

**FEN BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİK  
UYGULAMALARINDA DENEYSEL  
VERİLERİN MATEMATİK  
MODELLERLE TANIMLANMASI**  
*Excel Uygulamalı Anlatım*

**Sencer BUZRUL**



© Copyright 2024

*Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi AŞ'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.*

<b>ISBN</b> 978-625-399-740-3	<b>Sayfa ve Kapak Tasarımı</b> Akademisyen Dizgi Ünitesi
<b>Kitap Adı</b> Fen Bilimleri ve Mühendislik Uygulamalarında Deneysel Verilerin Matematik Modellerle Tanımlanması	<b>Yayıncı Sertifika No</b> 47518
<b>Yazar</b> Sencer BUZRUL ORCID iD: 0000-0003-2272-3827	<b>Baskı ve Cilt</b> Vadi Matbaacılık
<b>Yayın Koordinatörü</b> Yasin DİLMEN	<b>Bisac Code</b> TEC000000
	<b>DOI</b> 10.37609/akya.3030

#### **Kütüphane Kimlik Kartı**

**Buzrul, Sencer.**

Fen Bilimleri ve Mühendislik Uygulamalarında Deneysel Verilerin  
Matematik Modellerle Tanımlanması / Sencer Buzrul.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2024.

202 s. : şekil, çizelge. ; 160x235 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253997403

1. Mühendislik.

#### **GENEL DAĞITIM**

#### **Akademisyen Kitabevi AŞ**

Halk Sokak 5 / A

Yenişehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

[www.akademisyen.com](http://www.akademisyen.com)

*Eşim Esra'ya,  
Kızım Su'ya,  
ve  
Oğlum Ateş'e...*

## ÖNSÖZ

Fen bilimleri ve mühendislik alanlarında deneysel verilerin uygun bir matematik modelle tanımlanması yaygın bir uygulamadır. Verilerin tanımlanması ise genellikle regresyon analizi ile yapılmaktadır. Regresyonun nasıl yapılacağı ile ilgili İngilizce ya da Türkçe pek çok farklı kaynak bulmak mümkündür. Ancak kanımca, bu kaynaklarda kullanılan dil her zaman olmasa da çoğunlukla istatistikçilerin anlayabileceği türdendir. Bu kitabı yazmamdaki en önemli neden özellikle biyolojik verilerle uğraşan kişileri çok fazla “teknik” istatistik diline boğmadan basit bir anlatımla verilere model uydurmayı göstermektir. Yine de kitapta birçok istatistik bilgi yer almaktadır. Ancak şunu belirtmemde fayda var: Ben istatistikçi değilim! Hatta öğrenciyken istatistikten çok da hazzettiğimi söyleyemem. Dahası bu kitapta istatistik bilgileri yaptığım yorumlar bazı istatistik uzmanlarını kızdırabilir. Amacım kimseyi sınırlandırmek değil. Yıllarca öğrencilere söylediğim bir şey var: “Bizler matematik ya da istatistik uzmanı değiliz. Ancak, matematiği ve istatistiği kullanarak verilerimizi tanımlamayı ve sonuçları yorumlamayı öğrenmeliyiz.” Ben de öğrencilere vermiş olduğum bu tavsiye doğrultusunda naçizane kendimi bu konularda yetiştirmeye, istatistik ve matematik modelleme hakkında bulabildiğim tüm kaynaklardan faydalanmaya ve hatta çalışmalarında bu öğrendiklerimi uygulamaya çalıştım. Bu kitap aslında yıllar içerisinde öğrendiklerimin de bir özetidir.

Kitapta anlatılan konular, çözümlü örnekler ve her bölüm sonunda yer alan sorular çoğunlukla Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi (KGTÜ) Gıda Mühendisliği Bölümü’nde görev yaptığım yıllarda (2018-2023) verdiğim lisans dersinde (Applied Kinetics) ve yüksek lisans dersinde (Predictive Food Microbiology) anlattığım konular, çözdüğüm ya da sınavlarında sorduğum sorulardır. Lisans dersini sadece gıda mühendisliği bölümü öğrencileri değil biyomühendislik ve moleküler biyoloji ve genetik bölümü öğrencileri de alıyordu. Benzer şekilde yüksek lisans dersini de gıda mühendisliği anabilim dalı öğrencilerinin yanı sıra biyoteknoloji ve malzeme bilimi ve nanoteknoloji anabilim dalı öğrencileri de seçiyordu. Bu kitabı yazma fikri de o dönemlerde farklı dallardan öğrencilere ders anlatırken kafamda şekillenmeye başlamıştı. Daha sonra bazı arkadaşlarımla TÜBİTAK Bilimsel Eğitim Etkinlikleri Desteğinden (2237-A) faydalanarak farklı eğitimler düzenledik. Bunlardan bir tanesi de bugüne kadar iki kez gerçekleştirdiğimiz “Fen Bilimleri ve Mühendislik Uygulamaları için Excel”

eğitimiydi ve öğrencilerden birçok olumlu dönüşler aldık. Bu olumlu dönüşler kitabı yazmamı daha da hızlandırdı açıkçası.

Kitap bazı temel bilgilerle başlayıp basit doğrusal regresyon, eğri-doğrusal regresyon, doğrusal olmayan regresyon konularıyla devam etmektedir. Bu bilgiler ışığında ilerleyen bölümlerde daha karmaşık modellemeler (mikrobiyal inaktivasyon vb.) gösterilmektedir. Kitapla ilgili olarak her türlü eleştiriye açık olduğumu da bu noktada ifade etmek isterim.

Son olarak gerçek bir hikaye anlatarak önsöz kısmını bitirmek istiyorum. Eşimle 2004 yılının Eylül ayında evlendik ve ben 2005 yılında Fransız Elçiliği'nden burs alarak Bordeaux'ya gittim. Hatta gitmeden önceki hafta eşimin kızımız Su'ya hamile olduğunu öğrendim. Yine de eşim beni gitmem konusunda cesaretlendirdi. Üç yıl boyunca aralıklarla Fransa ve Türkiye arasında gidip geldim. Nihayet Türkiye'ye döndüğümde ise beni bir sürpriz bekliyordu: Araştırma görevlisi olarak 7 yıl çalıştığım Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi olarak beni istememişti! (Bu ayrı ve uzun bir hikaye olduğundan burayı atlıyorum.) Neyse ki işsiz kalmadım ve yaklaşık 10 yıl sürecek olan Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu (TAPDK) maceram başladı. TAPDK Ankara'da olduğundan eşim ve kızım daha fazla vakit geçirmeyi umarken askerlik kapımı çaldı ve 6 ay Muş'ta askerliğimi jandarma olarak yaptım. Hala ailemle vakit geçirebilmek için umutluydum ancak TAPDK'da genellikle denetim için şehir dışı görevleri oluyordu. Yine de bu ayrılıklar kısa süreliydi. Daha sonra oğlum Ateş ailemize katıldı. Hayat rutin bir şekilde devam ederken beklenmeyen bir gelişme oldu ve TAPDK 2017 yılında kapatılarak Tarım ve Orman Bakanlığı'na devredildi. Bakanlıkta çalışırken tam da "Acaba üniversiteye geri dönebilir miyim?" diye düşünürken KGTÜ'den bir teklif geldi. Ancak bir sorun vardı; adından da anlaşılacağı üzere üniversite Konya'daydı ve bu bir kez daha eşim ve çocuklarımdan ayrılacağı anlamına geliyordu. Her zamanki gibi eşim Esra bana destek oldu (Bence akademiye olan tutkumu ve bu işi ne kadar çok istediğimi biliyordu.) ve 5 yıl sürecek olan KGTÜ günlerim başladı. Hafta içi Konya'da işte, hafta sonu ise Ankara'da evde oluyordum. Hayat gerçekten sürprizlerle dolu çünkü ilginç bir gelişme daha oldu ve KGTÜ Mütevelli Heyeti, görev yaptığım Gıda Mühendisliği Bölümü'nü kapatmaya karar verdi. Yani gıda üniversitesinin gıda mühendisliği bölümü kapatıldı! (Bu kararın saçmalığını değerlendirmeyi siz okuyuculara bırakıyorum.) Ben de bu saçma kararı ve burada söylemeyi zül addettiğim diğer saçma uygulamaları protesto etmek için görevimden ayrıldım. Önce TAPDK sonra KGTÜ derken, tam da uğursuz olduğumu düşünüyordum ki

bu sefer teklif Necmettin Erbakan Üniversitesi'nden (NEÜ) geldi. (Bunun için minnettarım çünkü KGTÜ'den ayrılmaya karar verdiğimde işsiz kalmayı da göze almıştım.) Ben yine Konya'dayım, ailem ise Ankara'da yaşamaya devam ediyor ama her şeye rağmen mutluyuz ve hala birlikteyiz. Umarım bu hikayeyle sizleri sıkmamışımdır ancak bu kitabı neden eşim Esra'ya, kızım Su'ya ve oğlum Ateş'e adadığımı anlamanızı istedim sadece.

**Sencer Buzrul**

Konya

Mart, 2024

## **Kimler bu kitaptan faydalanabilir?**

Bu kitaptan sadece lisans ya da lisansüstü öğrencilerinin değil birçok öğretim elemanının da faydalanacağını düşünüyorum. Hatta sadece üniversite mensupları için değil laboratuvarlarda ya da işletmelerde görev yapan ve çoğunlukla biyolojik verilerle (Kimyasal ve fiziksel verilerin modellenmesi de çok farklı değildir.) uğraşan kişiler için de bu kitap yol gösterici olacaktır.

Kısaca bahsetmem gerekirse sağlık bilimleri (beslenme ve diyetetik, tıp, eczacılık), mühendislik (gıda, kimya, çevre ve biyomedikal mühendislikleri ile biyomühendislik), fen (biyoloji, kimya, moleküler biyoloji ve genetik) ve diğer alanlarda (gastronomi ve mutfak sanatları, biyoteknoloji, nanoteknoloji) verilerle uğraşan herkesin bu kitaptan alabileceği önemli bilgiler olduğu kanısındayım. Okuyucu için önemli bir notu da burada belirtmek isterim. Kitap boyunca konu anlatımlarında bazı konuların detaylarını araştırmak okuyucuya bırakılmıştır veya soru çözümlerinde çözümün bir kısmının okuyucu tarafından yapılması istenmiştir. Bunun nedeni konu hakkında daha derine araştırma yapmak isteyen okuyucu cesaretlendirmek ve okuyucunun Excel kullanım deneyimini artırmak istememizdir.

## **Neden Excel?**

Regresyon için günümüzde kullanılacak birçok farklı bilgisayar programları mevcuttur. SigmaPlot, SPSS, Mathematica, Microcal Origin ve MATLAB bunlardan bazılarıdır. Ancak bu programların kullanımı belli bir deneyim ve uzmanlık gerektirmektedir. Dahası bu programlar ücretlidir. Günümüzde istatistik için kullanılan açık erişimli R (R Studio) programı için ise basit de olsa programlama dilini bilmek gereklidir. Aslına bakılırsa Excel de ücretli bir yazılım olup, kullandığımız bilgisayar ister masaüstü ister dizüstü olsun genel olarak Excel bunların içinde, Microsoft® Office'in bir parçası olarak, yüklü halde gelmekte ve deneysel verilerle uğraşan hemen hemen herkes Excel'in basit de olsa kullanımına aşina olmaktadır. Yani diğer programlar için gereken deneyim Excel'de lisans eğitimde az ya da çok kazanılmaktadır. Hangi dalda olursa olsun lisans eğitiminde öğrencilerin ve hatta öğretmenlerin basit matematiksel ya da istatistiksel hesaplamaları yapabilmek ve grafik çizebilmek için ilk tercih ettikleri program Excel'dir. Dahası Excel kullanımı (Macro yazımı hariç) bir programlama dilini bilmenizi gerektirmez. Excel'in basit işlevlerini bilmeni yeterlidir. Bu kitapta Excel'i kullanmamızın en önemli nedeni budur.

Excel için kişisel bir gözlemimi de burada anlatmak isterim: Excel sadece öğrenciler arasında değil “hocalar” arasında da küçümsenen bir programdır. Küçümsenmesine rağmen Excel hem öğrenciler hem de öğretim üyelerinin en azından veri depolamak için ilk tercihleridir. Dahası veri depolamak dışında Excel kullanarak yapabileceğimiz sonsuz işlem vardır. Hatta bu kitapta Excel’in yapabileceklerinin pek azını görebileceğimizi şimdiden söylemeliyim. Tabii ki her programın olduğu gibi Excel’in de bazı eksiklikleri ya da sınırları vardır. Yine de bana göre Excel seçenekler içerisinde kullanabileceğimiz en iyi programlardan biridir.



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### BAZI TEMEL BİLGİLER

1.1. Giriş.....	1
1.2. Model ve modelleme nedir?.....	1
1.3. Bağımlı ve bağımsız değişkenler .....	2
1.4. Modellerde doğrusallık .....	3
Bölümle ilgili sorular .....	8
Kaynaklar .....	8

## BÖLÜM 2

### BASİT DOĞRUSAL REGRESYON

Bölümle ilgili sorular .....	21
Kaynaklar .....	22

## BÖLÜM 3

### BAZI İSTATİSTİKİ BİLGİLER VE ÖZET ÇIKIŞININ YORUMLANMASI

3.1. Model uyum göstergeleri .....	23
3.1.1. Belirleme katsayısı ( $R^2$ ) .....	23
3.1.2. Ayarlı belirleme katsayısı ( $R_{aj}^2$ ).....	30
3.1.3. Modelin standart hatası (RMSE) .....	30
3.1.3. Standart sapma (SD), standart hata (SE) ve güven aralığı (CI).....	31
3.2. Özet Çıkışının yorumlanması .....	37
Bölümle ilgili sorular .....	41
Kaynaklar .....	41

## BÖLÜM 4

### EĞRİ-DOĞRUSAL REGRESYON

Bölümle ilgili sorular .....	64
Kaynaklar .....	65

## **BÖLÜM 5**

### **KESİŞİMSİZ REGRESYON**

Bölümle ilgili sorular .....	76
Kaynaklar .....	77

## **BÖLÜM 6**

### **DOĞRUSAL OLMAYAN REGRESYON**

Bölümle ilgili sorular .....	99
Kaynaklar .....	99

## **BÖLÜM 7**

### **MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

7.1. Regresyon analizi sonucunda kendinize sormanız gerekenler.....	101
7.2. Model seçimi ve modellerin karşılaştırılması .....	102
7.3. Regresyon varsayımları .....	111
Bölümle ilgili sorular .....	114
Kaynaklar .....	114

## **BÖLÜM 8**

### **MİKROBİYAL BÜYÜME**

8.1. Mikrobiyal büyüme parametreleri .....	116
8.2. Bazı büyüme modelleri .....	118
8.2.1. Gompertz modeli .....	118
8.2.2. Baranyi modeli .....	118
8.2.3. Üç fazlı doğrusal model.....	119
Bölümle ilgili sorular .....	126
Kaynaklar .....	128

## **BÖLÜM 9**

### **MİKROBİYAL İNAKTİVASYON**

9.2. Doğrusal olmayan inaktivasyonu tanımlamak için kullanılan modeller.....	131
9.2.1. Omuzlu .....	131
9.2.2. İki fazlı.....	133
9.2.3. Kuyruklu.....	134
9.2.4. İç bükey ve dış bükey .....	135
9.2.5. İç bükey başlayıp dış bükey biten ve dış bükey başlayıp iç bükey biten .....	136

Bölümle ilgili sorular .....	138
Kaynaklar .....	140

## **BÖLÜM 10**

### **ENZİM KİNETİĞİ**

10.1. Michaelis-Menten Denklemi .....	141
10.2. Enzim inhibisyonu .....	148
10.2.1. Rekabetli (yarışmalı) inhibisyon .....	148
10.2.2. Sınırlı rekabetli (sınırlı yarışmalı) inhibisyon .....	149
10.2.3. Karışık inhibisyon .....	149
10.3. Enzim inaktivasyon kinetiği .....	152
Bölümle ilgili sorular .....	153
Kaynaklar .....	154

## **BÖLÜM 11**

### **GIDALARDA KİNETİK MODELLEME**

Bölümle ilgili sorular .....	166
Kaynaklar .....	167

## **BÖLÜM 12**

### **SİMETRİK GÜVEN ARALIKLARININ HESAPLANMASI**

12.1. Simetrik standart hataların (ya da güven aralıklarının) Excel'de hesaplanması yöntemi .....	175
Bölümle ilgili sorular .....	176
Kaynaklar .....	176

## **Bölüm 13**

### **MONTE CARLO BENZETİMİ İLE ASİMETRİK GÜVEN ARALIKLARININ HESAPLANMASI**

13.1. Asimetrik güven aralıklarının Excel'de hesaplanması yöntemi (MC benzetimi) .....	185
Bölümle ilgili sorular .....	187
Kaynaklar .....	187

## Bölümle ilgili sorular

1.1. Aşağıdaki dört parametrelili modellerde doğrusal ve doğrusal olmayan parametreleri belirleyiniz.

$$a) y = A \cdot x + \frac{x^2}{B} + \frac{C}{\sqrt{x}} + \log_{10}(D \cdot x)$$

$$b) y = \frac{A}{x} + \frac{B}{x^2} + \frac{C}{x^3} + D$$

$$c) y = A \cdot x + B \cdot \ln x + C \cdot \sqrt{x} + D$$

$$d) y = A \cdot x + \frac{1}{B+x} + e^{-C \cdot x} + D$$

1.2. Aşağıdaki modellerden hangisini ya da hangilerini verilerimize uydurmak için doğrusal regresyon uygularız?

$$a) y = a \cdot x + \frac{b}{x} + c$$

$$b) y = \frac{x^2}{a} + \frac{x^3}{b} + \frac{4}{c}$$

$$c) y = x^a + b \cdot \sin x + c$$

$$d) y = \frac{a}{b+c \cdot x}$$

## Kaynaklar

Leylak, C., Yurdakul, M., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 1: Doğrusal regresyon. *Food and Health*, 6: 186-198.

van Boekel, M.A.J.S. (2008). *Kinetic modeling of reactions in foods*. Boca Raton FL, CRC Press.

**2.2.** Aşağıdaki verilerine basit doğrusal regresyon uygulayarak parametre değerlerini standart hatalarıyla birlikte bulunuz. Bunun yanı sıra %95 ve %99 güven aralıklarıyla R kare, ayarlı R kare ve modelin standart hatasını da bulunuz.

$x$	1	2	3	4	6	8
$y$	2.4	3.1	3.5	4.2	5.0	6.0

## Kaynaklar

- Gacula, M.C., Singh, J. (1984). *Statistical Methods in Food and Consumer Research*. Academic Press, Inc. USA.
- Jaiswal, A.K., Khandelwal, A. (2007). *Computer based numerical and statistical techniques*. New Age International Publishers.
- Leylak, C., Yurdakul, M., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 1: Doğrusal regresyon. *Food and Health*, 6: 186-198.
- Motulsky, H.J., Christopoulos, A. (2003). Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. In *A Practical Guide to Curve Fitting*; GraphPad Software Inc.: San Diego, CA, USA.
- Ratkowsky, D.A. (2004). Model fitting and uncertainty. In: *Modeling Microbial Responses in Food*, McKellar, R.C., Lu, X. (Eds.), pp. 151–196, Boca Raton FL, CRC Press.
- van Boekel, M.A.J.S. (1996). Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems. *Journal of Food Science*, 61: 477–486.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 7: 144–158.
- van Boekel, M.A.J.S., Zwietering, M.H. (2007). Experimental design, data processing and model fitting in predictive microbiology. In: *Modelling Microorganisms in Food*, Brul, S., Van Gerwen, S., Zwietering, M.H. (Eds.), pp. 22–43, Cambridge, UK, Woodhead Publishing Ltd.

**Excel Özet Çıkışındaki raporlamada değerlerini 15 basamağa kadar verebilmektedir. Ancak bizler bu değerleri kullanırken anlamsız basamakları atarak sadeleştirmeliyiz.**

**Model uyum göstergeleri 4 basamağa kadar (örneğin  $R^2 = 0.9632$ ) gerekliyse 5 basamağa kadar (örneğin  $R^2 = 0.96318$ ) verilebilir. Parametre değerlerini ise aksi gerekmedikçe 2 basamağa kadar vermek uygundur.**

## **Bölümle ilgili sorular**

Bu bölümle ilgili soruları daha sonraki bölümlerle birleştirerek soracağız.

## **Kaynaklar**

- Leylak, C., Yurdakul, M., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 1: Doğrusal regresyon. *Food and Health*, 6: 186-198.
- Motulsky, H.J., Christopoulos, A. (2003). Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. In *A Practical Guide to Curve Fitting*; GraphPad Software Inc.: San Diego, CA, USA.
- Ratkowsky, D.A. (2004). Model fitting and uncertainty. In: *Modeling Microbial Responses in Food*, McKellar, R.C., Lu, X. (Eds.), pp. 151–196, Boca Raton FL, CRC Press.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G. (1967). *Statistical Methods*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 7: 144–158.

## Kaynaklar

- Baranyi, J., Roberts, T.A. (1995). Mathematics of predictive food microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 26: 199-218.
- Leylak, C., Yurdakul, M., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 1: Doğrusal regresyon. *Food and Health*, 6: 186-198.
- Liengme, B.V. (2016). *A Guide to Microsoft® Excel 2013 for Scientists and Engineers*. Elsevier.
- Geeraerd, A.H., Valdramidis, V.P., Van Impe, J.F. (2005). GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *International Journal of Food Microbiology*, 102: 95-105.
- Harris, D.C. (1998). Nonlinear least-squares curve fitting with Microsoft Excel solver. *Journal of Chemical Education*, 75: 119-121.
- Jaiswal, A.K., Khandelwal, A. (2007). *Computer based numerical and statistical techniques*. New Age International Publishers.
- Motulsky, H.J., Christopoulos, A. (2003). Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. In *A Practical Guide to Curve Fitting*; GraphPad Software Inc.: San Diego, CA, USA.
- Ratkowsky, D.A. (2004). Model fitting and uncertainty. In: *Modeling Microbial Responses in Food*, McKellar, R.C., Lu, X. (Eds.), pp. 151–196, Boca Raton FL, CRC Press.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G. (1967). *Statistical Methods*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 7: 144–158.

## Kaynaklar

- Holman, J.P., Holman, B.K. (2018). What Every Engineer Should Know About Excel. Second Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Jaiswal, A.K., Khandelwal, A. (2007). Computer based numerical and statistical techniques. New Age International Publishers.



## Bölümle ilgili sorular

6.1. Bir sıvının farklı sıcaklıklardaki ( $T$ ) buhar basıncı ( $P$ ) aşağıda verilmiştir. Bu verileri aşağıdaki modeli kullanarak tanımlayınız.

$$P = a \cdot e^{b \cdot T}$$

Parametre değerlerini ve model uyum göstergelerini ( $R^2$ ,  $R_{\text{adj}}^2$  ve RMSE) bulunuz. Modeli ve verileri  $T$  -  $P$  grafiği üzerinde Excel'in içinde yer alan "Üstel" modelle birlikte gösteriniz. Bu iki modelin aralarındaki farkları belirtiniz.

$T$ (°C)	25	35	45	55	65	75	85	95
$P$ (mm Hg)	59	105	170	279	440	660	990	1420

**İpucu:** Modeli doğrusallaştırarak elde ettiğiniz parametre değerlerini doğrusal olmayan regresyonda iterasyonu başlatmak için kullanın.

6.2. Aşağıda verilen  $x$  -  $y$  verilerini yine aşağıda verilen model ile tanımlayınız.

$$y = \frac{A \cdot x}{B + x}$$

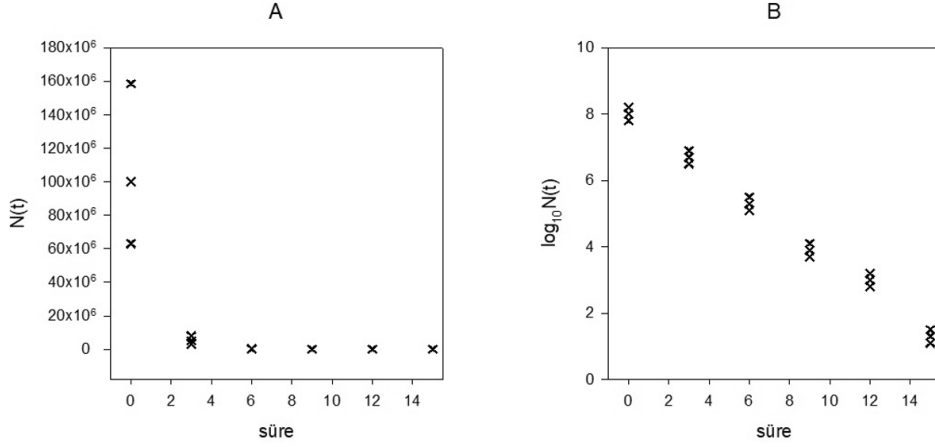
Parametre değerlerini ve değerini bulunuz. Modeli ve %99 güven aralıklarını grafik üzerinde birlikte gösteriniz.

$x$	7	9	15	25	40	75	100
$y$	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8	1.0	1.1

## Kaynaklar

- Brown, A.M. (2001). A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 65: 191–200.
- Martín, M., de Juan, L.M. (2020) EXCEL® for Chemical Engineering. In: Martín, M. (Ed.) Introduction to Software for Chemical Engineers. pp.27-91. Second Edition. CRC Press.

- Mínguez-Mosquera, M.I., Gandul-Rojas, B. (1994). Mechanism and kinetics of carotenoid degradation during the processing of green table olives. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42: 1551–1554.
- Geeraerd, A.H., Valdramidis, V.P., Van Impe, J.F. (2005). GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *International Journal of Food Microbiology*, 102: 95-105.
- Kemmer, G., Keller, S. (2010). Nonlinear least-squares data fitting in Excel spreadsheets. *Nature Protocols*, 5: 267–281.
- Yurdakul, M., Leylak, C., Buzrul, S. (2020). Gıda bilimlerinde Excel kullanımı 2: Doğrusal olmayan regresyon. *Food and Health*, 6: 199–212.



**Şekil 7.11.** Zamana bağlı sayısı azalan bir bakterinin üç tekrarlı heteroskedastik verileri (A) ve bu verilerin logaritması alınarak homoskedastik hale getirilmesi (B). Veriler Excel’de rastgele üretilmiştir.

Şekil 7.11A’da da görüldüğü gibi  $x$ ’in küçük olduğu durumlarda deney tekrarları arasındaki fark fazlayken  $x$  artıkça farklar azalmakta hatta belli bile olmamaktadır. Bu verilerin logaritması alınırsa tüm  $x$ ’ler için  $y$ ’deki farklar sabit olacaktır (Şekil 7.11B).

**Verileriniz heteroskedastikse (değişken varyanslı) ise regresyon analizine geçmeden verileri dönüştürmeyi deneyin.**

## Bölümle ilgili sorular

Bu bölümle ilgili sorular diğer bölümlerle birleştirilerek sorulacaktır.

## Kaynaklar

- Motulsky, H.J., Ransnas, L.A. (1987). Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *The FASEB Journal*, 1(5): 365–374.
- Kronthaler, F. (2023). *Statistics Applied with Excel. Data Analysis is (not) an Art*. Springer-Verlag GmbH.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). *Kinetic modeling of reactions in foods*. Boca Raton FL, CRC Press.

**8.3.** Aynı veri setini (Soru 8.1) aşağıdaki modellerle tanımlayın ve parametre değerleriyle birlikte RMSE değerini de bulun. Bu değerleri Soru 8.2’de bulduklarınızla kıyaslayın. Hangi modeli seçersiniz?

$$\log_{10} N(t) = \log_{10} N_0 + \frac{\log_{10} N_{maks} - \log_{10} N_0}{1 + \exp[\mu \cdot (t_i - t)]} - \frac{\log_{10} N_{maks} - \log_{10} N_0}{1 + \exp(\mu \cdot t_i)}$$

## Kaynaklar

- Baranyi, J., Roberts, T.A. (1994). A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*, 23: 277–294.
- Buchanan, R.L., Whiting, R.C., Damert, W.C. (1997). When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food Microbiology*, 14: 313–326.
- Lambert, R.J.W., Mytilinaios, I., Maitland, L., Brown, A.M. (2012). Monte Carlo simulation of parameter confidence intervals for non-linear regression analysis of biological data using Microsoft Excel. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 107: 155–163.
- Peleg, M. (2006). *Advanced Quantitative Microbiology for Food and Biosystems: Models for Predicting Growth and Inactivation*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Peleg, M., Corradini, M.G. (2011). Microbial growth curves: What the models tell us and what they cannot. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51: 917–945.
- Öksüz, H., Buzrul, S. (2020). Monte Carlo analysis for microbial growth curves. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10: 418–423.
- Öksüz, H., Buzrul, S. (2021). Mikroorganizmaların büyüme eğrilerini tanımlamak için Excel tabanlı, kullanıcı dostu, ücretsiz bir araç: ÖK-BUZ GRoFiT. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 18: 521–532.
- Özçelik, F., Halkman, A.K., Bağder-Elmacı, S. (2019). Mikroorganizma gelişmesi. In: Halkman, A.K. (Ed.) *Gıda Mikrobiyolojisi*. Başak Mtabaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd., Ankara, ISBN: 978-605-245-683-5, pp. 23–60. Bölüm 2.
- Zwietering, M.H., Jongenburger, I., Rombouts, F.M., Van’t Riet, K. (1990). Modelling of the bacterial growth curve. *Applied and Environmental Microbiology*, 56: 1875–1881.

**9.1.** Bir mikroorganizmanın sabit sıcaklıktaki inaktivasyon verileri aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

süre (dak)	$\log_{10} N(t)$
0.0	7.40
0.2	6.65
0.4	5.78
0.6	5.58
0.8	5.13
1.0	4.48
1.5	3.66
2.0	2.90
3.0	1.79

- Bu verilere Weibull modelini uydurun ( $\log_{10} N(t) = \log_{10} N_0 - b \cdot t^n$ ). Parametre değerlerini,  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$  ve RMSE değerlerini bulun.
- 5 log azalama için gerekli zamanı hesaplayın.
- Aynı verilere  $\log_{10} N(t) = \log_{10} N_0 - b \cdot t^{0.7}$  modelini uydurun. (Bu modeli uydurmak için Çözücü değil Veri Çözümleme > Regresyon uygulamasını kullanabilirsiniz. Neden?) Model parametrelerini, parametrelerin standart hatalarını,  $\sigma$  ve değerlerini bulun.

## Kaynaklar

- Buzrul, S. (2007). Gıdalarda etkisizleştirilen mikroorganizmaların tanımlanması 1: Doğrusal taslam ve eksiklikleri. *Dünya Gıda Dergisi*, 8: 61–64.
- Buzrul, S. (2022). The Weibull model for microbial inactivation. *Food Engineering Reviews*, 14: 45–61.
- Cerf, O. (1977). A review. Tailing of survival curves of bacterial spores. *Journal of Applied Bacteriology*, 42: 1–19.
- Dolan, K.D., Mishra, D.K. (2013). Parameter estimation in food science. *Annual Reviews in Food Science and Technology*, 4: 401–422.
- Linton, R.H., Carter, W.H., Pierson, M.D., Hackney, C.R. (1995). Use of modified Gompertz equation to model non-linear survival curves for *Listeria monocytogenes* Scott A. *Journal of Food Protection*, 9: 946–954.
- Peleg, M. (2000). Microbial survival curves – the reality of flat shoulders and absolute thermal death times. *Food Research International*, 33: 531–538.
- Peleg, M. (2006). *Advanced quantitative microbiology for foods and biosystems: Models for predicting growth and inactivation*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- van Boekel, M.A.J.S. (2002). On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *International Journal of Food Microbiology*, 74: 139–159.

11.2. Zeytinde bulunan Neoksantin'in bozunma verileri aşağıda gösterilmiştir.

süre (gün)	C(t) (mg/kg)
0	1.42
0	1.31
4	1.29
4	1.19
8	1.23
8	1.18
14	0.96
14	0.98
19	0.88
19	0.79
20	0.84
20	0.76
26	0.71
26	0.65
33	0.42
33	0.49
54	0.20
54	0.32

- Reaksiyon derecesini bulun.
- Aynı verilere  $C(t) = C_0 \cdot \exp(-b \cdot t^m)$  modelini uygulayın.
- Hangi modeli seçersiniz? Neden?

## Kaynaklar

- Buzrul, S. (2023).  $\alpha$ -Laktalbumin'in ısı denatürasyonunun iki farklı modelle tanımlanması. Akdeniz Mühendislik Dergisi, 1: 23–32.
- Marangoni, A.G. (2017). Kinetic Analysis of Food Systems. Springer International Publishing.
- Özilgen, M. (2011). Handbook of Food Process Modeling and Statistical Quality Control with Extensive MATLAB Applications. Second Edition. Taylor and Francis Group.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). Kinetic modeling of reactions in foods. Boca Raton FL, CRC Press.
- van Boekel, M.A.J.S. (2021). Kinetics of heat-induced changes in foods: A workflow proposal. Journal of Food Engineering, 306: 110634.
- van Boekel, M.A.J.S. (2022). Kinetics of heat-induced changes in dairy products: Developments in data analysis and modelling techniques. International Dairy Journal, 126: 105187.

uygun bir yöntem olduğu kanısındayız. Bir sonraki bölümde bu işin doğrusunu yani asimetric güven aralıklarını hesaplamayı öğreneceğiz.

## Bölümle ilgili sorular

12.1. Bir bakterinin sabit sıcaklıktaki inaktivasyon verileri aşağıda verilmiştir.

süre (dak)	$\log_{10} N(t)$ [ $\log_{10}$ KOB/mL]
0	7.91
1	7.15
2	6.88
4	6.35
8	5.29
15	4.49
35	2.60
60	1.06

- $\log_{10} N(t) = \log_{10} N_0 - t/(k_1 + k_2 \cdot t)$  modelini verilere uydurun. Parametre değerlerini ( $\log_{10} N_0$ ,  $k_1$  ve  $k_2$ ) ve  $R^2$ ,  $R^2_{\text{adj}}$ , RMSE değerlerini bulun.
- Doğrusal varsayımla parametrelerin standart hatalarını bulun.
- (b)'de bulduğunuz cevaba bakarak parametrelerin anlamlı olup olmayacağı hakkında yorum yapın.
- Parametrelerin %95 güven aralıklarını bulun.

## Kaynaklar

- Buzrul, S. (2021). Microsoft® Excel'de Monte Carlo benzetimi: Gıda bilimlerinde kullanılan doğrusal olmayan regresyon için model parametrelerinin güven aralıklarının belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 19: 291–299.
- van Boekel, M.A.J.S. (1996). Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems. *Journal of Food Science*, 61: 477–485, 489.
- van Boekel, M.A.J.S. (2021). To pool or not to pool: That is the question in microbial kinetics. *International Journal of Food Microbiology*, 354: 109283.
- van Boekel, M.A.J.S., Roux, S. (2022). Multilevel modeling in food science: A case study on heat-induced ascorbic acid degradation kinetics. *Food Research International*, 158: 111565.
- Dolan, K.D., Mishra, D.K. (2013). Parameter estimation in food science. *Annual Reviews in Food Science and Technology*, 4: 401–422.

olan hücreyi seçin. Bu değer “En Küçük” olmasını istiyoruz ve bunu da tüm parametre değerleri için (son 50 veri setinin parametre değerlerini seçin) aynı anda yapmak istiyoruz.

- 12) Bulduğunuz parametre değerlerini ilk 50 adet parametre değerini kopyaladığınız yere kopyalayın.
- 13) Şu anda elinizde 100 adet parametre değeri olmalı. Excel’de “=YÜZDEBİRLİK(dizi; 0.025)” ve “=YÜZDEBİRLİK(dizi; 0.975)” işlevlerini kullanarak (dizi olarak 100 adet parametre değeri seçilmeli) sırasıyla alt limit ve üst limiti hesaplayın.

## Bölümle ilgili sorular

**13.1.** Bölüm 12’nin sonunda bölümle ilgili sorudaki (12.1) veri setini kullanarak 100 adet MC benzetimi yapın ve parametrelerin %95 güven aralıklarını hesaplayın. Bulduğunuz aralıkları Soru 12.1’de bulduklarınızla karşılaştırın.\*

\* Bu soruyu iki farklı kişi çözüp yakın ama farklı sonuçlar elde edebilir. Ya da bir kişi ayrı zamanlarda soruyu iki kez çözdüğünde farklı sonuç bulabilir.

## Kaynaklar

- Buzrul, S. (2021). Microsoft® Excel’de Monte Carlo benzetimi: Gıda bilimlerinde kullanılan doğrusal olmayan regresyon için model parametrelerinin güven aralıklarının belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 19: 291–299.
- Lambert, R.J.W., Mytilinaios, I., Maitland, L., Brown, A.M. (2012). Monte Carlo simulation of parameter confidence intervals for non-linear regression analysis of biological data using Microsoft Excel. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 107: 155–163.
- Mínguez-Mosquera, M.I., Gandul-Rojas, B., Mínguez-Mosquera, J. (1994). Mechanism and kinetics of the degradation of chlorophylls during the processing of green table olives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1089–1095.
- Öksüz, H.B., Buzrul, S. (2020). Monte Carlo analysis for microbial growth curves. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 10: 418–423.
- van Boekel, M.A.J.S. (2008). *Kinetic modeling of reactions in foods*. Boca Raton FL, CRC Press.