



# BALIKLARDA SİNDİRİM VE SİNDİRİM ENZİMLERİ

**İlyas KUTLU**  
Kimyager  
Su Ürünleri Sağlığı Bölümü

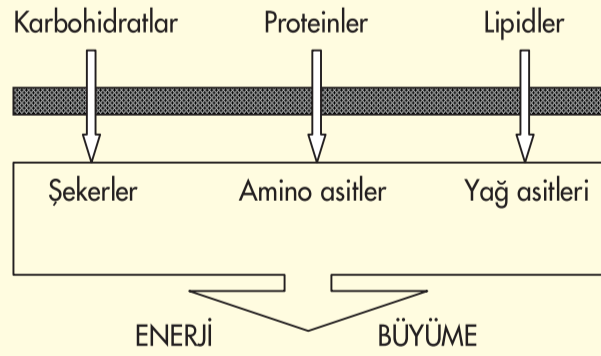
Proteinler, yağlar ve karbohidratlar balıklar tarafından enerji kaynakları (metabolik yakıt) olarak kullanılır. Büyümenin gerçekleşebilmesi için yem ile belirli miktarda proteinin alınması gerekir. Ayrıca, vücudun biyokimyasal süreçlerinin etkin bir şekilde yürüyebilmesi için yem içeriğinde yağlar yanında diğer bazı besin maddelerini (vitamin ve mineraller) de içermesi zorunludur (Lovell, 1989). Ekonomik balık üretimi için yeterli miktarda enerji sağlanması zorunludur. Fakat aşırı enerji de yağlanma ve et kalitesinin bozulmasına yol açar.

amino asitlerin dengeli bir karışımına gereksinim duyarlar. Balıkların fizyolojik fonksiyonlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi ve iyi büyüebilmesi için yeterli miktarda protein almaları gerekir (Silva, 1995).

Yağlar diğer hayvanlarda olduğu gibi balıklarda da birçok fonksiyona sahiptirler (Lovell, 1989). Yağlar, yüksek enerji rezerv molekülleri olmalarının yanında, yağda çözülebilen bileşiklerin (A, D, E ve K vitaminleri) taşınmasında, hücre zarlarının yapısal bileşenlerinde zarın elastikiyetini sağlamada görev alırlar. Ayrıca yemi balıklar için çekici kılarlar.

Karbohidratlar, protein ve yağlardan sonra yemin bileşimindeki en önemli ve en fazla bulunan üçüncü grup besin elementleridir. Salmonidler, çipura, levrek, sarıkuyruk ve kalkan balığı gibi karnivor balıklarda karbohidratların enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi sınırlı olmakla birlikte en ucuz enerji kaynağıdır (Silva, 1995).

Balıklarda yaşam için enerji gereksinimi karşılandıktan sonra, alınan besinin geriye kalan kısmı büyümede kullanılır. Yemlerden, vücut tarafından kullanılacak besin maddelerini veya elementleri elde etmenin ilk adımları, yem veya besinin sindirim sistemi yoluyla tüketimini (işleme) ve absorpsiyonunu içerir.



Şekil 1. Sindirilen temel besin maddelerinin genel metabolizması

Proteinlerin temel yapısal birimleri aminoasitlerdir. Balıklar esansiyel ve esansiyel olmayan





## Balıklarda Sindirim

Sindirim, tüketilen yem veya besin materyalinin basit, küçük, absorbe edilebilecek moleküllere parçalandığı süreçtir. Bu fonksiyon esas olarak sindirim enzimleri tarafından gerçekleştirilir. Balıklarda besin sindirimi sindirim kanalının lümeninde gerçekleşir.

Sindirim sıvı ve enzimleri gastrik, pankreatik ve intestinal (barsak) salgılar ve safradan oluşur. Asit gastrik sıvı üretimi çoğu balıkta mevcuttur. Sindirim enzimleri (Tablo 1), fizyolojik fonksiyonlarına göre: proteazlar, lipazlar, esterazlar, karbohidrazlar olarak gruplandırılırlar (Okumuş, 2000).

Alınan yemin sadece belirli bir oranı sindirilir ve içerdiği besin maddeleri emilir. Geri kalan kısmı ise fekal atık olarak atılır. Midede besinin bulunup bulunmaması, varsa kompozisyonu; bitişikteki komşu salgı bezlerini sonra diğer enzimleri ve hormonları uyarır. Besin mideye ulaştıktan 4-6 saat sonra enzimler salgılanır. Sindirim oranı da biyolojik ve çevresel faktörler tarafından etkilenmektedir. Sindirim oranı üzerine etki eden faktörler:

- 1) Beslenme sıklığı ve verilen yem miktarı,
- 2) Yemin biyokimyasal kompozisyonu (protein, lipid, lif vs),
- 3) Yemin fiziksel durumu,
- 4) Protein-enerji oranı,
- 5) Balık büyüklüğü ve yaşı (balık büyüdükçe beslenme alışkanlığı ve sindirim sistemi morfo-lojisinin değişmesi),

- 6) Stoklama yoğunluğu,
- 7) Çevresel faktörler (sıcaklık, tuzluluk),
- 8) Diğer (nedeni bilinmeyen günlük varyasyonlar).

### Balıklarda Temel Besin Maddelerinin Sindirimi

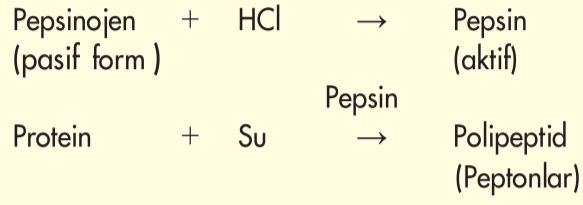
Proteinlerin ve proteinli bileşiklerin kana geçebilmeleri için sindirim sisteminde yapı taşları olan amino asitlere parçalanmaları gerekmektedir. Proteinlerin kimyasal sindirimi midede başlar, ince barsaklarda tamamlanır. Proteinlerin sindirilmesinde rol oynayan enzimler proteolitik enzimlerdir. Proteolitik enzimler zimojenler olarak bilinen inaktif formlardan ortaya çıkarlar. Bunlar mide ve barsak lümeninde gıdanın ve uygun pH'nın uyarılmasıyla ya asit hidroliz ya da proteolitik reaksiyonla aktif hale getirilir. Mide ve barsaktaki proteazlar proteinlerin peptid bağlarını parçalarlar (Silva, 1995).

Yem veya besinin mideye girmesi ile HCl salgısı gerçekleşir. Öncelikle alınan materyal farinks dişleri tarafından kısmen ufalanarak, hücre duvarlarının HCl tarafından hidrolizi kolaylaştırılır. Pepsinojen, midenin asit ortamında H<sup>+</sup> iyonları etkisiyle ve ortamda az miktarda bulunan pepsin etkisiyle otokatalitik olarak aktiflenir ve böylece midede en önemli proteolitik enzim olan pepsin oluşur ve proteinlerin daha küçük birimlere (peptonlara) parçalanmasını sağlar (Okumuş, 2000).



Balıklarda sindirim sistemi, 1-özefagus, 2-mide, 3-pilörük kese, 4-ön barsak, 5-kalın barsak, 6-anüs

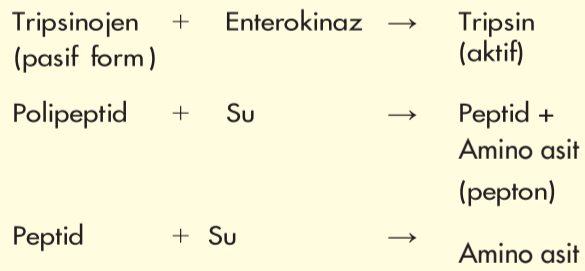




Şekil 2. Pepsinin proteinler ile reaksiyonu (URL-1)

Pepsin, seçimli olarak polipeptit zincirindeki tirozin, fenilalanin ve triptofan gibi aminoasit kalıntıların amino grubu tarafına amino asit saldırarak etkili olur ve polipeptit zincirini parçalama sonucu peptonları oluşturur. Ancak pepsin, keratin, histonlar ve protaminlere etki etmez. Midede oluşan polipeptit ince barsağa geçer. Mideden asit ve besin geldiğinde ince barsaktan salgılanan sekretin hormonu pankreas öz suyu salgılatır. Pankreas öz suyundaki pasif tripsinojen ve kimotripsinojen, ince barsaktaki enterokinaz enzimi ile aktive edilir. Parçalanmış proteinler oniki parmak barsağına geldiğinde, pankreasın enzimleriyle (tripsin ve  $\alpha$ -kimotripsin) ince barsaklarda amino asitlere ve dipeptitlere parçalanır. Tripsin, peptonlardaki arginin ve lizin gibi bazik amino asitlerin oluşturduğu peptit bağlarını parçalar (URL-1).

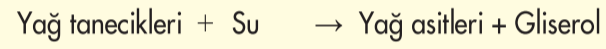
$\alpha$ -kimotripsin, peptonlardaki fenilalanin, tirozin ve triptofanın oluşturduğu peptit bağlarını parçalar ve bu grupların katıldığı, tercihen aromatik kalıntılarla oluşturdukları peptit bağlarını hidroliz eder. Dipeptitler ise barsak çeperinden salgılanan erepsin enzimiyle amino asitlere ayrılır (Silva, 1995).



Şekil 3. Tripsinin proteinler ile reaksiyon mekanizması

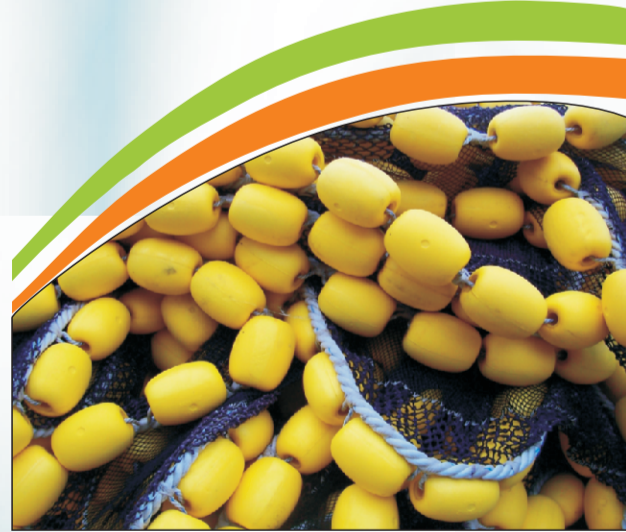
Yağların sindirimi ince barsakta başlar. Yağların sindiriminde karaciğer tarafından salgılanan ve safra kesesinde korunan safra tuzları ve lipazlar rol

oynar. Safranın içinde gallik asit bulunur. Büyük yağ parçacıklarını küçük zerreler haline getirir. İnce barsakta yağlar karaciğerden salgılanan safra ile çözünür ve yüzeyi genişleyerek pankreas öz suyundaki lipaz ile parçalanır. Yağlar, safra tuzlarının ve pankreastan salgılanan lipaz enziminin etkisiyle ince barsakta yağ asidi ve gliserole ayrılır. Safra tuzları, yağ damlacıklarının yüzeyini artırarak lipaz enziminin etkisini kolaylaştırır. Oluşan sindirim ürünleri hücre zarından geçebilir ve hücrelerde yapı maddesi olarak veya vücudun enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirler (Silva, 1995).



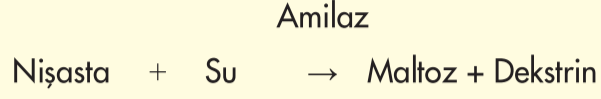
Şekil 4. Lipazın yağlar ile reaksiyonu (URL-1)

Karbohidratların kana geçebilmesi için sindirim organlarında en küçük yapı birimi olan glikoz, fruktoz, galaktoz, riboz ve deoksiriboz monomerlerine kadar parçalanmaları gerekir. Karbohidratların sindiriminde görev alan amilaz enzimi, nişasta ve glikojenin her seferinde en merkezi  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) glikozidik bağlarını hidroliz eder. Karbohidratlar midede değişikliğe uğramadan ince barsağa geçerler. Burada pankreas öz suyundaki amilaz ile tamamen maltoza ve desktrine parçalanırlar (Silva, 1995).



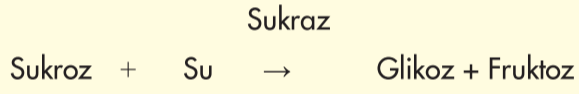


## Balıklarda Sindirim



Şekil 5. Amilazın karbohidratlar ile reaksiyon mekanizması (URL-1)

Daha sonra ince barsak bezlerinden salgılanan maltaz, laktaz ve sukraz enzimleri disakkaritleri monosakkaritlere ayırır (URL-1).



Şekil 6. Karbohidratların monosakkaritlere parçalanma reaksiyonları

Son zamanlarda balıklarda yaşama oranını artırmak için larva fizyolojisi ve sindirim enzimleri

üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Erken sövraj döneminde ve özellikle fonksiyonel mide oluşumu sırasında sindirim enzimleri aktivitesindeki değişimlerin bilinmesi ve enzimatik profillerinin ortaya konması hayati önem taşımaktadır

Erken sövraj uygulamasında ortaya çıkan düşük yaşam oranı ve büyüme performansı nedeniyle yapılan çalışmalar daha çok kültürü yoğun olarak yapılan türler üzerine yoğunlaşmış ve sindirim enzimleri aktivitesindeki değişimlerin yakından izlenmesi ile yorumlanmıştır. Levrek larvaları ile yapılan erken dönem besleme çalışmalarından elde edilen sonuç, fonksiyonel mide oluşumundan (ilk pepsin aktivitesinin tespitinden) önce ortama mikropartikül yem girişinin larvalarda hazımsızlık, kabızlık nedeniyle mortalitelere yol açtığı belirtilmiştir (Süzer vd., 2007).

Sindirim enzimlerinin sentezlenmesi, balıkların verilen yemi sindirme kapasitesinin bir göstergesi olarak kullanılabilir (Süzer, vd., 2007), enzim aktivitesindeki değişikliğin sindirim sisteminin olgunlaşmaya başladığına işaret olduğu bildirilmiştir (Gonzalez vd., 2006).

Balıklarda sindirim enzimlerinin sentezlenmesinin yem kabul edilebilirliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilir (Cahu ve Zambonino, 2001).

Yeni besleme rejimleri geliştirmede ve optimal yetiştirme şartlarını sağlayabilme çalışmalarında sindirim enzimlerinin aktivitesinin tespitinin önemi artmaktadır.





Tablo 1. Teleost balıklarda salgılanan sindirim sıvı ve enzimleri (Silva, 1995).

Salgılanma yeri	Sıvı / Enzim adı	Fonksiyonu
Mide Gastrik salgılar	HCl	Midede pH'yı düşürür ve pepsinojenlerin etkinliğini sağlar
Gastik bezler	Zimojen, Pepsinojen, HCl, Pepsin	Proteolitik enzimler; aromatik ve asidik amino asitlerin NH <sub>2</sub> gruplarında peptid bağlarını parçalar. Çoğu proteini parçalar.
	Amilaz Lipaz Esteraz Kitinaz	Karbohidratlar Lipidler Esterler Kitin
Pankreas	Enzimler	Enzimler zimojenler olarak depolanır. Barsakta üretilen proteazlar tripsin ojen'i tripsin'e dönüştürür, tripsin ise diğer enzimleri aktive eder.
	Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> )	Mideden bağırsağa geçen asidi nötralize eder ve barsağı alkalik sindirime hazırlar
	Proteazlar: Tripsin Kimotripsin Karboksipeptidazlar Elastaz	Optimum aktiviteleri pH=7.0'de gerçekleşir Karboksil grubunun peptid bağını parçalar Aromatik yan zincirin peptid bağını parçalar. Merkezi peptid bağını hidrolize eder Elastin peptid bağlarını parçalar
	Amilaz Kitinaz Lipazlar	Asidik olmayan pH'da karbohidrat sindirimi Kitinlerin dimer ve trimerlere parçalanması Trigliserid, yağ, fosfolipid ve balmumu esterlerini hidrolize eder
Ciğer (Safra)	Safra tuzları, organik anyonlar, kolesterol, fosfolipidler, inorganik iyonlar	Barsak ortamını alkali hale getirir; lipidleri emülsiyon hale getirir; çoğu safra tuzu barsaktan tekrar absorbe edilerek ciğere döner
Barsak enzimleri	Amino peptidazlar (alkalin ve asidik) Polinükleotidaz Lekitinaz Çeşitli karbohidrat Sindirim enzimleri	Nükleositleri parçalar Nükelik asitleri parçalar Fosfolipidleri, gliserol ve yağ asitlerine parçalar

**KAYNAKLAR**

- Cahu, C. ve Zambonino, L., 2001. Substitution of Live Food By Formulated Diets in Marine Fish Larvae, *Aquaculture*, 200, 161-180.
- Gonzalez, C.A.A., Trujano, M.C., Ramirez, D.T., Conklin, D.E., Nolasco, H., Gisbert, E. Ve Piedrahita, R., 2006. Development of Digestive Enzymes in California Halibut (*Paralichthys californicus*) Larvae, *Fish Physiology and Biochemistry*, 31(1):83-93.
- Lowell, T., 1989. *Nutrition and Feding of Fish*, Chapman and Hall, International Thomson Publishing Company, London.
- Okumuş, İ., 2000. KTÜ-Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Ders Notları.
- Silva, S.D., Anderson, T.A., 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*, Chapman and Hall, Aquaculture Series 1, London.
- Süzer, C., Kamacı, H.O., Çoban, D., Saka, Ş., Fırat, K., Özkara, B. ve Özkara, A., 2007. Digestive Enzyme Activity of The Red Porgy (*Pagrus pagrus* L.) During Larval Development Under Culture Conditions, *Aquaculture Research*, 38: 1778-1785.
- URL-1, [http://www.mustafaaltınışık.com/bilgi\\_kaynakları](http://www.mustafaaltınışık.com/bilgi_kaynakları) (15 Ocak 2010).

