

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Begüm ÇIĞŞAR**

**BÜYÜME MODELLERİNE YAKLAŞIMLAR VE YENİ  
BÜYÜME MODELLERİ**

**İSTATİSTİK ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2022**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜME MODELLERİNE YAKLAŞIMLAR VE YENİ BÜYÜME  
MODELLERİ**

**Begüm ÇIĞŞAR**

**DOKTORA TEZİ**

**İSTATİSTİK ANABİLİM DALI**

Bu Tez 01/02/2022 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Deniz ÜNAL  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. Güzin YÜKSEL  
ÜYE

.....  
Prof. Dr. Gülsen KIRAL  
ÜYE

.....  
Prof. Dr. Hamza EROL  
ÜYE

.....  
Prof. Dr. İbrahim KILIÇ  
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İstatistik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Sadık DİNÇER**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: FDK2019-12338.**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

BÜYÜME MODELLERİNE YAKLAŞIMLAR VE YENİ BÜYÜME  
MODELLERİ

Begüm ÇIĞŞAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Deniz ÜNAL  
Yıl: 2022, Sayfa: 93  
Jüri : Prof. Dr. Deniz ÜNAL  
: Prof. Dr. Güzin YÜKSEL  
: Prof. Dr. Gülsen KIRAL  
: Prof. Dr. Hamza EROL  
: Prof. Dr. İbrahim KILIÇ

Canlıları veya olguları en iyi tanımlayacak fonksiyonun bulunması için çeşitli kıstaslar aracılığıyla büyüme modelleri sınanmakta bazen de yenileri ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada, temel amaç çerçevesinde, Karma Sloboda Gompertz Modeli ve Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina Modeli olmak üzere iki yeni büyüme modeli önerilmiştir. Modellerin performansları temel aldığı büyüme modelleri ile karşılaştırılmış, etkinlikleri ortaya konulmuştur.

Ayrıca, *P. quadrilineatus* türü için uzunluk-yaş dağılımında yaygın kullanılan von Bertalanffy modeli yerine Gompertz, Schnute, Lojistik-Karkach gibi büyüme modellerinin kullanılabilmesi gösterilmiştir. Lesepsiyen Yengeci'nin uzunluk-frekans dağılımı ELEFAN ve Genetik Algoritma ile belirlenmiştir. İki farklı balık türünün uzunluk-ağırlık dağılımları Yapay Sinir Ağları ve Lineer Regresyon ile belirlenmiş, Yapay Sinir Ağları'nın yetkinliği bu türler için gösterilmiştir. En Küçük Kareler ve Genetik Algoritma yöntemlerinin parametre tahminindeki performansları incelenmiştir. Tüm yöntemler ve modeller;  $R^2$ , Hata Kareler Ortalaması, Kök Hata Kareler Ortalaması, Ortalama Mutlak Yüzde Hata gibi kriterlere göre karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karma Sloboda Gompertz Modeli, Genelleştirilmiş Büyüme Modeli, Büyüme Modelleri, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma

## ABSTRACT

## PHD THESIS

# APPROACHES TO GROWTH MODELS AND NEW GROWTH MODELS

Begüm ÇIĞŞAR

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF STATISTICS

Supervisor : Prof. Dr. Deniz ÜNAL  
Year: 2022, Pages: 93  
Jury : Prof. Dr. Deniz ÜNAL  
: Prof. Dr. Güzin YÜKSEL  
: Prof. Dr. Gülsen KIRAL  
: Prof. Dr. Hamza EROL  
: Prof. Dr. İbrahim KILIÇ

In order to find the function that best describes living things or phenomena, growth models are compared by means of various criteria, and sometimes new ones are introduced. In this study, two new growth models, namely the Combined Sloboda Gompertz Model and the Generalized Crescenzo & Spina Model, are proposed within the scope of the main purpose. The performances of the models were compared with the growth models on which they were based, and their effectiveness was revealed.

In addition, it has been shown that growth models such as Gompertz, Schnute, Logistic-Karkach can be used instead of the von Bertalanffy model, which is widely used in the length-age distribution for the *P. quadrilineatus* species. The length-frequency distribution of the Lessepsian Crab was determined by ELEFAN and Genetic Algorithm. The length-weight distributions of two different fish species were determined by Artificial Neural Networks and Linear Regression, and the competence of Artificial Neural Networks was shown. The performances of Least Squares and Genetic Algorithm methods in parameter estimation were compared. All methods and models were compared according to criteria such as  $R^2$ , Mean Squared Error, Root Mean Squared Error, Mean Absolute Percent Error.

**Key Words:** Combined Sloboda Gompertz Model, Generalized Growth Model, Growth Models, Artificial Neural Networks, Genetic Algorithm

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

İnsanlığın varoluşundan bugüne bilim insanları canlıların gelişimi, değişimi ve büyümesi üzerine sayısız gözlem ve incelemelerde bulunmuş, bu gözlemleri de matematiksel modellemelerle ifade etmeye çalışmışlardır. Önceleri büyümeyi basit bir diferansiyel denklem ile ifade etmiş ardından bu denklemlerden onlarca yeni büyüme modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modeller, mevcut modellerin, yeni parametreler ile farklı ve daha doğru tahmin yapabilen modellere dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Bazı modellerin ise yine literatürde sıklıkla kullanılan modellerin bir karması olduğu görülmektedir. Her yeni büyüme modeli, türü veya olguyu daha iyi ifade etmek amacıyla tasarlanır. Eğer eldeki problem doğru bir şekilde tanımlanırsa, bu defa olgunun/canlının oluşturduğu kaynaklardan maksimum verim ve minimum çaba ile yararlanılabilir.

Geliştirilen bir fonksiyon bir türün büyümesinin modellenmesinde kullanılmışsa, literatürdeki çalışmalardan ilham alınarak, daha sonra başka bir türün tanımlanmasında da kullanılabilir. Çalışmalar başarılı olur ve modelin kullanımı devamlılık arz ederse bu defa türü tanımlayan fonksiyon olarak kabul görebilir. Kimi zaman bir modelin sadece teorik olarak tanımlandığına şahit olmaktadır. Böyle durumlarda başka bir bilim insanı teorik olarak ifade edilmiş modeli ele alarak gerçekleştirdiği uygulamalarla modelin uygulanmasına ve bilinirliğinin artmasına olanak tanıyabilmektedir.

Teoride kalmış fakat gerçek hayata uygulanmamış modeller, uygulamalarla etkinliği kanıtlanmış sayısız bilindik model ve yine geliştirilmeye devam edilen literatüre yeni sunulan modeller, bir büyüme modelleri yığını oluşturmaktadır. Bu modeller arasından veya henüz doğmamış bir modelin, belli bir türü en iyi tanımladığına nasıl karar verilmektedir? Türü en iyi tanımlayacak fonksiyonu bulmak belki de en önemli hususlardan biridir. Literatüre dayanarak bir türü en iyi tanımladığını düşündüğümüz modeller bazı durumlarda beklediğimiz performansı

göstermeyebilir. Hatta başka bir model bu türü çok daha iyi tanımlayabilir. Bu gibi durumların önüne geçmek için çeşitli istatistiksel kıstaslarla modellerin karşılaştırılması gerekmektedir. Böylece hem daha önce kullanılmış modelin mevcut veriyi doğru tanımlayıp tanımlamadığı kontrol edilir hem de veriyi daha iyi tanımlayabilecek bir model bulunarak literatüre katkı sağlanabilir.

Teknolojinin gelişmesi ve hesaplama kabiliyeti yüksek programların ortaya çıkması ile birlikte başlarda çözümleri yapılamayan veya bazılarının el ile çözümleri yapıldığından hesaplanması günler alan, bu nedenle de teoride kalmış uygulamaya geçememiş fonksiyonlar hesaplanabilmiştir. Bu programlar sayesinde Genetik Algoritma (GA), Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi yöntemler de bu modellere entegre edilerek daha doğru tahminler yapılmasına imkân tanımıştır.

Bu çalışmada karma ve genelleştirilmiş formlar olmak üzere iki yeni büyüme modeli önerilmiştir. Gompertz ve Sloboda büyüme modelleri tabanlı geliştirilen karma modelin elde edilişi verilmiş, modelin özellikleri paylaşılmıştır. Elde edilen ikinci model ise Crescenzo & Spina modelinin bir genelleştirilmiş formudur. Modele ait teorik bilgiler paylaşılmıştır. Modellerin elde edilişi ve özelliklerinin verilmesinin ardından bilinen bir türe bilinen bir büyüme modelinin uygulanması yerine başka bir büyüme modelinin uygulanıp uygulanamayacağı incelenmiştir. Ayrıca cinsiyetler açısından da uygulanacak modellerin farklılık gösterip göstermeyeceği ele alınmıştır. Bu amaçla su ürünlerinde sıklıkla kullanılan von Bertalanffy büyüme modelinin her zaman en iyi model olmadığı gösterilmek istenmiştir. Bu nedenle de bir balık türü olan *Pelates quadrilineatus* türünün cinsiyetlere ve tüm veriye göre uzunluk-yaş dağılımı için dört farklı büyüme modeli (von Bertalanffy, Gompertz, Schnute, Lojistik-Karkach) kullanılmıştır. Bu büyüme modelleri  $R^2$  ve Hata Kareler Ortalaması (MSE) kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Türün uzunluk-ağırlık dağılımında da Lineer Regresyona (LR) alternatif olarak YSA'nın kullanılabileceği gösterilmiştir.

Daha sonra yine bir balık türü olan Lesepsiyen Yengeci'nin büyümesi farklı yaklaşımlarla modellenmiştir. Bu amaçla türün uzunluk-frekans dağılımı geleneksel

yöntemlerden olan RSA (Response Surface Analysis) ve bu yönteme alternatif kullanılmaya başlanan GA ile belirlenmiştir. Bu iki yöntem karşılaştırılarak en iyi performansa sahip yöntemden elde edilen parametreler ile de Lesepsiyen Yengeci'nin yaş tahmini gerçekleştirilmiştir. Yengecin uzunluk-ağırlık dağılımı ise *P. quadrilineatus* türünde olduğu gibi LR ve YSA yöntemleri ile yapılmıştır. Uzunluk-frekans dağılımından elde edilen yaş değişkeni de uzunluk-ağırlık dağılımı için oluşturulan modellerden birine eklenmiştir.

Büyüme modellerinin ve yöntemlerin farklı balık türleri kullanılarak karşılaştırılmasına ek olarak Genetik Algoritma Yönteminin, parametre tahmininde literatürde sıklıkla kullanılan En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi'ne alternatif olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu amaçla iki yöntem kandaki glukoz seviyesinin ölçüldüğü bir veri kümesine ve literatüre yeni kazandırılan L-MMH modeline uygulanarak karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılmasında  $R^2$ , düzeltilmiş  $R^2$ , Kök Hata Kareler Ortalaması (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) kriterleri kullanılmıştır.

Teorik özellikleri ve elde edilişi verilen Gompertz ve Sloboda büyüme modelleri tabanlı geliştirilen yeni modelin performansı bilinen bir veri kümesi olan Afgan Pika ve Covid-19 Türkiye verisine uygulanarak, Gompertz ve Sloboda büyüme modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Yine önerilen ikinci denklemin, Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina modelinin performansı Afgan Pika veri kümesine uygulanarak Crescenzo & Spina, Gompertz modelleri ile sınanmıştır.

Sonuç olarak literatüre iki yeni büyüme modeli kazandırılmış ve bilinen büyüme modelleri ile karşılaştırmaları sonucunda yetkinlikleri incelenmiştir. Ayrıca bilinen bir türe bilinen bir büyüme modelinin uygulanması yerine başka bir büyüme modelinin de uygulanabileceği ve hatta daha iyi sonuçlar vereceği ortaya koyulmuştur. Yine karşılaştırmalar sonucunda balık türlerinde cinsiyetler arasında dahi uzunluk-yaş dağılımı için farklılıklar oluşabileceği belirtilmiştir. Uzunluk-ağırlık dağılımını belirlemede YSA yönteminin LR yönteminden daha başarılı

olduğu iki farklı tür için gösterilmiştir. Son olarak GA'nın parametre tahmininde kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora eğitimlerim boyunca engin bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, çalışmalarımın her aşamasında sabırla eksiklerimi tamamlamamda yardımcı olan ve beni yüreklendiren, gerek akademik yaşamımda gerekse sosyal hayatımda güler yüzü ve samimiyetiyle desteklerini esirgemeyen, birlikte çalışıp üretmekten mutluluk duyduğum, çok sevdiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Deniz Ünal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez sürecimin her aşamasında yapıcı öneriler sunan, kıymetli zamanlarımı ayırarak çalışmamı titizlikle inceleyen ve gelişip olgunlaşmasında emeği olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Güzin Yüksel ve Prof. Dr. Gülsen Kırıl'a en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Engin bilgileri ve tecrübeleri ile yüksek lisans ve doktora çalışmalarına yön veren, yapıcı eleştirileri ile çalışmalarımın gelişmesini sağlayan çok kıymetli hocam Prof. Dr. Hamza Erol'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamı titizlikle inceleyerek katkılar sağlayan Sayın Prof. Dr. İbrahim Kılıç'a şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen, en zor anlarımda bana güç veren, yoluma ışık tutan sevgili aileme en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	XVI
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	5
3. MATERYAL METOT .....	17
3.1. Materyal .....	17
3.2. Metot.....	18
3.2.1. Büyüme Modelleri .....	20
3.2.1.1. Von Bertalanffy .....	22
3.2.1.2. Gompertz.....	23
3.2.1.3. Schnute.....	24
3.2.1.4. Lojistik-Karkach .....	25
3.2.1.5. Sloboda .....	25
3.2.1.6. Crescenzo & Spina .....	26
3.2.1.7. L-MMH Modeli .....	27
3.2.2. Yapay Sinir Ağları .....	27
3.2.3. Genetik Algoritma (GA).....	29
3.2.5. En Küçük Kareler Yöntemi (EKK).....	30
3.2.4. Karşılaştırma Kriterleri.....	31

3.2.4.1. Hata Kareler Ortalaması (MSE) .....	31
3.2.4.2. Kök Hata Kareler Ortalaması (RMSE).....	32
3.2.4.3. Belirtme Katsayısı $R^2$ .....	32
3.2.4.4. Düzeltilmiş $R^2$ (adj. $R^2$ ) .....	32
3.2.4.5. Ortalama Mutlak Yüzde Hata.....	33
4. BULGULAR .....	35
4.1 Önerilen Büyüme Modelleri.....	35
4.1.1. Karma Sloboda Gompertz Modelinin (CSG) Elde Edilişi.....	35
4.1.1.1. CSG Modelinin Özellikleri.....	37
4.1.2. Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina Modelinin Elde Edilişi .....	39
4.1.2.1. G-CRS Modelinin Özellikleri .....	40
4.2. Performans Karşılaştırma.....	46
4.2.1. <i>Pelates</i> Türünün Büyümesinin Modellenmesi .....	47
4.2.1.1. <i>Pelates</i> Türü için Uzunluk-Yaş Dağılımı .....	47
4.2.1.2. <i>Pelates</i> Türü için Uzunluk-Ağırlık Dağılımı .....	50
4.2.2. Lesepsiyen Yengecin Büyümesinin Modellenmesi .....	57
4.2.2.1. Lesepsiyen Yengeç için Uzunluk-Frekans Dağılımı .....	57
4.2.2.2. Lesepsiyen Yengeç için Uzunluk-Ağırlık Dağılımı .....	60
4.2.3. EKK ve GA Yöntemleri ile Parametre Tahmini .....	65
4.2.4. CSG Modeli Uygulamaları .....	67
4.2.4.1. Afgan Pika Veri Kümesine Uygulanması .....	67
4.2.4.2. Covid-19 Verilerine Uygulanması .....	68
4.2.5. Genelleştirilmiş Modele Bir Uygulama .....	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	75
KAYNAKLAR .....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	93



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 4.1. $\alpha$ Parametresi için Bazı Limitler .....	41
Çizelge 4.2. $\beta$ Parametresi için Bazı Limitler .....	41
Çizelge 4.3. Dönüm Noktasındaki Popülasyonun Bazı Limitleri .....	44
Çizelge 4.4. <i>Pelates</i> Türü için Tanımlayıcı İstatistikler .....	48
Çizelge 4.5. Büyüme Modelleri ve Karşılaştırma Kriterleri .....	49
Çizelge 4.6. LR Analizi Parametre Tahminleri $R^2$ ve MSE Değerleri .....	52
Çizelge 4.7. YSA için $R^2$ ve MSE Değerleri .....	54
Çizelge 4.8. LR ve YSA Yöntemlerinin MAPE Değerleri .....	56
Çizelge 4.9. Leseptiyen Yengeci için Tanımlayıcı İstatistikler .....	58
Çizelge 4.10. RSA ve GA Yöntemlerinin Parametre Tahminleri .....	60
Çizelge 4.11. LR, Model I ve Model II için $R^2$ ve MSE Değerleri.....	63
Çizelge 4.12. LR, Model I ve Model II için Tahmini Ağırlık ve MAPE .....	64
Çizelge 4.13. EKK ve GA Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	66
Çizelge 4.14. Sloboda, Gompertz, CSG Modellerinin Karşılaştırılması.....	68
Çizelge 4.15. Vaka Sayısı ve Modellerin Tahmini .....	70
Çizelge 4.16. Covid-19 Verisi için Modellerin Karşılaştırılması.....	71
Çizelge 4.17. Modeller ve Karşılaştırma Kriterleri .....	72



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 4.1.	Genelleştirilmiş Modele Karşılık Tanjant Doğrusu.....	46
Şekil 4.2.	<i>Pelates</i> için uzunluk-Ağırlık İlişkisi.....	51
Şekil 4.3.	YSA Modeli .....	53
Şekil 4.4.	YSA-LR için Asıl Değerlere Karşı Tahmin Değerleri .....	54
Şekil 4.5.	Lesepsiyen Yengeç için Uzunluk-Ağırlık İlişkisi .....	61
Şekil 4.6.	Model I için YSA Grafiği.....	62
Şekil 4.7.	Model II için YSA Grafiği .....	63
Şekil 4.8.	Veriye Karşılık L-MMH Modeli Grafiği .....	66
Şekil 4.9.	Sloboda, Gompertz, CSG Modellerinin Veriye Uydurulması.....	67
Şekil 4.10.	Modellerin Covid-19 Verisine Uydurulması.....	69
Şekil 4.11.	Modellerin Veriye Uydurulması.....	72



## SİMGELER VE KISALTMALAR

$R^2$	: Belirtme Katsayısı
A	: Ağırlık
adj. $R^2$	: Düzeltilmiş $R^2$
ASP	: Available Sum of Peaks (Mevcut Pikler Toplamı)
CSG	: Combined Sloboda Gompertz Model (Karma Sloboda Gompertz Modeli)
EKK	: En Küçük Kareler
ESP	: Explained Sum of Peaks (Açıklanan Pikler Toplamı)
GA	: Genetik Algoritma
G-CRS	: Generalized Crescenzo & Spina Model (Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina Modeli)
KG	: Kabuk Genişliği
LR	: Lineer Regresyon
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
MLP	: Multi Layer Perceptron (Çok Katmanlı Algılayıcı)
MSE	: Mean Square Error (Hata Kareler Ortalaması)
RMSE	: Root Mean Square Error (Kök Hata Kareler Ortalaması)
RSA	: Response Surface Analysis (Tepki Yüzey Analizi)
YSA	: Yapay Sinir Ağları



## 1. GİRİŞ

Büyüme modelleri, bir canlının, bir organizmanın boyutunun zamana bağlı değişiminin matematiksel ifadesidir (France ve ark., 1996) ve onlarca yıldır bilim, mühendislik, ekonomi gibi çok çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır (Hritonenko ve Yatsenko, 1999). Bu modellerle canlının veya bir yapının gelişimi incelenebileceği gibi eldeki kaynakların doğru bir şekilde kullanılması da mümkün olmaktadır. Dünya nüfusunun hızla arttığı ve bu oranda da kaynakların tükendiği düşünülürse, bu kaynakların korunması için matematiksel modellemelerin önemi daha fazla ortaya çıkmaktadır. Geliştirilen büyüme modelleri ile bilim insanları canlı gelişimini ve bu gelişimden yararlanılabilecek en yüksek faydayı belirlemeye çalışmaktadır (Efe, 1990).

Modeller kurulurken o canlının veya yapının büyümesinde etkili olan parametreler ile denklem oluşturulur. Her canlı için büyüme farklı parametreler ile ölçülür. Örneğin bir ağaç büyümesi uzunluk; bir balık büyümesi uzunluk-yaş, çatal boy-total boy, ağırlık-uzunluk ilişkisi incelenerek tahmin edilebilir (France ve ark., 1996). Birçok bilim insanı bu parametreleri kullanarak literatürde adını sıklıkla duyduğumuz; von Bertalanffy, Gompertz, Schnute, Richards vb. denklemleri elde etmişlerdir.

Büyüme modellerinin elde edilmesi devamlılık arz etmektedir. Malthus (1798) tarafından geliştirilen üstel büyüme modeli, zamanla birçok büyüme modelinin oluşmasına olanak tanımıştır. Örneğin, bu denkleme eklediği bir parametre ile Verhulst (1838), Lojistik adını verdiği bir büyüme modelini elde etmiştir. Bu parametre ekleme işleminin dayanağı ise hiçbir popülasyonda büyümenin sonsuza kadar ve üstel bir şekilde artmayacağıdır. Verhulst geliştirdiği denklemi uygulayamamış olması sebebiyle yıllarca teorik olarak varlığını sürdürmüştür. 1927 yılında Pearl, lojistik büyüme denklemini sirke sineği türü olan *Drosophila Melanogasterin* 'in büyümesine uygulayıp, gerçeğe çok yakın bir şekilde

tahmin edince, bu denklem Verhulst-Pearl denklemi olarak anılmaya başlanmıştır (Tsoularis ve Wallace, 2002). Devamlılığa bir örnek ise Lojistik büyüme modelinden elde edilen Richards büyüme modelidir (Windarto vd., 2018). Gompertz büyüme modeli ise Richards büyüme modelinin özel bir formudur (Koya ve Goshu, 2013). Görüldüğü gibi büyüme modelleri bir devinim halindedir ve gelişimi günümüzde de devam etmektedir. Eldeki türü tanımlayabilecek en iyi modeli ortaya koymak amacıyla araştırmacılar kimi zaman bilindik büyüme modellerine yaptıkları modifikasyonlarla kimi zaman da büyüme modellerini genelleştirilmiş formlarda sunarak literatüre katkı sağlamaktadırlar. Modeller geliştirilirken unutulmamalıdır ki hiçbir model canlıyı tam anlamıyla tanımlayamaz. Bu nedenle canlının veya olgunun büyümesini tanımlarken bazen büyüme modellerini karşılaştırarak en iyi tanımlayacak modeli seçmek bazen de çeşitli eklentiler ile modeli geliştirmek gerekmektedir (Tabatabai vd., 2005).

Yukarıda sayılan nedenler ve daha fazlası yani bir canlıyı tanımlayabilecek en iyi modeli belirleme ihtiyacı bu çalışmayı doğurmuştur. Bu sebeple bu çalışmanın ana hedefi; yeni bir büyüme modeli geliştirerek, mevcut büyüme modellerden daha iyi uyuma sahip bir model ortaya koymaktır. Ayrıca, büyüme modellerinin karşılaştırılmasının önemine vurgu yapmak, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma gibi yöntemlerin kullanımıyla türe ait bilgilerin belirlenmesi ve parametre tahmininde başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektir.

Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın ana hedefinden bahsedilmiş, ikinci bölümde ise çalışmanın konusu ve gelişimine ilişkin literatür özeti verilmiştir. Üçüncü bölümde materyal ve metotlardan bahsedilmiştir. Bu bölümde kullanılan veri kümeleri ve çalışmada yer verilen Gompertz, von Bertalanffy, Schnute, Lojistik, Sloboda, Crescenzo & Spina, L-MMH büyüme modelleri tanıtılmıştır. Yine aynı bölümde YSA, GA ve EKK yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde son olarak çalışmada kullanılan karşılaştırma kriterleri tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde iki alt bölüm oluşturulmuş ilk alt bölümde ana

hedefe uygun olarak iki yeni büyüme modelinin elde edilmiş aşamaları ve bu modellerin özellikleri verilmiştir. Dördüncü bölümün ikinci alt bölümü olan performans karşılaştırma ise beş alt bölüme ayrılmıştır. İlk iki kısımda iki farklı türün verileri kullanılarak bu türlerin büyümeleri modellenmek istenmiştir. İlk tür olan *Pelates quadrilineatus* büyümesi modellenirken dört farklı büyüme modeli kullanılmış, yaş-uzunluk dağılımını belirlemede en iyi performansa sahip büyüme modeli karşılaştırma kriterlerine göre belirlenmiştir. Bu tür için uzunluk-ağırlık dağılımı belirlenirken, geleneksel yöntem olan Lineer Regresyon (LR) ve literatürde yeni kullanılmaya başlanan YSA yöntemleri uygulanarak karşılaştırılmıştır. İkinci tür olan Lesepsiyen Yengeci'nin yaş-frekans dağılımının belirlenmesinde, geleneksel yöntemler ve bu yöntemlere alternatif olarak GA yönteminin uygulanması gösterilmiştir. Ayrıca ilk türde olduğu gibi bu tür için de uzunluk-ağırlık dağılımı LR ve YSA yöntemleri ile belirlenmiştir. Üçüncü alt bölümde lineer olmayan modellerin parametre tahmininde sıklıkla kullanılan EKK yöntemi ve parametre tahmininde kullanılmaya başlanan GA yöntemleri karşılaştırılmıştır. Dördüncü alt bölümde Karma Sloboda Gompertz (CSG) modeli Afgan Pika ve Covid-19 Türkiye veri kümelerine uygulanarak performansı incelenmiştir. Son alt bölümde ise Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina (G-CRS) modelinin başarımı da CSG modelinde olduğu gibi Afgan Pika veri kümesine uygulanarak incelenmiştir. Son bölümde tüm bölümlerden elde edilen bilgiler yorumlanarak çalışma sonuçlandırılmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Büyüme modelleri yıllar içinde gelişme gösterirken, bilim insanları da gelişen bu büyüme modellerini çeşitli türlere uygulayarak teoride etkinliği kanıtlanan fonksiyonların gerçek hayattaki yansımalarını incelemek istemişlerdir. Örneğin, Pearl (1927) makalesinde Verhulst tarafından geliştirilen Lojistik büyüme modelini sirke sineği verisine uygulayarak bu denklemin uygulamasını gerçekleştirmiştir. Çalışmasında büyümeden, büyümeyi etkileyen faktörlerden ve bir popülasyonun nasıl büyüdüğünden bahsetmiştir. Yaptığı bu çalışmada lojistik büyüme modelinin uygulanabilirliğini ve popülasyon tahmininde kullanılabileceğini göstermesi sebebiyle Lojistik model Verhulst-Pearl modeli ile anılmaya başlanmıştır.

Kimi zaman bilim insanları türü veya bir popülasyon büyümesini en iyi tanımlayacak fonksiyonu bulmak için çeşitli büyüme modellerini karşılaştırma yoluna gitmişlerdir. Örneğin, Zeide (1993) ağaç büyümesi veri kümesini kullanarak popüler büyüme modellerinden 11 denklemi seçerek (Gompertz, Lojistik, Von Bertalanffy, Chapman-Richard vb.) karşılaştırma yapmıştır. Bu karşılaştırma ile ağaç büyümesini en iyi modelleyecek denklemi bulmayı amaçlamıştır. İlk kısımda 11 büyüme denklemini tanıtarak elde edilmişinden bahsetmiştir. İkinci kısımda ise veri kümesine uygulama gerçekleştirmiştir.

Tewari vd. ise (2007) “Acacia nilotica” ve Okalipus türüne ait uzunluk büyüme verilerini Sloboda, Korf ve Chapman-Richards büyüme modellerine uygulamışlardır. Bu modellerin parametre tahminlerinde EKK yöntemini kullanmış, modelleri Bias, Kök Hata Kareler Ortalaması (RMSE), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ölçütlerine göre karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma neticesinde Sloboda modelinin türü tanımlamada en iyi performansa sahip olduğunu görmüşlerdir.

Alp vd. (2011) çalışmalarında *Silarus glanis* türünün Türk sularındaki popülasyonunu ve büyümesini incelemişlerdir. Bunu yaparken uzunluk-yaş

dağılımının modellenmesinde von Bertalanffy, Gompertz ve Lojistik fonksiyonlarını kullanmışlardır. Modelleri karşılaştırarak türü en iyi tanımlayan fonksiyonu belirlemişlerdir. Karşılaştırma kriteri olarak  $R^2$ , AIC kriterlerinden yararlanmışlardır. Ayrıca çalışmalarında bu türe ait uzunluk-ağırlık dağılımını da Lineer Regresyon yöntemi ile belirlemişlerdir.

Baer vd. (2011) *Psetta maxima* türünün büyüme modellemesinde von Bertalanffy, Gompertz, Schnute gibi bilindik büyüme modellerini kullanmış ve performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu üç modeli karşılaştırmak için AIC, rezidü kareler toplamı, gerçek ağırlık ile tahmin edilen ağırlık arasındaki ortalama sapma değerini kullanmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda Schnute büyüme modelinin diğer iki modelden daha iyi performansa sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Benzekry vd. (2014) çalışmalarında içinde üstel, Gompertz, Lojistik, von Bertalanffy gibi büyüme modellerinin yer aldığı sekiz büyüme modelini tümör büyümesine uydurmuşlardır. Parametre tahmininde ise Matlab programında yer alan “lsqcurvefit” fonksiyonunu kullanmışlardır. Bu modellerin performanslarını karşılaştırırken RMSE ve AIC kriterlerinden yararlanmışlardır.

Costa vd. (2013) *Collossoma macropomum* türünün büyümesinin genellikle hiçbir karşılaştırmaya yer vermeden von Bertalanffy ile yapıldığını belirtmiş bu türün başka fonksiyonlarla da modellenebileceğini kanıtlamak için 4 büyüme modelini karşılaştırmıştır. Gerçekten de çalışmalarında von Bertalanffy’ nin en iyi model olmadığını AIC ve standart hata istatistiksel kriterleri ile ispatlamışlardır.

Aragón-Noriega vd. (2015) *Micropogonias megalops* türünün büyümesini modellerken von Bertalanffy, Lojistik, Gompertz ve Schnute fonksiyonlarından yararlanmışlardır. Bu modellerden türü en iyi tanımlayan fonksiyonu bulmak için de AIC ve standart hata kriterlerini kullanmışlardır. Ayrıca bu denklemlerden elde edilen büyüme parametrelerini de paylaşmışlardır.

Sariyel vd. (2017) keklik büyümesinin tahmininde Brody, Gompertz, Lojistik, von Bertalanffy, fonksiyonlarını kullanmışlardır. Bu modellerden

hangisinin keklik büyümesini daha iyi tahmin ettiğini belirlemek için çeşitli kriterlerden yararlanmışlardır. Sonuç olarak keklik büyümesini Gompertz büyüme modelinin diğer büyüme modellerinden daha iyi tahmin ettiğini belirlemişlerdir.

Teleken vd. (2017) çalışmalarında Brody, Gompertz, Lojistik, Richards, ve von Bertalanffy, lineer olmayan büyüme modellerini farklı hayvanlara ait veri kümelerine uygulayarak,  $R^2$ , RMSE, AIC, Bayesyen Bilgi Kriteri (BIC) kriterlerine göre karşılaştırmışlardır. Parametre tahmininde Matlab Programındaki EKK yöntemini kullanmışlardır. Genel olarak Richards büyüme modelinin daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Kaplan ve Gürcan (2018) çalışmalarında Japon Bildircini'nin büyümesini Gompertz, Lojistik, von Bertalanffy, Richards, Levakovich ve Janoschek gibi farklı modellerle tahmin etmişlerdir. Bu modellerden hangisinin türü en iyi tanımladığını bulmak için de  $R^2$ , düzeltilmiş  $R^2$  (adj.  $R^2$ ), AIC, BIC, MSE kriterlerinden yararlanmışlardır. Kriterlere göre dişi ve erkek türlerini en iyi tanımlayan model olarak Richards fonksiyonunu belirlemişlerdir.

Zabadi vd. (2017) Ürdün'ün 2100 yılındaki nüfusunu tahmin etmek için matematiksel modellemelerden yararlanmışlardır. Bu modellemelerde üstel büyüme ve Lojistik büyüme modellerini kullanmışlardır. Eğri uydurma ve parametre tahminini Matlab programı ile gerçekleştirmişlerdir. Bu modellemeler sonucunda Ürdün'ün nüfusunun 2100 yılında %3.27 büyümeye sahip olacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca çalışmalarında üstel modelin kullanılamayacağını Lojistik büyüme modelinin ise daha makul olduğunu tespit etmişlerdir.

Mevcut büyüme modellerini eldeki veri kümesine uygulamak bir yana bazı durumlarda veriyi en iyi tanımlayacak modeli bulabilmek için bilim insanları yeni modeller geliştirmektedir. Yeni bir model mevcut büyüme modelleri temel alınarak oluşturulabilir. Örneğin Makeham (1889) Gompertz modeline modifikasyon gerçekleştirmiş, Makeham'ın geliştirdiği modelden yıllar sonra da Golubev (2009) Gompertz tabanlı yeni bir büyüme modeli ortaya koymuştur. Diğer bir örnek ise

France ve ark.'na (1996) ait çalışmada görülmektedir. France ve ark. (1996) çalışmalarında üstel, monomoleküler, Lojistik, Gompertz ve Richards büyüme modellerinin özelliklerini sunmuş ayrıca yeni geliştirdikleri büyüme modelinin elde edilmesini vermişlerdir. İlk kısımda gerçekleştirdikleri büyüme modellerinin özelliklerinin sunulması ve yeni modelin tanıtımının ardından ikinci kısımda Richards büyüme modeli ile yeni büyüme modelini 5 veri kümesine uygulamış ve karşılaştırmışlardır. Kullandıkları bu 5 veri kümesi, keçi, domuz, inek ve kaz gibi hayvanların büyümeleri ile ilgilidir. Richard ve yeni büyüme modelini karşılaştırırken rezidü kareler,  $R^2$  ve Durbin-Watson istatistiğini kullanmışlardır. Karşılaştırmalar sonucunda yeni modelin inek ve domuz büyümelerini Richards büyüme modelinden daha başarılı; köpek büyümesini ise daha başarısız modellediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca keçi ve kazların büyümesinde ise iki model için benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Literatürde sıkça karşılaşılan büyüme modellerine parametre eklentisi ile de yeni bir büyüme modeli elde etmek mümkündür. Örneğin Schnute ve Fournier (1980) çalışmalarında uzunluk-frekans dağılımına yeni bir yaklaşım getirerek balıklardaki biyolojik parametrelere anlam kazandırmak istemişlerdir. Von Bertalanffy büyüme denklemi için yeni parametreler tanımlamışlardır. Ayrıca geliştirdikleri bu yöntemi daha önce kullanılan ve literatürde bilinen pike ve abalone veri kümelerine uygulamışlardır.

Birch (1999) ise Richards ve Lojistik büyüme denklemlerinden esinlenerek yeni bir sigmoidal büyüme denklemi geliştirmiştir. Geliştirdiği modelin Richards büyüme modelinden daha iyi özelliklere sahip olduğunu hem teorik olarak hem de uygulamalarla kanıtlamaya çalışmıştır. Yeni büyüme modelinin etkinliğini Richards'ın kendi makalesinde kullandığı veriyi uygulayarak incelemesinin yanı sıra, simülasyon verilerinde de denemiştir.

Modifikasyona bir başka örnek Tsoularis ve Wallace'a (2002) aittir. Çalışmalarında Verhulst Lojistik büyüme modelinden elde edilen modelleri ve bu

modellerin özelliklerini tanıtmışlardır. Ayrıca fonksiyonları içeren genelleştirilmiş bir büyüme modeli formunu da sunmuşlardır. Geliştirdikleri modeli kullanarak hangi durumlar altında Verhulst Lojistik büyüme modelinden elde edilen bu büyüme modellerine geçiş yapılabileceğini de belirtmişlerdir.

Gompertz tabanlı geliştirdikleri iki büyüme modelini çalışmalarında tanıtan Tjørve ve Tjørve (2017), bu modellerin kullanım alanlarını ve faydalarını aktarmışlardır.

Windarto vd. (2018) ise çalışmalarında klasik lojistik diferansiyel denklemden ürettikleri yeni modelleri, WEP'i tanıtmışlardır. İlk kısımda bu modelin elde edilmişinden bahsetmiş, ikinci kısımda ise kümes hayvanları veri kümesini kullanarak, Richards, Gompertz, Lojistik modellerini, yeni modelleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma kriteri olarak normalleştirilmiş artık kareler toplamı,  $R^2$  Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) gibi metrikleri kullanmışlardır. Elde edilen karşılaştırma kriterleri sonuçlarına göre yeni modellerinin diğerler büyüme modellerinden daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Literatürde büyüme modellerinin genelleştirilmiş formlarına da rastlamaktayız. Örneğin Koya ve Goshu (2013) kendi isimlerini taşıyan sekiz parametrelili modeli, Lojistik, Gompertz, Genelleştirilmiş Lojistik, Brody, Monomoleküler, Mitscherlic, von Bertalanffy, Richards, Genelleştirilmiş Weibull, Weibull gibi büyüme modellerini genelleştirerek elde etmişlerdir.

Genelleştirilmiş formlara bir başka örnek ise El-Gohary'nin (2013) çalışmasında görülmektedir. El-Gohary, Gompertz büyüme modelinin genelleştirilmiş bir formunu literatüre kazandırmıştır.

Genelleştirilmiş formlar ve modifikasyonlar haricinde yeni modellerin ortaya konulduğu çalışmalar da vardır. Örneğin, Tabatabai vd. (2005) üç ve dört parametrelili sınıfa ait olan hiperbolik bir modeli tümör büyümesi tahmininde kullanılması için geliştirmişlerdir. Ayrıca daha önce literatürde kullanılan iki veri kümesini geliştirdikleri modele uygulamışlardır. Oluşturdukları 3 hiperbolik modeli,

Weibull, Richards, Lojistik ve Gompertz büyüme modelleri ile Ortalama Göreceli Hata, MSE ve  $R^2$  kriterlerini kullanarak karşılaştırmışlardır.

Büyüme modellerini elde etmek veya mevcut büyüme modellerinden hangisinin en iyi uyum sağladığını bulmak haricinde türün dağılımlarını belirlemek için çeşitli programlardan ve yöntemlerden yararlanılmaktadır. Örneğin balık türleri için uzunluk-frekans dağılımları R programı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Çeşitli balık türleri için uzunluk-frekans dağılımı belirlemede R programının kullanıldığı çalışmalar aşağıdaki gibidir:

Schwamborn ve Moraes-Costa (2019) *Cardisomaguahumi* türüne ait uzunluk-frekans dağılımlarını belirlerken, FİSAT II ve TropFishR programlarını kullanarak karşılaştırmış ve sonuçları paylaşmıştır.

Clotey (2020) *Canarydentex*, *Pink dentex* ve *Blue-spottedseabream* türlerinin parametre tahminlerinde ve büyüme modellerinin oluşturulmasında TropFishR paketini kullanmışlardır.

Wang vd. (2020) Monte Carlo simülasyon tekniklerini ve R programında TropFishR paket programını kullanarak seçilen “bin size” yani uzunluk-frekans verisinin grup boyutu seçiminin nasıl tanımlanması gerektiğine odaklanmıştır.

Kindong ve ark. (2020), *Taractichthys steindachneri* türüne ait uzunluk-frekans verisinin von Bertalanffy parametrelerini belirlerken TropFishR paket programında yer alan ELEFAN\_SA ve ELEFAN\_GA yöntemlerini kullanmışlardır.

Balık ve tavuk türlerinin uzunluk-ağırlık dağılımını belirlemede farklı yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda uzunluk-ağırlık dağılımını belirlemede geleneksel yöntemlerden regresyon yerine YSA'nın kullanıldığı görülmektedir. Aşağıdaki çalışmalarda YSA'nın uzunluk-ağırlık dağılımını belirlemede kullanımı ve regresyon ile karşılaştırılması incelenmiştir.

Yu vd. (2006) YSA yaklaşımının potansiyelini ortaya koymak adına karides büyümesi tahmininde bu yöntemden yararlanmışlardır. YSA ile birlikte sekiz

regresyon fonksiyonunu da veri kümesine uygulayarak RMSE ve  $R^2$  kriterleri ile karşılaştırmışlardır.

Türeli vd. (2011) mavi yengeç türünün ağırlık-uzunluk ilişkisinin incelenmesinde YSA metodunu kullanmışlardır. Ağırlık-uzunluk dağılımının lineer olmayan bir ilişki içermesi sebebiyle YSA'nın regresyondan daha iyi tahminlerde bulunduğunu belirtmiş, regresyona alternatif olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Çok katmanlı algılayıcıyı tercih ettikleri çalışmalarında gizli katman sayısını iki olarak belirlemiş MSE,  $R^2$  kriterlerini kullanarak regresyon ile karşılaştırmışlardır. Mavi yengeç uzunluk-ağırlık dağılımının istatistiksel sonuçlara göre YSA ile belirlenmesinin daha doğru olacağını söylemişlerdir.

Özcan (2019) *Alburnus* türünün ağırlık-uzunluk dağılımını regresyon ve YSA ile belirlemiştir. Bu türün ağırlık—uzunluk dağılımını belirlemede YSA'nın daha başarılı olacağını düşünerek bir karşılaştırma yapmıştır. MAPE kıstasına göre YSA'nın ağırlık-uzunluk modellemesinde daha başarılı olduğunu belirtmiştir.

Koushandeh (2019) vd. tavuk büyümesini çeşitli lineer olmayan modeller ve YSA kullanarak modellemiştir. Çalışmalarında lineer olmayan model olarak Brody, von Bertalanffy, Gompertz, Lojistik, Richards fonksiyonlarına yer vermişlerdir. Analizlerini R programını kullanarak gerçekleştirmiş ve modelleri pearson korelasyon katsayısı,  $R^2$ , RMSE, ortalama mutlak sapma, MAPE, AIC gibi istatistiksel kriterler ışığında karşılaştırmışlardır. Gompertz büyüme modelinin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Büyüme modellerinin parametre tahminleri yapılırken birçok teknik kullanılır. Bunlardan en çok bilineni EKK yöntemidir. Örneğin, Gbangboche vd. (2008) büyüme modellerinin parametre tahmininde EKK yöntemini kullanmış analizleri Matlab programı ile yürütmüşlerdir. Batı Afrika Cüce Koyunu'na ait verileri kullanarak Brody, Gompertz, Lojistik ve von Bertalanffy büyüme modellerine uygulamış ve modelleri karşılaştırmışlardır. Modelleri karşılaştırmak

için MSE, AIC ve  $R^2$  kriterlerinden yararlanmışlardır. Brody büyüme modelinin diğer modellerden daha iyi performansa sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Shabanisamghabady ve Tanaka (2016) da çalışmalarında parametre tahmini için EKK yöntemini kullanmışlardır. Beş büyüme fonksiyonunu (Gompertz, Lojistik, Üstel, Genelleştirilmiş Lojistik ve von Bertalanaffy) kullanarak tümör büyümesini modellemişlerdir. Matlab programını kullandıkları analizlerinde “lsqcurvefit” fonksiyonu ile parametre tahminini gerçekleştirmişlerdir. Bu fonksiyonları karşılaştırırken model uyum yüzdesini kullanmışlardır.

Tatro (2018) çalışmasında tümör büyümesini Gompertz büyüme modelini kullanarak belirlemiştir. Gompertz fonksiyonunun parametrelerini ise EKK yöntemiyle tahmin etmiştir. Bu analizi gerçekleştirmek için Matlab programındaki “lsqcurvefit” fonksiyonu kullanmıştır. Daha önceki çalışmalarla karşılaştırdığında Gompertz büyüme modelinin tümör büyümesini oldukça başarılı bir şekilde tahmin ettiğini belirtmiştir.

EKK yönteminin zorlukları nedeniyle araştırmacılar alternatif yöntemler denemişlerdir. GA yönteminin optimizasyon problemlerini çözmedeki başarısı sebebiyle parametre tahminine uygulanabilirliği gündeme gelmiştir. Öyle ki Karr vd. (1991) GA yönteminin sadece optimizasyon problemlerinde değil, eğri uydurma problemlerinde de uygulanabileceğini çalışmalarında göstermek amacıyla üç EKK eğri uydurma problemine GA yöntemini uygulamışlardır. EKK yöntemiyle çözülebilecek olan bu problemlerin GA ile de kolaylıkla çözülebileceğini ve GA'nın optimum sonuca çok yakın tahminlerde bulunduğunu belirtmişlerdir.

Daha sonraki yıllarda GA'nın parametre tahminlerinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Aşağıda GA yöntemini uygulayan, kimi zaman da EKK yöntemiyle kıyaslayan çalışmalar listelenmiştir.

Altunkaynak ve Esin (2004) çalışmalarında dört farklı büyüme modelini, üç farklı veri kümesine uygulamışlardır. Büyüme modellerinin parametre tahminlerini ise Gauss-Newton ve GA yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. İki yöntemi

Ortalama Mutlak Hata kriterini kullanarak karşılaştırmışlardır. Kritere göre bu iki yöntemin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Roush ve Branton (2005) lineer olmayan beş büyüme modelinin parametre tahmininde EKK ve GA yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında kümes hayvanları verisini kullanarak modellere ait parametre tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Aynı çalışmada GA ve EKK yöntemleri ile elde edilen parametreleri ve bu parametreler kullanılarak elde edilen tahmini ağırlıkları paylaşmış, GA'nın EKK'dan daha doğru tahminlerde bulunduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan karşılaştırma kriterleri  $R^2$ , rezidü ortalaması ve rezidü standart sapmasıdır.

Akyol (2006) tez çalışmasında doğrusal olmayan ekonometrik modellerin parametre tahmininde EKK ve GA yöntemlerini kullanmıştır. 1991 ve 2001 yılları arasındaki aylık döviz kuru verilerini T.C. Merkez Bankası'ndan alarak ekonometrik modele uygulamıştır. Elde edilen değerler ışığında GA'nın üstel trend modeline ait parametreleri oldukça başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir.

Öztürkler ve Altan (2008) çalışmalarında doğrusal olmayan karmaşık ekonometrik modellerin çözümünde GA ve EKK yöntemlerinden yararlanmışlardır. Bu modellerin çözümünde EKK'ya alternatif GA'nın kullanılmasını önermişlerdir.

Ghosh vd. (2011) doğrusal olmayan Richards büyüme modelinin parametre tahmininde Bootstrap GA yöntemini önermişlerdir. Modelin etkinliğini ise Ortalama Mutlak Hata, RMSE gibi metrikleri ile incelemişlerdir.

Windarto vd. (2014) çalışmalarında kümes hayvanı verilerini kullanarak Lojistik büyüme modelinin parametrelerini tahmin etmişlerdir. Tahmin yöntemi olarak ikili GA ve sürekli GA metodlarını kullanmışlardır. Her iki yöntemin de parametre tahmininin başarılı olduğunu kaydetmişlerdir. Yang ve Yue (2014) üç parametrelili Weibull dağılımının YSA ve GA yöntemleri ile çözülebileceğini göstermişlerdir. Farklı tahmin yöntemlerini de YSA ve GA ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, kriter olarak RMSE kullanmışlardır. Bu kritere göre YSA ve GA

yöntemlerinin parametre tahmininde oldukça başarılı olduğunu ve Weibull dağılımında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Gajam vd. (2016) çalışmalarında parametre tahmini için GA ve EKK yöntemlerinden yararlanmışlardır. Bu iki yöntemi ise standart sapma kullanarak karşılaştırmışlardır.

Rayungsari vd. (2020) Endonezya'nın popülasyonunu tahmin etmek için Malthus ve Verhulst büyüme modellerini kullanmışlardır. Bu modellerin parametrelerini ise GA ile tahmin etmişlerdir. Analizlerinde Matlab Programı'nı kullanmışlardır. Aynı çalışmada, 1960 ile 2018 yılları arasındaki popülasyon verileri ile oluşturulan modeller karşılaştırılırken hata değerinden yararlanılmıştır. Hata değeri Verhulst büyüme modelinde daha düşük olduğu için 2220 yılına kadarki nüfus tahmininde bu modelden yararlanarak tahmin gerçekleştirmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalarda yeni büyüme modellerinin ortaya koyulması, büyüme modellerinin karşılaştırılması, parametrelerinin tahmini gibi konular örneklendirilmiştir. Literatür taramasının bu kısmında ise büyüme modellerinin Covid-19 virüsüne uygulayan çalışmalar listelenecektir. Büyüme modellerinin virüslerin, bakterilerin büyümelerini tahmininde kullanılma sebebi ise elde edilen tahminlerle alınabilecek önlemleri belirlemektir. Aşağıdaki çalışmalarda bilim insanları gerek mevcut büyüme modellerini kullanarak gerekse oluşturdukları yeni büyüme modellerini kullanarak Covid-19 verilerine uydurmaları örneklendirilmiştir.

Çelik vd. (2020) Weibull, Negative Exponential, von Bertalanffy, Janoscheck, Lundqvist-Korf ve Sloboda modellerini Çin Covid-19 verilerine uygulamışlardır. En iyi uyum sağlayan modeli belirlemek için de  $R^2$ , pseudo  $R^2$  ve MSE kriterlerini kullanmışlardır. Karşılaştırma sonucunda Sloboda modelinin vaka sayıları veri kümesine diğer modellerden daha iyi uyum sağladığını belirlemişlerdir.

Perez vd. (2020) Avusturya, İsviçre ve İsrail'e ait Covid-19 verilerini modellemede ARIMA ve Gompertz modellerini kullanmışlar ve karşılaştırma kriteri olarak RMSE,  $R^2$  ve MAPE kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre ARIMA

vaka tahmininde, Gompertz ise ölüm tahmininde en iyi sonuçları veren model olmuştur.

Masjedi vd. (2020) Genelleştirilmiş Richards, Richards, Genelleştirilmiş Lojistik Büyüme, Lojistik Büyüme, Genelleştirilmiş Büyüme ve Üstel Büyüme ve SEIR mekanik modellerini kullanarak İran için Covid-19 tahminlerinde bulunmuşlardır.

Valvo (2020) çalışmasında Covid-19 sebebiyle gerçekleşen ölüm sayılarının tahmininde Log-Normal dağılımı kullanmıştır. Aynı çalışmada Valvo, kıtalara göre ayrı ayrı gerçekleştirdiği analizlerle dünya genelindeki tahminleri de sunmuştur.

Asadi vd. (2020) Gompertz tabanlı yeni bir büyüme modeli geliştirerek Covid-19 İran ve İtalya verilerine bu modeli uygulamışlardır. Ayrıca bu modelin özelliklerini de paylaşmışlardır. Geliştirdikleri modeli Gompertz ve Lojistik modelle karşılaştırmışlardır.

Tuli vd. (2020) Hindistan, Amerika, Birleşik Krallık ve İtalya gibi ülkelerin teyit edilmiş Covid-19 vakalarını çeşitli büyüme modellerine uygulamışlardır. Ayrıca yeni geliştirdikleri Robust Weibull dağılımını diğer modellerle  $R^2$ , MAPE ve MSE kriterlerine göre karşılaştırmışlardır. Karşılaştırdıkları modeller ise Gaussian, Beta, Fisher-Tippet, Log-Normal'dir. Kriterlere göre yeni geliştirdikleri modelin vaka tahmininde oldukça başarılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Shen (2020), çalışmasında Çin ve çeşitli ülkelerin teyit edilmiş vaka sayılarını kullanarak Lojistik büyüme modeline Covid-19 verilerini uydurmuştur. Bulgulara göre kullanılan büyüme modeli ülkelerin vakaları ile uyumludur.

Harvey ve Kattuman (2020), çalışmalarında Covid-19 vakalarını tahmin etmek için yeni zaman serisi modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalarında Almanya ve Birleşik Krallık verilerini kullanmışlardır ve Dinamik Gompertz modeli, iki ülke için oldukça iyi sonuç vermiştir.

Jia vd. (2020), Covid-19 salgınının modellenmesini yapmadan önce Lojistik, von Bertalanffy, Gompertz modellerinin etkinliğini göstermek için SARS virüsünü

modellemiştir. Çalışmalarında Lojistik modelin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Attanayake vd. (2020), Sri Lanka, İtalya, ABD ve Çin 'e ait 2 Temmuz 2020'ye kadar olan kümülatif Covid 19 enfekte birey sayılarını Gompertz, Lojistik, Weibull ve Üstel büyüme eğrilerine uydurmuş ve eğrileri; AIC, BIC, RMSE ve  $R^2$  kriterleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda Sri Lanka için en iyi model Lojistik, İtalya için Gompertz, ABD için Weibull ve Çin için ise Gompertz olarak bulunmuştur.

Önder (2020) ise çalışmasında Türkiye'deki vaka sayılarına Genel Lojistik Regresyon, Richards, üstel büyüme modellerini uydurmuştur. Bu modellerin performanslarını ise  $adj. R^2$ , RMSE ve AIC kriterleri ile karşılaştırmıştır.

### 3. MATERYAL METOT

#### 3.1. Materyal

Bu bölümde çalışmanın performans karşılaştırma bölümünde kullanılan veri kümeleri tanımlanmıştır.

##### *Pelates quadrilineatus*

*P. quadrilineatus* (Bloch, 1790) türüne ait veri Temmuz 2014 ve Haziran 2015 tarihleri arasında İskenderun Yumurtalık Bölgesi'nden aylık olarak trol teknesiyle toplanmıştır. Örneklemin ağırlık ve uzunluk belirlenmesinde Holden ve Raitt (1974) tarafından önerilen metot uygulanmış, yaş tahmininde ise otolit yöntemi kullanılmıştır. Veri kümesi 329 dişi, 319 erkek bireyden ve uzunluk, ağırlık, yaş değişkenlerinden oluşmaktadır (Çığşar, Yeldan ve Ünal, 2021).

##### **Lesepsiyen Yengeci**

Lesepsiyen Yengeci Temmuz 2014-Haziran 2015 tarihleri arasında Adana Yumurtalık Koyu'ndan elde edilmiştir. Her bir bireyin cinsiyeti, ağırlığı, kabuk genişliği laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Veride 342 erkek 501 tane de dişi olmak üzere toplam 843 birey bulunmakta, Kabuk Genişliği (KG), ağırlık değişkenlerinden oluşmaktadır (Çığşar, Ünal ve Türeli, 2021).

##### **Kandaki Glukoz Seviyesi**

Veri Royston ve Thompson (1995) tarafından kaydedilmiştir. Kandaki glukoz seviyesinin ölçülmesine dayanmaktadır. İki değişkene sahiptir. Bunlardan ilki glukoz seviyesi ikincisi ise zaman parametresidir.

**Afgan Pika**

Afgan Pika veri kümesi Puget (1974) tarafından kaydedilmiş, Sandland ve McGilchrist (1979) tarafından da çalışılmıştır. Veri kümesi 14 eş zamanlı hamile Afgan Pika'nın ağırlıklarının kaydedilmesiyle oluşturulmuştur.

**Covid-19**

Veri kümesi 6 Mart 2020 ile 6 Eylül 2020 tarihleri arasında geçen sürede Türkiye'deki vaka sayılarından oluşmaktadır. Veriler T.C Sağlık Bakanlığı'nın paylaştığı onaylanmış vaka sayılarıdır (Sağlık Bakanlığı, 2020). Belirtilen tarihler arasında hafta sayılarına göre toplam vaka sayıları elde edilmiştir.

**3.2. Metot**

Bu çalışmada karma ve genelleştirilmiş formlarda olmak üzere iki yeni büyüme modeli literatüre kazandırılmıştır. Bu modellerin elde edilişi ve özellikleri 4. Bölümde paylaşılmıştır. Karma büyüme modelinin performansı temel aldığı Gompertz ve Sloboda büyüme modelleri ile Afgan Pika verisine uygulanmıştır. Türün ağırlığının ne derece gerçeğe yakın bir şekilde modeller tarafından tahmin edildiği, RMSE ve MAPE kriterleri ile belirlenmiştir. Karma büyüme modeli daha sonra Covid-19 Türkiye vaka verilerine uygulanarak performansı bir başka veri kümesinde denenmiştir. Karşılaştırmalar yine temel aldığı büyüme modelleri ile  $R^2$ , adj.  $R^2$  ve MAPE kriterleri ile yapılmıştır. Analizler Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, parametre tahmininde ise lineer olmayan EKK yaklaşımını kullanan "lsqcurvefit" fonksiyonu kullanılmıştır. Sırasıyla çalışmalar, "International Conference on Applied Analysis and Mathematical Modeling 2021" kongre kitabında (Ünal ve Çığşar, 2021) ve "5. International Conference on Covid-19 Studies" kongre kitabında (Çığşar ve Ünal, 2021b) yayınlanmıştır.

Genelleştirilmiş büyüme modelinin performansı Afgan Pika veri kümesi kullanılarak Crescenzo & Spina ve Gompertz modelleri ile RMSE ve MAPE

ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Modele ait analizler Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiş parametre tahmininde ise lineer olmayan EKK yaklaşımını kullanan “lsqcurvefit” fonksiyonu kullanılmıştır.

*Pelates quadrilineatus* türüne ait veriler, su ürünlerinde balıkların uzunluk-yaş dağılımlarının belirlenmesinde yaygın kullanılan von Bertalanffy büyüme modeline alternatif kullanılacak modellerin gösterilmesi amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu türün uzunluk-yaş dağılımı cinsiyetlere ve tüm veriye göre von Bertalanffy'nin yanı sıra Gompertz, Schnute, Lojistik-Karkach büyüme modelleri ile belirlenmiş, modellerin performansları  $R^2$  ve MSE ölçütleri ile karşılaştırılmıştır. Türlerin uzunluk-ağırlık dağılımlarının belirlenmesinde yaygın kullanılan LR yöntemine alternatif olarak YSA'nın kullanılacağı *P. Quadrilineatus* türünün uzunluk, ağırlık ve cinsiyet değişkenleri kullanılarak gösterilmiştir. YSA ve LR yöntemleri  $R^2$ , MSE ve MAPE ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Uzunluk-yaş dağılımının belirlenmesi için Ogle vd. (2018) tarafından geliştirilen “FSA” paket programı; uzunluk-ağırlık dağılımı için de “neuralnet” paket programı (Günther ve Fritsch, 2010) R programında çalıştırılmıştır. Çalışma International Journal of Ecological Economics and Statistics Dergisi sayı 2 cilt 43 'de yayınlanmak üzere kabul edilmiştir (Çığşar, Yeldan ve Ünal, 2021).

Lesepsiyen Yengeci'ne ait veriler türün uzunluk-frekans dağılımının belirlenmesinde yaygın kullanılan RSA yöntemine alternatif olarak GA'nın kullanılabilirliğini göstermek ve bu yöntemden elde edilen bilgilerle türün yaş tayinin yapılabilirliğini göstermek amacıyla kullanılmıştır. Uzunluk olarak Kabuk Genişliği (KG) seçilmiştir. Yöntemler Rn uyum iyiliği testi kullanılarak incelenmiştir. Lesepsiyen Yengeci'nin uzunluk-ağırlık dağılımı için LR ve YSA yöntemleri kullanılmış,  $R^2$ , MSE ve MAPE ölçütleri ile karşılaştırılmıştır. Uzunluk-ağırlık dağılımı için iki farklı model oluşturulmuştur. İlk model sadece uzunluk değişkeninden oluşurken, ikinci model ise uzunluk ve yaş değişkenlerinden oluşturulmuştur. R programında geliştirilen analizlerde uzunluk-frekans dağılımının

belirlenmesinde “TropFishR” paket programı, uzunluk-ağırlık dağılımı için de “neuralnet” paket programı kullanılmıştır (Mildenberger ark., 2017; Günther ve Fritsch, 2010). Çalışma Acta Biologica Turcica Dergisinde 4.sayı 34. ciltte yayımlanmıştır (Çığşar, Ünal ve Türeli, 2021).

Çalışmada parametre tahmininde, lineer olmayan EKK yöntemi kadar GA'nın da başarılı sonuçlar verebileceğini göstermek amacıyla kandaki glukoz seviyelerinin ölçüldüğü veri kümesi ve L-MMH modeli kullanmıştır. İki yöntem  $R^2$ , adj.  $R^2$ , RMSE ve MAPE kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Matlab programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş, “lsqcurvefit” fonksiyonu parametre tahmini için kullanılmıştır. Çalışma Middle East International Conference On Contemporary Scientific Studies-VI kongre kitabında yayınlanmıştır (Çığşar ve Ünal, 2021a).

Çalışmada kullanılan büyüme modellerine, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma, En Küçük Kareler yöntemlerine ve kullanılan karşılaştırma kriterlerine ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur.

### 3.2.1. Büyüme Modelleri

Büyüme modellerini yaşamın her alanında görmekteyiz. Örneğin mühendislikte, tıpta, fizikte karşılaşılan problemlerin ifade edilmesinde bu denklemlere oldukça sık başvurulmaktadır. Bazen belirli bir alan için geliştirildiği düşünülen büyüme modelleri daha sonra farklı uygulama alanlarında yer bulmasıyla kullanımını genişleyebilmektedir. Örneğin Gompertz büyüme modeli önceleri insan ölüm tahminlerinde kullanılırken demiryolu trafiği, ürün-hizmet kontrolü gibi çok farklı alanlarda da kullanılmaya başlamıştır. Daha sonra Wright (1926) tarafından biyolojide canlı büyümesinde kullanılabileceğinin gösterilmesiyle biyoloji alanında kullanımı yaygınlaşmıştır (Tjørve ve Tjørve, 2017). Zaman içerisinde büyüme modellerine uygulanan eklentiler, modifikasyonlar ve yeni geliştirilen büyüme modelleri ile karşılaşılan problemlere çözüm aranmaya devam edilmiştir. Ayrıca büyüme modelleri ile olumsuz koşullar ortaya çıkarılarak yeni modellerle veya

modifikasyonlarla bu olumsuz koşullar iyileştirilmiştir (Hritonenko ve Yatsenko, 1999). Geçmişten günümüze büyüme modellerinin gelişmesi, modifikasyonlarının artması, yeni modellerin ortaya konulması bu alanın ne kadar geliştiğinin göstergesidir. Geliştirilen büyüme modellerinin birçok alanda kullanılması ve bu alanlardaki uygulamalarının başarılı olması büyüme tahmininde ne kadar kullanışlı olduklarını kanıtlamaktadır (Tabatabai vd., 2005).

Yukarıda da bahsedildiği gibi disiplinlerarası kullanımı olan büyüme modelleri belirli bir zaman diliminde canlının, organizmanın veya finansal bir varlığın göstermiş olduğu değişimi ifade eden fonksiyonlardır (Lindsey, 2004). Hayvanlarda, bitkilerde, tek hücrelilerde kısacası neredeyse tüm canlılarda zamana karşı büyüme grafiksel olarak incelendiğinde S şekli ortaya çıkmaktadır. İlk aşamada büyüme yavaşken, giderek hızlanarak maksimum büyüme oranına ulaşır. Bu aşamadan sonra büyümede bir azalış meydana gelir ve popülasyon sabitlenir (Efe, 1990). Meydana gelen bu grafiği matematiksel olarak ifade etmek mümkündür. Büyüme en basit şekliyle  $\frac{dy(t)}{dt}$  diferansiyel denklemi ile ifade edilebilir (Koya ve Goshu, 2013). Yani  $y(t)$  boyutunun  $t$  anındaki değişimidir ve büyüme oranı olarak da ifade edilebilir. Nispi büyüme oranı  $z(t)$  ise büyüme oranının popülasyon sayısına oranlanması ile elde edilir. Diğer bir ifadeyle,

$$z(t) = \frac{\frac{dy(t)}{dt}}{y(t)} , z(t) > 0 \quad (3.1)$$

olur. Eşitlik (3.1) ile büyüme oranı aşağıdaki diferansiyel denklem ile ifade edilebilir.

$$\frac{dy(t)}{dt} = y(t).z(t) \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.2)'nin çeşitli çözümleri bizleri bugün hala sıklıkla kullanılan von Bertalanffy, Gompertz, Lojistik gibi denklemlere ulaştırır.

Canlı büyümesini açıklarken kullanılan bu denklemler aslında canlıyı tanımlayan en temel özellikleri yani doğum, ölüm ve göçü kapsamaktadır. Bu durumların haricinde karşılaşılan diğer faktörler ikincil etken olarak tanımlanır. Örneğin ekonomik durum, besin kaynakları, su kaynakları vs. (Pearl, 1927). Bu gibi faktörler ve dahası sebebiyle her canlı veya organizasyon farklı bir büyüme yapısına sahiptir. Bir örnek verilecek olursa insanlarda gelişim ergenliğe ulaşıldığında dururken, balıklarda büyüme bulunduğu suyun sıcaklığına, PH dengesine, mineral dengesine göre devam edebilir. Balıklardaki bu farklı büyüme durumunu araştırmacılar farklı bağıntılarla açıklamaktadırlar. Örneğin balığın total boyu, çatal boyu veya kuyruk uzunluğu arasındaki ilişkiyi, sayılan uzunluklar ve ağırlık arasındaki ilişkiyi, uzunluklar ve yaş arasındaki ilişkiyi matematikselleştirerek büyüme modelleri kurulmuştur. Modellemeler yapılırken birçok bilindik büyüme modelinden yararlanılabilir. Von Bertalanffy, Gompertz, Lojistik, Schnute vb. S şeklinde yani sigmoidal yapıda modellerdir. Canlının büyümesi sigmoidal yapıda bir eğri ile modellendiğinde, bu büyüme şeklini en iyi tanımlayabilecek de yine aynı formdaki modellerdir.

### 3.2.1.1. Von Bertalanffy

Von Bertalanffy denklemini adını Avusturyalı biyolog, matematikçi Karl Ludwig von Bertalanffy'den almaktadır. Bu denklemini Bertalanffy 1938 yılında geliştirmiştir. Özellikle su ürünlerinde alternatifinin denenmek istenmeyeceği kadar popüler ve balık büyümesinde sıklıkla başvurulmuş bir büyüme modelidir.

$$\frac{dL(t)}{dt} = k(L_{\infty} - L(t))$$
 diferansiyel denkleminin çözümü ile elde edilmektedir (Hritonenko ve Yatsenko, 1999). Yıllar içinde von Bertalanffy denkleminin farklı birçok formu, modifikasyonu ortaya çıkmıştır. Bunlardan en çok bilineni ve kullanılanı Beverton ve Holt (1957) tarafından geliştirilen (3.3) eşitliğidir.

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (3.3)$$

Burada t zaman değişkeni;  $L_t$ , t anındaki uzunluk;  $L_\infty$  asimptotik uzunluk; k Brody büyüme katsayısı,  $t_0$  balığın yumurtadan çıkmadan önceki teorik yaşını simgelemektedir (von Bertalanffy, 1938).

### 3.2.1.2. Gompertz

Gompertz büyüme modeli çok bilinen ve oldukça sık kullanılan büyüme modellerinin belki de en başında gelmektedir. Hatırı sayılır şekilde farklı veri kümelerine uygulanan model, kimi zaman tümör büyümesinde, kimi zaman balık büyümesinde kimi zaman da kuş popülasyonunun büyümesinde kullanılmıştır (Tjørve ve Tjørve, 2017). Richards büyüme modelinin özel bir formu olan Gompertz büyüme modeli Benjamin Gompertz tarafından 1825 yılında ölüm oranını tahmin etmek adına geliştirilmiştir. Zaman içinde farklı genelleştirmeleri ve parametre eklentileri ile birçok farklı türün büyümelerinin modellenmesinde kullanılmıştır. Gompertz büyüme modeli eşitlik (3.4)'teki gibi tanımlanmaktadır:

$$L_t = L_\infty e^{-e^{-k(t-t_0)}} \quad (3.4)$$

Model dikkatli incelenirse parametrelerin von Bertalanffy büyüme modelinde kullanılan parametrelerle aynı fakat farklı bir gösterime sahip olduğu görülmektedir (Gompertz, 1825; Ricker, 1975). Eşitlik (3.4) *Pelates quadrilineatus* türünün modellenmesinde kullanılacaktır.

Gompertz Fonksiyonu'nun genel formu eşitlik (3.5)'deki gibidir.

$$y(t) = y_\infty \cdot e^{-\alpha \cdot e^{-\beta t}}, t > 0 \quad (3.5)$$

Burada  $y_{\infty}$  yani asimptotik uzunluk  $y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$  olarak ifade edilirken,  $\alpha$  şekil parametresi, eğrinin genel şeklini tanımlar;  $\beta$  ölçek parametresi de istatistiksel dağılımın ölçeğini belirlemektedir.

Gompertz için t anındaki anlık büyüme ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$y'(t) = y(t) \cdot \beta \cdot \ln\left(\frac{y_{\infty}}{y(t)}\right)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = y(t) \cdot \beta \cdot \ln\left(\frac{y_{\infty}}{y(t)}\right)$$

İşlem sonucunda t anındaki anlık büyüme aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\frac{dy(t)}{y(t)} = \beta \cdot \ln\left(\frac{y_{\infty}}{y(t)}\right)$$

### 3.2.1.3. Schnute

Model Schnute (1981) tarafından su ürünlerinin büyümesinin modellenmesi için geliştirilmiştir. Geliştirilen fonksiyon aslında genelleştirilmiş bir formdur

$$L_t = \left[ L_1^b + (L_2^b - L_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-T_1)}}{1 - e^{-a(T_2-T_1)}} \right]^{1/b} \quad (3.6)$$

ve parametrelerin özel değerleri için von Bertalanffy, Gompertz, Lojistik, Richards gibi modeller elde edilebilmektedir. Eşitlik (3.6)'da  $T_1$  ve  $T_2$  yaşı,  $L_1$  ve  $L_2$  ise bu yaşlardaki uzunlukları simgelemektedir, a ve b ise sabitlerdir (Schnute, 1981).

**3.2.1.4. Lojistik-Karkach**

Arseniy Karkach (2006)  $L_t = \frac{L_\infty}{1 + e^{\eta - kt}}$  ile gösterilen lojistik modelindeki  $\eta$  parametresinin doğrudan bir yorumunun olmaması fakat doğum anından olgunluğa kadar olan uzunluk farkının bir ölçüsü olarak nitelendirilebileceğini düşünerek  $\eta$  parametresi yerine  $\Pi = \ln\left(\frac{\eta}{L_0 - 1}\right)$  ifadesini eşitlikte yerleştirerek aşağıdaki formu elde etmiştir.

$$L_t = \frac{L_0 L_\infty}{L_0 + (L_\infty - L_0) e^{-kt}} \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7)'deki parametreler yine von Bertalanffy denkleminde kullanılan parametrelerle aynıdır. Von Bertalanffy denklemine ek olarak kullanılan  $L_0$  parametresi ise  $t=0$  anındaki türün teorik uzunluğudur (Karkach, 2006).

**3.2.1.5. Sloboda**

Sloboda (1971) büyüme modeli, genellikle bitki biliminde kullanılan Sigmoidal yapıdaki bir büyüme modelidir. Gompertz büyüme modeline çok benzemekle birlikte modele eklenen  $\gamma$  parametresi ile farklılaşır (Panik, 2014). Model Eşitlik (3.8)'deki gibidir.

$$y(t) = y_\infty \cdot e^{-\delta \cdot e^{-m \cdot t^\gamma}} \quad (3.8)$$

Sloboda Fonksiyonu'nun genel formu eşitlik (3.9)'daki gibidir.

$$y(t) = y_\infty \cdot e^{-\delta \cdot e^{\frac{b_1}{b_2 - 1} t^{1 - b_2}}} \quad (3.9)$$

Yine burada asimptotik uzunluk olan  $y_\infty$ ,  $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = y_\infty$  ile ifade edilir. Burada  $b_1$  ve  $b_2$  parametrelerinin  $m$  ve  $\gamma$  parametreleri ile yeniden oluşturularak eşitlik (3.8)'deki gibi gösterimi elde edilebilir.

Eşitlik (3.8)'deki  $m = \frac{-b_1}{b_2-1}$  parametresiyle toplam ölüm içindeki toplam vaka sayısının yüzdesel ifadesidir.  $\gamma = 1 - b_2$  terimi ise eğrinin artandan azalana dönüşüm noktasıdır.  $\delta$  terimi, vaka veya ölüm oranlarının maksimum artış yüzdesidir. Eşitlik (3.9) kullanılarak Sloboda anlık değişim oranı elde edilsin:

$$y'(t) = \frac{dy(t)}{dt} = y(t) \cdot b_1 \cdot t^{-b_2} \ln\left(\frac{y_\infty}{y(t)}\right)$$

Sloboda büyüme denklemi için anlık büyüme oranı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dy(t)}{y(t)} = b_1 \cdot t^{-b_2} \ln\left(\frac{y_\infty}{y(t)}\right)$$

### 3.2.1.6. Crescenzo & Spina

Crescenzo ve Spina (2016) eşitlik (3.1)'den yola çıkarak aşağıdaki diferansiyel denklemi elde etmişlerdir.

$$\frac{dN(t)}{dt} = \alpha (1+t)^{-(\beta+1)} N(t) ; t, \alpha, \beta > 0 \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'de yer alan diferansiyel denklemi çözerek Korf ve Gompertz tabanlı bir büyüme modeli elde etmişlerdir.

$$N(t) = y \exp\left\{\frac{\alpha}{\beta} [1 - (1+t)^{-\beta}]\right\} ; t > 0 \quad (3.11)$$

Modelde  $y$ ,  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerine verilecek değerler ile Korf ve Gompertz modellerinin elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

### 3.2.1.7. L-MMH Modeli

Ünal (2021) L-MMH modelini aşağıdaki eşitliği çözürek elde etmiştir:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{y_{\infty} - y(t)}{t(k + \ln t)}$$

Burada  $t > 0$ ,  $y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$ ;  $k$ ,  $0 \leq k \leq 1$  aralığında yer alan herhangi bir reel sayıdır. Bu eşitlik çözüür ve düzenlemeler gerçekteştirilirse L-MMH modeli aşağıdaki gibi olacaktır:

$$y(t) = \frac{y_{\infty} \ln \frac{t}{t_0} + y(0)(k + \ln t_0)}{k + \ln t}$$

$y(t)$   $t$  anındaki uzunluk;  $y_{\infty}$  asimptotik uzunluk;  $y(0)$   $t_0$  anındaki uzunluk;  $k$  büyüme katsayısı,  $t_0$  başlangıç anındaki teorik yaşı simgelemektedir.

Sonraki üç bölümde Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma ve En Küçük Kareler yöntemlerine ait genel bilgiler paylaşılmıştır.

### 3.2.2. Yapay Sinir Ağları

İnsan beynindeki sinir ağlarından, snapslardan ve nöronlardan esinlenerek oluşturulan Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmaları, önceden elde edilmiş deneyimlerden/bilgilerden yola çıkarak geleceğe dönük tahminlerde bulunmaktadır. İnsan beyninde olduğu gibi ilişkiler ağı modellenerek bu tahminler gerçekteştirilir. Yapay sinir ağlarında bağlantılar katmanlarla sağlanır (Ataseven, 2013). Bu katmanlar en ilkel haliyle girdi katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak

tanımlanabilir (Priddy ve Keller, 2005). Giriş katmanı birbirinden bağımsız değişken veya değişkenleri içerirken çıkış katmanı ise yanıt değişkeninden oluşmaktadır. Doğrudan gözlemlenemeyen katmanlara da gizli katman denmektedir (Graupe, 2013). N değişkenli girdi katmanından ve bir çıktı katmanından oluşan yapay sinir ağının matematiksel modellenmesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Günther ve Fritsch, 2010):

$$o(x) = f(w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i) = f(w_0 + w^T x) \quad (3.12)$$

Burada n değişken sayısı,  $w_0$  sabit terim,  $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)$  sabit olmayan tüm sinaptik ağırlıklar vektörü ve  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  bütün değişkenlerin matrisi olarak ifade edilmektedir. Eğer modelin veriye daha iyi uyum sağlaması isteniyorsa bu durumda gizli katmanlar eklenebilir (Günther ve Fritsch, 2010). Tüm bu bilgileri kısaca özetlemek gerekirse, sinir ağları, verilerdeki girdiler ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek için kullanılan fonksiyonlardır (Suryanarayana vd., 2008). Geliştirilen geleneksel modellerin aksine YSA bu modellerden daha esnek olması, lineer dönüşümlere gerek duymaması, hızlı çözümler üretmesi sebebiyle bu modellere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Graupe, 2013). Birçok alanda da YSA kullanımına rastlanmaktadır. Örneğin ekonomi alanında finansal tahmin modellerinde, mühendislik alanında lineer olmayan modellerin çözümünde, su ürünlerinde ağırlık-uzunluk modellenmesinde kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağları, ağların bağlantı noktalarına göre ileri ve geri beslemeli ağlar olarak sınıflandırılmaktadır (Suryanarayana vd., 2008). Ağırlık-uzunluk modellenmesinde kullanılan çok katmanlı algılayıcı ileri beslemeli ağlardandır. İleri beslemeli ağlar denetimli öğrenme sınıfına girmektedir. Çok katmanlı algılayıcı, adından da anlaşılacağı gibi, birçok katmandan oluşmakta ve giriş katmanından aldığı bilgiyi ağırlıklandırarak gizli katmanlar aracılığıyla işleyip çıktı katmanına aktarmaktadır (Ciaburro ve Venkateswaran, 2017). Ağırlıklandırma Yapay Sinir

Ağlarının en önemli işlemlerinden biridir. Tıpkı Lineer Regresyondaki eğimin işlevi gibi ağırlıklandırma da YSA'da her bir nöronun birbirini ne kadar etkilediğini gösteren bir katsayıdır (Ciaburro ve Venkateswaran, 2017). Yukarıdaki eşitlik (3.12)'de bahsedildiği gibi her bir girdi değişkenine ait ağırlıklar bulunmaktadır.

### 3.2.3. Genetik Algoritma (GA)

GA, Charles Darwin'in evrim teorisine ve bu teorinin temeli olan doğal seleksiyon yani en iyi sonucun sunulması, diğer sonuçların elenmesi prensibine dayanan, bir optimizasyon tekniğidir (Goldberg, 1989; Mitchell, 1996). Tıpkı genetik biliminde olduğu gibi GA yöntemi de bünyesinde seçim, çaprazlama ve mutasyon ögelerini barındırır (Goldberg, 1989). Popülasyondaki her bir birey kromozom olarak adlandırılır. Çaprazlama bir önceki nesillere ait kromozomların belirli kısımlarının karşılıklı değişmesi, mutasyon ise genlerde meydana gelen rasgele değişim olarak tanımlanır (Altunkaynak ve Esin, 2004). Algoritma başlatılmadan önce; parametreler, durdurma kriteri, uygunluk fonksiyonu ve aralık belirlenir. Ardından popülasyon sayısına karar verilir. Seçilen durumlar ışığında kromozomlardan nesiller yani çözümler üretilir. Bu çözümler için uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri çözümün ne kadar iyi uyum sağladığının bir ölçüsüdür (Roush ve Branton, 2005). Uygunluk değerine göre çözümler çaprazlanır, mutasyona uğrar ve yeni bir nesil elde edilir. Bu aşamalarda eğer durdurma kriteri sağlanırsa işlemler sona erer. Yeni nesile uygulanacak birçok çaprazlama/mutasyon ile daha iyi çözümler elde edilir (Altunkaynak ve Esin, 2004). Tıpkı evrim sürecinde olduğu gibi uygunluk değeri açısından, en iyi uyum sağlayan birey yani çözüm hayatta kalarak bizi en elverişli, en doğru sonuca ulaştırır.

Büyüme modelinin veriye ve probleme uygun olarak seçimi oldukça önemlidir. Bu seçimin ardından diğer önemli aşama ise seçilen modelin parametre tahminidir. Parametre tahmininde bu fonksiyonların çözümünde kullanılacak yöntemler karşımıza çıkmaktadır. GA'da parametre tahmininde son yıllarda, gerek

performansı gerekse kolay bir şekilde çözüme ulaştırması açısından tercih edilmeye başlanmıştır. Sadece parametre tahmini için değil bir optimizasyon problemi çözümünde (Goldberg, 1989), finans alanında temerrüt riskini belirlemede (Gordini, 2014), hastalık süresi tahminde (Johnson vd., 2013), mühendislikte, pazarlamada ve daha birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. GA, basit lineer modellere, EKK uygulanabilen problemlere, lineer olmayan EKK problemlerine rahatlıkla uygulanabilmesi sebebiyle oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir (Öztürkler ve Altan, 2008).

GA'nın bu kadar sık kullanılması ve lineer olmayan EKK gibi diğer tahmin yöntemlerine alternatif olarak seçilmesinin altında birkaç sebep yatmaktadır. Bunlardan ilki ve en önemlisi bir başlangıç değerine ihtiyaç duymamasıdır. Bir başlangıç değerine ihtiyaç duymak denklem çözümünü zorlaştırır ve kimi zaman yanlış tahminlerde bulunulmasına sebep olabilir (Johnson vd., 2013). GA ise tek bir noktaya bağlı kalmadan, belirtilen aralıktaki noktalar kümesinden değerleri alır ve çözüm üretir. Üstelik uyguladığı çaprazlama, mutasyon gibi işlemlerle optimum noktaya ulaşılma ihtimalini de arttırmış olur (Yalçınkaya, 2018). Bir diğer avantajı ise kolay uygulanması sebebiyle parametre sayısı fazla olan modellerde bile rahatlıkla uygulanabilmesidir. Ayrıca türev bilgisi istemeden uygunluk fonksiyonunun çözülebilmesiyle neredeyse her probleme uygulanabilmektedir.

### 3.2.5. En Küçük Kareler Yöntemi (EKK)

En Küçük Kareler yöntemi parametre tahmininde sıklıkla kullanılan oldukça basit uygulanan yöntemlerdendir. EKK yöntemiyle parametre tahmin ederken, en düşük hata oranına sahip tahmin değeri elde edilmek istenir. Örneğin, aşağıdaki gibi basit bir lineer denklem ele alınsın,

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e$$

Burada tahmin edilmek istenen parametreler  $\beta_0$  ve  $\beta_1$ 'dir. Tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki uzaklık/fark ( $Y_i - \hat{Y}_i$ ) hata terimini verecektir ( $\hat{\epsilon}$ ). EKK adından da anlaşılacağı gibi hata teriminin kareler toplamını minimum yapan parametre değerini hesaplar. Burada hata teriminin karesinin alınması işleminden doğabilecek negatif ve pozitif değerlerinin birbirini götürmesini engellemektir.

EKK yöntemi sadece lineer modeller için değil lineer olmayan modellerin parametre tahmininde de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modellerde uygulanan doğrusal olmayan EKK yöntemidir. Lineer modellerdeki yaklaşımla temelde aynıdır fakat farklılıkları da vardır. Örneğin lineer modellerde parametre tahmini için analitik çözümler yapılırken, lineer olmayan modellerde tekrarlayan yöntemler kullanılmaktadır (Öztürkler ve Altan, 2008).

Genel olarak bir denklemle ifade edilmesi gerekirse lineer olmayan EKK yöntemiyle parametre tahmini aşağıdaki denklem çözümü ile olacaktır (Tatro, 2018):

$$\min \frac{1}{2} \|F(x, Y_i) - \hat{Y}_i\|_2^2 = \frac{1}{2} \sum_i (F(X, Y_i) - \hat{Y}_i)^2$$

Bu çalışmada lineer olmayan EKK yöntemi parametre tahmininde kullanılmıştır.

Bir sonraki bölümde çalışmada kullanılan karşılaştırma ölçütleri tanıtılmıştır.

### 3.2.4. Karşılaştırma Kriterleri

#### 3.2.4.1. Hata Kareler Ortalaması (MSE)

MSE gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkın, kareleri toplamının, gözlem sayısına bölünmesi ile elde edilir. İyi uydurulmuş bir modelde MSE değerinin düşük olması beklenir. MSE aşağıdaki formül ile elde edilmektedir.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

Burada  $\hat{y}_i$  tahmin değerleri iken,  $y_i$  gözlem değerleridir.

#### 3.2.4.2. Kök Hata Kareler Ortalaması (RMSE)

MSE değerinin köke alınması ile elde edilir. MSE değerinde olduğu gibi düşük olması beklenir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

#### 3.2.4.3. Belirtme Katsayısı $R^2$

$R^2$  bir modelin veriye ne kadar iyi uyum sağladığının bir ölçüsüdür. 1'e yakın olması modelin veriye iyi uyum sağladığını göstermektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

#### 3.2.4.4. Düzeltilmiş $R^2$ (adj. $R^2$ )

Düzeltilmiş  $R^2$ ,  $R^2$ 'nin değiştirilmiş bir formudur. Bu formda diğerinden farklı olarak parametre sayıları da devreye alınmıştır. Yeni gözlemler eklendiğinde modelin performansının ne olacağı ölçülmek istenir. Formülü aşağıdaki gibidir (Makridakis vd, 2008).

$$adj. R^2 = 1 - \frac{(1-R^2)(N-1)}{N-p-1}$$

Burada N örneklem boyutu, p ise modeldeki parametre sayısıdır.

**3.2.4.5. Ortalama Mutlak Yüzde Hata**

MAPE, tahmin verilerinin doğruluğunu ölçmek için kullanılır ve tahmin edilen ve gözlenen değerleri kullanır.

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

Veri kümesine iyi uydurulmuş bir modelde MAPE değerinin diğer modellere kıyasla daha düşük değer alması beklenir. Özellikle MAPE değeri %10'dan küçük ise çok iyi, %20'den küçük ise iyi bir değer olarak kabul edilmektedir (Gilliland, 2010).



#### 4. BULGULAR

Bu bölüm çalışmanın amacına uygun olarak iki kısma ayrılmaktadır. Birinci kısımda temel amaç doğrultusunda Gompertz ve Sloboda fonksiyonlarından yola çıkılarak oluşturulan karma büyüme modelinin (CSG) ve Crescenzo & Spina (2016) modelinden yola çıkılarak elde edilen genelleştirilmiş büyüme modelinin (G-CRS) elde edilmesine ve özelliklerine yer verilmiştir.

İkinci kısımda modellerin ve yöntemlerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

##### 4.1 Önerilen Büyüme Modelleri

Bu bölümde literatüre kazandırılan iki farklı büyüme modelinin elde edilmesi ve bu modellerin özellikleri tanıtılmıştır.

###### 4.1.1. Karma Sloboda Gompertz Modelinin Elde Edilişi

Büyüme modelleri elde edilirken üç yol izlenebilir. Birincisi yeni bir model ortaya koymak, ikincisi mevcut modele uygulanabilecek bir modifikasyon, üçüncüsü ise mevcut modellerin uygun şekillerde birleştirilerek yeni bir büyüme modeli ortaya çıkarılmasıdır. Burada amaç mevcut problemi en iyi tanımlayabilecek denklemi ortaya koymaktır (Zeide, 1993).

$S(x): [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$  tanımlı bir fonksiyon ve  $z \in \mathbb{R}$  herhangi bir parametre olmak üzere,  $S(x)$  fonksiyonu  $x \leq z \in [a, b]$  için Konveks/Konkav ve  $x \geq z \in [a, b]$  için Konveks/Konkav oluyorsa bu fonksiyonlara Sigmoidal fonksiyon denir. Büyüme modelleri elde edilirken bu denklemlerin daha önceki büyüme denklemi ile olan ilişkisi sorgulanır (Zeide, 1993).

Diğer modellerde olduğu gibi CSG modeli için de  $t$  anındaki anlık büyüme aşağıdaki gibi tanımlansın:

$$\frac{\frac{dy(t)}{dt}}{y(t)} = \beta \cdot \ln\left(\frac{y_\infty}{y_t}\right) + (1-k) \cdot b_1 \cdot t^{-b_2} \ln\left(\frac{y_\infty}{y_t}\right) \quad (4.1)$$

Burada daha önce Gompertz ve Sloboda modellerinde kullanılan parametrelerin yanı sıra  $0 \leq k \leq 1$  aralığında bir  $k$  parametresi tanımlanmıştır. Eşitlik (4.1)'in integrali alınırsa,

$$\int \frac{\frac{dy(t)}{dt}}{\ln\left(\frac{y(t)}{y_\infty}\right)} = - \int \beta + (1-k) \cdot b_1 \cdot t^{-b_2} dt$$

ve gerekli düzenlemeler gerçekleştirilirse aşağıdaki eşitlik elde edilecektir.

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{y(t)}{y_\infty} \right) \right] = -\beta t - (1-k) \cdot b_1 \cdot \frac{t^{1-b_2}}{1-b_2} + c$$

Burada  $c$  pozitif herhangi bir sabittir. Eşitlik üstel fonksiyon özellikleri kullanılarak düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\ln \left( \frac{y(t)}{y_\infty} \right) = e^{-\beta t - (1-k) \cdot b_1 \cdot \frac{t^{1-b_2}}{1-b_2} + c} = e^{-\beta t} e^{- (1-k) \cdot b_1 \cdot \frac{t^{1-b_2}}{1-b_2}} e^c$$

Genellik kaybedilmeden  $e^c = (-c_1) \cdot (-c_2)$  olarak tanımlansın. Burada  $c_1$  ve  $c_2$  herhangi iki pozitif sabittir. Yine logaritmanın özellikleri kullanılarak eşitlik düzenlenir ve yeni sabitler eklenirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$y(t) = y_\infty \cdot \exp(-c_1 \cdot e^{-\beta t}) \exp\left(-c_2 \cdot e^{- (1-k) \cdot b_1 \cdot \frac{t^{1-b_2}}{1-b_2}}\right)$$

Eğer denkleme dikkatli bakılırsa ilk kısmın Gompertz fonksiyonuna, ikinci kısmın ise Sloboda fonksiyonuna ait olduğu görülecektir. Sloboda fonksiyonunda olduğu gibi  $b_1$  ve  $b_2$  parametreleri,  $\gamma$  ve  $m$  parametreleri ile yeniden tanımlanır;  $\gamma = 1 - b_2$  ve  $m = \frac{-b_1}{b_2 - 1}$  olarak alınır, eşitlik aşağıdaki forma dönüşür.

$$y(t) = y_{\infty} \cdot \exp(-c_1 \cdot e^{-\beta \cdot t}) \exp(-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}})$$

Denklem sadeleştirilirse, CSG modeli eşitlik (4.2)'deki gibi tanımlanır.

$$y(t) = y_{\infty} \cdot e^{-c_1 \cdot e^{-\beta t}} \cdot e^{-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}} \quad (4.2)$$

#### 4.1.1.1. CSG Modelinin Özellikleri

Bu kısımda CSG modelinin özelliklerinden bahsedilmiştir.

**Başlangıç Değeri:**  $y(t)$ ,  $t$  anındaki mevcut büyüklük olduğundan  $t=0$  anındaki büyüklük başlangıç değerini verecektir. CSG modeli için başlangıç değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$y_0 = y(0) = y_{\infty} \cdot e^{-c_1 - c_2} \quad (4.3)$$

Bu nokta eğrinin  $y$  eksenini kestiği noktadır.

Eğer başlangıç değer eşitliği (4.3) kullanılırsa özel olarak  $c_1 + c_2 = \ln\left(\frac{y_{\infty}}{y_0}\right)$  eşitliği elde edilir.

**Üst Limit:** Üst limit veya üst sınır taşıma kapasitesini yani büyüme modelinin yatay asimptotunu verir ve aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( y_{\infty} \cdot e^{-c_1 \cdot e^{-\beta t}} \cdot e^{-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}} \right) = y_{\infty}$$

**Büyüme Oranı:** Büyüme oranı, büyüme modelinin birinci türevinin alınması ile elde edilir. CSG modeli için büyüme oranı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} = y'(t) &= y_{\infty} \cdot c_1 \cdot \beta \cdot e^{-\beta t} \cdot e^{-c_1 \cdot e^{-\beta t}} \cdot e^{-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}} \\ &+ y_{\infty} \cdot e^{-c_1 \cdot e^{-\beta t}} \cdot m \cdot (1-k) \cdot c_2 \cdot \gamma \cdot t^{\gamma-1} \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}} \cdot e^{-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}} \\ y'(t) &= y_{\infty} \cdot e^{-c_1 \cdot e^{-\beta t}} \cdot e^{-c_2 \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}} \cdot (c_1 \cdot \beta \cdot e^{-\beta t} + m \cdot (1-k) \cdot c_2 \cdot \gamma \cdot t^{\gamma-1} \cdot e^{-m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma}}) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Eşitlik (4.4) CSG modelinin büyüme oranını vermektedir. Büyüme oranının başlangıç değeri ise aşağıdaki gibidir:

$$y'(0) = y_{\infty} \cdot c_1 \cdot \beta \cdot e^{-c_1 - c_2}$$

**Kritik Noktalar:** Bir büyüme modelinin birinci türevinin sıfıra eşit olduğu noktalar yani  $y'(t) = 0$  yapan  $t$  değerleri veya fonksiyonun türevlenemediği noktalar kritik noktaları verir. CSG modeli için aşağıdaki eşitliği sağlayan  $t$  değerleri, kritik noktaları vermektedir.

$$\frac{e^{m \cdot (1-k) \cdot t^{\gamma} - \beta t}}{t^{\gamma-1}} = \frac{m \cdot (k-1) \cdot c_2 \cdot \gamma}{c_1}$$

CSG modeli için gerçek değerli kritik noktalar ve dönüm noktası mevcut değildir.

#### 4.1.2. Genelleştirilmiş Crescenzo & Spina Modelinin Elde Edilişi

Eşitlik (3.2)'den yola çıkarak elde edilen büyüme modellerini bilim insanları Eşitlik (3.1)'in farklı varyasyonlarını deneyerek elde etmişlerdir. Farklı parametreler ekleyerek oluşturulan modeller ile popülasyonu en iyi tanımlayan fonksiyonu belirlemeye çalışmışlardır. Bu nedenle bu bölümde (3.11) eşitliği ile verilen Crescenzo & Spina modelinin genelleştirilmiş formu sunulurken nispi büyüme oranı  $Z(t)$  aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$Z(t) = \alpha \cdot (t_0 + t)^{-\beta-k} \quad (4.5)$$

Buradaki parametreler  $\alpha, \beta > 0 ; 0 \leq k \leq 1$  ve  $0 \leq t_0 \leq 1$  olarak tanımlanır. Eşitlik (3.1) açık formu ile yazılıp logaritmik forma dönüştürülsün ve eşitlik (4.5)'ye eşitlenirse,

$$Z(t) = \frac{dy}{y} = \frac{d}{dt} (\log(y(t)))$$

$$\alpha (t_0 + t)^{-\beta-k} = \frac{d}{dt} (\log(y(t)))$$

$$\alpha (t_0 + t)^{-\beta-k} = \frac{y'(t)}{y(t)}$$

$$y'(t) = y(t) \alpha (t_0 + t)^{-\beta-k} \quad (4.6)$$

denklemleri elde edilir. Eşitlik (3.11)'e yani Crescenzo & Spina modeline bakıldığında bu modele  $t_0$  ve  $k$  parametrelerinin eklendiği görülür.

Eşitlik (4.6)'da  $t_0 = 1$  ve  $k = 1$  alınırsa Crescenzo&Spina modeli elde edilir. Eşitlik (4.6) çözümlerse G-CRS modeli elde edilir.

$$y(t) = y_0 \exp \left[ \frac{\alpha}{1-\beta-k} \left[ (t_0 + t)^{1-\beta-k} - (t_0)^{1-\beta-k} \right] \right], t > 0 \quad (4.7)$$

#### 4.1.2.1. G-CRS Modelinin Özellikleri

##### Başlangıç Değeri

Eşitlik (4.7)'de  $t=0$  alınır başlangıç değeri  $y(t)=y_0$  olarak elde edilir.

##### Büyüme Oranı için Başlangıç Değeri

Eşitlik (4.6)'da  $t=0$  için

$$y'(0) = y_0 \cdot \alpha \cdot (t_0)^{-\beta-k} \exp\{0\} = y_0 \cdot \alpha \cdot (t_0)^{-\beta-k}$$

değeri elde edilir.

##### $\alpha$ ve $\beta$ Parametrelerinin Limitleri

Bu kısımda  $\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin 0 ve  $\infty$  'a giderkenki limit değerleri verilmiştir. Çizelge 4.1'de  $\alpha$  parametresi Çizelge 4.2'de ise  $\beta$  parametresinin özel limitleri görülmektedir.

Çizelge 4.1  $\alpha$  Parametresi için Bazı Limitler

$\lim_{\alpha \rightarrow 0} y(t) = y_0, t > 0$	$\lim_{\alpha \rightarrow \infty} y(t) = y_0 \exp\{\infty\} = \infty, t > 0$
---	--

Çizelge 4.2  $\beta$  Parametresi için Bazı Limitler

$\lim_{\beta \rightarrow 0} y(t) = y_0 \exp\left\{\frac{\alpha}{1-k} [(t_0 + t)^{1-k} - t_0^{1-k}]\right\}$	
i)	$k=0$ $y_0 \exp\{\alpha t\}$
ii)	$k=1$ $y_0$
$\lim_{\beta \rightarrow \infty} y(t) = y_0 \exp\left\{\frac{\alpha}{1-\beta-k} [(t_0 + t)^{1-\beta-k} - t_0^{1-\beta-k}]\right\}$	
i)	$\forall t \geq 1$ and $t_0 = 1$ $\lim_{\beta \rightarrow \infty} y(t) = y_0 \exp\{0\} = y_0$
ii)	$\forall t \geq 1$ and $0 \leq t_0 < 1$ $\lim_{\beta \rightarrow \infty} y(t) = y_0 e^{-\infty} = 0$
iii)	$0 < t_0 + t < 1, t > 0$ $\lim_{\beta \rightarrow \infty} y(t)$ $= y_0 \exp\left\{\frac{\alpha}{1-\infty} [(t_0 + t)^{1-\infty} - t_0^{1-\infty}]\right\}$ $= y_0 e^{-\infty} = 0$

**Üst Limit / Taşıma Kapasitesi**

Taşıma kapasitesi bir popülasyonda yer alabilecek maksimum birey sayısıdır. Aynı zamanda bir büyüme modelinde yer alan parametreler için de üst limittir. Aşağıdaki formül ile elde edilir:

$$Y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = y_0 \exp\left\{\frac{-\alpha}{1-\beta-k} [t_0^{1-\beta-k}]\right\}, \forall 1 - \beta - k < 0 \quad (4.8)$$

### Dönüm Noktası

S şeklindeki eğriler yani sigmoidal eğriler için dönüm noktası büyüme hızının maksimum olduğu noktadır. Bu değer hesaplandığında, modelin maksimum spesifik büyüme oranı da belirlenmiş olur. Dönüm noktası, bir fonksiyonun konkavlıktan konveksliğe veya konvekslikten konkavlığa geçtiği noktadır. Dolayısıyla dönüm noktasının tanımlı olması için fonksiyonun ikinci türevinin sıfıra eşit olduğu noktada işaret değiştirmesi gerekir. Aşağıda modelin dönüm noktasının elde edilme süreçleri verilmektedir.

G-CRS modelinin ikinci türevi alınsın,

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = y'(t).\alpha.(t_0 + t)^{-\beta-k} + y(t).\alpha.(-\beta - k).(t_0 + t)^{-\beta-k-1}$$

denklemleri ile verilebilir. Bu türevin sıfıra eşit olduğu nokta ise aşağıdaki gibidir.

$$t_{inf} = -t_0 + \left(\frac{\beta+k}{\alpha}\right)^{\frac{1}{1-\beta-k}} = -t_0 + \left(\frac{\alpha}{\beta+k}\right)^{\frac{1}{\beta+k-1}}, \alpha > 0, \beta > 0, 0 \leq k \leq 1, 0 \leq t_0 \leq 1$$

Yukarıdaki  $t_{inf}$  noktasının bir dönüm noktası belirttiğini gösterebilmek için gerekli olan işaret testi de aşağıdaki gibi sağlanmıştır.

$$t_{inf} < -t_0 + \left(\frac{\beta+k}{\alpha}\right)^{\frac{1}{1-\beta-k}} \leftrightarrow \frac{d^2y(t)}{dt^2} < 0$$

$$t_{inf} > -t_0 + \left(\frac{\beta+k}{\alpha}\right)^{\frac{1}{1-\beta-k}} \leftrightarrow \frac{d^2y(t)}{dt^2} > 0$$

### Dönüm Noktasındaki Popülasyon

Dönüm noktasındaki popülasyon, dönüm noktasının fonksiyondaki değerinin bulunması ile elde edilir. Yani,

$$\begin{aligned} y(t_{inf}) &= y_0 \exp\left\{\frac{\alpha}{1-\beta-k} \left[\frac{\beta+k}{\alpha} - t_0^{1-\beta-k}\right]\right\} = y_0 \exp\left\{\frac{\beta+k}{1-\beta-k} - \frac{\alpha}{1-\beta-k} t_0^{1-\beta-k}\right\} \\ &= y_0 \exp\left\{\frac{-\alpha}{1-\beta-k} [t_0^{1-\beta-k}]\right\} \exp\left\{\frac{\beta+k}{1-\beta-k}\right\} \end{aligned}$$

(4.8) ile verilen taşıma kapasitesi eşitliği kullanılırsa ve  $1 - \beta - k < 0$  olarak kabul edilirse  $y(t_{inf})$  için aşağıdaki değer elde edilir.

$$y(t_{inf}) = \exp\left\{\frac{\beta+k}{1-\beta-k}\right\} \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$$

Elde edilen bu sonuç ise dönüm noktasındaki popülasyonu verir yani bu değerle birlikte dönüm noktasının koordinatları tamamlanmış olur ve aşağıdaki şekilde verilir:

$$(t_{inf}, y(t_{inf})) = \left(-t_0 + \left(\frac{\alpha}{\beta+k}\right)^{\frac{1}{\beta+k-1}}\right), \exp\left\{\frac{\beta+k}{1-\beta-k}\right\} \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$$

### Dönüm Noktasındaki Popülasyonun Özellikleri

Bu kısımda dönüm noktasındaki popülasyon değeri  $y(t_{inf})$ 'nin parametrelerinin bazı noktadaki limitleri Çizelge 4.3'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.3 Dönüm Noktasındaki Popülasyonun Bazı Limitleri

$\lim_{\alpha \rightarrow 0} y(t_{inf}) = y_0 \exp\left\{\frac{\beta+k}{1-\beta-k}\right\}$
$\lim_{\alpha \rightarrow \infty} y(t_{inf}) = 0$
$\lim_{\beta \rightarrow 0} y(t_{inf}) = y_0 \exp\left\{\frac{-\alpha}{1-k} t_0^{1-k}\right\} \exp\left\{\frac{k}{1-k}\right\}$
$\lim_{\beta \rightarrow \infty} y(t_{inf}) = y_0 \exp\{-1\}$
$\lim_{k \rightarrow 0} y(t_{inf}) = y_0 \exp\left\{\frac{-\alpha}{1-\beta} t_0^{1-\beta}\right\} \exp\left\{\frac{\beta}{1-\beta}\right\}$
$\lim_{k \rightarrow \infty} y(t_{inf}) = y_0 \exp\{-1\}$

#### Maksimum Spesifik Büyüme Oranı

Dönüm noktası hesaplanırken maksimum spesifik büyüme oranının bulunmasının dönüm noktasına bağlı olduğundan bahsedilmiştir. Bunun sebebi maksimum spesifik büyüme oranının, dönüm noktasından geçen teğet denkleminin eğimi olmasıdır. Bu değer  $\mu$  ile ifade edilir ve

$$\mu = \frac{dy(t)}{dt} \Big|_{t_{inf}} = \alpha \left\langle \left( \frac{\alpha}{\beta+k} \right)^{\frac{1}{\beta+k-1}} \right\rangle^{-\beta-k} y(t_{inf}) = \frac{(\beta+k)^{\frac{\beta+k}{\beta+k-1}}}{\alpha} y(t_{inf})$$

denklemini ile verilir.

#### Gecikme Süresi

Belirli bir zaman geçtikten sonra büyüme maksimum seviyeye ulaşır ve bu noktadan sonra duraklamaya başlar. İşte büyümenin duraklamaya başladığı nokta gecikme süresi olarak adlandırılır. Aynı zamanda gecikme süresi, dönüm noktasının teğet denkleminin X-eksenini kestiği noktadır. Gösterim olarak ise  $\lambda$  sembolü kullanılır. Bu noktanın hesaplanması için öncelikle büküm noktasındaki teğet

denklemleri hesaplanmalı ardından  $y=0$  değeri için gecikme süresi elde edilmelidir. O halde  $(t_{inf}, y(t_{inf}))$  noktasındaki tanjant denklemi aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$y - y(t_{inf}) = \mu (x - t_{inf}) \text{ burada } \mu = y'(t_{inf})$$

Daha önceki bölümde maksimum spesifik büyüme oranının aslında bir eğim olduğundan bahsedilmişti. Gecikme süresinin hesaplanması için gerekli olan tanjant denkleminin eğimi de  $\mu$  değerinden başkası değildir. Dolayısıyla denklem aşağıdaki gibi kurulacaktır.

$$0 - y(t_{inf}) = y'(t_{inf})(\lambda - t_{inf})$$

$$-y(t_{inf}) = \mu(\lambda - t_{inf})$$

$$-y(t_{inf}) = \frac{(\beta+k)^{\frac{\beta+k}{\beta+k-1}}}{\alpha} y(t_{inf}) \left( \lambda + t_0 - \left( \frac{\alpha}{\beta+k} \right)^{\frac{1}{\beta+k-1}} \right)$$

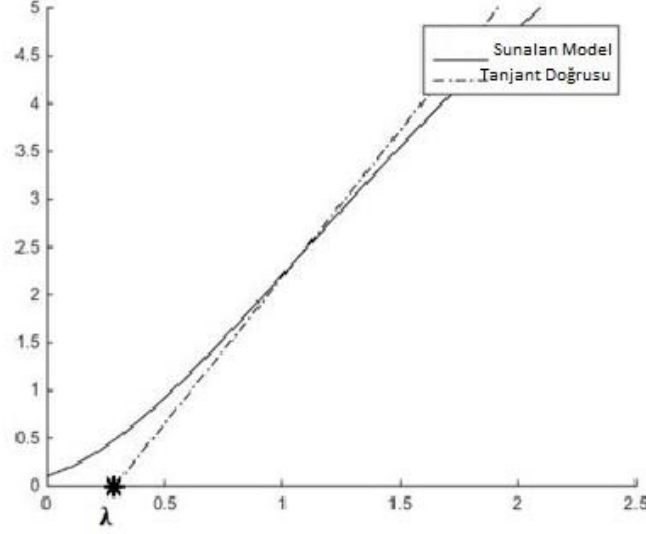
$$\lambda = \frac{\alpha^{\frac{1}{\beta+k-1}}}{(\beta+k)^{\frac{1}{\beta+k-1}}} - \frac{\alpha (\beta+k)^{\beta+k}}{(\beta+k)^{\frac{1}{\beta+k-1}}} - t_0$$

$$\lambda = \frac{\alpha^{\frac{1}{\beta+k-1}} - \alpha (\beta+k)^{\beta+k}}{(\beta+k)^{\frac{1}{\beta+k-1}}} - t_0$$

Böylece gecikme süresine ulaşılmış olur. Son olarak elde edilen değerler ile dönüm noktasından  $(t_{inf}, y(t_{inf}))$  geçen teğet denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\eta = \mu t + y_0 \exp\left\{ \frac{\beta+k}{1-\beta-k} \right\} \left[ \exp\left\{ \frac{-\alpha t_0^{1-\beta-k}}{1-\beta-k} \right\} \left( 1 - \frac{\alpha^{\frac{1}{\beta+k-1}}}{\alpha(\beta+k)^{\beta+k}} \right) + \frac{t_0}{\alpha} \frac{1}{(\beta+k)^{1-\beta-k}} \right]$$

G-CRS modeli için dönüm noktalarından geçen teğet denklemi ve gecikme süresi Şekil 4.1 ile görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Genelleştirilmiş Modele Karşılık Tanjant Doğrusu

#### 4.2. Performans Karşılaştırma

Bu bölüm çalışmanın amacına uygun olarak beş alt bölüme ayrılmaktadır. Birinci kısımda *Pelates quadrilineatus* türünün uzunluk-yaş ve uzunluk-ağırlık dağılımları Gompertz, Lojistik-Karkach, Schnute, von Bertalanffy modelleri ve YSA, LR yöntemleri ile belirlenmiştir.

İkinci alt kısımda su ürünleri verisi olan Lesepsiye Yengeç türünün uzunluk-frekans ve uzunluk-ağırlık dağılımları belirlenmiştir. Uzunluk-frekans dağılımı RSA ve GA yöntemleri ile belirlenmiş, iki yöntem karşılaştırılmıştır. Uzunluk-frekans dağılımından elde edilen bilgilerle türün yaş tayini gerçekleştirilip,

ardından belirlenen yaş değişkeni uzunluk-ağırlık dağılımı için kullanılmış modeller karşılaştırılmıştır.

Üçüncü kısımda EKK ve GA yöntemlerinin parametre tahmininde kullanımı bir uygulama ile gösterilmiştir.

Dördüncü kısımda Gompertz ve Sloboda fonksiyonlarından yola çıkılarak oluşturulan karma modelin (CSG) etkinliği iki farklı veri kümesine uygulanarak gösterilmiştir. İlk uygulamada Afgan Pika veri kümesi, ikinci uygulamada ise Türkiye'ye ait Covid-19 verileri kullanılmıştır. Veri kümelerine uydurulan Sloboda, Gompertz ve CSG modellerinin performansları istatistiksel kıstaslar ile sınanmıştır.

Performans karşılaştırmanın son kısmında ise Crescenzo ve Spina (2016) tarafından geliştirilen büyüme modelinden yola çıkılarak elde edilen genelleştirilmiş büyüme modelinin (G-CRS) etkinliği Afgan Pika veri kümesi kullanılarak sınanmıştır.

#### **4.2.1. *Pelates* Türünün Büyümesinin Modellenmesi**

##### **4.2.1.1. *Pelates* Türü için Uzunluk-Yaş Dağılımı**

Bir türe ait modelleme yapılırken fonksiyonların karşılaştırılmasının ne kadar önemli olduğu, tek bir modele bağlı kalınmadan diğer modellerin de parametre tahmininde kullanılması gerektiği birçok çalışmada gösterilmiştir (Baer ve ark., 2011; Costa ve ark., 2013; Kaplan ve Gürçan, 2018). Bu nedenle bu kısımda *Pelates quadrilineatus* türünün yaş-uzunluk dağılımının ele alınırken tek bir modelden değil, von Bertalanffy, Gompertz, Schnute, Lojistik gibi dört farklı büyüme modelinden yararlanılmıştır. Modellerin karşılaştırılmasının önemi cinsiyetler bazında da incelenmiştir. Veriye ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 *Pelates* Türü için Tanımlayıcı İstatistikler

		Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Tüm Veri	Total Uzunluk	6.60	15.40	11.31	1.63
	Ağırlık	3.52	46.75	18.86	7.53
	Yaş	0	4	1.63	0.93
Dişi	Total Uzunluk	7.50	15.40	11.80	1.41
	Ağırlık	5.22	46.75	21.14	7.33
	Yaş	0	4	1.85	0.88
Erkek	Total Uzunluk	6.60	14.50	10.81	1.69
	Ağırlık	3.52	37.90	16.51	7
	Yaş	0	4	1.41	0.92

Çizelge 4.4'e göre örneklemin tamamı için minimum uzunluğun 6.60 cm maksimum uzunluğun ise 15.40 cm olduğu görülmektedir. Tüm veri kümesi için ortalama uzunluk 11.31 cm'dir. Yaş aralığı ise 0 ile 4 yıl arasında değişmektedir. Örneklemin tamamı için minimum ağırlık 3.52 iken maksimum ağırlık 46.75 gr'dır. Tüm veri kümesi için ortalama ağırlık 18.86 gr'dır. Dişi ve erkek için ayrı ayrı değerlendirmek gerekirse; dişilerin total boy ortalamaları 11.80 cm ve ortalama ağırlıkları 21.14 gr'dır. Erkeklerde ise total boy ortalaması 10.81 cm ve ortalama ağırlık 16.51 gr'dır. Bu değerlere göre dişilerin daha ağır ve uzun olduğu söylenebilir. Aynı durum yaş ortalamaları için de geçerlidir. Dişilerin yaş ortalamalarının erkeklerden daha fazla olduğu görülmektedir.

*P. quadrilineatus* türünün yaş-uzunluk dağılımı belirlenirken dört büyüme modelinden yararlanılmıştır. Bunlar von Bertalanffy, Schnute, Lojistik-Karkach ve Gompertz'dir. Bu büyüme modellerinden cinsiyetlere göre ve tüm veri kümesi açısından türü en iyi tanımlayan fonksiyonu bulmak için  $R^2$  ve MSE karşılaştırma kriterinden yararlanılmıştır. Büyüme modellerinin performansları Çizelge 4.5'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.5 Büyüme Modelleri ve Karşılaştırma Kriterleri

<b>Büyüme Modelleri / Karşılaştırma Kriterleri</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>MSE</b>
<b>Tüm Veri</b>		
Von Bertalanffy	0.813	0.369
Schnute	0.791	0.552
Gompertz	0.790	0.555
Lojistik-Karkach	0.788	0.560
<b>Erkek</b>		
Von Bertalanffy	0.744	0.718
Schnute	0.744	0.718
Gompertz	0.745	0.717
Lojistik-Karkach	0.745	0.718
<b>Dişi</b>		
Von Bertalanffy	0.813	0.369
Schnute	0.813	0.369
Gompertz	0.811	0.373
Lojistik -Karkach	0.809	0.378

Modeller karşılaştırılırken  $R^2$  değerinin bire en yakın olduğu ve MSE değerinin en düşük olduğu model en iyi performansa sahip model olarak belirlenmiştir. Buna göre tüm veri kümesi için istatistiksel kriter sonuçları incelenirse en yüksek  $R^2$  değerinin (0.813) ve en düşük MSE değerinin (0.369) von

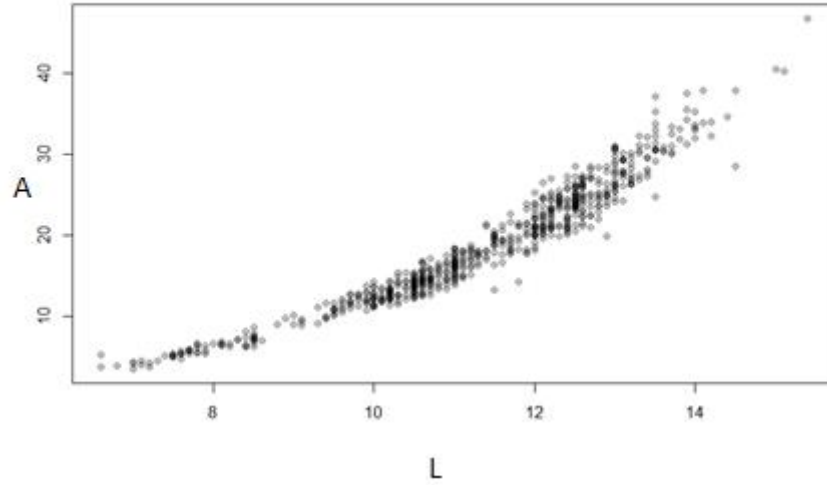
Bertalanffy modeline ait olduğu görülmektedir. Tüm veri kümesi için en düşük performansa sahip büyüme modelinin Lojistik-Karkach olduğu görülmektedir. Cinsiyetlere göre büyüme modelleri performanslarının farklı olduğu tespit edilmiştir. Örneğin erkeklerde 0.745 değeri ile en yüksek  $R^2$  sonucuna sahip iki büyüme modelinin, Gompertz ve Lojistik-Karkach, olduğu görülmektedir. Fakat bu iki model MSE değerine göre karşılaştırıldığında en düşük MSE değerine Gompertz büyüme modelinin sahip olması sebebiyle erkeklerin büyümesi en iyi Gompertz fonksiyonu ile tahmin edilmiştir. Dişilerde büyüme modelleri kriterlere göre karşılaştırıldığında von Bertalanffy ve Schnute fonksiyonlarının eşit performansa sahip olduğu dolayısıyla iki büyüme modelinin de parametre tahmininde kullanılabileceği görülmektedir. Büyüme modellerinin diğer modellerle karşılaştırılmasının hatta cinsiyetlere göre de bir karşılaştırma yapılmasının önemi bu çalışmayla tekrar gözler önüne serilmiştir. Her bir cinsiyette farklı büyüme modellerinin iyi sonuç vermesi cinsiyetlere göre modelleme yapılırken tek bir fonksiyon üzerinden gidilmemesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

#### **4.2.1.2. Pelates Türü için Uzunluk-Ağırlık Dağılımı**

Uzunluk-ağırlık dağılımı da tıpkı yaş-uzunluk dağılımında olduğu gibi bize tür hakkında bilgi vermektedir. Uzunluğu bilinen türün ağırlığı, ağırlığı bilinen türün de uzunluğu modeller yardımı ile tahmin edilebilir. Bu tahmin sürecinde LR'nin literatürde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Son yıllarda geleneksel model olarak LR yerine YSA'nın kullanıldığı görülmektedir. Çalışmanın bu aşamasında uzunluk-ağırlık modellemesi yapılırken LR ve YSA kullanılmıştır.

**Uzunluk-Ağırlık Dağılımının LR ile Belirlenmesi**

Su ürünlerinde uzunluk ağırlık dağılımı Ricker (1973) tarafından oluşturulan  $A = aL^b$  formülü ile LR kullanılarak belirlenmektedir. Burada “a” x-eksenini kestiği nokta, “b” eğim, A ağırlık, L ise uzunluktur.



Şekil 4.2 *Pelates* için Uzunluk-Ağırlık İlişkisi

Formüle dikkat edilirse uzunluk ile ağırlık arasında üstel bir ilişki vardır. Bu ilişki Şekil 4.2’de görülmektedir. Lineer regresyon gerçekleştirmek için bu denkleme dönüşüm uygulanmalıdır (Ricker, 1973). Gerçekleştirilen logaritmik dönüşüm sonrasında LR uygulanmış parametreler tahmin edilmiştir. Çizelge 4.6’da LR analizine göre tüm veri kümesi ve cinsiyetler için tahmin edilen parametreler ve karşılaştırma kriterleri  $R^2$  ile MSE listelenmiştir.

Çizelge 4.6 LR Analizi Parametre Tahminleri,  $R^2$  ve MSE değerleri

Lineer Regresyon Parametreleri	a	b	b için güven aralıkları	$R^2$	MSE
Tüm veri	0.012	3.008	2.968-3.048	0.955	2.585
Erkek	0.013	2.965	2.910-3.020	0.953	2.322
Dişi	0.011	3.065	2.999-3.132	0.949	2.769

Çizelge 4.6'ya göre tüm veri kümesi için uzunluk-ağırlık dağılımı elde edilen parametre tahminleri sonucunda  $A=0.0120L^{3.008}$  formülü ile oluşturulmuştur. Tüm veri kümesi için MSE ve  $R^2$  sırasıyla 2.59 ve 0.96 olarak bulunmuştur. Karşılaştırma kriterlerine göre LR oldukça iyi sonuç vermiştir. Bir başka ifade ile uzunluk, ağırlığın %96'sını açıklamaktadır.

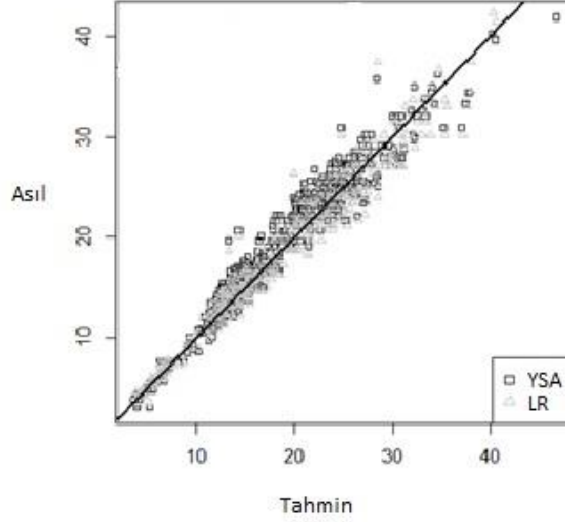
Erkekler için LR analizi sonucunda tahmin edilen parametrelere göre oluşturulan uzunluk-ağırlık dağılımı  $A=0.013L^{2.965}$  şeklindedir. Bu modelin MSE ve  $R^2$  istatistikleri sırasıyla 2.322 ve 0.953'tür. Dişiler için oluşturulan model  $A=0.011L^{3.065}$  iken,  $R^2$  ve MSE değerleri ise 0.949 ve 2.769 şeklindedir.

#### Uzunluk-Ağırlık Dağılımının YSA ile Belirlenmesi

Son yıllarda YSA'nın her alanda kullanımının artması ile birlikte su ürünlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Modelleme yaparken lineerliğe ihtiyaç duymaması, hızlı olması, ekonomik olması sebebiyle daha çok tercih edilmektedir (Sun, 2009). Bu kısımda YSA algoritmalarından ileri beslemeli ağlardan olan Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) kullanılarak ağırlık tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Verinin ön işleme safhasında öncelikle kayıp veri olup olmadığı kontrol edilmiş kayıp verinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Daha sonra veri test ve eğitim verisi olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu işlemle eğitim verisinde veri tanıma ve tahminler yapılırken, test verisinde de oluşturulan model test edilmekte yani





Şekil 4.4 YSA-LR için Asıl Değerlere Karşı Tahmin Değerleri

Şekil 4.4'e göre LR ve YSA modellerinin her ikisinin de veri kümesini ne kadar iyi tahmin ettiği görülmektedir. Hangi modelin gerçeğe en yakın tahminde bulunduğunu tespit etmek amacıyla  $R^2$ , MSE ve MAPE kriterlerinden yararlanılmıştır. Çizelge 4.7'de YSA'ya ait, tüm veri ve cinsiyetler için  $R^2$  ve MSE değerleri paylaşılmıştır.

Çizelge 4.7 YSA için  $R^2$  ve MSE Değerleri

YSA	$R^2$	MSE
Tüm veri	0.957	2.496
Erkek	0.954	2.219
Dişi	0.949	2.693

Çizelge 4.7'ye bakıldığında tüm veri kümesi için  $R^2$  değerinin 0.957 olduğu görülmektedir. LR modeli ile karşılaştırdığımızda YSA'nın çok az bir fark ile daha

iyi performansa sahip olduğu söylenebilir. Aynı şekilde YSA'nın MSE değerinin 2.496 olması ve LM'in MSE değerinden daha düşük olması sebebiyle YSA'nın tüm veri kümesi için performansı LM'den daha iyidir denilebilir. Cinsiyetler açısından baktığımızda dişiler için  $R^2=0.949$  ve  $MSE=2.693$ , erkekler için baktığımızda  $R^2 = 0.954$  ve  $MSE=2.219$  değerlerine sahiptir. Dişiler için LR ve YSA'nın  $R^2$  değerleri her ne kadar eşit olsa da MSE açısından YSA'nın daha iyi sonuç verdiği görölmektedir. Erkeklerde ise YSA daha iyi performansa sahiptir. Sonuç olarak  $R^2$  ve MSE kriterleri açısından YSA ile kurulan model LM'den daha başarılıdır.

Cinsiyetlere ve tüm veriye göre ağırlıklar, YSA modelinin ağırlık tahminleri ve LR modelinin ağırlık tahminleri uzunluk gruplarına göre Çizelge 4.8'de listelenmiştir. Ayrıca aynı tabloda uzunluk grupları için her bir modele göre elde edilen MAPE değerleri de verilmiştir.

Çizelge 4.8 LR ve YSA Yöntemlerinin MAPE Değerleri

Uzunluk Grupları (cm)	Cinsiyet	Gerçek Ağırlık (gr)	YSA Ağırlık Tahmini (gr)	YSA MAPE	LR Ağırlık Tahmini (gr)	LR MAPE
6.0-7.9	Tüm veri	4.988	5.054	0.051	5.122	0.066
	Erkek	4.873	4.883	0.050	5.059	0.069
	Dişi	5.623	5.332	0.052	5.483	0.026
8.0-9.9	Tüm veri	10.280	10.263	0.056	9.625	0.058
	Erkek	9.233	9.242	0.057	9.243	0.057
	Dişi	10.088	10.644	0.068	10.488	0.058
10.0-11.9	Tüm veri	15.588	15.571	0.066	15.601	0.063
	Erkek	15.286	15.239	0.060	15.359	0.062
	Dişi	15.475	15.492	0.067	15.825	0.063
12.0-13.9	Tüm veri	25.424	25.333	0,065	25.352	0.064
	Erkek	24.108	24.137	0.073	24.157	0.070
	Dişi	25.832	25.793	0.067	25.99	0.060
14.0-15.9	Tüm veri	35.730	34.222	0.051	35.673	0.055
	Erkek	33.310	33.428	0.008	33.070	0.076
	Dişi	33.843	33.816	0.055	36.669	0.043
<b>Ortalama MAPE</b>				0.056		0.059

Çizelge 4.8’de listelendiği gibi YSA modelinden elde edilen tahmin değerleri, LR modelinden elde edilen tahmin değerleri ile kıyaslandığında gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Yine de bu değerlerin ne kadar yakın olduğunu tespit etmek için MAPE kriterine başvurulmuştur. Bu değerler YSA

modelinde, LR modelinden çok az bir farkla da olsa daha düşük olması sebebiyle, bu tür için YSA'nın daha iyi performansa sahip olduğu söylenebilir.

#### 4.2.2. Lesepsiye Yengecin Büyümesinin Modellenmesi

##### 4.2.2.1. Lesepsiye Yengeç için Uzunluk-Frekans Dağılımı

Balıklarda büyüme modellenirken uzunluk-yaş, uzunluk-uzunluk, uzunluk-ağırlık gibi dağılımlardan yararlanılmaktadır. Bu dağılımlara uzunluk-frekansı da eklemek mümkündür. Yaş tayinin yapılamadığı kabuklu türlerde örneğin yengeç karides vd. kabuk genişliği gibi uzunlukların frekans dağılımları kullanılarak yaklaşık bir yaş belirlenmektedir (Clottey, 2020). Uzunluk-frekans dağılımları özellikle sınırlı bilgiye sahip olunan durumlarda maliyetinin oldukça düşük ve oldukça kolay olması sebebiyle tercih edilmektedir (Petersen, 1981; Pitcher, 2002). ELEFAN metodu da 1981 yılından beri uzunluk-frekans modellemesinde sıklıkla başvurulan yöntemlerdendir (Pauly ve David, 1981; Pauly ve Morgan, 1987). Pauly ve arkadaşlarının geliştirdiği ELEFAN metodunun kullanıldığı FİSAT programı yıllar içinde gelişim göstererek hala kullanımını sürdürmektedir (Pauly ve David, 1981; Pauly ve Morgan, 1987). Teknolojinin gelişmesi ve R gibi açık kaynak kodlu programların ortaya çıkması ile birlikte ELEFAN metodu da bu platforma taşınmıştır. Mildenberger vd. (2017), tarafından geliştirilen “TropFishR” da R platformunda yer alan paket programlardandır. Bu kısımda “TropFishR” paket programı kullanılarak, uzunluk-frekans dağılımının belirlenmesinde geleneksel yöntemlerle birlikte GA'nın da kullanılabileceği gösterilmiştir.

Türe ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.9'da verilmiştir. Tabloda cinsiyetlere ve tüm veriye göre ağırlık ile Kabuk Genişliği (KG) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.9 Lesepsiyen Yengeci için Tanımlayıcı İstatistikler

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
<b>Erkek</b>				
KG (mm)	14.73	57.08	42.01	7.65
Ağırlık(g)	1.34	43.42	16.61	8.98
<b>Dişi</b>				
KG (mm)	17.22	51.64	36.31	4.78
Ağırlık(g)	2.97	28.38	9.99	3.89
<b>Tüm Veri</b>				
KG (mm)	14.73	57.08	38.62	6.71
Ağırlık(g)	1.34	43.42	12.67	7.22

KG uzunluk ortalamalarına bakıldığında erkeklerin (42.01 mm) dişilerden (36.31 mm) daha uzun olduğu görülmektedir. Yine ağırlık ortalamalarına göre erkekler (16.61 g) dişilerden (9.99 g) daha ağırdır. Tüm veri kümesi için KG ortalaması 38.65 mm iken ağırlık ortalaması 12.70 g'dır. Analizler yapılırken tüm veri kümesi dikkate alınmıştır.

Yengeç gibi kabuklu türlerin uzunluk-frekans dağılımından elde edilen bilgilerle büyüme modeli eşitlik (3.3)'deki von Bertalanffy (1938) fonksiyonu ile oluşturulur.

Eşitlik (3.3)'de verilen  $t_0$  değerinin hesaplanması için Pauly (1980) tarafından oluşturulan aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır.

$$\text{Log}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \text{Log}(L_\infty) - 1.038 \text{Log}(K)$$

Fakat bu denklemden  $t_0$  değerini çekebilmek için de K ve  $L_\infty$  parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu parametreler de ELEFAN metodu ile belirlenmektedir. Yöntem uygulanmadan önce türe ait uzunluklar önceden

belirlenen aralıklarla gruplandırılır. Daha sonra her bir gruba düşen birey sayısı frekans olarak kaydedilir. Elde edilen gruplar ve ELEFAN yöntemi kullanılarak parametreler tahmin edilir. Yöntem gruplara göre birçok parametre üretir. ELEFAN yönteminin amacı hesaplanan parametreler arasından modele en iyi uyum sağlayan parametreyi bulmaktır (Pauly ve David, 1981; Pauly ve Morgan, 1987).

Parametreler iki yöntemle belirlenmiştir. Bunlardan biri klasik yöntemlerden olan RSA (Response Surface Analysis) diğeri ise GA'dır. Bu yöntemler aracılığı ile hesaplanan parametrelerden hangisinin modele daha iyi uyum sağladığını tespit etmek için Rn maksimum uyum iyiliği testi ile karşılaştırılmıştır (Mildenberger vd., 2017).

Rn uyum iyiliği istatistiği ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Pitcher, 2002):

$$(10^{ESP/ASP})/10$$

Burada ASP (Available Sum of Peaks), mevcut tepe noktalarının toplamı iken ESP (Explained Sum of Peaks) ise açıklanan tepe noktalarının toplamıdır. Bu değer her hesaplanan parametre için oluşturulur sonuçta bu değer 1'e en yakın olduğu parametre modele en iyi uyum sağlayan parametre olarak atanır. Seçilen bu parametreye göre de model oluşturulur (Mildenberger vd., 2017). Lesepsiyen yengeç türü için uzunluk-frekans dağılımı ve parametre tahmini RSA ve GA yöntemleri kullanılarak elde edilmiş, bu iki yöntem Rn maksimum uyum iyiliği testine göre karşılaştırılmıştır. Daha sonra en iyi uyum sağlayan yönteme göre tahmin edilen parametreler Pauly (1980) denkleminde göre yaş tayini için kullanılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.10 RSA ve GA Yöntemlerinin Parametre Tahminleri

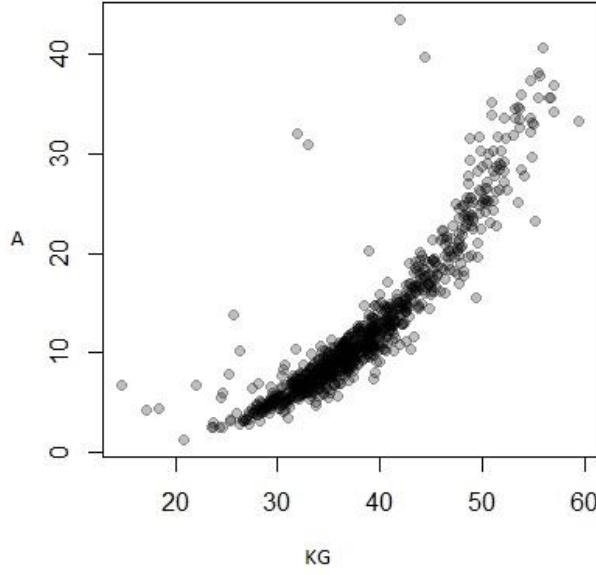
Tüm veri	RSA	GA
$L_{\infty}$	58	58.122
K	1.52	1.34
Rn maksimum	0.38	0.59

Çizelge 4.10'da RSA ve GA yöntemleri ile elde edilen parametre tahminleri ve Rn maksimum sonuçları görülmektedir. Buna göre Rn maksimum değerinin GA'da RSA'dan daha yüksek olması sebebiyle yaş tayini için GA yöntemiyle elde edilen parametreler kullanılmıştır. Pauly denkleminde parametrelerin yerleştirilmesi sonucunda  $t_0 = -0.01$  olarak elde edilmiştir. Yaş grupları bu değere göre oluşturulmuş bu türün uzunluk-ağırlık dağılımı için kullanılmıştır.

#### 4.2.2.2. Lesepsiye Yengeç için Uzunluk-Ağırlık Dağılımı

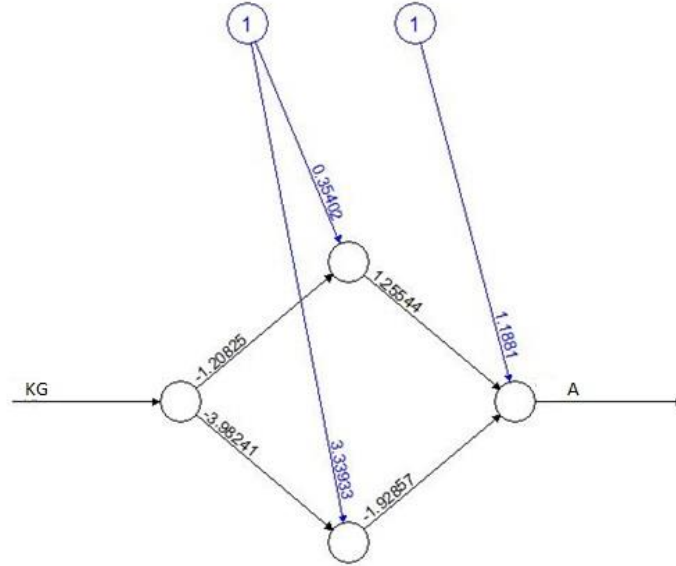
Bu kısımda Lesepsiye yengeç türü için uzunluk-ağırlık dağılımı Lineer Regresyon (LR) ve YSA ile belirlenmiştir. Bu amaçla iki model oluşturulmuştur. İlk modelde ağırlık tahmininde sadece Kabuk Genişliği (KG) kullanılmış (Model I:  $A=KG$ ) LR ve YSA yöntemleri ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Üçüncü modelde ise YSA yöntemi kullanılmış, bir önceki bölümde tahmin edilen yaş modele eklenmiştir (Model II:  $A=KG+ Yaş$ ).

Veri öncelikle kayıp verilerinden ayıklanmış ve normalleştirilmiştir. YSA yöntemi için verinin %60'ı rastgele eğitim verisine %40'ı ise rastgele test verisine aktarılmıştır. LR ve YSA yöntemleri  $R^2$ , MSE ve MAPE kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.



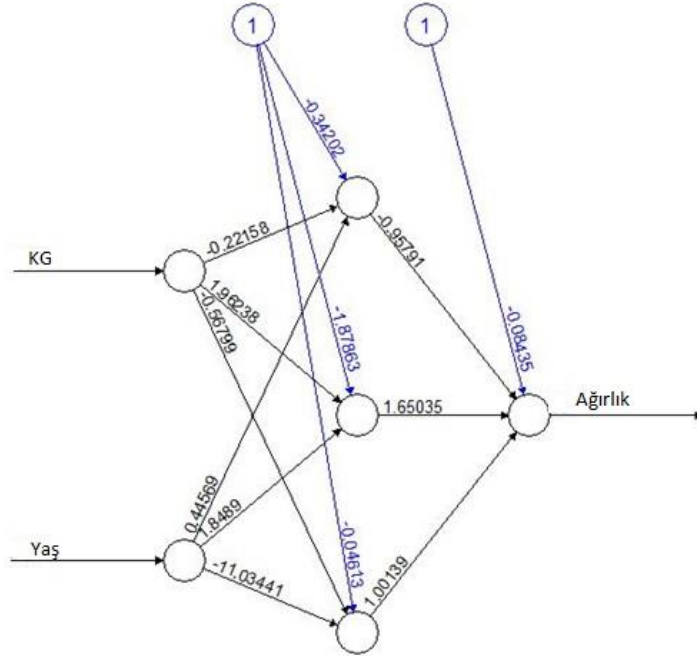
Şekil 4.5 Lesepsiyen Yengeç için Uzunluk-Ağırlık ilişkisi

Şekil 4.5'te ağırlık ile KG arasında lineer olmayan bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Veriye dönüşüm gerçekleştirilerek LR analizi uygulanmıştır. *P.quadrilatus* türünde yararlanıldığı gibi Lesepsiyen yengeç türünün ağırlık-uzunluk dağılımında da Ricker (1973) tarafından geliştirilen  $A = aL^b$  denkleminde yararlanılmıştır. Lineer regresyon sonucunda a sabiti -3.383; b sabiti ise 2.798 olarak tahmin edilmiştir. Lesepsiyen yengeç türü için ağırlık-uzunluk modeli  $A = -3.383L^{2.798}$  olarak belirlenmiştir. Her iki model için YSA yöntemi MLP algoritması kullanılarak tahminler gerçekleştirilmiştir. Model I için YSA grafiği Şekil 4.6'da; Model II için YSA grafiği ise Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.6 Model I için YSA Grafiği

Şekil 4.6'da Model I in YSA ile elde edilmesini görmekteyiz. Burada girdi değişkeni KG iken çıktı değişkeni ağırlıktır. Ayrıca bu model için iki gizli katmanın kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 4.7 Model II için YSA Grafiği

Şekil 4.7’de ise Model II’nin YSA yöntemi kullanılarak uygulanması görülmektedir. Burada iki girdi değişkeni vardır bunlar KG ve bir önceki bölümde tahmin edilen yaş değişkenidir. Bu modelde 3 gizli katman olduğu görülmektedir.

Oluşturulan modellerin  $R^2$  ve MSE değerleri Çizelge 4.11’de görülmektedir.

Çizelge 4.11 LR, Model I ve Model II için  $R^2$  ve MSE Değerleri

Modeller/Kriterler	$R^2$	MSE
LR	0.887	6.721
Model I	0.914	4.976
Model II	0.940	2.888

$R^2$  ve MSE sonuçlarına bakıldığında LR'nin en kötü performansa sahip model olduğu görülmektedir. Model II'nin ise en yüksek  $R^2$  ve en düşük MSE değerlerine sahip olması sebebiyle en iyi performansa sahip model olduğu söylenebilir. Yani türün tahmini yaşının eklendiği YSA modeli daha iyi sonuç vermiştir. Hangi modelin gerçeğe en yakın tahminde bulunduğunu belirlemek için MAPE kriterinden yararlanılmıştır. Yöntemlere ve modellere göre tahmin değerleri ve MAPE sonuçları Çizelge 4.12'deki gibidir.

Çizelge 4.12 LR, Model I ve Model II için Tahmini Ağırlık ve MAPE

Uzunluk Grupları	Gerçek Ağırlık	LR Ağırlık	LR MAPE	Model I Ağırlık	Model I MAPE	Model II Ağırlık	Model II MAPE
22-26	9.805	9.691	1.163	9.919	1.166	9.771	0.350
26-30	10.558	10.439	1.127	10.581	0.221	10.518	0.380
30-34	10.463	10.279	1.761	10.618	1.480	10.168	2.819
34-38	13.316	13.032	2.135	13.415	0.747	13.501	1.393
38-42	13.081	12.807	2.093	12.747	2.549	13.418	2.581
42-46	14.258	14.024	1.641	14.446	1.321	14.237	0.148
46-50	13.657	13.242	3.041	13.599	0.428	13.646	0.080
50-54	14.843	14.675	1.129	14.875	0.220	14.804	0.257
54-58	14.213	14.029	1.298	14.012	1.414	14.036	1.249
<b>Ort. MAPE</b>			1.710		1.061		<b>1.029</b>

Çizelge 4.12'ye göre gerçek ağırlık değerlerine en yakın tahminde bulunan ve en düşük MAPE değerine sahip model KG ve yaş değişkenlerinin birlikte alındığı Model II'dir. En yüksek MAPE kriterine sahip yani gerçek ağırlık değerlerinden en uzak tahminde bulunan model ise LR yönteminin kullanıldığı modeldir. YSA ile

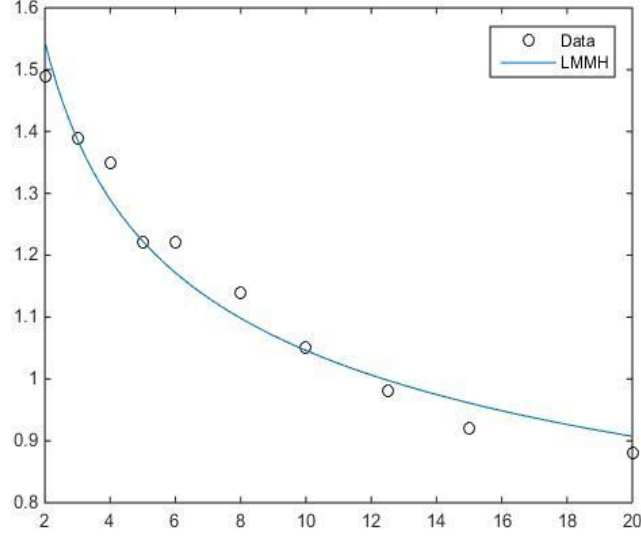
oluşturulan modellerin LR ile oluşturulan modelden daha başarılı olduğu görülmektedir.

#### 4.2.3. EKK ve GA Yöntemleri ile Parametre Tahmini

EKK yöntemi lineer olmayan modellerin parametre tahmininde oldukça sık kullanılan yöntemlerdendir. Fakat lineer olmayan modellerin parametre tahmininde bir başlangıç değerine ihtiyaç duyulması kimi zaman problem çözümlerini zorlaştırmaktadır. Üstelik başlangıç değeri yanlış seçilirse bu modellerin parametre tahmini de doğru gerçekleşmeyecektir. GA ise EKK yönteminin aksine başlangıç değerine ihtiyaç duymadan tahminlerini gerçekleştirmektedir. Bu kısımda GA ve EKK yöntemlerinin karşılaştırılması Royston ve Thompson (1995) tarafından kaydedilen kandaki glikoz seviyesi verilerine uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma gerçekleştirilirken literatüre yeni kazandırılan bir büyüme modeli olan L-MMH (Ünal, 2021) fonksiyonu kullanılmıştır.

GA yöntemi için popülasyon sayısı 200, maksimum nesil sayısı 2000, elit sayısı 5, mutasyon oranı 0.1 ve çaprazlama oranı da 0.8 alınmıştır.

Analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.8 Veriye Karşılık L-MMH Modeli Grafiği

L-MMH modelinin veri kümesine ne kadar iyi uyum sağladığı Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Veri kümesine modelin iyi uyum sağladığını tespit ettikten sonra parametre tahmini için sırasıyla EKK ve GA yöntemleri uygulanmıştır. Karşılaştırma kriterlerine göre yöntemlerin performansları Çizelge 4.13’de sunulmuştur.

Çizelge 4.13 EKK ve GA Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yöntemler/Metrikler	$R^2$ .	Adj. $R^2$	RMSE	MAPE
<b>EKK</b>	0.97	0.94	0.04	2.60
<b>GA</b>	0.95	0.92	0.04	3.13

Çizelge 4.13’e göre EKK’nın  $R^2$  ve düzeltilmiş  $R^2$  değerlerinin GA’dan yüksek, MAPE değerinin ise GA’dan daha düşük olduğu görülmektedir. RMSE değerinin ise iki yöntem için de eşit olduğu görülmektedir. Metriklere göre bu veri

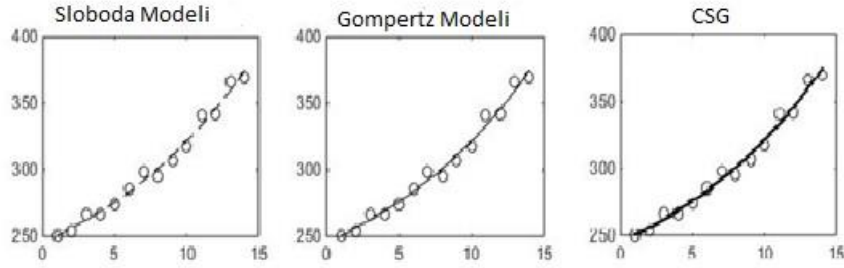
kümesi için EKK yönteminin GA'dan daha iyi performansa sahip olduğu görülse de GA yönteminin de oldukça iyi bir performansa sahip olduğu sonuçlara yansımaktadır. EKK 'da ihtiyaç duyulan başlangıç değeri ve ek bilgilerin varlığının parametre tahminini zorlaştırdığı düşünülürse GA metodu da lineer olmayan modellerin parametre tahmininde rahatlıkla kullanılabilir.

#### 4.2.4. CSG Modeli Uygulamaları

Bu kısımda CSG modeline iki uygulama gerçekleştirilmiş, modelin performansı Sloboda ve Gompertz modelleri ile karşılaştırılmıştır.

##### 4.2.4.1. Afgan Pika Veri Kümesine Uygulanması

Üç büyüme modeli Afgan Pika veri kümesi uygulanarak karşılaştırılmıştır. Öncelikle üç modelin veri kümesine uyumu grafiklerle ifade edilmiş ardından karşılaştırmaları RMSE ve MAPE kriterlerine göre yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.9 Sloboda, Gompertz ve CSG Modellerinin Veriye Uydurulması

Şekil 4.9'da üç veri kümesinin Afgan Pika veri kümesine ne kadar uyum sağladığı belirlenmiştir. Çizdirilen grafiklere göre üç modelin de veri kümesine

oldukça iyi uyum sağladığı söylenebilir. Performanslarına daha detaylı bakabilmek ve hangi modelin daha iyi sonuç verdiğini belirlemek için karşılaştırma kriterlerine bakılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.14’de sunulmuştur.

Çizelge 4.14 Sloboda, Gompertz ve CSG Modellerinin Karşılaştırılması

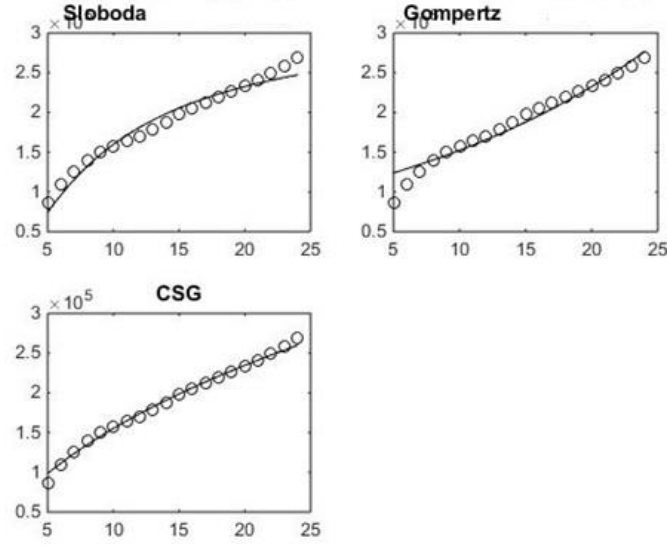
Modeller	RMSE	MAPE
Gompertz	4.5765	1.2969
Sloboda	4.5762	1.2827
CSG Modeli	4.5756	1.2821

Çizelge 4.14’e göre Gompertz ve Sloboda fonksiyonlarından oluşan yeni karma model diğer modellerden daha düşük RMSE ve MAPE değerleri nedeniyle Afgan Pika verisi için daha iyi performansa sahiptir. Fakat grafikte görüldüğü gibi üç model de veri kümesine oldukça iyi uyum sağlamıştır.

#### 4.2.4.2. Covid-19 Verilerine Uygulanması

Covid-19 salgını başladığı 2019 yılından bu yana dünyanın dört bir yanında tüm milletleri etkilemiştir. Ülkemizde ise ilk vaka kendini Mart 2020 başında göstermiştir. Bu tarihten itibaren vaka sayılarında ciddi düzeyde artış gözlemlenmiştir. Salgının başından itibaren tüm dünyada bilim insanları salgının nedenlerini ve virüs ile ilgili bilgileri elde ederken, vaka modellenmesinde matematiksel denklemlerden yararlanmışlardır. Matematiksel modeller ile salgın yayılımının incelenmesi daha önceki salgınlarda olduğu gibi insanlığa ileriye dönük tahminlerde bulunmasını sağlarken, bu tahminlerle önlemler alınmasına imkân tanır. Bu bölümde CSG modelinin ikinci uygulaması Covid-19 Türkiye verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CSG modelinin temelini oluşturan Sloboda ve Gompertz modelleri ile yeni geliştirilen model veri kümesine uygulanarak  $R^2$ , düzeltilmiş  $R^2$  ve MAPE kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.

Modellerin veri kümesine uyumu Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Modellerin Covid-19 Verisine Uydurulması

Şekil 4.10'da hafta-vaka verilerine göre modeller uydurulmuştur. Bu grafiğe göre CSG modelinin Gompertz ve Sloboda modellerinden veriye daha iyi uyum sağladığı söylenebilir.

Çizelge 4.15'de gerçek vaka sayıları ve üç modelin vaka tahminlerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.15 Vaka Sayısı ve Modellerin Tahminleri

Haftalar	Vaka Sayısı	CSG-Vaka Sayısı	Sloboda Vaka Sayısı	Gompertz Vaka Sayısı
5	86306	98460	74460	124010
6	110130	111410	95980	129240
7	126045	123400	115140	134700
8	138657	134610	131990	140410
9	149435	145160	146760	146390
10	156827	155140	159730	152640
11	163942	164620	171160	159180
12	170132	173660	181270	166020
13	178239	182310	190250	173170
14	187685	190610	198280	180660
15	197239	198590	205480	188500
16	205758	206280	211980	196710
17	212993	213710	217860	205300
18	219641	220890	223200	214300
19	226100	227850	228080	223720
20	232856	234600	232540	233590
21	240804	241160	236640	243930
22	249309	247530	240420	254760
23	258249	253740	243910	266100
24	268546	259780	247150	278000

Çizelge 4.15'e göre gerçek verilere en yakın değerlerin CSG modeli ile tahmin edildiği gözlene de bu değerlerin uyumunun daha anlaşılır şekilde görülebilmesi için uyum iyiliği kriterlerine başvurulmuştur. Karşılaştırma kriterleri sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

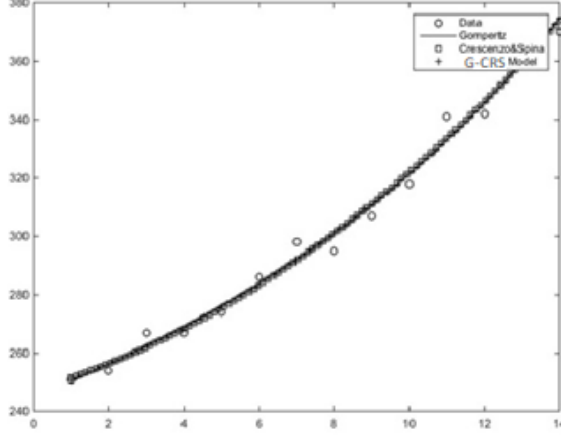
Çizelge 4.16 Covid-19 Verisi için Modellerin Karşılaştırılması

<b>Modeller/Metrikler</b>	<b><math>R^2</math>.</b>	<b>adj. <math>R^2</math></b>	<b>MAPE</b>
<b>Gompertz</b>	0.9620	0.9598	5.6030
<b>Sloboda</b>	0.9622	0.9521	4.8971
<b>CSG</b>	0.9949	0.9920	1.9873

Çizelge 4.16'ya bakıldığında MAPE kriterine göre tüm modellerin %10'un altında olduğu yani iyi uyum sağladığı görülmektedir. MAPE değeri en düşük olan model ise CSG modelidir.  $R^2$  ve adj.  $R^2$  değerlerine bakıldığında 1' en yakın değere sahip olan modelin CSG modeli olduğu görülmektedir. Çizelge 4.15'de verilen gerçek değerler ile tahmin değerleri, Şekil 4.10'da çizdirilen veri uyum grafiği ve metrikler CSG modelinin diğer modellere göre Covid-19 Türkiye verileri için daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

#### 4.2.5. G-CRS Modeline Bir Uygulama

Bu bölümde G-CRS modeli, CSG modelinde olduğu gibi Afgan Pika veri kümesine uydurulmuştur. Genelleştirilmiş formun etkinliğini göstermek amacıyla model Gompertz ve Crescenzo & Spina Modelleri ile karşılaştırılmıştır. Modellerin veri kümesine uyumu öncelikle grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.11). Daha sonra üç modelin performansı MAPE ve RMSE kriterleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.11 Modellerin Veriye Uydurulması

Şekil 4.11'e göre G-CRS, Crescenzo & Spina ve Gompertz modelleri Afgan Pika veri kümesine oldukça iyi uyum sağlamıştır. Modellerin veri kümesine uyumu grafik üzerinde denetlendikten sonra detaylı inceleme için istatistiksel kriterlere geçilmiştir. Modellerin istatistiksel kriterlere göre performansları Çizelge 4.17'de sunulmuştur.

Çizelge 4.17 Modeller ve Karşılaştırma Kriterleri

Model	RMSE	%MAPE
<b>Gompertz</b>	4.5770	1.3033
<b>Crescenzo &amp; Spina</b>	4.5853	1.3288
<b>G-CRS</b>	4.6614	1.2337

RMSE ve MAPE kriterlerine göre yeni geliştirilen modelin yaklaşık olarak diğer modellerle aynı sonuçlara sahip olduğu söylenebilir. RMSE kriteri açısından yeni model diğer iki modelden daha düşük performansa sahip iken, MAPE kriteri açısından ise tam tersi bir durum söz konusudur. Üç model de veri kümesine oldukça iyi uyum sağlamıştır. Yine de G-CRS modelinin Gompertz ve Crescenzo & Spina

fonskiyonlarını da içeren genel bir form olduğu düşünülürse, Gompertz ve Crescenzo & Spina modellerinin kullanıldığı çalışmalarda alternatif olarak uygulanabilir.





## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyüme ve büyümenin matematiksel ifadesi her bilim dalında araştırılmıştır. Kimi zaman ağaç, balık, insan gibi çok hücreli canlıların popülasyonunun tahmininde, salgınların yayılımının tahmininde, kimi zaman da ülkelerin ekonomilerinin gidişatı hakkında bilgi sahibi olmak için kullanılmıştır. Elde edilen bu tahminlerle ve büyüme modelleri ile karşılaşılabilecek problemlere önlemler alınmaya, kaynakların doğru bir şekilde kullanılmasını sağlanmaya ve en önemlisi ekolojik denge sağlanmaya çalışılmıştır. Modellerin 1700'lü yıllardan bu yana her durumda kullanılması ve gelişerek, dönüşerek günümüze kadar gelmesi ne kadar vazgeçilmez olduklarının bir göstergesidir.

Gelişen ve dönüşen yüzlerce büyüme modeli arasından eldeki probleme uygun olan formu bulmak en kritik görevdir. Daha önceki çalışmalarda kullanılan bir modeli, türü tanımlayabilecek başka bir model yoktur anlayışıyla eldeki popülasyona uygulamak, belki de yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olacaktır. Sadece su ürünlerinde değil tüm alanlarda gerçekleştirilen tahminlerin doğruluğunun ne kadar önemli olduğu aşikârdır. Dolayısıyla tercih edilecek yöntemin en doğru en ekonomik ve en hızlı olması gerekir. Bu çalışmada geleneksel yöntem her zaman doğru sonuç verir algısı tekrar sorgulanmış ve türün büyümesini en doğru şekilde modellenmek amaçlanmıştır. Bu duruma vurgu yapmak ve dikkat çekmek için *Pelates quadrilineatus* türünün popülasyon büyümesinde farklı büyüme modellerine başvurulmuştur. Başka bir büyüme modelinin denenmesine ihtiyaç duyulmadan su ürünlerinde uzunluk-yaş dağılımında kullanılan von Bertalanffy denklemine alternatif kullanılabilecek modellerin gösterilmesi istenmiştir. Bu amaçla Gompertz, Schnute, Lojistik ve von Bertalanffy fonksiyonları veri kümesine uygulanmış, cinsiyetler özelinde de karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Modellerin etkinliği ise  $R^2$  ve MSE kriterleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre tüm veri kümesi için von Bertalanffy modeli en iyi performansı gösterse de cinsiyetler bazında

bakıldığında özellikle erkekler için Gompertz modelinin daha iyi olduğu görülmüştür. Dişilerde ise von Bertalanffy ve Schnute modellerinin eşit derecede iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar göstermektedir ki yaygın kullanılan bir büyüme modeli her zaman en iyi performansa sahip değildir. Hatta cinsiyetler bazında dahi farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Her bir cinsiyette farklı büyüme modellerinin iyi sonuç vermesi cinsiyetlere göre modelleme yapılırken tek bir fonksiyon üzerinden gidilmemesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

*P. quadrilineatus* türünün ağırlık-uzunluk dağılımının belirlenmesinde ise klasik yöntemlerden LR yerine YSA'nın kullanılabilceği gösterilmiştir. Grafikler yardımıyla modellerin veri kümesine uyumu görselleştirilmiş, ölçütlerle ( $R^2$ , MSE, MAPE) de iki yöntem arasındaki istatistiksel farklılıklar sunulmuştur. Tüm veri kümesi ve cinsiyet özelinde yapılan karşılaştırmalar sonucunda YSA'nın LR'den daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür. YSA *P. quadrilineatus* türünün uzunluk-ağırlık dağılımını belirlemede LR'ye alternatif olarak kullanılabilir.

YSA'nın LR yöntemi yerine kullanılabilceğinin gösterildiği bir diğer analiz ise Lesepsiyen Yengeç türünün ağırlık-uzunluk dağılımının belirlenmesidir. Bu defa uzunluk- ağırlık dağılımı için iki model oluşturulmuştur. İlk model Kabuk Genişliği (KG) ve ağırlık ile oluşturulmuş bu modele LR ve YSA yöntemleri uygulanmıştır. İkinci modelde ise KG'ye yaş değişkeni eklenmiştir. Yaş değişkenini eklemek için türün uzunluk-frekans dağılımı kullanılmıştır. Kabuklu türler ailesinden olan Lesepsiyen Yengeç için yaş belirleme, doğrudan bir ölçüm yöntemi ile yapılamadığı yaş, uzunluk gruplarına düşen birey sayısı yani frekans değeri ile belirlenir. Uzunluk-frekans dağılımı için geleneksel olarak RSA yöntemi kullanılmaktadır. Alternatif olarak ise son yıllarda GA kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle uzunluk-frekans dağılımı RSA ve GA yöntemleri ile belirlenmiş, GA'nın dağılım için etkin olduğu gösterilmek istenmiştir. Nitekim bu iki yöntemin karşılaştırılmasına imkân tanıyan  $R_n$  kıstası ile GA yönteminin daha başarılı olduğu gösterilmiştir. GA yönteminin başarılı olduğu belirlendikten sonra bu yöntemden elde edilen parametreler ile yaş tahmini yapılmış, yaş değişkeni uzunluk-ağırlık dağılımının belirlenmesi için

eklenmiştir. Sonuçta YSA'nın uygulanan tüm modellerde (Model I:  $A=KG$ ; Model II:  $A=KG+ Yaş$ )  $R^2$ , MSE, MAPE kriterlerine göre LR'den daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Özellikle yaş değişkenin eklendiği ve YSA'nın kullanıldığı model daha başarılı bulunmuştur.

İki farklı türden elde edilen bulgular ışığında, bu türlerin uzunluk-ağırlık dağılımlarının belirlenmesinde YSA yönteminin LR'den daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Bu sonuç *P. quadrilineatus* ve Lesepsiye Yengeç gibi balık türlerinin uzunluk-ağırlık dağılımlarının belirlenmesinde YSA yönteminin tercih edilebileceğini göstermektedir.

Mevcut problemin popülasyon büyümesinin belirlenmesini içerdiğini düşünelim. Bu problem için literatürde bulunan büyüme modelleri, popülasyon büyümesini tahmin etmek için aday olarak seçilsin. Seçim işleminin ardından veriye modelleri uygulama ve parametre tahmini kısmına geçilir. Parametre tahmini için farklı yöntemler kullanılabilir. Bunlardan en çok bilineni EKK yöntemidir. Büyüme modelleri gibi lineer olmayan problemleri çözmedeki başarısı sebebiyle GA son zamanlarda EKK yöntemine alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada da GA'nın lineer olmayan modellerin parametre tahmininde EKK kadar başarılı olabileceği gösterilmiştir. Nitekim  $R^2$  ve düzeltilmiş  $R^2$ , MAPE ve RMSE kriterleri açısından EKK yöntemi GA'dan daha iyi sonuçlar verse de hesaplanan değerlerin birbirine çok yakın olduğu hatta RMSE değerinin eşit olduğu belirlenmiştir. Bu da başlangıç değer problemi yaşanan lineer olmayan büyüme modellerini çözmede, herhangi ek bir bilgiye ihtiyaç duymadan tahminler yapılmasını sağlayan GA'nın kullanılabilirliğini göstermektedir.

Büyümenin ilk ifade edildiği fonksiyon olarak görülen Malthus modelinden bu yana büyüme modelleri farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır. Bilim insanları bu formları, temel aldıkları büyüme modeline parametreler ekleyerek, bilindik formları genelleştirerek kimi zaman da sıfırdan yeni bir büyüme modeli ortaya koyarak elde etmişlerdir. Burada bilim insanlarının amacı başta da belirtildiği gibi popülasyonu en iyi tanımlayabilecek fonksiyonları bulmaktır. Bu sebeple ve

çalışmanın ana hedefine uygun olarak iki yeni büyüme modeli sunulmuştur. Büyüme modelleri önce teorik açıdan incelenmiş, ardından uygulamalarla modellerin yetkinliği temel alındığı fonksiyonlarla kıyaslanarak incelenmiştir. Literatüre ilk kazandırılan model CSG modelidir. Bu model Sloboda ve Gompertz büyüme modellerinin karma fonksiyonudur. Modelin ortaya çıkış aşamalarının verildiği, teorik bilgilerinin incelendiği kısımda büyüme modeline ait özellikler de paylaşılmıştır. Paylaşılan özellikler ise başlangıç değeri, üst limiti, büyüme oranı, kritik noktalarıdır. Performans karşılaştırma bölümünde CSG modeli iki farklı veri kümesine uygulanmıştır. İlk veri kümesi literatürde sıklıkla kullanılan Afgan Pika verisidir. CSG modeli ve temel aldığı iki model RMSE ve MAPE kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçta Afgan Pika veri kümesi için karma modelin daha iyi performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. İkinci uygulamada CSG, Sloboda ve Gompertz modelleri Covid-19 Türkiye verilerine uygulanmıştır. Modellerin veri kümesine uyumları grafiklerle gösterilmiştir. Ardından karşılaştırma kriterleri olan  $R^2$ , düzeltilmiş  $R^2$  ve MAPE ile modellerin yetkinlikleri sınanmıştır. Buna göre üç kriter açısından CSG modelinin diğer modellerden daha iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca haftalar bazında modellerin vaka tahminleri de paylaşılmış, CSG modelinin tahminlerde diğer modellerden daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Bu iki farklı veri kümesinden elde edilen sonuçlar ve karşılaştırma kıstasları göstermektedir ki CSG modeli Afgan Pika ve Covid-19 Türkiye verileri için Sloboda ve Gompertz modellerinden daha başarılıdır. Bu göstergelerle şu sonuca varmak olasıdır; Gompertz veya Sloboda fonksiyonlarının kullanıldığı veri kümelerine CSG modeli rahatlıkla uygulanabilir. Hatta başka veri kümeleri için bu modellerden daha iyi tahminlerde bulunabilir.

Literatüre kazandırılan ikinci model ise Crescenzo & Spina modelinin bir genelleştirilmiş (G-CRS) formunu sunan fonksiyondur. İlk modelde olduğu gibi G-CRS modelinde de öncelikle modelin elde edilışinden bahsedilmiştir. Ardından modelin başlangıç değeri, üst limiti, dönüm noktası maksimum spesifik büyüme oranı, gecikme süresi gibi özelliklerinden ve parametrelerin bazı noktalardaki

limitlerinden bahsedilmiştir. Ardından modelin dönüm noktalarından geçen teğet denklemi ve gecikme süresi görselleştirilmiştir. Modelin yetkinliği ise Performans Karşılaştırma bölümünde, CSG modelinde olduğu gibi Afgan Pika veri kümesine uygulanarak gösterilmiştir. Yine temel aldığı Crescenzo & Spina ve Gompertz modelleri de veri kümesine uygulanarak üç modelin performansları RMSE ve MAPE kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. RMSE kriteri açısından diğer modellerinden daha başarısız bulunsa da MAPE kriteri açısından daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Bu yorumlar ise G-CRS'nin Gompertz, Crescenzo & Spina modellerinin kullanılabilceği veri kümelerine rahatlıkla uygulanabileceği sonucunu doğurmuştur.

Bir sonraki aşamada CSG modeli başka ülkelere ait Covid-19 verilerine ve hatta başka virüs çeşitlerine uygulanarak vaka tahminlerinde kullanılabilir. Böylece CSG modelinin diğer ülkelere ait Covid-19 verileri üzerindeki tahmin kabiliyeti sınanabilir. G-CRS modeli ise başka veri kümelerine de uygulanarak etkinliği sınanabilir. Literatüre kazandırılan modellerin zaman içerisinde uygulamalarının artması ile belki de bir tür için tanımlanmış bir model olduğu ortaya çıkabilir.



## KAYNAKLAR

- Akyol, A.P., 2006. Doğrusal Olmayan Ekonometrik Modellerin Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Parametre Tahmini. Gazi Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 111s.
- Alp, A., Kara, C., Üçkardeş, F., Carol, J., García-Berthou, E., 2011. Age and Growth of the European Catfish (*Silurus glanis*) in a Turkish Reservoir and Comparison with Introduced Populations. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(2): 283-294.
- Altunkaynak, B., Esin, A., 2004. The Genetic Algorithm Method For Parameter Estimation In Nonlinear Regression. *Gazi University Journal of Science*, 17(2): 43-51.
- Aragón-Noriega, E.A., Alcántara-Razo, E., Valenzuela-Quiñónez, W., Rodríguez-Quiroz, G., 2015. Multi-Model Inference for Growth Parameter Estimation of The Bigeye Croaker *Micropogonias megalops* in The Upper Gulf of California. *Revista De Biología Marina y Oceanografía*, 50(1): 25-38.
- Asadi, M., Di Crescenzo, A., Sajadi, F. A., Spina, S., 2020. A Generalized Gompertz Growth Model with Applications and Related Birth-Death Processes. *Ricerche di Matematica*, 1-36.
- Ataseven, B., 2013. Yapay Sinir Ağları İle Öngörü Modellemesi. *Öneri Dergisi*, 10(39).
- Attanayake, A.M.C.H., Perera, S.S.N., Jayasinghe, S., 2020. Phenomenological Modelling of COVID-19 Epidemics in Sri Lanka, Italy, the United States, and Hebei Province of China. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2020
- Baer, A., Schulz, C., Traulsen, I., Krieter, J., 2011. Analysing the Growth of Turbot (*Psetta maxima*) in a Commercial Recirculation System with the Use of Three Different Growth Models. *Aquaculture International*, 19(3): 497-511.

- Benzekry, S., Lamont, C., Beheshti, A., Tracz, A., Ebos, J.M.L., 2014. Classical Mathematical Models for Description and Prediction of Experimental Tumor. *PLoS Computational Biology*, 10(8)
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Fisheries Investigations Series II, volume 19. Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food, Her Majesty's Stationery Office, London.
- Bilen, C.T., Kokcu, P., Ibrikci, T., 2011. Application of Artificial Neural Networks (ANNs) for Weight Predictions of Blue Crabs (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) Using Predictor Variables. *Mediterranean Marine Science*, 12(2): 439-446.
- Birch, C.P., 1999. A New Generalized Logistic Sigmoid Growth Equation Compared with The Richards Growth Equation. *Annals of Botany*, 83(6): 713-723.
- Ciaburro, G., Venkateswaran, B., 2017. *Neural Networks with R: Smart models Using CNN, RNN, Deep Learning, and Artificial Intelligence Principles*. Packt Publishing Ltd., Birmingham, 248s.
- Clottey, M.N.K., 2020. *Population Dynamics and Reproductive Studies of Three Commercially Important Sparid Species from Ghanaian Waters*. University of Cape Coast. Doctoral Dissertation, 187s.
- Costa, L.R., Barthem, R.B., Albernaz, A.L., Bittencourt, M.M., Villacorta-Corrêa, M.A., 2013. Modelling the Growth of Tambaqui, *Colossoma Macropomum* (Cuvier, 1816) in Floodplain Lakes: Model Selection and Multimodel Inference. *Brazilian Journal of Biology*, 73:397-403.
- Çelik, S., Ankarali, H., Pasin, O., 2020. Modeling of Covid-19 Outbreak Indicators in China Between January and June. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 1-9.
- Çığışar, B., Ünal, D., 2021a. A Comparison of Genetic Algorithm and Least Squares Methods for L-MMH Model via Glucose Data. *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-VI*, Beirut, Lebanon.

- \_\_\_\_\_, 2021b. A Comprehensive Approach to Virus Spread by Novel Growth Model: CSG. V. International Conference On Covid-19 Studies, Ankara, Turkey.
- Çığışar, B., Ünal, D., Türeli, C., 2021. Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm Approach to Determine Length-Weight, Length Frequency Relationships of Lessepsian Crab, *Charybdis (Goniohellenus) Longicollis*, Leene, 1938 in the Iskenderun Bay, Turkey. *Acta Biologica Turcica*, 34(4), 197-204.
- Çığışar, B., Yeldan, H., Ünal, D., 2021 (Baskıda). The Advantages of Artificial Neural Networks to Give Length-Weight Relations and Comparison of Growth. *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, 43(2).
- Di Crescenzo, A., Spina, S., 2016. Analysis of a Growth Model Inspired by Gompertz and Korf Laws, and an Analogous Birth-Death Process. *Mathematical Biosciences*, 282: 121-134.
- Efe, E., 1990. Büyüme Eğrileri. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Adana, 160s.
- El-Gohary, A., Alshamrani, A., Al-Otaibi, A.N., 2013. The Generalized Gompertz Distribution. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2): 13-24.
- France, J., Dijkstra, J., Dhanoa, M.S., 1996. Growth Functions and Their Application in Animal Science. In *Annales de Zootechnie*, 45(11): 165-174.
- Gajam, N.M.S., Elkuri, S.M., Ali, Y.M.K., 2016. Parameter Estimation Using Genetic Algorithm Technique.
- Gbangboche, A.B., Glele-Kakai, R., Salifou, S., Albuquerque, L.G.D., -Leroy, P., L., 2008. Comparison of Non-Linear Growth Models to Describe the Growth Curve in West African Dwarf Sheep. *Animal*, 2(7): 1003-1012.
- Ghosh, H., Iquebal, M.A., Prajneshu., 2011. Bootstrap Study of Parameter Estimates for Nonlinear Richards Growth Model Through Genetic Algorithm. *Journal of Applied Statistics*, 38(3): 491-500.
- Gilliland, M., 2010. *The Business Forecasting Deal: Exposing Myths, Eliminating Bad Practices, Providing Practical Solutions*. John Wiley & Sons, 247p.

- Goldberg, D.E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley, Reading, MA, 432p.
- Golubev, A., 2009. How Could the Gompertz–Makeham Law evolve. *Journal of Theoretical Biology*, 258(1): 1-17.
- Gompertz, B., 1825. On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 115: 515-585.
- Gordini, N., 2014. A Genetic Algorithm Approach for Smes Bankruptcy Prediction: Empirical Evidence From Italy. *Expert Systems with Applications*, 41(14): 6433-6445.
- Graupe, D., 2013. Principles of Artificial Neural Networks. World Scientific, Chicago, 384p.
- Günther, F., Fritsch, S., 2010. Neuralnet: Training of Neural Networks, *The R Journal*, 2(1): 30-38.
- Harvey, A., Kattuman, P., 2020. Time Series Models Based on Growth Curves with Applications to Forecasting Coronavirus. *Harvard Data Science Review*.
- Holden, M., J., Raitt, D.F.S., 1974. Manual of Fisheries Science. Part 2: Methods of Resource Investigation and Their Application. FAO Fish. Tech. Rep, 115(Rev. 1), Rome, Italy.
- Hritonenko, N., Yatsenko, Y., 1999. Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 285p.
- Jia, L., Li, K., Jiang, Y., Guo, X., 2020. Prediction and Analysis of Coronavirus Disease 2019. arXiv preprint arXiv: 2003.05447.
- Johnson, P., Graham, P., Wilson, P., Macaulay, L., Maruff, P., Savage, G., Ellis, K., Martins, R., Rowe, C., Masters, C., Ames, D., Zhang, P., 2013. Genetic Algorithm with Logistic Regression for Alzheimer's Disease Diagnosis and Prognosis. *Alzheimer's & Dementia*, 9(4): 455- 456.

- Kaplan, S., Gürcan, E.K., 2018. Comparison of Growth Curves Using Non-Linear Regression Function in Japanese Quail. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1): 112-117.
- Karkach, A.S., 2006. Trajectories and Models of Individual Growth. *Demographic Research*, 15:347-400.
- Karr, C.L., Stanley, D. A., Scheiner, B.J., 1991. Genetic Algorithm Applied to Least Squares Curve Fitting. US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Kindong, R., Wu, F., Tian, S., Zhu, J., Dai, X., Wang, J., Dai, L., 2020. Biological Parameters Estimate for the Sickie Pomfret (*Taractichthys steindachneri*) in The West-Central and Eastern Pacific Ocean. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 49(3): 373-381.
- Koushandeh, A., Chamani, M., Yaghoobfar, A., Sadeghi, A. A., Baneh, H., 2019. Comparison of the Accuracy of Nonlinear Models and Artificial Neural Network in the Performance Prediction of Ross 308 Broiler Chickens. *Poultry Science Journal*, 7(2): 151-161.
- Koya, P.R., Goshu, A.T., 2013. Generalized Mathematical Model for Biological Growths. *Open Journal of Modelling and Simulation*.
- Lindsey, J.K., 2004. *Statistical Analysis of Stochastic Processes in Time*. Cambridge University Press, 338p.
- Makeham, W.M., 1889. On the Further Development of Gompertz's Law. *Journal of the Institute of Actuaries* 28(2): 152-159.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., Hyndman, R.J., 2008. *Forecasting Methods and Applications*. John Wiley & Sons pp.42-45.
- Malthus, T., 1798. *An Essay on the Principle of Population. An Essay on the Principle of Population, as It Affects the Future Improvement of Society with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers*. St. Paul's church-yard, 4.
- Masjedi, H., Rabajante, J.F., Bahranizadd, F., Zare, M.H., 2020. Nowcasting and Forecasting the Spread of COVID-19 in Iran. *medRxiv*.

- Mildenberger, T.K., Taylor, M.H., Wolff, M., 2017. TropFishR: an R Package for Fisheries Analysis with Length-frequency Data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11): 1520-1527.
- Mitchell, M. 1996. *An Introduction to Genetic Algorithms*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, London, 221p.
- Ogle, D.H., Wheeler, P., Dinno, A., 2018, FSA: Fisheries Stock Analysis, R Package Version 0.8. 22. Retrieved from <https://github.com/droglenc/FSA>.
- Önder, H., 2020. Short-Term Forecasts of the COVID-19 Epidemic in Turkey: March 16–28, 2020. *Black Sea Journal of Health Science*, 3(2):,27-30.
- Özcan, E.I., 2019. Artificial Neural Networks (A New Statistical Approach) Method In Length-Weight Relationships Of *Alburnus Mossulensis* in Murat River (Palu-Elazığ) Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(5): 10253-10266.
- Öztürkler, H., Altan, Ş., 2008. A Genetic Algorithm Approach to Parameter Estimation in Nonlinear Econometric Models. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20.
- Panik, M.J., 2014. *Growth Curve Modeling: Theory and Applications*. John Wiley & Sons, 454p.
- Pauly, D., 1980. On the Interrelationships Between Natural Mortality, Growth Parameters and Mean Environmental Temperature in 175 fishstocks. *Journal du Conseil/Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 39: 175-92.
- Pauly, D., David, N., 1981. ELEFAN I, a BASIC Program for the Objective Extraction of Growth Parameters from Length-Frequency Data. (Vol. 28).
- Pauly, D., Morgan, G.R., 1987. Length-Based Methods in Fisheries Research. In *ICLARM Conference Proceedings*, 13.
- Pearl, R., 1927. The Growth of Populations. *The Quarterly Review of Biology*, 2(4):,532–548.

- Perez, F., J.D., Chinarro, D., Otin, R.P., Martín, R.D., Diaz, M., Mouhaffel, A.G., 2020. Comparison of Growth Patterns of COVID-19 Cases Through the ARIMA and Gompertz Models. Case Studies: Austria, Switzerland, and Israel. *Rambam Maimonides Medical Journal*,11(3).
- Peter, E.E., Precious, E.E., 2018, Skill Comparison of Multiple-Linear Regression Model and Artificial Neural Network Model in Seasonal Rainfall Prediction- North East Nigeria. *Asian Research Journal of Mathematics*, 1-10.
- Petersen, C.G.J., 1891. Eine Methode zur Bestimmung des Alters under Wushses der Fische. *Mitteilungen der Deutch Seefischerei*, 11: 226-235.
- Pitcher, T.J., 2002. A Bumpy Old Road: Size-Based Methods in Fisheries Assessment. *Handbook of Fish Biology and Fisheries: Fisheries*, 2: 189-210.
- Priddy, K.L., Keller, P.E., 2005. *Artificial Neural Networks: An Introduction*. SPIE Press, 165p.
- Puget, A., 1974. Weight Gain of The Afghan Pika (*Ochotona Sufescens Rufescens*) From Birth To 19 Weeks Of Age and During Gestation.
- Rayungsari, M., Aufin, M., 2020. Genetic Algorithm to Estimate Parameters of Indonesian Population Growth Model. *International Conference on Community Development (ICCD 2020)*, Atlantis Press, 426-430p.
- Ricker, W.E., 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics in Fish Populations. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, 191.
- Ricker, W.E., 1973. Linear Regressions in Fishery Research. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 30(3): 409-434.
- Roush, W.B., Branton, S.L., 2005. A Comparison of Fitting Growth Models with a Genetic Algorithm and Nonlinear Regression. *Poultry Science*,84(3): 494-502.
- Royston, P., Thompson, S.G., 1995. Comparing Non-Nested Regression Models. *Biometrics*, 51: 114–127.

- Sağlık Bakanlığı, 2020. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı Covid-19 Bilgilendirme Platformu. <https://covid19.saglik.gov.tr/>. (Erişim tarihi: 18 Kasım 2020).
- Sandland, R.L., McGilchrist, C.A., 1979. Stochastic Growth Curve Analysis. *Biometrics*, 255-271.
- Sariyel, V., Aygun, A., Keskin, I., 2017. Comparison of Growth Curve Models in Partridge. *Poultry Science*, 96(6): 1635-1640.
- Schnute, J., 1981. A Versatile Growth Model with Statistically Stable Parameters, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(9): 1128-1140.
- Schnute, J., Fournier, D., 1980. A New Approach to Length–Frequency Analysis: Growth Structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(9): 1337-1351.
- Schwamborn, R., Moraes-Costa, D.F., 2019. Growth and Mortality of Endangered Land Crabs (*Cardisoma guanhumi*) Assessed Through Tagging with PITs and Novel Bootstrapped Methods. arXiv preprint arXiv: 1909.03311.
- Shabanisamghabady, M., Tanaka, M.L., 2016. Characterization Of Glioblastoma Growth Using Five Different Mathematical Models. Summer Biomechanics, Bioengineering and Biotransport Conference, National Harbor, MD, USA.
- Shen, C.Y., 2020. Logistic Growth Modelling of COVID-19 Proliferation in China and Its International Implications. *International Journal of Infectious Diseases*, 96: 582-589.
- Sloboda, B., 1971. For the Representation of Growth Processes with the Help of Differential Equations of the First Order. *Notifications of the Baden-Württemberg Forestry Experimental and Research Institute*, 32.
- Sun, L., Xiao, H., Li, S., Yang, D., 2009. Forecasting Fish Stock Recruitment and Planning Optimal Harvesting Strategies by Using Neural Network, *JCP*, 4(11): 1075-1082.

- Suryanarayana, I., Braibanti, A., Rao, R.S., Ramam, V.A., Sudarsan, D., Rao, G.N., 2008. Neural Networks in Fisheries Research. *Fisheries Research*, 92(2-3): 115-139.
- Tabatabai, M., Williams, D.K., Bursac, Z., 2005. Hyperbolic Growth Models: Theory and Application. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2(1): 1-13.
- Tatro, D., 2018. The Mathematics of Cancer: Fitting the Gompertz Equation to Tumor Growth. *Senior Projects Spring* 147, 21p.
- Teleken, J.T., Galvão, A. C., Robazza, W.D.S., 2017. Comparing Non-Linear Mathematical Models to Describe Growth of Different Animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39: 73-81.
- Tewari, V.P., Rivas, J.J.C., Vilčko, F., Gadow, K.V., 2007. Height-Growth and Site Index Equations for Social Forestry Plantations of *Acacia Nilotica* and *Eucalyptus Hybrid* in Gujarat State of India. *Forests, Trees and Livelihoods*, 17(2): 125-140.
- Tjørve, K.M., Tjørve, E., 2017. The Use of Gompertz Models in Growth Analyses, and New Gompertz-Model Approach: An Addition to the Unified-Richards Family. *PloS one*, 12(6): e0178691.
- Tsoularis, A., Wallace, J., 2002. Analysis of Logistic Growth Models. *Mathematical Biosciences*, 179(1): 21-55.
- Tuli, S., Tuli, S., Tuli, R., Gill, S.S., 2020. Predicting the Growth and Trend of COVID-19 Pandemic Using Machine Learning and Cloud Computing. *Internet of Things*, 11: 100222.
- Türeli Bilen, C., Kokcu, P., Ibrikci, T., 2011. Application of Artificial Neural Networks (ANNs) for Weight Predictions of Blue Crabs (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) Using Predictor Variables. *Mediterranean Marine Science*, 12(2): 439-446.
- Ünal D., 2021. L-MMH: An Improved and Novel Model for Growth. *Journal of Computer Science and Applied Mathematics*, 3(1): 17-22.

- Ünal, D., Çığışar, B., 2021. CSG: Towards a Comprehensive Model of Growth. In 9th (Online) International Conference on Applied Analysis and Mathematical Modeling (ICAAMM21) June 11-13, 2021, Istanbul-Turkey (p. 74).
- Valvo, P.S., 2020. A Bimodal Lognormal Distribution Model for the Prediction of COVID-19 Deaths. *Applied Sciences*, 10(23): 8500.
- Verhulst, P.F., 1838. Notice Sur La Loi Que La Population Suit Dans Son Accroissement, *Curr. Math. Phys.*, 10:113.
- von Bertalanffy, L., 1938. A Quantitative Theory of Organic Growth (inquiries on growth laws II). *Human Biology*, 10: 181–213.
- Wang, K., Zhang, C., Xu, B., Xue, Y., Ren, Y., 2020. Selecting optimal bin size to account for growth variability in Electronic Length Frequency Analysis (ELEFAN). *Fisheries Research*, 225: 105474.
- Windarto, E., Utami, D.P., 2018. A New Modified Logistic Growth Model for Empirical Use. *Bio Mathematical Society*, 1(2): 122-131.
- Windarto, Indratno, S.W., Nuraini, N., Soewono, E., 2014. A Comparison of Binary and Continuous Genetic Algorithm in Parameter Estimation of a Logistic Growth Model. *American Institute of Physics. In AIP Conference Proceedings*, 1587(1): 139-142).
- Wright, S., 1926. Book review. *American Statistical Society Quarterly Journal*, 21:493–7.
- Yalçinkaya, A., 2018. Tam ve Sansürlü Örneklem Durumlarında Bazı Normal Olmayan Dağılımların Parametrelerinin Genetik Algoritma Yardımıyla Tahmini. *Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara*, 177s.
- Yang, F., Yue, Z., 2014. Kernel Density Estimation of Three-Parameter Weibull Distribution with Neural Network and Genetic Algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 247: 803-814.

- Yu, R., Leung, P., Bienfang, P., 2006. Predicting Shrimp Growth: Artificial Neural Network Versus Nonlinear Regression Models. *Aquacultural Engineering*, 34(1): 26-32.
- Zabadi, A. M., Assaf, R., Kanan, M., 2017. A Mathematical and Statistical Approach for Predicting the Population Growth. *Worldwide Journal of Multidisciplinary Research and Development (WWJMRD)*, 3: 50-59.
- Zeide, B., (1993). Analysis of Growth Equations. *Forest Science*, 39(3): 594-616.





## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimimi Adana'da tamamladı. 2009 yılında başladığı Çağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik-Bilgisayar Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine başladığı Çukurova Üniversitesi İstatistik Bölümünden 2017 yılında mezun oldu.

