: 323-330.
- Yeşilayer, N., (2007). Yağ oranı yüksek rasyonlara katılan doğal ve sentetik karotenoidlerin gökkuşacağı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) pigmentasyon düzeyi ve büyüme performansına etkileri, *Doktora tezi*, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.