

## Matematiksel Modelleme ve Su Ürünlerinde Kullanılan Raf Ömrü Tahmin Modelleri

İsmail Yüksel GENÇ<sup>1\*</sup>, Abdullah DİLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi  
Bölümü

\*ismailgenc@sdu.edu.tr

Geliş tarihi : 12.10.2017, Kabul tarihi : 28.11.2017

### ÖZET

*Matematiksel modelleme su ürünleri gibi çabuk bozulan gıdalarda sıcaklık-zaman ilişkisini belirleyebilen önemli bir konudur. Raf ömrü tahmininde mikroorganizmaların gelişim kinetiklerinin belirlenmesi esastır. Su ürünlerinde raf ömrü tahmin modelleri geliştirilirken birincil, ikincil ve üçüncül modellerin ürün veya mikroorganizma temel alınarak uygulanması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmada matematiksel model terminolojileri, kullanılan matematiksel eşitlikler ve su ürünlerinde geliştirilen ve uygulanan modeller derlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde matematiksel modelleme için kullanılan ve bu çalışmada belirtilen tekniklerin sistematik bir şekilde uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır.*

**Anahtar kelimeler: Prediktif Mikrobiyoloji, Matematiksel Modelleme, Su Ürünleri, Raf Ömrü.**

## Mathematical Modelling and Shelf Life Prediction Models Used in Seafood

### ABSTRACT

*Mathematical modelling is a significant discipline that can determine the temperature-time relationship in perishable foods such as seafood. It is essential to determine the growth kinetics of microorganisms in shelf life estimations. While developing the shelf-life prediction models in seafood, primary, secondary and tertiary models need to be applied based on the product or microorganism. In this context, the terminology of the mathematical models, the mathematical equations used and the models developed and applied in seafood products have been tried to be compiled. In accordance with the results of the previous studies, it is concluded that the techniques used for mathematical modelling and the techniques mentioned in this study should be applied in a systematic way.*

**Keywords: Predictive Microbiology, Mathematical Modelling, Seafood, Shelf Life.**

### GİRİŞ

Su ürünleri yüksek seviyede nem, serbest amino asitler, diğer nitrojenli bileşikler ve sindirilebilir proteinleri içeren zengin nutrientler sebebiyle kolayca bozulabilmekte ve genellikle bozulma soğuk şartlarda dahi kısa zamanda gerçekleşebilmektedir. Bu sebeple su ürünlerinde raf ömrünün uzatılması gıda kaynaklarının korunması açısından önemli bir konu

olarak karşımıza çıkmaktadır(Huss,1995; Huss, 1997; Fraser ve Sumar, 1998).Su ürünlerinin kalite ve güvenliğinin sağlanabilmesi için günümüze kadar bir çok geleneksel (buzlama, (Lougovois ve ark., 2003); soğutulmuş ve marine edilmiş su ürünleri (Mejlholm ve ark., 2010)) ve teknolojik (ModifiyeAtmosfer Paketleme (MAP) (Bono ve Badalucco, 2012)) metot uygulanmıştır.Bu metotlar gıda olarak su ürünlerinin kalitelerinin korunmasında önemli bir yere sahiptir. Su ürünleri işleme teknolojisinde ürünü korumak veya raf ömrünü uzatmak için kullanılan metoda bakılmaksızın karşımıza çıkan önemli noktalardan bir tanesi ürünün (taze veya işlenmiş) doğal mikroflorasında bulunan mikroorganizmaların sayısı ve bozulma potansiyellerinin belirlenebilir olmasıdır(Genç ve ark, 2016). Prediktif mikrobiyoloji gıda ürünlerinin taşınması, dağıtımı ve depolaması sırasında meydana gelen mikroorganizmalara ait dinamikleri matematiksel olarak tanımlayan ve uygulamalı gıda bilimlerine ait olan bir konu olup su ürünleri başta olmak üzere gıdaların mikrobiyal raf ömrü tahmin modelleri, kalite kontrol ve risk değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Buchanan, 1994;Ross ve McMeekin, 1994; Ross ve ark., 2000; Huang, 2014).Matematiksel modeller hücre düzeyinde meydana gelen değişimleri tahmin edebilir ve modeli kullanmak için oluşturulan hipotezler tekrar edilebilir deneysel verilere dayanmaktadır (Stelling, 2004). Ürünlerin kalitelerini ve raf ömürlerini belirleyebilmek için geleneksel olarak raf ömrü-rekabet testleri yapılmaktadır ve bu testlerin, ürünün kalitesini ve raf ömrünü etkileyebilecek olan bazı parametrelerde (sıcaklık, pH, atmosfer, organik asit, tuz vb.) meydana gelen değişimler için her seferinde tekrar kurulması gerekmektedir. Ancak matematiksel olarak doğruluğu (validasyonu)sağlanmış modellerin kullanılmasına olanak sağlayan ve prediktif mikrobiyoloji olarak adlandırılan bu alan araştırmacıları gıdaların kalite ve raf ömürlerini belirlemede yeni yaklaşımlara yönlendirmiştir (Roberts, 1998). Bu çalışmada prediktif mikrobiyolojide kullanılan matematiksel modellerin terminolojisi ve su ürünlerinde kullanılan bazı raf ömrü tahmin modelleri derlenmeye çalışılmıştır.

## **MODEL TERMİNOLOJİSİ**

Prediktif mikrobiyoloji matematik ve mikrobiyoloji alanlarının bir araya gelmesiyle oluşan bir bilim dalı olmasından dolayı bu alanın oluştuğu ve araştırmacıların kullanmaya başladığı zamanlarda kullanılan modellerin de terminolojileri bulunmamaktaydı. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda kullanılan modellere ilişkin olarak genellikle istatistiki terimler bu modellere uygulanmaya çalışılmıştır. Araştırmacılar yeni oluşan ve prediktif mikrobiyoloji teriminin kullanıldığı bu alanda kullanılabilir olan bir terminoloji oluşturmaya çalışmışlardır. Bu kapsamda Davey (1992), yapmış olduğu çalışmada model tanımı ve geliştirilmesi için açık bir çağrıda bulunmuştur. Buna karşılık olarak Whiting ve Buchanan (1993), yapmış oldukları çalışmada prediktif mikrobiyolojinin gelişmesine katkı sağlayacak şekilde modelleri sınıflandırmışlar ve araştırma sonuçlarına göre de bu alanda kullanılabilir modellerin birincil, ikincil ve üçüncül modeller olarak adlandırılması sonucuna varmışlardır.

### **Birincil Gelişim Modelleri**

Whiting ve Buchanan (1993) yapmış oldukları çalışmada prediktif mikrobiyolojide kullanılan birincil modeller mikroorganizma sayılarının zamana göre belirlendiği ve tek bir şartın belirtildiği modeller (örn. bakteri sayısı-zaman) olduğunu bildirmişlerdir. Bununla beraber araştırmacılar bakteri sayılarının bu durumda dökme/yayma plak yöntemi, direkt mikroskopi, en muhtemel sayı (most probable number) ve test kitleri ile direkt olarak; ışık yoğunluğu (absorbans) iletkenlik ve empedans yöntemleri gibi direk olmayan yöntemlerle belirlenebildiği gibi, mikroorganizma faaliyetleri sonucu oluşan metabolitlerin seviyeleri ile de belirlenebildiklerini rapor etmişlerdir. Su ürünleri ve gıdaların raf ömürlerinin tahmin

edilmesi için kullanılan bazı birincil modeller mantıki fonksiyon (Dalgaard, 1995) (Eşitlik 1), modifiye edilen Gompertz fonksiyonu (Zwietering ve ark., 1990) (Eşitlik 2) ve Baranyi modeli (Baranyi ve ark., 1993) (Eşitlik 3) olarak karşımıza çıkmaktadır.

$$\text{Log } N(t) = \log \left( N_{min} + \frac{(N_{max} - N_{min})}{(1 + \exp(-\mu_{max}(t - t_i)))} \right) \quad (1)$$

$$y = A \exp(-\exp(\mu_{max}^e / A(\lambda - t) + 1)) \quad (2)$$

$$y(t) = y_{max} - \ln(1 + (e^{-y_{max} - y_0 - 1}) e^{\mu_{max} A(t)}) \quad (3)$$

Eşitliklerde belirtilen (N) ve y hücre sayısı,  $\mu_{max}$  maksimum spesifik gelişim oranı, A asimptotik hücre sayısı,  $\lambda$  bakteri gelişiminin lag fazını, t zamanı (saat) ifade etmektedir.

### İkincil Gelişim Modelleri

Gıdalarda kullanılan ikincil gelişim modelleri mikroorganizmaların gelişimlerini çevresel faktörlere (sıcaklık, atmosfer, pH, organik asit, su aktivitesi vb.) bağlı olarak tanımlayan modellerdir (Whiting ve Buchanan, 1993). Bu kapsamda ikincil gelişim modelleri Arrhenius eşitliği (Fu ve ark., 1991) (Eşitlik 4); Ratkowsky modeli (Ratkowsky ve ark., 1991) (Eşitlik 5) ve yüzey cevap modeli (Buchanan ve Philips, 1990) (Eşitlik 6) olarak bildirilmiştir.

$$\text{Ln}(N/N_0) = kt = k_0 \exp(-E_A/(RT))t \quad (4)$$

$$\text{Sqr}rtk = b(T - T_{min}) \quad (5)$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1.D + \beta_2.T + \beta_3.A + \beta_4.D.T + \beta_5.D.A + \beta_6.T.A + \beta_7.D.D + \beta_8.T.T + \beta_9.A.A \quad (6)$$

Eşitlik (4)'de (N) hücre sayısını,  $k_0$  frekans faktörü, T kesin sıcaklık (Kelvin), R universal gaz sabiti ve  $E_A$  aktivasyon enerjisini, eşitlik 5'de  $\text{Sqr}rtk$  maksimum spesifik gelişim oranını, b eşitlik sabitini, T sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve eşitlik 6'da Y tahmin edilen cevap değişkenini, (D) depolama zamanını, (T) sıcaklık, (A) çevresel etkiyi  $\beta_i$  regresyon sabitlerini ifade etmektedir.

### Üçüncül Modeller

Prediktif mikrobiyolojide kullanılan üçüncül modeller modelleme prosesinin en son kısmını oluşturmaktadır. Geliştirilen modeller hedef mikroorganizmaların sayılarını zamana veya çevresel faktörlere göre belirlemesine karşılık, kullanılan modellerin karmaşık yapısından kaynaklı olarak kullanımlarında halen bazı eksiklikler bulunmaktadır. Geliştirilen modellerin karmaşık yapısının bir sonucu olarak bu modellerin kullanımı endüstriyel ve bazı durumlarda ise akademik kullanım ile sınırlıdır. Bu kapsamda geliştirilen modellerin bir yazılıma uygulanması bu modellerin hem daha geniş kapsamlı kullanılmasını hem de kullanım kolaylığını sağlamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen bazı çevrimiçi, kurulum ile elde edilen ve ticari yazılım uygulamaları bulunmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları Food Spoilage and Safety Predictor (FSSP™), Combase, Pathogen Modeling Programme (PMP), FoodMicroModel, Risk Ranger ve MicroHibro'dur. Geliştirilen yazılım uygulamalarına ilişkin kullanım koşulları ve uygulamaları Genç ve ark.(2016) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır.

Son yıllarda prediktif mikrobiyolojide kullanılan modellerin öneminin arttığı bilinmektedir. Üçüncül modellerin (yazılım uygulamaları) prediktif mikrobiyolojide biyolojik işlemin canlandırılması açısından kullanımının da arttığı bilinmektedir. Bununla beraber üçüncül modelleme kullanıcılara kullanıcı-dostu arayüzlere sahip olmasından kaynaklı olarak uygulama kolaylığı da sağlamaktadır. Dahası geliştirilen modellerin kullanılabilmesi için matematik konusunda uzman olma gerekliliğinin de önüne geçilmiştir. Bu bağlamda prediktif mikrobiyolojinin gelişmesinde üçüncül modellerin büyük bir önemi vardır.

## SU ÜRÜNLERİNDE GELİŞTİRİLEN RAF ÖMRÜ TAHMİN MODELLERİ

Prediktif mikrobiyolojinin uygulama alanı bütün gıdaları kapsamaktadır. Ancak su ürünleri açısından prediktif mikrobiyoloji önemli bir yere sahiptir. Su ürünleri besin içerikleri bakımından diğer gıdalar ile karşılaştırıldığında mikroorganizmaların gelişimine (su oranının yüksekliği ve bağ doku miktarının azlığı) daha fazla olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda kalite ve güvenlik kayıplarına sebep olan mikroorganizmaların takibi ve kantitatif değerlendirilmesi prediktif mikrobiyoloji ile daha hızlı olabilmektedir.

Bu kapsamda Taokis ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada kupes balıklarında (*Boops boops*) değişken depolama şartlarında zaman-sıcaklık entegrasyonunu ve tahmini modellemeyi raf ömrü kontrolünde kullanmışlardır. Doğal mikrofloranın ve spesifik bozulma organizmalarının (SBO) (*Pseudomonas* sp. ve *Shewanella putrefaciens*) farklı sıcaklıklardaki davranışlarını modellemişler ve duyuşal olarak tespit edilen raf ömrü ile ilişkilendirmişlerdir. Sıcaklık bağıntılı maksimum gelişim oranları Arrhenius ve kare-kök bozulma modeline göre değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre zaman-sıcaklık entegrasyonunda raf ömrü tahmini modellerinin kullanılabilirliği ve doğruluğunun olduğu ispatlanmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada (Koutsoumanis ve Nychas, 2000) balıklarda hızlı bir raf ömrü tahmin modelinin geliştirilmesini araştırmışlardır. Sistemik deney prosedürünün uygulandığı bu çalışmada doğal olarak kontamine olmuş çipura balıklarında (*Sparus aurata*) farklı sıcaklıklarda *Pseudomonas* sp., *Shewanella putrefaciens*, Enterobacteriaceae, laktik asit bakterileri ve mayaların gelişimlerini incelemişler ve modellemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre doğal yolla kontamine olmuş balıklarda ve bu balıklardan izole edilen bakterilerin steril balık bloklarına bulaştırılması ile yapılan çalışmalarda *Pseudomonas*'ların iyi bir bozulma indeksine sahip oldukları kanaatine varmışlardır. Geleneksel yöntemler ve iletkenlik metoduna dayalı maksimum gelişim oranlarının belirlendiği çalışmada iletkenlik metoduna göre belirlenen bakteri kinetiklerinin raf ömrü tahminlerinde daha hassas sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

İndirekt olarak mikroorganizma sayılarının belirlendiği farklı bir çalışmada araştırmacılar (Dalgaard ve Koutsoumanis, 2001) farklı matematiksel modeller ile absorbans ve toplam canlı sayısı ile elde edilen maksimum büyüme oranlarını ve lag zamanlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada toplamda 176 gelişim eğrisi ve 120 absorbans belirlenme zamanı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre absorbans belirlenme zamanı için maksimum büyüme oranı ve lag zamanı belirlenmesi Richards modelinin kullanılmasıyla daha doğru sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Değerlendirilen diğer matematiksel modeller için (Gompertz, Exponential ve Logistic) araştırmacıların çok sayıda gelişim oranının belirlenmesi gerektiğinden bu modellerin kullanılmasının bazı kısıtlamalara sebep olacağını vurgulamışlardır.

Dalgaard vd. (1997), MAP uygulanan morina (*Gadus morhua*) balıklarında mikrobiyal model ve raf ömrü tahmin modelinin geliştirilmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada tekrarlı yaklaşımı değerlendirmişler ve SBO'ları üzerindeki sıcaklık (0-15°C) ve CO<sub>2</sub>'nin (% 0-100) etkisini incelemişlerdir. Çalışmada *Photobacterium phosphoreum*'un gelişimi morina balıklarında ve sıvı besi yerlerinde çalışılmıştır. Sıcaklık ve CO<sub>2</sub>'nin bakterilerin gelişimi üzerine olan etkisinin sıvı besi yerinde ve morina balıklarında incelenmesi sırasında karekök

bozulma modeli ve polinomik eşitlik kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre raf ömrü tahmin modeli için kullanılan karekök bozulma modeli ve polinomik eşitliklerin standart sapma değerleri sırasıyla % 17 ve % 9 olarak bildirilmiştir.

## SONUÇ

Bu çalışmada prediktif mikrobiyolojide kullanılan matematiksel modellerin terminolojisi ve su ürünlerinde kullanılmak üzere geliştirilen raf ömrü tahmin modelleri derlenmiştir. Bu kapsamda matematiksel modellerin terminolojisi incelendiğinde raf ömrü tahmin modeli geliştirilirken birincil, ikincil ve üçüncül modellerin sistematik bir şekilde mikroorganizma faaliyetleri veya ürün göz önüne alınarak uygulanması gerekmektedir. Bununla beraber raf ömrü tahmin modeli geliştirilirken taraflılık ve doğruluk faktörleri de modelin geçerliliği için önemlidir. Su ürünlerinde geliştirilen raf ömrü tahmin modelleri ürün tabanlı olarak incelendiğinde model tarafsızlığı ve doğruluğunu sağlarken, mikroorganizmalar için farklı ürünlerde (taze, vakum veya MAP ürünler, marinasyon, dumanlanmış vb.) tarafsızlık ve doğruluk faktörlerinin sınır değerlere ulaştığı görülmektedir. Sonuç olarak matematiksel modellerin ürün ve mikroorganizma etkileşimlerini de göz önüne alarak su ürünlerinde raf ömrü tahmin modellerinin geliştirilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma İsmail Yüksel Genç'in Taze ve Yarı Korunmuş Su Ürünlerinde Mikrobiyal Kalite Değişimlerinin Tahmini ve Değerlendirilmesi başlıklı doktora tezi çalışmasından özetlenmiş ve SDÜ-BAP3768-D2-13no'lu proje tarafından desteklenmiştir. Yazarlar finansal desteklerinden dolayı S.D.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür etmektedirler.

## KAYNAKLAR

- Baranyi, J., Roberts, T. A., McClure, P. (1993). A Non-Autonomous Differential Equation To Model Bacterial Growth. *Food Microbiology*, 10, 43-59.
- Bono, G., Badalucco, C. (2012). Combining Ozone and Modified Atmosphere Packaging (MAP) to Maximize Shelf Life and Quality of Striped Red Mullet (*Mullus surmellatus*). *LWT-Food Science and Technology*, 47(2), 500-504.
- Buchanan, R. L., Phillips, J. G. (1990). Response Surface Model For Predicting The Effects Of Temperature, pH, Sodium Chloride Content, Sodium Nitrite Concentration And Atmosphere On The Growth Of *Listeria Monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 53, 370-376.
- Buchanan, R.L. (1994). Predictive food microbiology. *Trends in Food Science and Technology*, 4: 6-11.
- Dalgaard, P. (1995). Modelling of microbial activity and prediction of shelf-life for packed fresh fish. *International Journal of Food Microbiology*, 26, 305-317.
- Dalgaard, P., Koutsoumanis, K. (2001). Comparison Of Maximum Specific Growth Rates And Lag Times Estimated From Absorbance And Viable Count Data By Different Mathematical Models. *Journal of Microbiological Methods*, 43(3), 183-196.
- Dalgaard, P., Mejlholm, O., Huss, H.H. (1997). Application Of An Iterative Approach For Development Of A Microbial Model Predicting The Shelf-Life Of Packed Fish. *International Journal of Food Microbiology*, 38(2-3), 169-179.

- Davey, K.R. (1992). A Terminology For Models In Predictive Microbiology. *Food Microbiology*, 9, 353-356.
- Fraser, O. P., Sumar, S. (1998). Compositional Changes and Spoilage in Fish (Part II) Microbiological Induced Deterioration. *Nutrition and Food Science*, 6, 325-329.
- Fu, B., Taoukis, P. S., Labuza, T. P. (1991). Predictive Microbiology for Monitoring Spoilage of Dairy Products with Time-Temperature Integrators. *Journal of Food Science*, 56(5), 1209-1215.
- Genç, İ.Y., Esteves, E., Diler, A. (2016). *Handbook of Seafood: Quality and Safety Maintenance and Applications*. Nova Science Publishers, 350 p, New York.
- Huang, L. (2014). A Comprehensive Data Analysis Tool For Predictive Microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 100-107.
- Huss, H. H. (1997). Control Of Indigenous Pathogenic Bacterial in Seafood. *Food Control*, 8(2), 91-98.
- Huss, H.H. (1995). *Quality and Quality Changes in Fresh Fish*. FAO. Fisheries Technical Paper 348, 202 p., Rome Italy.
- Koutsoumanis, K., Nychas, G.J.E. (2000). Application Of A Systematic Experimental Procedure To Develop A Microbial Model For Rapid Fish Shelf Life Predictions. *International Journal of Food Microbiology*, 60(2-3), 171-184.
- Lougovois, V., Kyranas, E., Kyranas, V. (2003). Comparison Of Selected Methods Of Assessing Freshness Quality And Remaining Storage Life Of Iced Gilthead Sea Bream. *Food Research International*, 36(6), 551-560.
- Mejlholm, O., Gunvig, A., Borggaard, C., Bolm-Hansen, J., Mellefont, L., Ross, T., Leroi, F., Else, T., Visser, T., Dalgaard, P. (2010). Predicting Growth Rates and Growth Boundary of *Listeria monocytogenes* – An International validation Study With Focus on Processed and Ready to Eat Meat and Seafood. *International Journal of Food Microbiology*, 141(3), 137-150.
- Ratkowsky, D.A., Ross, T., McMeekin, T.A. Olley, J. (1991). Comparison of Arrhenius type and Beilohradek models for Prediction Of Bacterial Growth In Foods. *Journal of Applied Bacteriology*, 71, 452-459.
- Roberts, T.A. (1998). Mathematical Modeling Of Microbial Growth. 3th Karlsruhe Nutrition Symposium European Research Towards Safer and Better Food, October 18-20, Karlsruhe, Germany, 33-42.
- Ross, T., Dalgaard, P., Tienungoon, S. (2000). Predictive Modeling Of The Growth Of *Listeria* In Fishery Products, 62(3), 231-245.
- Ross, T., McMeekin, T.A. (1994). Predictive Microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 23, 241-264.
- Stelling, J. (2004). Mathematical Models in Microbial Systems Biology. *Current Opinion in Microbiology*, 7(5), 513-518.
- Taoukis, P. S., Koutsoumanis, K., Nychas, G.J.E. (1999). Use of Time-Temperature Integrators and Predictive Modeling For Shelf Life Control Of Chilled Fish Under Dynamic Storage Conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 53, 21-31.
- Whiting, R.C., Buchanan, R.L. (1993). A classification of models for predictive microbiology. *Food Microbiology*, 10, 175-177.
- Zwietering, M.H., Jongenburger, I., Rombouts, F.M., Van't Riet, K. (1990). Modelling Of The Bacterial Growth Curve. *Applied Environmental Microbiology*, 56, 1875-1881.