

## Balıklarda ve Bazı Su Ürünlerinde Trimetilamin (TMA) ve Dimetilamin (DMA) Oluşumunu Etkileyen Koşullar

Meltem Serdaroğlu, Eylem Ezgi Deniz

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova 35100, İzmir, Türkiye

**Abstract:** *The Factors Affecting Trimethylamine (Tma) and Dimethylamine (Dma) Formation in fish and Some Seafood.* TMAO is a quaternary ammonium compound which is responsible for osmoregulation in marine fish. TMA, is formed by microbial reduction of TMAO. DMA and FA are formed by enzymatic degradation of TMAO. These substances are generally used to determine the quality of fish. TMAO has no odour, while TMA has very low threshold. It smells like ammonia in purified form and it is responsible for fishy odour when reacts with fat in fish tissue. During the cold storage, TMA production is higher than DMA production. However in frozen fish, there is no formation of TMA due to the inhibition of microbial activity but DMA and FA are formed by enzymatic degradation of TMAO. TMA is used as a quality index only for ice stored fish. Species, muscle type, fishing area, fishing methods, processing techniques and storage type affect TMA formation.

**Key words:** Fish and seafood quality, non-protein nitrogen, TMAO, TMA, DMA

**Özet:** TMAO balıklarda osmoregülasyondan sorumlu quaterner amonyum bileşimidir. TMA TMAO nun mikrobiyal parçalanmasıyla oluşur. DMA ve FA, TMAO nun enzimatik yıkımıyla oluşur. Bu maddeler genellikle balık kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. TMAO kokusuz bir bileşiktir, TMA nın ise koku eşiği çok düşüktür, saf amonyak kokusundadır, balık yağlarıyla reaksiyona girdiğinde balıksı kudan sorumludur. Soğuk depolama sırasında TMA üretimi DMA üretiminden daha fazladır. Dondurulmuş balıklarda mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak TMA üretimi gerçekleşmez, TMAO dan enzimatik parçalanmayla DMA ve FA oluşur. TMA buzda depolanan balıklar için kalite indeksi olarak kullanılır. Tür, kas tipi, avlanma bölgesi, avlanma metotları, işleme teknikleri, ve depolama tipi TMA oluşumunu etkiler.

**Anahtar kelimeler:** Su ürünleri kalitesi, protein olmayan azot, TMAO, TMA, DMA

### Giriş

Balık kalitesi, tür, avlama bölgesi, avlama teknikleri, teknede uygulanan işlemler (örneğin, balıkların soğutulmuş deniz suyu veya kırılmış buz içinde bekletilmesi), işleme teknikleri (ekipman temizliği, personel hijyeni, uygulanan süre ve sıcaklık parametreleri) gibi nedenlerle etkilenmektedir (Martin ve diğ., 1978). Balık eti, besleyici değeri yüksek bir besin olmasına karşın bozulmaya karşı oldukça duyarlıdır, balık

kasında bağ doku yapısının zayıf olması, yüksek enzim aktivitesi, pH değeri ve su içeriği balık etini bozulmaya karşı hassas kılmaktadır (Özden ve Gökoğlu 1996).

Su ürünlerinin bozulmasında diğer gıda maddelerinde olduğu gibi otolitik, oksidatif ve bakteriyel etkiler rol oynamaktadır. Balıklarda duyuşal, mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle saptanabilen kalite değişimlerine yol açan faktörler, endojen (balık dokusu enzimleri) ve eksojen (çevre etkileri, mikroorganizmalar) olmak üzere

iki gurup altında toplanabilir (Varlık, 1994).

Balıklarda en önemli bozulma nedeni, bakteri faaliyetidir. Balık yüzeyinde, solungaçlarında, mide ve bağırsak sisteminde milyonlarca mikro-organizma bulunmaktadır. Avlama sonrasında bakteriler, solungaçlardan ve karın bölgesinden, kan damarları yolu ile balık etine ulaşarak baliğimsi kokunun oluşmasına neden olurlar. Balık kasına ait enzimler de, balıklarda bozulmaya neden olan bir başka etkidir. Bu proteolitik enzimler, balıkta kas dokuyu parçalayarak dokuda yumuşamaya neden olmaktadır. Ayrıca ilerleyen bozulma ile birlikte bakteri enzimleri de devreye girmektedir. Havadaki O<sub>2</sub>, balık yağlarını okside ederek acılaşmaya neden olur, bu durum somon ve uskumru gibi yağlı balıklarda daha yoğun gözlenmektedir (Martin ve diğ., 1978).

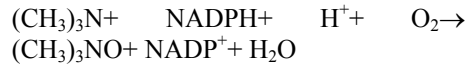
Balıkta tazeliğin saptanması için çeşitli kimyasal ve biyokimyasal parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler; pH, TMA, biyojen aminler, protein olmayan azot, K değeri, serbest yağ asitleri, peroksit değeri, TBA değeri, ve toplam proteolitik aktivitedir (Aguilar ve diğ., 2000).

#### **Trimetilamin Oksit (TMAO) ve Trimetilamin (TMA) Oluşumu**

Protein olmayan azot fraksiyonu, kemikli balıklarda toplam azotun % 9-18'ini oluşturmaktadır. Bu fraksiyonda bulunan asıl bileşikler; amonyak, trimetilamin oksit (TMAO), keratin, serbest amino-asitler, nükleotidler, pürin bazları gibi uçucu bazlar ve kıkırdaklı balıklarda bulunan üredir. Balıklarda protein olmayan azot dağılımındaki farklılık, türe, büyüklüğe, kas tipine ve mevsime göre değişmektedir (Huss, 1988).

TMAO, gerçek zooplankton türlerinde biyosentez yoluyla oluşmaktadır. Bu

organizmalar trimetilamini (TMA), TMAO'ya okside eden TMA-mono-oksijenaz enzimine sahiptirler. TMA planktonlarda çok miktarda bulunmaktadır, plankton yiyen balıklar TMAO'yu bu yolla almaktadırlar. Gerçek balık türleri, TMA'dan TMAO'yu sentezleyebilmektedirler. TMA-oksidadaz sistemi hücrede mikrozomlarda bulunur ve NADPH ile gerçekleşir.



Monooksijenaz enzimi memelilerde çok miktarda bulunmasına rağmen, birçok balıkta enzim aktivitesi çok düşüktür ya da hiç yoktur. Gerçek pelajik balıkların koyu kaslarında TMAO'yu indirgeyensistem bulunmaktadır. Genel olarak söylemek gerekirse, TMAO, kıkırdaklı balıklarda ve mürekkep balığında en yüksek (75-250 mg.N/ 100 g), morinada daha az (60-120 mg.N/ 100 g), yassı ve pelajik balıklarda çok az miktarda bulunmaktadır (Huss, 1988).

**Tablo 1.** Bazı balık türlerindeki TMAO miktarları (Regenstein ve diğ., 1982)

Balık	mmol TMAO/100g
Morina	7.9- 10.8
Mezgit	4.3- 5.8
Berlam balığı	10.0- 13.3
Alaska mezgiti	5.8- 6.8
Uskumru	2.9- 3.9

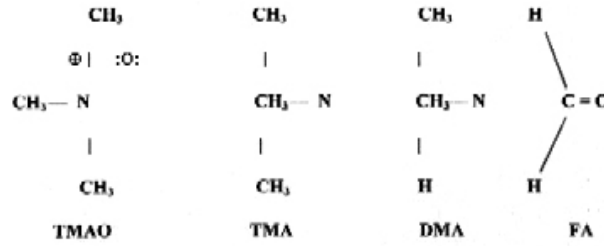
TMAO, deniz balıklarının osmoregülasyon sisteminin bir parçası olup, bu nedenle tatlı su balıklarında bulunmayan bir bileşiktir. TMAO, balık gövdesinde tampon görevi yapmaktadır, suda çözülebilir ve protein olmayan azot fraksiyonuna aittir. Ringa, morina, mezgit ve berlam balıkları gibi gadoid türler ve köpek balığı ve mersin balığı gibi kıkırdaklı balıklarda yüksek miktarda bulunmaktadır (Shahidi, 1998).

TMAO'nun metabolizmadaki işlevi

ile ilgili çeşitli hipotezler bulunmaktadır; TMAO, artık üründür ve TMA'nın detoksifiye formudur. TMAO, osmoregülator olarak görev yapar, antifiriz olarak işlevi bulunur. TMAO'nun belirli bir fonksiyonu yoktur, balık TMAO

içeren besinle beslendiğinde kasta birikmektedir (Huss, 1988).

TMAO'nun mikrobiyal aktivite veya trimetilaminoksidaz enzimi ile indirgenmesi trimetilamin (TMA) oluşumuna neden olur (Varlık ve diğ., 1996).



Şekil 1. TMAO ve parçalanma ürünleri (Regenstein ve diğ., 1982)

TMAO kokusuz bir bileşik olmasına rağmen, TMA çok düşük koku eşliğine sahiptir, bayat balık ve balıkthane kokusundadır. TMA tek başına balık kokusundan sorumlu değildir, saflaştırılmış formu amonyak benzeri koku vermektedir, TMA ancak balık dokusundaki yağlarla reaksiyona girdiği zaman bozulmuş balık kokusundan sorumlu hale gelir (Shahidi, 1998).

Tablo 2. Amonyak, DMA ve TMA'nın koku eşikleri (Regenstein ve diğ., 1982)

Bileşik	Koku Eşikleri
	ppb
Amonyak	110.000
DMA	30000
TMA	600

Soğutulmuş balık kasında hızla birikmesi ve duyuşal değişikliklere neden olmasından dolayı TMA, buzda depolanan balığın kalitesini değerlendirmede önemli bir bileşiktir (Marrakchi ve diğ., 1990).

Castel ve Greenough (1958), morina ve mezigit balıklarında TMA-N limit değerlerini şu şekilde belirlemişlerdir:

1. sınıf balıklar: 0-1 mg TMA-N / 100 g (0-5 mg TMA / 100 g)
2. sınıf balıklar: 1-5 mg TMA-N/ 100 g (5-26 mg TMA/100 g) satılabilir kalitede
3. sınıf balıklar: >5 mg TMA-N / 100 g Taze ya da dondurulmuş olarak işlemeye uygun değil.

Ludorff ve Meyer (1973)sardalya balığındaki TMA-N limit değerlerini şu şekilde belirtmektedirler; 4mg/100g "iyi", 10mg/100g'a kadar "pazarlanabilir", 12mg/100g üstü "bozulmuş". Balıkların içerdikleri TMA miktarı, mevsim ve balığın yakalandığı bölge, tür, kas tipi ve işleme tekniklerine bağlı olarak değişmektedir (Hebard ve diğ., 1982).

Tablo 3. 100g balık dokusunda bulunan TMAO ve bozulma ürünlerinin mg ve µmole cinsinden miktarları (Regenstein ve diğ., 1982)

1 mg TMAO-N = 5.38 mg TMAO = 72 µ moles
1 mg TMA-N = 4.22 mg TMA = 72 µmoles
1 mg DMA-N = 3.22 mg DMA = 72 µmoles
2.16 mg FA = 72 µmoles

#### TMA Oluşumunu Etkileyen Faktörler

### **Mevsim ve Balığın Yakalandığı Bölge**

Farklı yerlerden ve farklı mevsimlerde avlanan balıklarda TMA oluşumu farklı miktarlarda olmaktadır. Yazın ve sonbaharda avlanan balıklardaki TMA artışı, kışın ve ilkbaharda avlanan balıklara oranla daha hızlı olmaktadır. Bu farklılık, balıkların beyaz kaslarında dahi kendini göstermektedir. İlkbahar ve son-baharda, denizlerde bulunan plankton-lardaki üreme artışı balıklardaki canlı mikroorganizma sayısında artışa neden olmakta ve bu durumda TMA düzeyinde artışa yol açmaktadır (Botta ve diğ., 1995).

### **Türe Bağlı TMA Oluşumu**

TMA oluşumu ve duysal kalitedeki değişim arasındaki ilişki, balık türlerine göre farklılık göstermektedir. Özellikle Gadoid türlerinde, TMA değerleri diğer türlere oranla daha yüksek olsa da bu balıkların bozulmaları ileri seviyede olmamaktadır. Aynı miktarda TMA içeren rosetfish (*Sebastes marinus*) ise hala tüketilebilir özelliklerini korumaktadır. Yapılan bir çalışmada benzer kalitede olan levrekte en az, mezgıt balığının orta düzeyde, morinada ise en yüksek düzeyde TMA içeriği saptanmıştır (Hebard ve diğ., 1982).

Karidesler ise, diğer bir çok balık türünden daha hızlı bozulmaktadır. Buzlu depolamanın 10. gününde karideslerde TMA değerleri aynı koşullarda depolanan morina ve mezgıt balıklarından daha yüksek bulunmuştur. Yumuşakçalar ve kabuklularda TMAO çok miktarda DMA'ya ayrışırken, koyu renkli balık kaslarında TMAO'dan fazla miktarda TMA oluşmaktadır.

Balıkların bozulması sırasında oluşan TMA miktarı ile ölüm anında bulunan TMAO miktarları arasında ilişki

bulunmaktadır. TMAO'nun çok az ya da hiç bulunmadığı tatlı su levreğinde, TMA miktarı da çok az olmaktadır. Kıkırdaklı balıkların temsilcisi olan köpekbalıklarında TMA artışı yüksek olmaktadır. Bunun nedeni hızla artan amonyağın pH artışına neden olarak TMAO indirgenmesini arttırmasıdır (Hebard ve diğ., 1982).

### **Kas Tipi**

TMAO'nun TMA'ya parçalanma oranı siyah ve beyaz kaslarda farklılık göstermektedir. Beyaz kasları çoğunlukta içeren balıklarda parçalanma oranı düşük, kırmızı kaslı balıklarda ise parçalanma oranı yüksek olmaktadır. TMAO parçalanma oranındaki bu farklılık, kaslardaki hemoglobin, myoglobin gibi hemoproteinler, serbest amino asitler, pH ve SH gruplarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Botta, 1995).

### **İşleme Tekniği**

Balık etinde TMA oluşumu depolama ve işleme tekniklerinden etkilenmektedir. Depolama sıcaklığı, balık etinin parçalanarak kıyma haline getirilmesi, konserveleme işlemi, koruyucu katkı maddelerinin kullanılması depolama sırasında oluşan TMA miktarını etkilemektedir. Balıklarda depolama sırasında TMA miktarındaki artış depolama sıcaklığının yükselmesiyle belirginleşmektedir. TMA daki artış oranı, oda sıcaklığında bekletilen balıklarda önemli oranda belirgin iken, 0°C altındaki depolama sıcaklıklarındaki artış ihmal edilebilir düzeyde düşük olmaktadır. Balıklar 0°C' nin altında depolandığında, mikrobiyal aktivitenin engellenmesi nedeniyle TMA oluşumu gecikmekte veya tamamen önlenmektedir. Bu koşullarda, enzimatik yolla DMA ve formaldehit oluşmaktadır. Bu nedenden dolayı, donmuş balıklarda TMA geçerli

bir bozulma indeksi değildir, ancak soğukta saklanan balıklarda bozulma indeksi olarak kullanılabilir (Hebard ve diğ., 1982).

Varlık (1994), +4°C'da depolanan sardalyalarda TMA-N miktarının hızla arttığını, depolamanın başlangıcında 2.4mg/100g olan TMA-N miktarının 7 günlük depolamanın sonunda, 31.3 mg/100 g ulaştığını saptamıştır. El Marrakchi ve diğ. (1990), buzda depolanan sardalyalarda 0.16 mg/100g TMA-N olan başlangıç değerinin 9 gün sonra 4.84 mg/100g, 18 gün sonra 10.78 mg/100g'a ulaştığını gözlemlemiş ve TMA-N'nin buzda depolanan balıkların kalitesini değerlendirmede önemli bir kriter olduğunu belirtmişlerdir.

2°C ile 4°C'de, 18 gün buzda depolanan sardalyalarda yapılan denemelerde, sardalyanın raf ömrü 9 gün olarak bulunmuş ve DMA miktarının sardalyadaki bozulma derecesini göstermede yetersiz kalmasına karşın TMA'nın raf ömrünün belirlenmesinde uygun olduğu belirtilmiştir. 0-2°C'da depolanan sardalyalarda 15 günde, TMA miktarı DMA'dan 6 kat fazla bulunmuştur. TMA, balığın genel kalitesini gösterdiği gibi iyi kalitedeki (0-3 günlük) ve orta tazelikteki (6-9 günlük) balıklar arasında farkı göstermek için de kullanılabilir (El Marrakchi ve diğ., 1990).

Buzda bekletilmeden önce dondurularak depolanan balıklarda, depolama süresinin uzaması, TMA miktarındaki artışın yavaşlamasına neden olmaktadır. Magnusson ve Martinsdottir (1995), buzda depolanan taze ve dondurulup çözündürülmüş balıkların TMA değişimini incelemiş ve morinalarda TMA oluşumunun, dondurulup çözündürülerek depolanan örneklerde daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. 15. günde, taze örneklerde TMA 10 mgN/100g iken, dondurulmuş çözündürülmüş örneklerde

TMA 1 mg/100g olarak bulunmuştur. Her iki örnekte, bu sürenin sonunda kabul edilemeyecek durumda bulunmuş-tur. Levreklerde ise, dondurarak depo-lama sırasında TMAO parçalanması olmakta, buzda depolama sırasında ise hem çözündürülmüş hemde taze örneklerde, TMAO miktarında %81 azalma saptanmıştır. Bu kaybın mikroorganizma üremesinden değil, TMAO'nun eriyen buz suyu ile uzaklaşmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Duyusal değerlendirmede ise taze olarak buzda depolanan balıkların puanları daha yüksek olarak saptanmıştır. Balıkların fileto halinde buzda depolanması sırasında bütün depolanan balıklardan daha yavaş TMA artışı olmaktadır. Aslında TMAO'nun TMA'ya parçalanmasının düşük oksijen basıncında daha hızlı olması beklense de, TMAO'yu kullanan bozulma yapan bakteriler, oksijen düşük konsantrasyonda olduğu durumda, oksijen yerine TMAO'yu kullanmaktadırlar (Magnusson ve Martinsdottir, 1995).

Taze balığın kalitesini belirten TMA değerleri, işlem sırasında TMA konsantrasyonundaki değişiklikten dolayı püre haline getirilmiş ve işlenmiş balıklarda kullanılamaz. Kıyılmış balık eti, normalde fileto halindeki balık etine oranla daha yüksek miktarda TMA içermektedir. Kıyım işlemi TMA değerinde artışa neden olmaktadır. Konservleme işleminde ısıtma sırasında çok miktarda TMA ve amonyak oluştuğundan, konservleme işleminde TMA kalite indeksi olarak kullanılamaz. Ton balığının konserveye işlenmesi sırasında TMA-N içeriği artmaktadır, konserveye işlendikten sonra ise sabit kalmaktadır. Konservelenmiş ton balığı kalitesinin değerlendirilmesinde DMA: TMA oranının kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu oran % 50 ise, iyi kalite çığ balığın depolandığını, % 30 ve

altı ise balığın 116 saat depolandığını göstermektedir. Gökoğlu (1996), sardalya konservelerinde TMA-N değerinin 8.9-11.0 mg/ 100g olarak belirlemiştir. Normal kasta 80°C üzerinde, koyu renkli kaslarda ise 55- 60°C üzerindeki sıcaklıklarda TMAO hızla parçalanmaktadır (Hebard ve diğ., 1982). Sodyum nitrit, benzoik asit, NaCl gibi koruyucular kullanıldığında dahi TMA içeriği tazelik kalitesini göstermede yararlı olmamaktadır. Çünkü bu koruyucular *Pseudomonas putrefactions* gibi TMA üreten bakterilerin gelişimini önlemekte ve böylece bozulma meydana gelirken TMA üretimi düşük olmaktadır (Botta , 1995).

#### **Bozulma İndeksi Olarak DMA ve FA**

DMA, dondurularak depolanan balıklarda tazelik ve bozulma indeksi olarak kullanılabilir. Dondurularak depolama sırasında TMAO'nun enzimatik yıkımıyla DMA ve FA oluşur. DMA-N, en ideal kimyasal tazelik indikatörüdür. Dondurularak depolamada DMA üretimi TMA üretiminden daha fazladır. Dondurularak depolanan balıkların kalitelerinin saptanmasında DMA ve TMA birlikte kullanılmalıdır. DMA, dondurularak depolama sırasında enzimatik bozulma indeksi olarak, TMA ise ön dondurma kalitesi indeksi olarak kullanılabilir (Martin, 1978). TMA bozulmanın son aşamalarını, DMA ise bozulmanın başlangıç aşamalarını göstermektedir. Dondurularak depolama sırasında TMAO'dan DMA oluşumu enzimatik yolla, demetilaz enzimiyle olmaktadır. Enzim -29°C'da inaktive olabilir, balık kasının TMAO demetilaz aktivitesi organlara oranla çok daha düşüktür. Bu nedenle dondurularak depolama öncesinde balık kasının organlarla temas etmiş olması DMA oluşumunu arttırmaktadır (Hultin,1992). Gadoid balıkların böbrek ve kan

dokusunda TMAO demetilaz aktivitesi daha yüksektir (Haard ve diğ., 1992). Diğer balık türleri dondurularak depolama sırasında yeterli miktarda DMA geliştiremediklerinden DMA ölçülmesi sadece Gadoid balıkları için sınıflandırılmıştır (Hebard ve diğ., 1982).

DMA enzimatik olmayan yolla da oluşabilmektedir. Bazı hücre metabolitleri TMAO yıkımını arttırmaktadır. Bu metabolitler, Demir, ascorbat, flavinler ve hemoglobin, myoglobin gibi hem proteinleridir. TMAO'nun DMA ve FA'ya parçalanmasının bazı basamaklarda olduğu düşünülmektedir. Oluşan formaldehit, et proteinlerinin çapraz bağlanmasına neden olmaktadır. Bu çapraz bağlanma ise proteinlerin fiziksel özelliklerini etkiler ve dokunun bozulmasına neden olur. TMAO'yu, DMA ve FA'ya parçalama kapasitesi yüksek olan balıklarda önemli tekstür bozuklukları görüldüğü saptanmıştır (Hultin,1992). -5°C'da dondurularak depolanan pisi balığı, köpek balığı, okyanus levreği, kedi balığı, uskumru, istakoz, karides ve midyelerde DMA oluşmadığı saptanmıştır. Genel olarak önemli miktarda TMA üreten balıklarda önemli oranda DMA üretimi de gözlenmektedir. Amin miktarı, türlere ve balığın kendisine göre değişse de 0°C'da 7 gün depolamadan sonra DMA: TMA oranı 1:2.5 kadardır. -6°C'da TMA oluşumu önlenirse bile 0°C'dakinden daha fazla DMA oluşmaktadır (Hebard ve diğ., 1982). Balık kasında DMA oluşumu mevsimlere bağlı olarak değişmektedir ve genellikle yazın kışa oranla daha yüksektir.

#### **Kaynaklar**

Aguilar, R.P., M.E. Lugo-Sanchez, and M.R.R. Burgueno. 2000. Postmortem biochemical and functional characteristic of monterey sardine muscle stored at 0°C. Food Chemistry and Toxicology, 65, 1, 40-47.

- Botta, J.R. 1995. Chemical methods of evaluating freshness quality, p. 9-33. In Y.H. Hui [eds.], Evaluation of seafood freshness quality. VCH. Publishers, Inc, New York.
- Haard, N.F. 1992. Biochemical reactions in fish muscle during frozen storage, p.176-210. In E.G. Bligh [ed.], Seafood science and technology. Fishing New Books, Canada.
- Hebard, C.E., G.J. Flick, and R.E. Martin. 1982. Occurance and significance of trimethylamine oxide and its derivatives in fish and shellfish, p. 149-176. In R.E. Martin, G.J. Flick, C.E. Hebard, D.R. Ward [eds.], Chemistry and biochemistry of marine food products. Avi Publishing Company, USA.
- Hultin, H.O. 1992. Trimethylamine-N-oxide (TMAO) demethylation and protein denaturation in fish muscle, p. 25-43. In G.J. Flick, R.E. Martin [eds.], Advances in seafood biochemistry. Technomic Publishing Company, USA.
- Huss, H.H. 1988. Fresh fish quality and quality changes. FAO Fisheries Series No. 29, Rome.
- Martin, R.E., J.H. Rodney, M.D. Pierson. 1978. Quality assessment of fresh fish and the role of the naturally occurring microflora. Food Technology, 188-192.
- Özden, Ö., N. Gökoğlu. 1996. Soğukta saklanan sardalya balığının *Sardina pilchardus* (W. 1792) raf ömrünün belirlenmesi. Gıda Teknolojisi, 1, 6, 37-42.
- Regenstein, J.M., M.A. Schlosser, A. Samson, and M. Fey, 1982. Chemical changes of trimethylamine oxide during fresh and frozen storage of fish, p. 137-148. In R.E. Martin, G.J. Flick, C.E. Hebard, D.R. Ward [eds.], Chemistry & Biochemistry of Marine Food Products, Avi Publishing Company, USA.
- Shahidi, F., E. Durnford. 1998. Flavor of fish meat, 131-152. In F. Shahidi [ed.], Flavor of meat, meat products and seafoods. Blackie Academic & Professional, London.
- Varlık, C. 1994. Soğukta depolanan sardalyalarda histamin düzeyinin belirlenmesi. Gıda Teknolojisi, 19, 2, 119-124.
- Magnusson, H., E. Martinsdottir. 1995. Storage quality of fresh and frozen-thawed fish in ice. Journal of Food Science, 60, 2, 273-278.
- El Marrakchi, A.E., M. Bennour, A. Hamama, H. Tagafait. 1990. Sensory, chemical and microbiological assessments of moroccan sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice. Journal of Food Protection, 53, 7, 600-605.