

# DİJİTAL ÇAĞIN MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

EDİTÖR  
Dr. Ali TEMURTAŞ



# DİJİTAL ÇAĞIN MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

## EDİTÖR

Dr. Ali TEMURTAŞ

## YAZARLAR

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Doç. Dr. Ömer ASAL

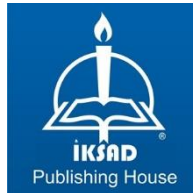
Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN

Dr. Mesut TANER

Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL

Ömer Faruk ÜTÜK



Copyright © 2023 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or  
transmitted in any form or by  
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical  
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of  
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses  
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social  
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2023©

**ISBN: 978-625-367-544-8**

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2023

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

## İÇİNDEKİLER

### ÖNSÖZ

*Dr. Ali TEMURTAŞ*.....1

### BÖLÜM 1

#### İŞ KAZALARINA YAPAY ZEKA YAKLAŞIMI: UZMAN SİSTEMLER

*Ömer Faruk ÜTÜK*

*Doç. Dr. Ömer ASAL* .....3

### BÖLÜM 2

#### ENERJİ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

*Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN* .....21

### BÖLÜM 3

#### ÇOKLU NÜFUS PROJeksiYON YÖNTEMLERİ İLE KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ HAVZASI TOPLAM NÜFUSUNUN TAHMİNİ

*Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE*

*Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL* .....33

### BÖLÜM 4

#### KAOS VE ZAMAN GECİKMELİ KAOTİK SİSTEMLER

*Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN* .....53

### BÖLÜM 5

#### SERBEST YÜZEYE YAKIN DERİNLİKLERDE SEYREDEN EKSENEL ASİMETRİK BİR SU ALTI ARACININ HİDRODİNAMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

*Dr. Mesut TANER*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL* .....69



## ÖN SÖZ

Yaşadığımız çağdaki dijital mühendislik uygulamaları birçok alanda yer bularak insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Bu uygulamalar iş güvenliği ile ilgili çalışmalardan enerji sistemlerine, nüfus projeksiyonlarından karmaşık sistemlere kadar farklı alanlarda karşımıza çıkabilmektedir. Bu kitap, sözü edilen farklı alanlardaki dijital mühendislik uygulamalarından örnekler sunmaktadır.

Birinci bölümde Öğretim Görevlisi Ömer Faruk ÜTÜK ve Doç. Dr. Ömer ASAL iş kazalarının önlenmesinde yapay zekâ yaklaşımını benimseyen uzman sistemlerle ilgili detaylı bir literatür taraması sunmaktadır. İkinci bölümde Dr. Öğretim Üyesi Kenan ALTUN günümüzde önemli bir yere sahip olan enerji sistemlerinde optimal güç akışı problemine değinmektedir. Üçüncü bölümde Dr. Öğretim Üyesi Kağan CEBE ve Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL farklı nüfus projeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılmasına uygulamalı bir örnek sunmaktadır. Dr. Öğretim Üyesi Kenan ALTUN dördüncü bölümde kaotik sistemlerin farklı mühendislik alanlarındaki kullanımını üzerinde durmaktadır. Son olarak beşinci bölümde Dr. Mesut TANER ve Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL yüzeye farklı mesafelerde seyreden otonom bir su altı aracının maruz kaldığı direnç ve hidrodinamik özellikleri simülasyonlar aracılığıyla incelemiştir.

Dijital mühendislik uygulamaları her alanda kendine giderek daha fazla yer bulmaktadır. Bu alanlardan bazılarının örneklendirildiği bu kitabın araştırmacılar ve uygulayıcılar için önemli bir kaynak teşkil ettiği değerlendirilmektedir.

Faydalı olması dileğiyle, iyi okumalar.

Dr. Ali TEMURTAŞ  
Aralık 2023



## BÖLÜM 1

### İŞ KAZALARINA YAPAY ZEKA YAKLAŞIMI: UZMAN SİSTEMLER

Ömer Faruk ÜTÜK<sup>1</sup>

Doç. Dr. Ömer ASAL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10445450>

---

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması ABD, Ankara, Türkiye. omerutuk@gmail.com, orcid id: 0000-0003-4658-6652

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye. omerasal@gazi.edu.tr, orcid id: 0000-0002-6339-9202





## GİRİŞ

İş kazalarının çeşitli tanımları olmakla beraber genel anlamda iş kazası, iş yerinde bir zarara veyahut yaralanmaya neden olan beklenmedik olay olarak tanımlanmaktadır (Largent, 1983).

İş kazalarının önlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, iş yerlerinde geleneksel yöntemler kullanılarak işçilerin güvenliği sağlanmaya çalışılır. Bu yöntemler arasında; işçilere düzenli eğitimler vermek, potansiyel tehlikeleri belirleyerek risk analizi yapmak, kişisel koruyucu donanım kullanımını sağlamak, yasal düzenlemelere uyum sağlamak ve düzenli denetimler yapmak yer alır (Horozoğlu, 2017).

Klasik kaza önleme metodlarının yanında, iş kazalarının önlenmesinde yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerin iş kazalarına yeteri kadar engel olamadığı varsayımıyla, araştırmacılar ve şirketler teknolojik çözümler aramaya yönelmişlerdir. Bu doğrultuda, iş yapış şekillerini değiştiren ya da yapay zekâ tekniklerinin kullanıldığı teknolojik yöntemlerin iş kazalarını azaltmada önemli bir rol oynayacağı öngörülmüştür. Örneğin, kişisel koruyucu donanımların yetersiz kaldığı durumlarda, teknolojinin sunduğu alternatif çözümler daha güvenli bir çalışma ortamı sağlayabilir.

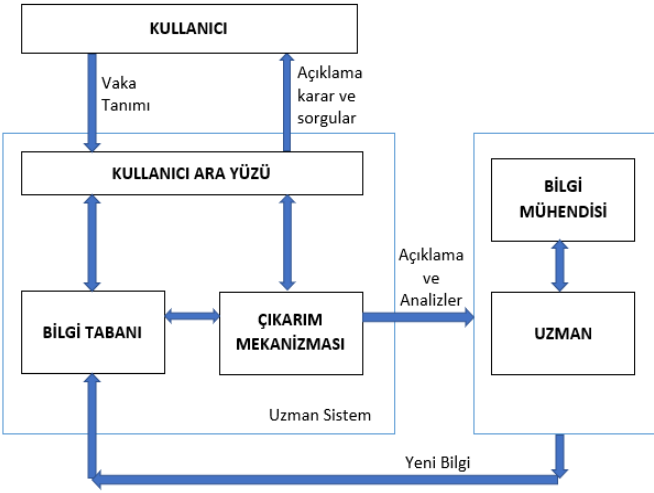
Bilgisayar ve elektronik bilimlerindeki hızlı teknolojik gelişmeler, işletmelerin ve organizasyonların faaliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu gelişmeler, birçok alanda verimlilik artışı sağlamak için kullanılan ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle de bilgisayar alanındaki gelişmeler, insanı taklit eden yapıları ortaya çıkarmıştır. Yapay zekâ kavramı, insanın düşünme yapısına uygun ve insanı taklit edebilen programları geliştirmeyi amaçlamaktadır (Asal ,Kayır, Mergen,2019). Yapay zekânın, insanoğlu kaynaklı hataları minimize ederek iş yerlerine büyük katkı sağladığı görülmüştür (Zeyveli ve Gültaş, 2004). Karmaşık problemleri çözmek için bilgi tabanından yararlanarak insanın karar verme yeteneğine benzemeye çalışan muhakeme sistemlerine uzman sistem denilmektedir. Uzman sistemlerin kullanılmasıyla birlikte üretimin ve kalitenin arttığı, maliyetin ise düştüğü görülmektedir (Adalı, 1996). Zor denilebilecek birçok problemi çözmesi, uzman sistemlerin başarısının kanıtı olmuştur. Bu sayede işletmeler, daha verimli ve başarılı bir şekilde çalışabilmektedir (Dalmış, 2000). Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojisi ve uzman sistemler gibi gelişmiş teknolojiler, işletmelerin verimliliklerini artırmak ve başarılı olmak için kullanabilecekleri önemli araçlardır. Bu teknolojilerin doğru bir şekilde kullanılması, işletmelere büyük faydalar sağlayacaktır.

## **UZMAN SİSTEMLER**

Uzmanlık gerektiren sorunlarla karşılaşıldığında, uzman kişilerin yerini alabilen uzman sistemler, yapay zekâ algoritmaları kullanarak kapsamlı bilgiye sahip olma ve görevleri gerçekleştirme yeteneklerini bilgisayar programlarına entegre ederek çözüm sunarlar. Bu sistemler, insan muhakemesine yakın sonuçlar sağlayarak hem karar verici olarak hem de karmaşık problemlerde karar destekleyici olarak kullanılabilirler. Uzman sistemler, özellikle teknik ve endüstriyel alanlarda, insan hatasını azaltarak verimliliği artırır ve maliyetleri düşürür. Ayrıca, uzman sistemlerin kullanımı, uzmanlığa sahip kişilerin sayısının sınırlı olduğu durumlarda, bilgi ve deneyimlerinin daha geniş bir kitleye aktarılmasına olanak tanır. Bu nedenle, uzman sistemleri kullanarak iş süreçlerinde verimliliği artırmak ve karar verme süreçlerinde doğruluğu artırmak mümkündür (Önal, 2022).

Uzman sistemler, Edward Feigenbaum tarafından geliştirilen bir program ile hayatımıza girmiştir. Bu programlar, uzman kabiliyetleri ile yeni yargılar ve tavsiyeler oluşturabilme yeteneğine sahiptir. İnsan karar verme sürecine benzer bir şekilde çalışan bu sistemler, bilgi tabanına önceden aktarılan uzman bilgi ve tecrübeleri kullanarak problemlere çözüm getirirler. Uzman olmayan kişiler tarafından kullanıldığında destekleyici bir nitelik taşıyan bu sistemler, uzmanlar tarafından kullanıldığında ise kararları pekiştirici bir nitelik kazanır. Uzman sistemler, farklı alanlarda kullanılabilmekte ve çeşitli sorunlara çözüm sunabilmektedir. Bu sistemlerin kullanımıyla birlikte daha hızlı ve doğru kararlar alınabilir, verimlilik artırılabilir ve zaman kazanılabilir. Uzman sistemler, günümüzde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmakta ve iş süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Karmaşık problemleri çözmek için bilgi tabanından yararlanarak insanın karar verme yeteneğine benzemeye çalışan ve bir çeşit muhakeme sunan bu sistemler, hiyerarşik bir yaklaşım izleyerek farklı kaynaklardan gelen düşük seviyeli bilgileri birleştirir ve mevcut uzmanlık bilgisini çoğaltır. Uzman sistemler; veri tabanı, kurallar, kullanıcı ara birimi ve çıkarım mekanizması gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerde, uzmanlık alanına ait bilgiler bilgi tabanına kaydedilir ve çıkarım mekanizmasıyla filtrelenir, yorumlanır ve sonuç elde edilir. Elde edilen sonuçlar, kullanıcı ara birimi aracılığıyla kullanıcıya sunulur. Bu sayede, uzman sistemler kullanıcıların ihtiyaç duydukları bilgilere hızlı ve doğru bir şekilde ulaşmalarını sağlar. Uzman sistemler, karar verme sürecinde etkili bir araçtır ve birçok alanda kullanılmaktadır (Önal, 2022).

Uzman sistemlerin çalışma prensibine bakılırsa, uzman veya bilgi mühendisi tarafından alınan yeni bilgi uzman sistem aracılığıyla bilgi tabanına aktarılır. Kullanıcı daha sonra vaka tanımını girer ve uzman sistem, bu tanıma uygun çıkarımlar yaparak analizler ve açıklamalar sunar. Bu sayede kullanıcı, karar vermek için gerekli bilgiye erişebilir. Bu durum Şekil 1'de görselleştirilerek uzman sistemlerin çalışma sistemi daha net bir şekilde anlaşılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 1: Uzman sistemlerin genel işleyiş yapısı

Uzman sistemler, günümüzde birçok alanda kullanılan ve akıllı karar verme programları olarak hizmet veren bir teknolojidir. Bu sistemler, işlevsel açıdan uzman kişilerin yerini alarak planlama, tasarım yapma, yorumlama, özetleme ve kontrol etme gibi işlemleri gerçekleştirebilirler. Ancak, sistem karmaşıklığı arttıkça maliyetleri de yüksek olmaktadır. Girdi verileri ile kuralları tam olarak eşleştirme zorunluluğu, muhakeme durumunu hassas hale getirerek doğru ve hızlı bir şekilde çözüm üretmeyi amaçlamaktadır. Uzman sistemlerin güvenilir bilgi ve öneri sunması, mantıksal neden-sonuç ilişkisine dayanması ve belirsiz veri ve kurullarla çalışabilmesi güçlü yönleri arasında yer almaktadır. Ancak, bilgi edinmenin zorluğu, öğrenerek kendilerini yenileyemiyor olmaları ve geliştirmenin maliyetinin yüksek olması zayıf yönleri olarak kabul edilmektedir. Uzman sistemlerin doğru bir şekilde kullanılması, çalışma verimliliğini ve alınan kararların kalitesini artırabilir. (Önal, 2022).

## 1. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Prof. Winn ve ekibi, Texpert adını verdikleri bir web tabanlı uzman sistem geliştirerek, tasarım mühendislerinin güvenlikle ilgili bilgilere hızlı ve kolay bir şekilde erişebilmelerini sağlamışlardır (Winn, Gopalakrishnan, Akladios, Becker, 2002). Bu sistem sayesinde, riskli olaylar ve riskleri azaltmak için gereken bilgiler uzman grup tarafından hazırlanmış ve bilgisayar grubu tarafından programlanarak web ortamında kullanıma sunulmuştur. Texpert'in geliştirilmesi için iki ayrı grup oluşturulmuştur. Uzman grup, sorunların listesi ve gerekli verileri hazırlarken, bilgisayar grubu da programlama ve web ortamında çalışabilmesi için gerekli ayarları yapmıştır. Kabuk olarak MultiLogic's Resolver tercih edilmiştir. Yapılan araştırmalar, proje tasarım aşamasında riskleri kontrol altına almanın ve önlemenin, proje bitiminden sonra ortaya çıkabilecek zararların önlenmesi için kullanılan yöntemlere göre daha etkili ve ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır. Texpert, tasarım mühendislerinin işlerini kolaylaştıran ve güvenlik konusunda önemli bir adım atan bir uzman sistemdir. Profesyonel ekipler tarafından geliştirilmiş olması, kullanıcılarına güvenilir bir hizmet sunmaktadır. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması, gelecekte daha güvenli ve sağlam yapılar inşa etmemize yardımcı olacaktır.

Risk değerlendirmesi, bir organizasyonun başarısını etkileyen faktörleri belirlemek ve bunlarla ilgili önlemler almak için kritik bir süreçtir. Bu süreç, disiplinler arası bir yaklaşım gerektirir ve her bir bileşenin doğru bir şekilde anlaşılması ve yönetilmesi önemlidir. Ekip tarafından geliştirilen küresel ontoloji tabanlı bütünleştirici araçlar, risk değerlendirmesi sürecindeki her bir bileşenin doğru bir şekilde anlaşılmasını ve yönetilmesini sağlar (Draghici & Draghici, 2013). Global ontoloji yapısı, risk değerlendirmesi sürecindeki her bir bileşenin ilişkilerini daha iyi açıklamak ve anlamak için kullanılır. Böylece, risk değerlendirme süreci modellemesi geliştirilmiştir. Bu araçlar sayesinde, organizasyonlar daha iyi bir risk yönetimi stratejisi oluşturabilirler ve başarılarını artırabilirler. Uzman sistem riskin mertebesini belirlemeye yardımcı olurken, web platformu farklı bölümlerdeki çalışanların sürece katılmasını sağlar. Global ontoloji tabanlı bütünleştirici araçlar, organizasyonların başarısını etkileyen faktörleri belirlemek ve risklerle ilgili önlemler almak için önemli bir yardımcıdır.

Endüstriyel sektörlerde risk analizi, işletmelerin güvenliği için oldukça önemlidir. Bu alanda yapılan çalışmaların etkinliği, doğru yöntemlerin kullanılmasıyla artırılabilir. Baron ve arkadaşları tarafından geliştirilen uzman sistem (Baron, Brázda, Dobránsky, Kočiško, 2012),

endüstriyel risk analizlerinde kullanıcılarına güvenilir sonuçlar sunan etkili bir araçtır. Sistemin amacı, risk değerlendirme sonuçlarının entegrasyonunu sağlamak için tasarlanmıştır. Sistem, Bilgisayar Destekli İşlem Planlama Sistemi (Sysklass) için bir gözetim aracı olarak kullanılmaktadır. Risklerin tanımlanması ve değerlendirilmesi, FMEA(Hata türü ve etkileri analizi) ve HAZOP(Tehlike ve işletebilirlik analizi) yöntemleri kullanılarak sistematik bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, olası risklerin önlenmesi ve işletmenin daha güvenli bir şekilde yürütülmesi hedeflenmektedir. Sistem, profesyonel bir yaklaşımla tasarlanmıştır ve işletmelerin risk yönetimi süreçlerine ciddi bir katkı sağlamaktadır. Sysklass'ın sunduğu otomatikleştirilmiş işlemler sayesinde risk analiz süreci daha hızlı ve daha doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Sistem, endüstriyel sektörlerdeki risk analizleri için önemli bir araç olmasının yanı sıra, farklı sektörlerde de kullanılabilir. Enerji, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde Sysklass'ın sağladığı avantajlar büyük önem taşımaktadır. Potansiyel risklerin önceden tespit edilmesi ve önlemlerin alınması, işletmelerin güvenliği açısından kritik bir adımdır.

İnşaat sektörü, çalışanların güvenliği için alınması gereken önlemlerin hayati önem taşıdığı yüksek riskli bir alandır. Ancak, inşaattan düşme kazaları hala sıkça görülmektedir. Bu soruna çözüm olabilecek DsSafe adlı kural tabanlı uzman sistem, Birgönül ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Birgönül, Dikmen, Budayan, Demirel, 2016). Bu makale inşaat sektöründe meydana gelen düşme kazalarının kök nedenlerinin tespiti ve uzman tanık raporlarının öznelliğinin azaltılması için tasarlanan bir sistem hakkındadır. 2003-2005 yılları arasında hazırlanan 84 tetkik raporu incelenerek Türkiye'deki inşaatlarda meydana gelen kazaların kök nedenleri belirlenmiş ve bu kök nedenlere bağlı olarak hazırlanan değerlendirme formları, 20 inşaat güvenlik uzmanı tarafından değerlendirilmiştir. Bu çalışma, inşaat sektöründe güvenliğin artırılması ve kazaların önlenmesi için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. DsSafe, tüm karar süreçlerinin hızlandırılmasına yardımcı olması ve kolay kullanılabilir olması için tasarlanmıştır. Ancak, sistemin evrensel olmaması nedeniyle farklı ülkelerde kullanımı için uyarılama gerektirebilir. Sonuç olarak, DsSafe uzman sistemi, inşaattan düşme kazalarının önlenmesinde etkili bir araç olabilir ve kazaların kök nedenleri belirlenerek alınacak önlemler daha etkili hale getirilebilir.

Amiri ve ekibi, inşaat endüstrisindeki mesleki risk değerlendirme problemlerine çözüm bulmak için bulanık olasılık kurallarına dayalı bir uzman sistem geliştirmiştir (Amiri, Ardeshir, Zarandi, 2017). Bu sistem,

rastlantısallığı birleştirip yetkililerin tehlikeleri proaktif bir şekilde yönetmelerini sağlayarak pratik faydalar sunmaktadır. FMEA metodolojisi kullanılarak risk analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, klasik FMEA yönteminin eksikliklerini gidermek için bulanık mantık yaklaşımının kullanıldığı ve bu sayede belirsiz kavramlar ve kesin olmayan bilgi durumlarında daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Ayrıca, bulanık uzman sistemleri sayesinde uzmanların bilgilerinin kaydedilebildiği ve bu bilgi tabanının şantiye personelinin eğitimi için kullanılabilir hale getirilebildiği vurgulanmaktadır.

Hadipriono' nun zemin açıklıklarındaki kasıtsız inşaat düşüşlerini simüle etmek ve araştırmak amacıyla bir uzman sistem geliştirdiği ve bu sistemin bilgi tabanının uzmanlardan ve literatürden elde edilen verilerle oluşturulduğu belirtilmiştir (Hadipriono, 1992). FTES-FALL adındaki bu çalışma, zemin açıklıklarındaki inşaat düşüşlerini önleme konusunda önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanıcının sonuca ulaşmak için gereken bilgileri ve kanıtları bulmasını sağlamak amacıyla sorgulama özelliği tasarlanmıştır. Bu sayede, kullanıcılar sistemi daha etkili bir şekilde kullanabilirler. FTES-FALL, inşaat sektöründe güvenlik konusunda önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Lilic ve ekibi, maden ocaklarında güvenlik analizleri için yapay zekâ yöntemlerinin kullanılması üzerinde çalışmıştır. Bu alandaki uzmanlık gerektiren konunun karmaşıklığına yönelik olarak, PROTECTOR adı verilen bir hibrit sistem geliştirilmiştir (Lilic, Obradović, Cvjetić, 2010). Sistem, sinir ağı ve uzman sistem teknolojilerinin bir arada kullanımıyla oluşturulmuş ve maden güvenliği alanındaki uzman bilgilerinden oluşan bir bilgi tabanına sahiptir. Bu metin, PROTECTOR adlı bir sistem olan Maden Güvenliği Bilgi Sistemi (MISS) hakkında bilgi vermektedir. Bu sistem, Sırbistan'daki maden ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen bir Teknolojik Bilgi Sistemi (TIS) modülüdür. Sistem, Coad-Yourdan Nesneye Dayalı Çözümleme Modeli kullanılarak maden ortamlarının güvenliğini değerlendirmektedir. Ayrıca, açık ocak maden işletmelerinde de başarıyla uygulanmıştır. Bu sistem, madencilik sektöründe güvenliği artırmak için önemli bir adım olarak kabul edilebilir.

Meciarova (2011) tarafından geliştirilen uzman sistemlerden biri, metal işleme sıvılarının tehlikelerini değerlendirmek ve maruziyet riskini en aza indirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu sistem, kullanıcıya gerekli olan bilgileri ortaya çıkarmak için sorular sorar ve sebep-sonuç kurallarını kullanarak riskleri değerlendirir. Ücretsiz olarak sunulan e2gLite adında bir yazılımı bir Java olarak uygulanmış ve uzman sistemi kullanmak için

yüklenen bir uygulama ve bilgi tabanını tanımlayan bir web sayfası gerekmektedir. Bu sayede, metal işleme sıvılarıyla ilgili tehlikelerin değerlendirilmesi ve risklerin azaltılması süreci daha etkili bir şekilde yönetilebilmektedir. Metal işleme sıvılarına maruziyet riski taşıyan işletmelerin, bu uzman sistemini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği konusunda daha bilinçli ve tedbirli olması sağlanabilir. Bu da çalışanların sağlığına ve işletmenin karlılığına olumlu etki yapacaktır.

Pavlovic ve ekibi, işe bağlı kas-iskelet sistemi bozukluklarının önlenmesi amacıyla SONEX adlı bir uzman sistem geliştirmişlerdir (Pavlovic, Hedge, Veselinovic, 2016). Bu sistem, ergonomik riskleri tanımlamak ve uzman tavsiyesi sağlamak için bilgi veri tabanı ve karar kuralları veri tabanı üzerine inşa edilmiştir. SONEX, bir ergonomist için karar destek sistemi olarak kullanılabilirdiği gibi, işçiler gibi profesyonel olmayan kullanıcılar için de ergonomik analiz önerileri sunabilen bağımsız bir uzman olarak da hizmet verebilmektedir. Sistem, kullanıcıların ergonomik riskleri tanımlamalarına yardımcı olur ve uygun çözümler sunar. Ayrıca, kullanıcıların sorularını yanıtlayabilir ve ihtiyaçlarına göre önerilerde bulunabilir. SONEX, ergonomik analiz konusunda uzmanlık gerektiren durumlarda da yardımcı olabilir ve kullanıcıların sağlığını ve güvenliğini ön planda tutar. Sistem, kural tabanında 140'tan fazla soru barındırmaktadır ve bilgi tabanında ise 200'den fazla risk faktörü bulunmaktadır. Bu sayede yaklaşık 500 farklı olası cevap üretilebilmektedir. SONEX, konvansiyonel ergonomik analiz metotları kullanılarak 3-4 saat sürebilecek sonuçları sadece 10 dakikada elde etme imkânı sunmaktadır. Bu hızlı sonuç alma özelliği, sistemin en büyük avantajlarından biridir. Ayrıca, SONEX kullanılarak her biri ayrı bir uzman sistem olan bilgi tabanı modüllerine erişmek mümkündür. Bu da sistemin esnekliğini ve kullanıcı dostu yapısını artıran bir özelliktir. Pavlovic ve ekibi tarafından geliştirilen SONEX, işe bağlı kas-iskelet sistemi bozukluklarının önlenmesinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Kas-iskelet sistemi bozukluklarının önlenmesi için yapılan bilimsel çalışmalar oldukça değerlidir. Bu çalışmaların bir örneği, Nunes (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırma, ergonomik denetim faaliyetlerini desteklemek amacıyla tasarlanmış olan FAST ERGO\_X adlı ergonomik analiz aracını sunmaktadır. Bu metin, FAST ERGO\_X adlı bir bulanık uzman sistemini tanıtmaktadır. Bu sistem, işe bağlı kas-iskelet sistemi bozukluklarının ilerlemesine neden olabilecek risk faktörlerini değerlendirmektedir. Süpermarketlerde çalışanların sağlığının korunması ve iş performansının artırılması için bu tür analiz araçlarının kullanılması



önemlidir. FAST ERGO\_X, nesnel ve öznel verileri kullanarak risk faktörlerini belirlemekte ve bu faktörleri azaltmak için öneriler sunmaktadır. Bu tür araçlar, işyerlerindeki çalışanların sağlığını ve refahını önemseyen bir yaklaşımın bir parçasıdır. Kas-iskelet sistemi bozukluklarının önlenmesi için yapılan bilimsel çalışmalar, işyerlerindeki çalışanların sağlığını korumak ve iş performansını artırmak için büyük önem taşımaktadır. Nunes'in araştırması da FAST ERGO\_X gibi ergonomik analiz araçlarının işyerlerindeki ergonomi yönetimine katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Shavarani ve Korhan (2015) bilgisayar kullanıcılarının sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemli bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu metinde, ergonomik standartlara uygun bir uzman sistemin geliştirildiği ve bu sistemin çalışanların iş ortamında daha sağlıklı ve güvenli bir şekilde çalışmalarını sağladığı belirtilmektedir. Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (OSHA) ve Washington eyaleti ergonomik standartlarından elde edilen veriler kullanılarak tasarlanan uzman sistem, 20 kadın ve 80 erkek katılımcı tarafından test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, OSHA standartlarıyla karşılaştırılmış ve sistemin etkinliği doğrulanmıştır. Bu çalışma, bilgisayar kullanıcılarının sağlığına büyük katkı sağlamaktadır ve bu alanda daha fazla çalışmanın yapılması gerektiğini göstermektedir.

Azadeh ve ekibi, bir gaz rafinerisinde sağlık, güvenlik, çevre (HSE) ve ergonomi sistem faktörlerinin performans değerlendirmesi için bir bulanık uzman sistem tasarlamayı amaçlamıştır (Azadeh, Fam, Khoshnoud, Nikafrouz, 2008). Bu sistem, HSE ve ergonomi performansının sürekli olarak değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için sağlam bir kontrol mekanizması sağlayacaktır. Bu çalışmanın önemi, HSE ve ergonomi için performans verilerinin yorumlanması ve değerlendirilmesi için resmi bütünlük metodolojilerin mevcut olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacına ulaşmak üzere, HSE ve ergonomi faktörlerinin değerlendirilmesi için standart göstergeler ve teknik toleranslar belirlenir. Daha sonra veriler toplanır ve her gösterge için "kabul", "düşük sapma", "orta sapma" ve "yüksek sapma" olarak tanımlanan dört koşul belirlenir. Her bulanık koşul (küme) için bir üyelik fonksiyonu tanımlanır ve uzman sistem, Veri Motoru ile yapılandırılan bulanık kurallar kullanmaktadır. Bu çalışma, bütünlük bir HSE ve ergonomi uzman sistemini bulanık mantık aracılığıyla tanıtmaktadır ve önceki çalışmalardan farklı olarak bu alanlarda resmi metodolojilerin eksikliğini gidermektedir.

Li ve arkadaşları, bir petrokimya şirketinin sağlık, güvenlik ve çevre (SÇG) yönetimindeki başarısını ölçmek için kullanılan bir performans

değerlendirme sistemi tasarlamayı amaçlamışlardır (Li, Liang, Zhang, Tang, 2015). Bu sistem, manuel ve karmaşık değerlendirme sürecini basitleştirerek, grafikler ve analiz raporlarını otomatik olarak oluşturmayı hedeflemektedir. Geleneksel yöntemlerin pratik uygulamadaki eksikliklerini aşmak için, bulanık kapsamlı ve uzmanların ağırlıklarının bir kombinasyonu kullanılmaktadır. Tasarlanan bu uzman sistem, insan hatalarını azaltarak, manuel ve karmaşık değerlendirme sürecini basitleştirerek iş verimliliğini artırır. Ayrıca, farklı ağırlıklara sahip uzmanların SÇG performans puanları konusunda anlaşmaya varmalarına gerek yoktur. Bunun yerine, her bir SÇG göstergesi ayrı ve bağımsız olarak puanlanabilir; görüşleri ve puanları sentezlenebilir. Bu sayede, şirketin sağlık, güvenlik ve çevre yönetimindeki başarısı objektif bir şekilde ölçülebilir ve iyileştirme için gerekli adımlar atılabilir.

Beriha, Patnaik, Mahapatra ve Padhee (2012) çalışmalarında Hindistan'da inşaat, çelik ve refraktör sektöründe kazaların tahmin edilebilmesi için bulanık mantık tabanlı uzman bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışma belirsiz bir ortamda farklı türdeki kazaların (ölümcül olanlardan hafif olanlara kadar) tahmin edilmesi için bir yapay zekâ yaklaşımı sunmaktadır. İş yerinde kazaların meydana gelme olasılığı rastgele bir olgudur ancak sağlık hizmetlerine yapılan harcamalar, güvenlik eğitimi, araç ve gereçlerin yenilenmesi ile güvenlik ekipmanlarına ve araçlarına yapılan harcamalar gibi çeşitli özelliklere akıllı yatırımlar, kaza oranının azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Kaza türleri ile yatırım arasındaki ilişki, tahmin edilebilir bir kural izlemedikleri için tahmin edilmesi zordur; bunun yerine non-lineer şekilde ilişkilendirilirler. Bu durumda, bulanık mantık, girdi ve çıktıları verimli bir şekilde eşleştirmeye yardımcı olarak çeşitli kazaların tahmin edilmesi için çıkarım motorunun oluşturulmasına yardımcı olur. Çeşitli kazaların tahmin edilmesi, yöneticilerin güvenlik performansını iyileştirmek için kurumsal politikalar geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Çalışmada İSG durumunun iyileştirilebilmesi için kaza analizinin ve tahminlerinin modellenmesi için sistematik bir bütünleşik yaklaşım sunulmuştur.

Başak, Şahin ve Gülen (2008) çalışmasında, insansız hava araçları sistemlerinde bakım ve uçuş faaliyetleri sırasında oluşabilecek risklerin analizi yapılmış ve operasyonel açıdan riskli sahalar incelenmiştir. Model, insansız hava araçları sistemleri üzerinde uzmanlaşmış personelin tecrübelerinden yararlanılarak, uluslararası havacılık şirketlerinin kullandığı beş adımdan oluşan risk yönetim tekniği kullanılarak oluşturulmuştur (Başak, vd., 2008). Geliştirilen model, uzman sistem kullanılarak hazırlanan bir

bilgisayar programında test edilmiştir. Bu model, insansız hava araçları sektöründeki kurumların bakım ortamındaki tehlikeleri belirlemesine ve geçerli bir risk haritası oluşturmaya olanak tanır. Ayrıca personel bilinçlendirilerek potansiyel kazalara yol açabilecek faktörler teşhis edilebilir ve bertaraf edilebilir. Uzmanlar tarafından hava aracı ve yardımcı sistemlerdeki hasar, yaralanma ya da kaybın önüne geçilmesi veya azaltılması mümkün olabilir. Bu çalışma, sektörde faaliyet gösteren tüm kurum ve kuruluşlara rehberlik edebilir.

Uçuş Operasyonları Risk Değerlendirme Sistemi (Flight Operations Risk Evaluation System [FORAS]), risk faktörlerini ve aralarındaki ilişkileri bulanık bir uzman sistem olarak temsil eden bir risk modelleme metodolojisidir (Hadjimichael, 2009). FORAS risk modeli, potansiyel tehlikelerin tek bir uçuş operasyonu üzerindeki birikimli etkisini temsil eden bir niceliksel göreceli risk indeksi sağlamaktadır. Sistem insan uzmanlığını elde etme sürecini sistematik hale getirerek, uzman sistemde bilginin doğal bir temsilini sağlar ve risk değerlendirme sürecini otomatikleştirir. Sistem havayolu güvenlik departmanları için risk eğilimlerini incelemekte, her uçuşla ilişkili riskleri değerlendirmek için pilotlara ve görevlilere yardımcı olmakta ve güvenlikle ilgili değişikliklerin etkilerini nicelendirmek için havayolu yönetimine değerli bir araç sağlamaktadır. FORAS tarafından oluşturulan niceliksel göreceli risk indeksi, uçuşlar arasında karşılaştırmalar yapmayı ve güvenlik konularının organizasyon içinde iletilmesini kolaylaştırmaktadır.

Bu model, insansız hava araçları şirketlerinin bakım alanında karşılaştığı riskleri tanımlamak ve azaltmak için yardımcı olur. Ayrıca personelin eğitilmesiyle potansiyel kazalara neden olan etkenleri belirlemek ve çözmek konusunda katkı sağlar. Uzmanlar, hava aracı ve sistemlerindeki hasarın önlenmesi veya azaltılmasında rol oynayabilir. Bu çalışma, sektörde faaliyet gösteren tüm kuruluşlara rehberlik edebilir. (Gül ve Çelik, 2018). Bu yaklaşım, Fine-Kinney yöntemi ile bir bulanık kural tabanlı uzman sistem kombinasyonunu içerir. Fine-Kinney parametreleri arasındaki doğrusal olmayan nedensel ilişkileri yakalar. İSG risk değerlendirme verilerinde yüksek bir belirsizlik düzeyi olduğundan, olasılık, maruziyet ve sonuç için kural tabanlı uzman sistem risk puanını değerlendirmek için geliştirilmiştir. İstanbul/Türkiye'deki bir raylı taşımacılık sisteminde bir vaka çalışması yapılmış ve klasik Fine-Kinney yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Vaka çalışmasının sonuçları dikkate alınması gereken risk kümelerini ve ilgili kontrol önlemlerini ortaya çıkarmaktadır. Çalışma, metodolojik olarak bilgiye risk değerlendirmesine katkıda bulunurken, gerçek bir raylı taşımacılık

sisteminde yapılan vaka çalışması, güvenliği iyileştirmek için toplu taşıma endüstrisine bir bakış açısı sunmaktadır.

## 2. İŞ KAZALARINDA ETKİNLİK

Literatür taramasına genel olarak bakıldığında iş kazalarını önlemede veya minimize etmede geleneksel yöntemlerin yanında yapay zekâ teknolojilerinden yararlanmanın kaçınılmaz olduğu varsayımıyla incelemeler yapılmıştır. Uzman sistem teknikleri ele alındığında bulanık mantık tabanlı yaklaşımların kazaların önlenmesinde etkin rol aldığı görülmüştür. Hindistan'da inşaat sektöründe kazaların tahmin edilebilmesi için bulanık mantık tabanlı uzman bir sistem geliştirilmiş, çeşitli kazaların tahmin edilmesi ve yöneticilerin güvenlikle ilgili performansını iyileştirmede etkin bir rol aldığı görülmüştür (Beraha vd., 2012).

Web tabanlı bir uzman sistem geliştirilmiş (Winn vd., 2002), tasarım mühendislerinin güvenlikle ilgili bilgilere hızlı ve kolay bir şekilde erişebilmelerini sağlama maksatlı, proje tasarım aşamasında riskleri kontrol altına almanın ve önlemenin, proje bitiminden sonra ortaya çıkabilecek zararların önlenmesi için kullanılan yöntemlere göre daha etkili ve ekonomik olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmada ise risk değerlendirme süreci modellenmesi geliştirilmiştir (Draghici ve Draghici, 2013). Uzman sistem risk mertebesini belirlemeye yardımcı olurken, web platformu farklı bölümlerdeki çalışanların sürece katılmasını sağlamaktadır. Burada da görülmüştür ki web ortamında çalışılan bir US daha verimli hale gelmektedir.

Kazaların önlenmesi, üretim verimliliğinin artırılması ve işletme maliyetlerinin azaltılması gibi amaçlar için kullanılan US, sektörel bazda ele alındığında endüstri sektöründe sıkça kullanıldığı görülmüştür. Yine bir çalışmada inşaat endüstrisindeki mesleki risk değerlendirme problemlerine çözüm bulmak amaçlı bulanık olasılık kurallarına dayalı bir uzman sistem geliştirilmiş (Amiri vd., 2017), yetkililerin tehlikeleri proaktif bir şekilde yönetmeleri sağlanmıştır. Bu amaçla FMEA risk analizi yapılmış, uzman bilgilerinin kaydedilmesiyle şantiye personelinin eğitimine katkı sağlandığı görülmüştür.

Sağlık sektörüyle ilgili başka bir çalışmada, kas-iskelet sistemi bozukluklarının ilerlemesine neden olabilecek risk faktörlerini karma veriler kullanarak ele alan bir uzman sistem tasarlanmıştır (Meciarova, 2011). Ergonomiyle ilgili olan bu çalışmayla birlikte süpermarket çalışanlarının duruş pozisyonlarındaki değişikliklerin, kas yapılarındaki olumlu değişimlere neden olacağı öngörülmüştür. Bu çalışmayla birlikte farklı sektörlerde çalışan

işçilerde de ergonomik açıdan olumlu geri dönüşler alınabileceği öngörülmektedir.

Uzman sistemlerin birçok sektörde kullanıldığı ve işlevlerini yerine getirerek planlama, tasarım, yorumlama, özetleme ve kontrol etme gibi birçok işlemi gerçekleştirdiği görülmektedir. Ancak sistem karmaşıklığı arttıkça, maliyetleri de yükselmekte ve girdi verileri ile kuralları tam olarak eşleştirme zorunluluğu, muhakeme durumunu hassas hale getirmekte ve bilgi edinmenin zorluğu da zayıf yönleri arasında sayılabilmektedir. Bununla birlikte, uzman sistemlerin mantıksal neden-sonuç ilişkisine dayanması, güvenilir bilgi ve öneri sunması, belirsiz veri ve kurallarla çalışabilmesi gibi güçlü yönleri de bulunmaktadır. Uzman sistemlerin, uzman kişilerin yerine geçerek problemlerin doğru ve hızlı bir şekilde çözülmesini amaçlayarak çalışma verimliliğini ve alınan kararların kalitesini artırdığı görülmüştür. Ancak geliştirmenin maliyetinin yüksek olması ve öğrenerek kendilerini yenileyememe gibi zayıf yönleri de göz önünde bulundurulmalıdır. İnşaat, imalat, sağlık, ulaşım, maden, metal ve petrokimya gibi birçok sektörde kullanılan uzman sistemlerin, gerekli bilgi biriktirme ve kapsam sınırlaması yaparak akıllı karar verme programları olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

## **SONUÇ**

Yapılan literatür taraması, uzman sistemlerin iş kazalarının önlenmesinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu sistemin kullanımıyla birlikte, insan hatalarının minimize edildiği, iş süreçlerinin hızlandırıldığı ve karar verme süreçlerinin daha etkili hale geldiği tespit edilmiştir. Uzman sistemlerin, iş kazalarının önlenmesinde gerekli olan tedbirlerin belirlenmesinde, iş güvenliği uzmanlarının hızlı ve doğru karar almasında etkili olduğu anlaşılmıştır.

Uzman sistemlerin iş kazalarını önlemede, geleneksel(klasik) yöntemlerle birlikte kullanıldığında daha etkili sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında uzman sistem tasarımında ne kadar çok veri işlenirse o kadar sağlam bir uzman alt yapısı olacağı görülmüştür. Bulanık mantık tabanlı uzman sistemler, iş kazalarının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, işyerlerindeki risk faktörlerini belirleyerek, işçilerin güvenliği için alınması gereken önlemleri önererek işverenlere yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, bu sistemler, işyerindeki verileri analiz ederek kazaların nedenlerini tespit edebilmekte ve gelecekte benzer kazaların önlenmesi için öneriler sunabilmektedir. Literatür

özeti sunan bu çalışmanın, iř kazalarının önlenmesinde ya da minimize edilmesinde uzman sistem kullanan araştırmacılara faydalı olabileceği düşünölmektedir.

## KAYNAKÇA

- Adalı, E., “Üretimde Uzman Sistem Çözümü”, Proceedings of the First Turkish Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, 1996. 525-535, s.30-31.
- Amiri, M., Ardeshir, A., & Zarandi, M. H. F. (2017). Fuzzy probabilistic expert system for occupational hazard assessment in construction. *Safety science*, 93, 16-28.
- Asal, Ö., Kayır, Y., & Mergen, R. (2019). Rulman Seçimi İçin Bir Uzman Sistem. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), 216-226.
- Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. *Information Sciences*, 178(22), 4280-4300.
- Baron, P., Brázda, P., Dobránsky, J., & Kočíško, M. (2012). Expert system approach to safety management. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 44, 77-88.
- Başak, H., Şahin, İ., & Gülen, M. (2008). İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesi İçin Uzman Sisteme Dayalı Risk Yönetimi Modeli. *Teknoloji*, 11(3).
- Beriha, G. S., Patnaik, B., Mahapatra, S. S., & Padhee, S. (2012). Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3311-3323.
- Birgönül, M. T., Dikmen, I., Budayan, C., & Demirel, T. (2016). An expert system for the quantification of fault rates in construction fall accidents. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 22(1), 20-31.
- Dalmış, S., “Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri ve Bir Ekici Çark Tasarımı”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2000
- Draghici, A., & Draghici, G. (2013). Cross-disciplinary approach for the risk assessment ontology design. *Information Resources Management Journal (IRMJ)*, 26(1), 37-53.
- Gül, M., & Çelik, E. (2018). Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(7), 1786-1812.

- Hadipriono, F. C. (1992). Expert system for construction safety. II: knowledge base. *Journal of performance of constructed facilities*, 6(4), 261-274.
- Hadjimichael, M. (2009). A fuzzy expert system for aviation risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6512-6519.
- Horozoğlu, K. (2017). İş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından analizi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 265-281.
- Largent, E. J. (1983). Encyclopaedia of occupational health and safety.
- Li, W., Liang, W., Zhang, L., & Tang, Q. (2015). Performance assessment system of health, safety and environment based on experts' weights and fuzzy comprehensive evaluation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35, 95-103.
- Lilić, N., Obradović, I., & Cvjetić, A. (2010). An intelligent hybrid system for surface coal mine safety analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4), 453-462.
- Meciarova, J. (2011). Expert system for assessing health hazards of metalworking fluids. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 461-463.
- Nunes, I. L. (2009). FAST ERGO\_X—a tool for ergonomic auditing and work-related musculoskeletal disorders prevention. *Work*, 34(2), 133-148.
- Önal, M. (2022). *COVID-19 sürecinde kullanılan yapay zekâ teknikleri* (Master's thesis, Altınbaş Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A., & Veselinovic, M. (2016). An ergonomic expert system for risk assessment of work-related musculo-skeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 53, 130-139.
- Shavarani, S. M., & Korhan, O. (2015). Expert system assessment of work-related musculoskeletal disorders for video display terminal users. *Applied Research in Quality of Life*, 10, 205-216.
- Winn, G. L., Gopalakrishnan, B., Akladios, M., & Becker, P. E. (2002). Texpert: A tool for safety professionals & design engineers. *Professional Safety*, 47(10), 32.
- Zeyveli, M., & Gültaş, A. (2004). Taşlama Operasyonları İçin Uzman Sistem Destekli Zımpara Taşı Seçimi. *Teknoloji*, 7(2).





## **BÖLÜM 2**

### **ENERJİ SİSTEMLERİNDE OPTİMAL GÜÇ AKIŞI**

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10445460>

---

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. [kaltun@cumhuriyet.edu.tr](mailto:kaltun@cumhuriyet.edu.tr), Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>



## GİRİŞ

Optimal güç akışı problemi ilk olarak 1960'larda formülize edilmesine rağmen çözümündeki zorluklar da ortaya konmuştur (Carpentier, 1962). Lineer çözümler problemin lineer kısımları için kullanılabilmesine rağmen lineer olmayan denklem ve terimler için önerilen çözümler tam olarak sonuç vermemesinin yanında uzun zaman almaktadır. Ayrıca lineer olmayan terimlerin tam olarak ifade edilememesi nedeniyle çözümün çok ileri zamanlı tahminlerdeki doğruluğu azalmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı problemlerin çözümü yavaş ve lineer olmayan yaklaşımlarla daha kısa sürelerde çalıştırılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Güç sistemlerindeki problemler üç başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar güç akışı, ekonomik dağıtım ve optimal güç akışıdır.

Güç akışı veya diğer bir ifadeyle yük akışı kontrolü; üretim, yük ve iletim ağı denklemleriyle ifade edilir. Güç akışı yöntemlerinin analizinde matematiksel olarak ifade edilebilen ancak fiziksel ve optimal olarak mümkün olmayan çözümler bulunur. Güç akışı denklemlerinde iletim hattı veya jeneratör kısıtlamaları hesaba katılmaz. Sadece programlamalarda bu kısıtlamalar ve sınırlar eklenebilir.

Güç sistemlerinde önemli olan diğer bir problem ekonomik güç dağıtımıdır. Güç dağıtım hesaplamalarında en düşük maliyeti belirlemek için çeşitli problemler formülize edilir. Ancak bu formüller, güç akışı kısıtlamalarını etkileyerek güç akışı kontrolünün basitleştirilmesine, hatta bazı parametrelerin ihmal edilmesine neden olabilir. Bu durum güç sistemlerinin stabil çalışmasını tehlikeye sokabilir.

Optimal güç akışı ise güç sistemlerinin kararlılığını bozmadan en düşük maliyetli dağıtımı amaçlamaktadır. Bu durum güvenlik kısıtlamalı ekonomik dağıtım olarak da adlandırılır. Optimal güç akışında güç akışı kısıtlamaları, jeneratör minimum çıkış kısıtlamaları, iletim hattı kararlılığı, gerilim kısıtlamaları, fiziksel kısıtlamalar ve operasyonel kısıtlamalar ile amaç fonksiyonuna en uygun çözüm bulunması hedeflenmektedir. Optimal güç akışındaki tüm bu kısıtlamalar ile amaç fonksiyonlarının çözümü için farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır.

ACOPF (AC Optimal Power Flow) analizlerinde, gerçek güç (P), gerilim açısı ( $\theta$ ), gerilim büyüklüğü (V) ve reaktif güç (Q) parametreleri kullanılarak problem tanımı gerçekleştirilir.

Güç sistemlerinde güç akışı problemleri ve çözüm önerileri 1930'ların başlarında şebekelerin ekonomik dağıtım yapılması amacıyla ele alınmıştır. Ekonomik dağıtım problemi özel olarak geliştirilmiş sürgülü cetvelle eşit

artımlı yükleme ilkesi kullanılarak çözülmüştür. Ancak çözüm 8 saat kadar sürmüştür (Happ, 1977). Ekonomik dağıtım hesaplama süresinin uzun olması uygulanabilirliğini azaltmaktaydı. Kirchmayer (1958) 10 jeneratörlü bir sistemin dağıtım çizelgelerinin 10 dakikalık kısa bir sürede hesaplanabileceğini göstermiştir. Benzer hesaplamalar günümüzde yüzlerce jeneratörler için birkaç saniyede yapılabilmektedir. 1970'lere kadar yapılan ekonomik dağıtım hesaplamalarına kayıpların da hesaba katılması gerektiği Happ tarafından ortaya konmuştur. Sayısal bilgisayarlardan önce güç sistemlerini simüle eden analog ağ analizörleri kullanılmıştır (Sasson & James, 1967). Ward ve Hale tarafından 1956'da güç akışı problemi için ilk otomatik sayısal çözüm önerilmiştir (Ward & Hale, 1956). Sasson ve Jaimes (1967) tarafından güç akışı çözümünde admitans ve empedans matrislerinin yinelemeli kullanıldığı ve karşılaştırmalarının yapıldığı yöntemler önerilmiştir. Güç sistemlerinde çalışmalar yapan Carpentier dahil olmak üzere ilk araştırmacılar Gauss-Seidel yöntemini kullanmışlardır. 1960'larda Tinney ve diğerleri, 1968'de ise Peschon ve diğerleri OPF probleminde kabul matrisinin yapısından yararlanmak için seyreklik teknikleri geliştirerek Newton-Raphson yöntemini yaygın olarak kullanılan çözüm yöntemi haline getirmişleridir. Güç sistemi şebekelerinde aynı anda yük talebi olmaması nedeniyle birçok sıfır elemanının sıfır olduğu kabul matrisi kullanılır. Kabul matrisleri verilerin depolanması ve hesaplama hızını artırmak için kullanılmıştır (Stott, 1974).

Optimal güç akışı ile ilgili ilk araştırmalar sınır ve kısıtlamalarının olmadığı Lagrange tekniklerinin kullanıldığı yöntemler olmuştur (Squires, 1960). 1962'de Carpentier tarafından, Kuhn-Tucker koşullarına dayalı değişken sınırlar ve kısıtlamaların olduğu OPF analiz denklemleri formülize edilmiştir (Carpentier, 1962). Bu çalışma OPF analizi için ilk yayın olarak kabul edilmektedir. Carpentier, Kuhn-Tucker koşullarının uygulanması için fonksiyonların konveks olduğunu varsaymaktadır. Güç akışı denklemlerinin yapısı göz önüne alındığında, bu büyük bir varsayım olabilir (Hiskens, 2001; Schecter, 2012). Carpentier, AC güç akışı denklemlerinde, jeneratör aktif ve reaktif güç kısıtlamalarını, bara gerilim kısıtlamalarını ve iletim elemanları tarafından bağlanan baralar için bara gerilim açısı kısıtlamalarını içerir. Huneault ve Galliana (1991) 1991'e kadar 300'den fazla makaleyi inceleyerek ve 163 çalışmaya referansta bulunarak optimal güç akışı literatürü hakkında kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada çözüm yöntemleri, algoritmalar ve sınır yöntemler incelenmiştir. Sonuç olarak kötü koşullandırma ve lineer olmayan yakınsama sorunlarının yanında mevcut

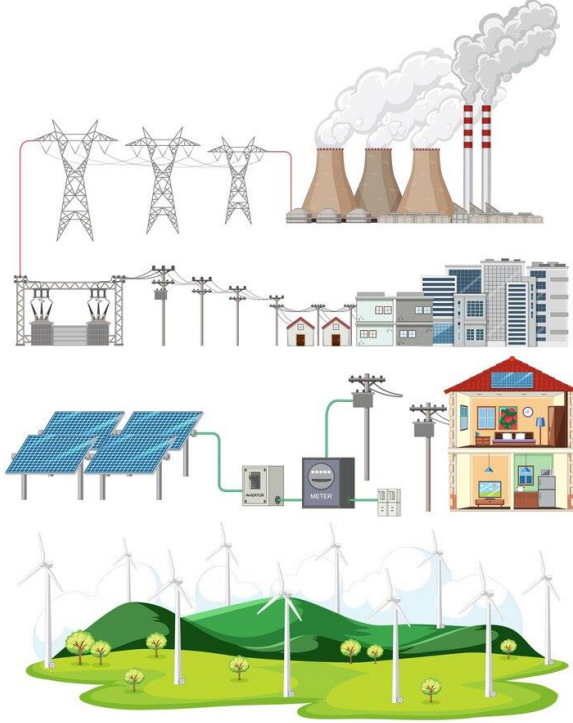
algoritma hızlarının yetersizliği de ortaya konmuştur. Ayrıca beklenmedik durumlar için hesaba katılması gereken kısıtlamalar ve ek hesaplamaların da bu zorlukları artırdığı başka bir çalışmada incelenmiştir (Carpentier, 1979; Stott vd., 1987). Tüm bu durumlar ACOPF analizinin önemini artırmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bir kesintiden sonra sistemin kararlılığını sürdürmek için gerekli olan beklenmedik durum kısıtlamalarını içerecek şekilde formülasyonların hazırlanmasını içermelidir. Bu ek koşullar, problemin formülasyon boyutunu artırmaktadır. Huneault ve Galliana, 1991'de mevcut olan algoritmaların OPF çözümlerini yeterince hızlı ve güvenilir bir şekilde hesaplayamadığını ve birçok doğrusal olmayan problem gibi OPF'nin kötü koşullandırmaya ve zor yakınsamaya eğilimli olduğunu ortaya koymuşlardır.

ACOPF analizlerinin yapıldığı yöntemlerde, gerilimi sabit tutup faz açılarının ise sıfıra yakın seçilmesi durumunda DC şebekelerin optimal güç akışı denklemleri elde edilmiş olur. DCOPF olarak bilinen bu analiz aslında ACOPF analizlerinin doğrusallaştırılmış bir şeklidir.

DC şebekeler, DC kaynakların, yüklerin ve depolama birimlerinin kullanım yaygınlığının yanında AC şebekelerden kaynaklanan problemlerden dolayı popüler hale gelmektedir.

### **1. Optimal Güç Akışı**

Optimal Güç Akışı, şebekedeki tüm güç akışı denklemlerini dikkate alan bir optimizasyon algoritmasıdır. Seçilen ve dahil edilen tüm parametrelerinin doğru olduğu varsayıldığında, sistemdeki güç akışının en doğru temsili sağlanmış olur



Şekil 1. Enerji Üretim Tesisleri

Bunun için, optimum güç akışının sağlanabilmesi parametre değer ve ayar noktalarının gerçeğe olabildiğince yakın seçimiyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle, elektrik dağıtım şebekelerinde nihai hedefin güvenlikle sınırlandırılmış arz miktarının en düşük maliyetlerle elde edilmesidir. Bu mümkün olduğunda enerjinin sürekliliğinin yanında büyük miktarlarda tasarruf etme potansiyeline sahip olabileceğini göstermektedir.

Şekil 1’de gösterildiği gibi çeşitli üretim tesisleri ve bu üretim tesislerini birbirine bağlayan iletim hatları vardır. Ancak tüketiciler üretim tesislerine uzak mesafelerde ve dağıtık yüklerde bulunmaktadır. Ayrıca üretim tesislerindeki kaynaklar çoğunlukla düzensiz elektrik üreten tesislerdir. Bu tesislerde üretilen enerjinin arzı ise birçok nedenden dolayı DC ya da AC şebeke tercihini belirler.

Optimal güç akışı DC bir mikro şebekede yapılabileceği gibi makro büyüklüklerde AC şebekelerde de yapılması mümkündür. Optimal güç akış sistemlerinde DC güç akışı yerine AC güç akışının sağlanması bazı faydalar

getirmektedir. Bunlar: (i) yüksek doğruluk, (ii) voltaj kontrolü, (iii) reaktif güç kontrolü, (iv) akım kontrolü, (v) iletim kayıplarını (ve diğer kayıp türlerini) dikkate alır. Ancak bu sistemlerin dezavantajları da var. AC güç akışı denklemleri ikinci dereceden denklemlerdir (çünkü güç, voltajın karesine bağlıdır) ve bunları eşitlik kısıtları olarak bir optimizasyon problemine dahil edersek, doğrusal olmayan, dışbükey olmayan bir problemle sonuçlanırlar. Dışbükey olmayan problemleri çözmek genellikle çok daha zordur ve çözücünün global minimumu bulabileceğinin garantisi yoktur.

Enterkonekte bir üretim-dağıtım sisteminde hem arz güvenliğinin hem de maliyetin minimize edilmesi için amaç fonksiyonu, sınır koşulları ve toplam maliyet denklemleri kullanılır.

Amaç fonksiyonları  $f(x, u)$ ,

Sınır koşulları:  $g(x, u) = 0$ ,

$h(x, u) \leq 0$

Toplam üretim maliyeti:

$$F_{maliyet} = F_m = \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2$$

Optimal güç akış problemlerinin çözümünde birçok yöntem ve algoritma kullanılmaktadır. Ancak AC güç sistemlerindeki dış bükey olmayan denklemlerin çözümündeki zorluklar bazı amaç fonksiyon ve sınır şartlarında gevşemelere neden olmaktadır. Ancak bu durum global optimum çözümler için uygun olmayabilir. Bu nedenle her bir dağıtım sistemi özelinde bir algoritma geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.



Şekil 2. Üretim Tesislerinde maliyet analizi



Optimal güç akışı için en bilinen yöntemler;

- Lambda öteleme yöntemi,
- Gradient Yöntemi,
- Newton-Raphson yöntemi,
- Doğrusal yöntemler olarak bilinmektedir.

Ancak yukarıda verilen yöntemler nümerik analiz yöntemleri olmasından dolayı doğruluğun artırılması için iterasyon sayısının artırılması, yakınsama ve sonuç değerlendirildiğinde yavaş ve kısıtlı olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle günümüzde daha çok optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Ayrıca son zamanlarda bu algoritmalara yapay zeka destekli algoritmalar da eklenerek daha kısa sürelerde optimum değere yakınsayan sonuçlar elde edilmektedir.

## 2. Optimizasyon Algoritmaları

Optimal yük akış algoritmalarının sınıflara ayrılması, temel olarak, yinelemeli bir süreç sırasında ara çözümlere kolay erişim sağlayan, sıradan yük akışı için çok güçlü yöntemlerin mevcut olmasıyla sınıflandırılır. Ayrıca, optimum çözümün genellikle mevcut yük akışı çözümüne yakın olduğu durumlarda, parametre ilişkilerinin optimum sonucu gözlemlenebilir. Dolayısıyla, çözülmüş yük akışına ve yük akışı tarafından sağlanan araçlara dayanan bir sınıf mevcuttur. Bu durumda, çözülmüş yük akışı bir ön koşul değildir. Bu nedenle, optimal güç akışı algoritmaları iki sınıfta incelenmiştir.

Optimizasyonun ilk grubunda, çözülmüş bir yük akışından başlatıldığı yöntemlerdir. Optimizasyon sürecinde Jacob ve diğer duyarlılık ilişkileri kullanılır. Erişim yinelemesinden sonra yük akışı yeni bir şekilde çözülür. İkinci grubunda ise; yük akışı ilişkilerinin kalite kısıtlamalarına bağlı olduğu tam en üst düzeylik koşullarına dayanan yöntemler tercih edilir. Yük akışı çözümüne ilişkin önceden veri bulunmaz.



Şekil 3. Çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanımı.

Günümüzde optimizasyon algoritmalarındaki hızlı gelişmeler optimal güç akışı problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır. Optimal güç akışındaki önemli kısıtlamalar, amaç fonksiyonları, minimum maliyet parametreleri, fiziksel kısıtlamalar gibi ölçütlerle elde edilen önemli algoritmalar kullanılmıştır. Elde edilen bu algoritmalar yapay zeka, doğa olayları, canlıların biyolojik yapıları ve sürü kontrolü gibi gerçek dünya mekanizmalarından esinlenmiştir. Ayrıca bu sistemlerin doğrusal olmayan dinamik denklemler ile kontrolü ve başlangıç değerlerinin önemi bu algoritmaların dışardan bir kaotik olay gibi görünmesine karşın kendi içinde bir düzen olduğunu ortaya koymuştur.

Sürü zekası optimizasyon yöntemlerinden olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (PSO) Algoritması, lider bir canlının ve anlık olarak bu lider canlının liderliğinin değişebileceği ve hiçbirinin diğerini engellemediği bir uçuş davranışı olarak bilinmektedir. Bu durum enerji sistemlerinde optimal güç akışı yöntemlerinde kullanılır. Yöntemde arıza ve yük durumuna göre kısıtlamalar ve amaç fonksiyonlarının önem durumu değişmektedir. Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen bu algoritma doğrusal olmayan güç akışı problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Eberhart vd., 1995; Kennedy vd., 1995).

Optimal güç akışında kullanılan diğer bir optimizasyon yöntemi ise Su Döngüsü Algoritması (SDA)'dır. Bu algoritma da doğanın kusursuz düzenine dayanmaktadır. Algoritma H. Eskandar, A. Sadollah, A.

Bahreininejad ve M. Hamdi tarafından modellenmiştir (Eskandar vd., 2012). Algoritma temel olarak doğadaki suyun farklı konum ve debilerdeki konum değiştirmelerinden gözlemlenerek tasarlanmıştır. Kısacası her durum için bir kararlı nokta hesaplanma ilkesine dayanmaktadır.

## **SONUÇ**

Enerji dağıtım tesislerinde bir güç akışı vardır. Ancak bu güç akışı kontrol edilmediğinde sistemin sürekliliğini etkilerken yüksek maliyetlere neden olabilir. Bu nedenle gerek enerji sürekliliğinin sağlanması gerekse de maliyetlerin minimize edilmesi için optimal güç akışı yöntem ve algoritmaları kullanılmalıdır. Diğer taraftan önemli kısıtlamalar olduğu durumlarda maliyet ve arıza değerlendirilmeleri önemsiz hale gelecek bir yapay zeka algoritmasına da ihtiyaç vardır. Dolayısıyla doğrusal olarak kontrol edilen bir enerji dağıtım sistemi günümüzde tercih edilmemektedir. Ayrıca her geçen gün günlük zorunlu gereksinimler ve buna bağlı enerji talepleri de sürekli güncellenebilir bir enerji yönetimine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

## KAYNAKÇA

- Carpentier, J. (1962). Contribution a l'etude du dispatching economique. Bull. Soc. Fr. Elec. Ser., 3, 431.
- Carpentier, J. (1979). Optimal power flows. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 1(1), 3-15.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science (pp. 39-43). Ieee.
- Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A., & Hamdi, M. (2012). Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. Computers & Structures, 110, 151-166.
- Happ, H. H. (1977). Optimal power dispatch—A comprehensive survey. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 96(3), 841-854.
- Hiskens, I. A., & Davy, R. J. (2001). Exploring the power flow solution space boundary. IEEE transactions on power systems, 16(3), 389-395.
- Huneault, M., & Galiana, F. D. (1991). A survey of the optimal power flow literature. IEEE transactions on Power Systems, 6(2), 762-770.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- Kirchmayer, L. K. (1958). Economic operation of power systems. Wiley and Sons.
- Sasson, A. M., & Jaimes, F. J. (1967). Digital methods applied to power flow studies. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (7), 860-867.
- Schecter, A., & O'Neill, R. P. (2013). Exploration of the ACOPF feasible region for the standard IEEE test set. rap. tech., Federal Energy Regulatory Commission.
- Squires, R. B. (1960). Economic dispatch of generation directly from power system voltages and admittances. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems, 79(3), 1235-1244.
- Stott, B. (1974). Review of load-flow calculation methods. Proceedings of the IEEE, 62(7), 916-929.
- Stott, B., Alsac, O., & Monticelli, A. J. (1987). Security analysis and optimization. Proceedings of the IEEE, 75(12), 1623-1644.

Ward, J. B., & Hale, H. W. (1956). Digital computer solution of power-flow problems [includes discussion]. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems, 75(3), 398-404.

## BÖLÜM 3

### ÇOKLU NÜFUS PROJEKSİYON YÖNTEMLERİ İLE KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ HAVZASI TOPLAM NÜFUSUNUN TAHMİNİ

Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE<sup>1</sup>

Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10445488>

---

<sup>1</sup> Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Samsun, Türkiye.  
kagan.cebe@omu.edu.tr, ORCID ID 0000-0003-1288-1362

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mersin, Türkiye.  
olcayozer@mersin.edu.tr, ORCID ID 0000-0001-9032-4241



## GİRİŞ

Nüfus projeksiyonu, belirli bir coğrafi bölge veya yerleşim birimi için gelecekteki nüfusun tahmin edilmesi amacıyla kullanılan bir planlama aracıdır. Bu projeksiyonlar, ülke geneli nüfusun yanı sıra il, ilçe, köy veya şehir gibi daha küçük veya daha büyük coğrafi bölgeler için de uygulanabilir (Kocaman, 2022).

20-30 yıl gibi uzun vadede hizmet verecek olan içme suyu ve kanalizasyon tesislerinin projelendirilmesinde de yapılacak projenin dikkate alınan bu süreler sonundaki ihtiyaca cevap verebilmesi amaçlanır. Bu nedenle projenin gerçekleştirileceği bölgelerin gelecekteki nüfus değerlerinin hesaplanması gerekmektedir (Türkdoğan ve Yetilmezsoy, 2015).

Nüfus projeksiyon yöntemleri içme suyu ve kanalizasyon yapılarının projelendirilmesi amacıyla kullanılabilmesi gibi belli bir coğrafyadaki nüfus değişiminin tahmini ve buna göre bu coğrafyadaki yerleşim ve ekonomik gelişimin planlanması amacıyla da kullanılabilir.

Yerleşim alanlarında gelecekteki nüfusu tahmin etmek için nüfus özellikleri belirlenir ve belli matematiksel yöntemler kullanılır (Muslu, 2008). Nüfus özelliklerinin belirlendiği demografik yöntemlerde nüfus, evlenme, doğum-ölüm, göç gibi istatistiksel veriler kullanılarak kestirim yapılır. Matematiksel yöntemler arasında ise, aritmetik artış yöntemi, geometrik artış yöntemi, karşılaştırma metodu, lojistik S eğrisi, azalan hızlı artış yöntemi sayılabilir.

Karakaya (2009) yüksek lisans tezinde 2008 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) veri tabanını kullanarak il, bölge ve kırsal/kent düzeyinde nüfus projeksiyonları üretmiş ve bunları Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından üretilen projeksiyon sonuçları ile karşılaştırmıştır. Çalışmasında Türkiye'deki farklı bölgelerin, farklı demografik tutumlar izleyeceğini saptamıştır.

Abama (2016) yüksek lisans tezinde Kilis ili içme ve kullanma suyu sisteminin mevcut durumunu incelemiş; ilin gelecekteki su ihtiyacını belirlemek amacıyla aritmetik artış, geometrik artış, grafik metodu, lojistik eğri ve İller Bankası nüfus projeksiyon yöntemlerinden yararlanmıştır.

Karakaş Güler (2022) farklı nüfus projeksiyon yöntemleri kullanarak Batı Akdeniz Bölgesi (Antalya, Burdur ve Isparta) illerinin 2030 yılına kadar nüfus dinamiklerinin nasıl bir eğilim göstereceğini tahmin etmiştir.

Ceyhan ve Diş (2022) araştırmalarında Kahramanmaraş ilinin 2070 yılına kadarki nüfusunu 10 yıllık aralıklarla matematiksel yöntemler kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin tahmin



performansı çeşitli indisler yardımıyla belirlenmiş olup matematiksel metotların genel olarak başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Uğurlu'nun (2023) çalışmasında İzmit ilinin 1970 ve 2010 yılları arasına ait nüfusu 10'ar yıllık aralıklarla değerlendirilerek, 2020 ve 2030 yılı nüfusu en küçük kareler yöntemi (parabolik ve doğrusal), üstel artış, geometrik artış ve İller Bankası yöntemleri ile tahmin edilmiş ve İller Bankası, geometrik artış ve üstel artış yöntemlerinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'ndaki yerleşim yerlerinde bulunan nüfusun 2022 yılı değeri ile ve Aritmetik Artış, Geometrik Artış ve İller Bankası projeksiyon yöntemleri ile belirlenen, 25 yıllık projeksiyon döneminde her 5 yıllık periyot için nüfusun değişimi tahmin edilmiştir. Farklı projeksiyon yöntemleri ile bulunan nüfus tahmin değerleri diğer yöntemlerde bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

### **ÇALIŞMA ALANI**

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası, Kızılırmak Havzası içinde ve bu havzanın en batı bölümünde yer alan, 22264.5 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki Orta Kızılırmak alt havzasının bir parçasıdır. Kızılırmak havzası toplamda 82181 km<sup>2</sup>'lik bir alanına sahip iken Kesikköprü Baraj gölü havzası ise 252 km<sup>2</sup>'lik bir alan üzerinde yer almaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanını oluşturan havzanın büyük bir bölümü, Ankara ili Bala ve Şereflikoçhisar ilçeleri ve Kırşehir ili Kaman ilçe sınırlarında kalmaktadır. Çalışma alanı içerisinde Kırıkkale ili Çelebi ilçesinin sınırları içerisinde kalan küçük bir alan da mevcuttur, ancak bu alan içerisinde herhangi bir yerleşim yeri bulunmamaktadır. Çalışma alanının 104.92 km<sup>2</sup>'lik kısmı Ankara il sınırları içerisinde, Bala ve Şereflikoçhisar ilçelerinde, 138.84 km<sup>2</sup>'lik kısmı ise Kırşehir il sınırları içerisindeki Kaman ilçesinde, 8.66 km<sup>2</sup>'lik kısmı ise Kırıkkale il sınırları içerisindeki Çelebi ilçe sınırı içerisinde kalmaktadır.

Çalışma alanının büyüklüğü ve toplam alana göre yüzdesi; il, ilçe ve baraj havzası bazında Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kesikköprü Baraj Gölü Havzası

Tablo 1. Çalışma alanının il, ilçe ve baraj havzası bazında büyüklüğü

| Havza Adı                | Havza Alanı (km <sup>2</sup> ) | İl Adı    | İlçe Adı        | İlçe Alanındaki Havza Yüzdesi (%) | İlçe Alanındaki Havza Alanı (km <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|--|
| Kesikköprü Baraj Havzası | 252                            | Ankara    | Bala            | 32                                | 79.61  |
|                          |                                |           | Şereflikoçhisar | 10                                | 25.31  |
|                          |                                | Kırşehir  | Kaman           | 55                                | 138.84   |
|                          |                                | Kırıkkale | Çelebi          | 3                                 | 8.66   |

## YERLEŞİMLER VE NÜFUS

Çalışma alanında 13 adet yerleşim yeri bulunmaktadır. Bu yerleşim yerlerinin altı adeti Bala ilçesi sınırları içerisinde, yedi adeti ise Kaman ilçesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Kaman ilçesi sınırları içerisindeki Hirflanlı köyü, havza sınırı dışında olmasına karşın havzayı etkileyecek parsellerinin bulunması ve havza sınırına 365 m mesafede olması nedeniyle değerlendirmelere dahil edilmiştir.

Çalışma alanının, Bala ilçesi sınırları içerisinde kalan altı adet mahallenin tamamı Bala Belediyesi ilçe mülki sınırları içerisinde. Çalışma

alanının Kaman ilçesinde kalan yedi adet yerleşim yeri ise Kırşehir İl Özel İdaresi mülki sınırları içerisinde yer almaktadır.

6360 sayılı Kanun ile, yeni büyükşehirler oluşturulmuş ve bu büyükşehirler ile mevcut büyükşehirlerin sınırları, il mülki sınırları olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, bu illerde bulunan köylerin tüzel kişiliği kaldırılarak mahalle statüsüne geçirilmiştir.

Türkiye’de nüfus sayımları TÜİK tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sayımlar 1990 yılına kadar her beş yılda bir yapılmış ve bu sayımdan sonra ise her on yılda bir yapılması kararlaştırılmıştır. 1990 yılında yapılan sayımdan bir sonraki sayım 2000 yılında gerçekleştirilmiştir (Türkyılmaz ve Hancıoğlu, 2006).

İlçelerin 1985, 1990 ve 2000 yılı nüfus verileri Kızılırmak Havzası Master Planı Nihai Raporu’ndan (DSİ, 2019) alınmıştır. 25/04/2006 tarihinde 5490 Sayılı Nüfus Hizmetleri Kanunu çıkartılmış ve kanun gereği ülkemizde ADNKS kurulmuştur. Nüfus sayımları 2007 yılından beri ADNKS temelinde açıklanmaktadır. 2007-2021 yılları arasındaki nüfus verileri, ADNKS’den alınmıştır.

2012 yılında çıkarılan 6360 sayılı Kanun sonrasında Ankara il sınırları içerisinde bulunan köylerin hepsinin mahalle olması ve büyükşehir belediyesinin mücavir alan sınırlarına dâhil edilmesi sebebiyle köy nüfusları bulunmamaktadır.

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası sınırları içerisinde toplam 13 adet kırsal yerleşim birimi bulunmaktadır. Havzadaki yerleşimler Ankara ili Bala ilçesi ve Kırşehir ili Kaman ilçesinin sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu yerleşim birimlerine ait 1985, 1990, 2000 ve 2007-2021 yılları arasındaki nüfus verileri Tablo 2’de verilmiştir.

Yerleşim yerlerinin 1985, 1990 ve 2000 yılı nüfus verileri Kızılırmak Havzası Master Planı Nihai Raporu’ndan (DSİ, 2019) alınmıştır. Yerleşim yerlerinin 2007-2021 yılları arasındaki nüfus verileri ise ADNKS’den (TÜİK, 2022) alınmıştır.

**Tablo 2.** Ankara ili, Bala ilçesi ve Kırşehir ili, Kaman ilçesinin 1985, 1990, 2000 ve 2007-2021 yılları arasındaki nüfus verileri (DSİ, 2019; TÜİK, 2022)

| Yıllar | Bala  |       | Ankara |         | Kaman |       | Kırşehir |        |
|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|----------|--------|
|        | Köy   | Şehir | Köy    | Şehir   | Köy   | Şehir | Köy      | Şehir  |
| 1985   | 41463 | 5477  | 569118 | 2737209 | 57815 | 22317 | 156673   | 103483 |
| 1990   | 31376 | 6236  | 399907 | 2836719 | 35531 | 26038 | 130456   | 126406 |
| 2000   | 33098 | 6616  | 467338 | 3540522 | 32957 | 27962 | 105827   | 147412 |
| 2007   | 16593 | 6912  | 325866 | 4140890 | 23683 | 21118 | 76097    | 147073 |
| 2008   | 16894 | 12345 | 153051 | 4395888 | 23259 | 21358 | 73353    | 149382 |
| 2009   | 13437 | 10385 | 136881 | 4513921 | 21881 | 22224 | 68897    | 154205 |
| 2010   | 10920 | 8506  | 130460 | 4641256 | 20316 | 22252 | 65145    | 156731 |
| 2011   | 10746 | 8115  | 128777 | 4762116 | 19620 | 21966 | 61836    | 158179 |
| 2012   | 9855  | 7542  | 123406 | 4842136 | 17713 | 22154 | 59231    | 161978 |
| 2013   | -     | 23138 | -      | 5045083 | 16953 | 22278 | 57781    | 165717 |
| 2014   | -     | 22142 | -      | 5150072 | 15562 | 21859 | 54685    | 168022 |
| 2015   | -     | 21168 | -      | 5270575 | 14847 | 22167 | 51340    | 173222 |
| 2016   | -     | 21533 | -      | 5346518 | 14859 | 21861 | 51651    | 178324 |
| 2017   | -     | 21682 | -      | 5445026 | 14249 | 21489 | 50084    | 184445 |
| 2018   | -     | 33644 | -      | 5503985 | 16184 | 21039 | 55608    | 186260 |
| 2019   | -     | 30280 | -      | 5639076 | 14509 | 21254 | 51521    | 191417 |
| 2020   | -     | 25780 | -      | 5663322 | 13961 | 21285 | 49572    | 193470 |
| 2021   | -     | 22966 | -      | 5747325 | 13376 | 21250 | 47797    | 195147 |

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası içerisinde bulunan 13 adet yerleşim yerinin 1985, 1990 ve 2000 yılları ile 2007 ve 2021 yılları arasındaki toplam nüfusları ise Tablo 3'te verilmiştir.

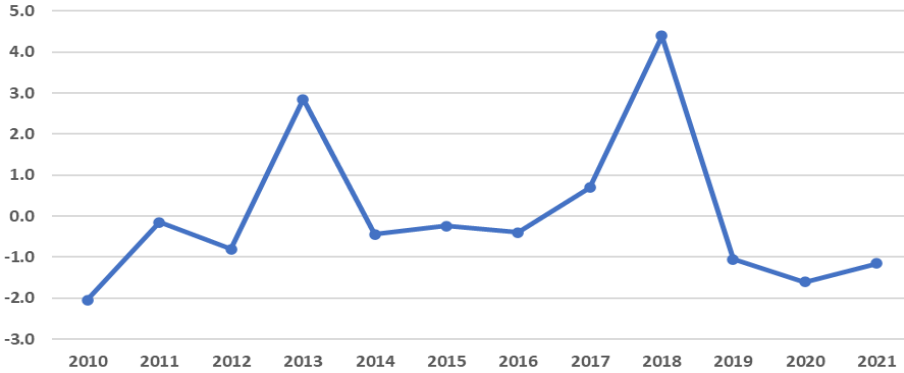
**Tablo 3.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'ndaki yerleşimlerin 1985, 1990, 2000, 2007-2021 yılları arasındaki toplam nüfusları (DSİ, 2019; TÜİK, 2022)

| Yıl           | 1985  | 1990  | 2000  | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Bala</b>   | 6654  | 6716  | 7384  | 3846 | 3870 | 3689 | 3600 | 3780 | 3719 |
| <b>Kaman</b>  | 5060  | 5260  | 5022  | 3152 | 3150 | 3126 | 2892 | 2905 | 2495 |
| <b>Toplam</b> | 11714 | 11976 | 12406 | 6998 | 7020 | 6815 | 6492 | 6685 | 6214 |
| Yıl           | 2013  | 2014  | 2015  | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| <b>Bala</b>   | 4037  | 4008  | 4043  | 4255 | 3770 | 4468 | 4827 | 4513 | 4270 |
| <b>Kaman</b>  | 2286  | 1949  | 1837  | 1786 | 1723 | 1995 | 1743 | 1653 | 1573 |
| <b>Toplam</b> | 6323  | 7971  | 7895  | 8057 | 7510 | 8481 | 8589 | 8186 | 7864 |

Yerleşim birimlerinin yıllara göre nüfusunu gösteren Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde, 2010 yılından 2013 yılına kadar Bala ilçe nüfusunun düzenli olarak azalma eğiliminde olduğu; 2013 yılından 2018 yılına kadar ise artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 2018 yılından sonra ise ilçe nüfusu azalma eğilimindedir.

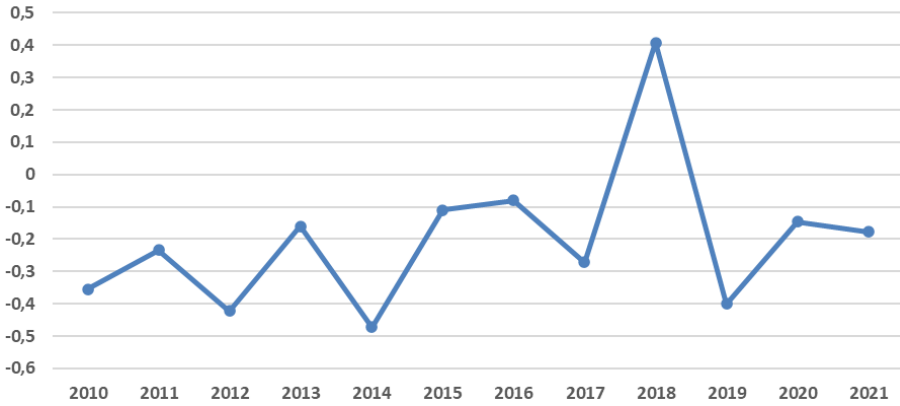
Bala ilçesinin 2021 yılındaki erkek nüfusu 12602, kadın nüfusu ise 10364'tür. İlçede km<sup>2</sup> başına düşen kişi sayısı 12.32'dir. Bala ilçesinin yıllara göre nüfus artış hızı grafiği ise Şekil 2'de verilmektedir.

2012 yılı ve öncesi kentsel kırsal nüfus karşılaştırıldığında, Bala ilçesinin hem kentsel nüfusunda hem de kırsal nüfusunda sürekli azalış görülmektedir. 2012 yılından sonra ise ilçedeki kırsal yerleşimlerin hepsinin mahalle statüsüne geçirilerek büyükşehir belediyesinin mücavir alan sınırlarına dâhil edilmesi sebebiyle kırsal nüfus değeri bulunmamaktadır. İlçenin nüfus artış hızı 2020 yılında %-1.6 iken, 2021 yılında %-1.2'dir (Şekil 2).



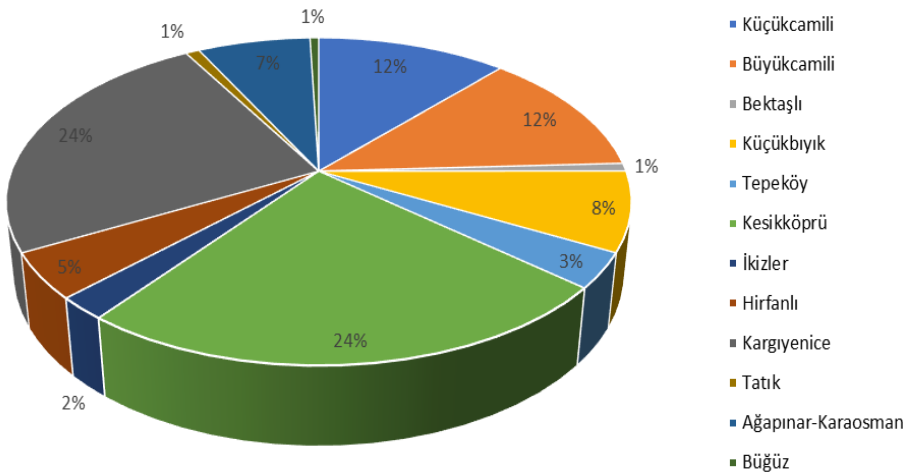
Şekil 2. Bala ilçesi 2010-2021 yılları arası nüfus artış hızı grafiği (TÜİK, 2022)

Tablo 2 ve Tablo 3 incelendiğinde Kaman ilçesinin toplam nüfusunun ise genel olarak azalış eğiliminde olduğu ve kırsal nüfusunun kentsel nüfusuna oranla daha hızlı şekilde azalma gösterdiği görülmektedir. Kentsel nüfusunda ise dalgalanmaların olduğu ve bazı yıllar arası nüfusun artış eğiliminde olduğu bazı yıllarda ise azalış eğiliminde olduğu görülmektedir. İlçenin nüfus artış hızı 2020 yılında % -0.1 iken, 2021 yılında % -0.2'dir (Şekil 3).



Şekil 3. Kaman ilçesi 2010-2021 yılları arası nüfus artış hızı grafiği (TÜİK, 2022)

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda yer alan yerleşimlerin 2021 yılı nüfus dağılımları Şekil 4'te verilmiştir. Bu dağılıma bakıldığında havzada bulunan nüfusun yaklaşık %42'sini Kargıyenice ve Kesikköprü Mahalleleri oluşturmaktadır. Havzada yer alan yerleşimlerden Büğüz Mahallesi en az nüfusa sahip yerleşimdir.



Şekil 4. Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'ndaki yerleşimlerin 2021 yılı nüfus dağılımı

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası sınırları içerisinde kalan yerleşimlerden en fazla nüfusa sahip olan Kargıyenice Köyü'dür. 2021 yılı itibarıyla köy nüfusu 816 kişidir. Kargıyenice Köyü'nü 806 kişilik nüfusu ile Kesikköprü Mahallesi izlemektedir. Kargıyenice Köyü'nün nüfusu zaman

içinde azalış göstermiştir. Kesikköprü Mahallesi'nin nüfusu ise genellikle artış göstermiş ancak 2018 yılı itibarı ile azalış eğilimine girmiştir.

Havza sınırları içerisinde yer alan Bektaşlı Mahallesi, İkizler Köyü ve Hirfanlı Köyü'nün nüfusları bir önceki yıla göre artış göstermiştir. Ancak havza sınırlarındaki diğer yerleşimlerin nüfusları bir önceki yıla göre azalış göstermiştir.

Gerçekleştirilen görüşmelerde yaz aylarında mevsimlik işçilerin gelmesi ve kış ilçe merkezlerinde geçiren bazı yöre halkının yaz aylarında köylerine dönmesi ile nüfusta yaz mevsiminde dönemsel yoğunlukların yaşandığı bilgisi alınmıştır.

Havza sınırı içerisindeki yerleşimler genel olarak hayvancılık ve tarımsal faaliyetler ile ilgilenmektedir. Bölgede ekonomik sıkıntılar nedeni ile hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerin azalmasından dolayı yöre halkının başka iş alanlarına yönelmesi sebebiyle yerleşimlerdeki nüfus, azalış eğilimi göstermektedir.

## **NÜFUS PROJEKSİYON YÖNTEMLERİ**

Havzanın nüfus projeksiyonu çıkarılırken Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 12 Ekim 2017 tarihli ve 30208 sayılı İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik (2017) esasları dikkate alınmıştır. Bu esaslara göre TÜİK (2022) tarafından yayınlanan ölçümler kullanılarak nüfus tahminleri yapılmıştır.

İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik esaslarına göre içme suyu sistemleri için gelecekteki nüfusu tahmin edebilmek amacı ile aritmetik artış, geometrik artış, azalan hızlı geometrik artış ile İller Bankası metodları ve diğer modeller olmak üzere sıralanan bu beş metottan birisinin kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan nüfus tahmin yöntemleri aritmetik artış, geometrik artış ve İller Bankası metodları olduğundan, Proje kapsamında nüfus projeksiyonları bu üç yöntem üzerinden yapılmıştır (Abama, 2016; Bilgiç vd., 2010). Nüfus tahminlerinde 1985 yılı (dâhil) ve sonrası nüfus sayım değerleri kullanılmıştır.

### **Aritmetik Artış Metodu**

Aritmetik artış metodunda geçmiş yıllara ait nüfus verileri üzerinden ortalama nüfus artış katsayısı bulunarak gelecek yıllara ilişkin projeksiyon yapılmaktadır. Aritmetik artış katsayısı denklemi (1) aşağıda verilmiştir (Selçuk, 2014):

$$k_a = (N_2 - N_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Burada,  $k_a$  aritmetik artış katsayısı,  $t_2$  son nüfus sayım yılı,  $t_1$  bir önceki nüfus sayım yılı,  $N_1$   $t_1$  yılındaki nüfus,  $N_2$   $t_2$  yılındaki nüfus değerlerini ifade etmektedir. Nüfus her yıl farklı bir şekilde artıp veya azaldığı için, her yıl için özgün bir aritmetik artış katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Hesaplanan aritmetik artış katsayıları

| Nüfus       | 1985      | 1990      | 2000      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021                       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
|             | 9729      | 9986      | 10406     | 4991      | 5012      | 4806      | 4482      | 4674      | 4202      | 4310      | 3943      | 3865      | 4025      | 4573      | 5473      | 4551      | 4146      | 3822                       |
| Hesap Yılı  | 1990-1985 | 2000-1990 | 2007-2000 | 2008-2007 | 2009-2008 | 2010-2009 | 2011-2010 | 2012-2011 | 2013-2012 | 2014-2013 | 2015-2014 | 2016-2015 | 2017-2016 | 2018-2017 | 2019-2018 | 2020-2019 | 2021-2020 | Artış Katsayısı Ortalaması |
| Artış Kats. | 51.4      | 42        | -773.6    | 21        | -206      | -324      | 192       | -472      | 108       | -367      | -78       | 160       | 548       | 900       | -922      | -405      | -324      | -51                        |

Hesaplanan aritmetik artış katsayılarının 1985-2021 yılları ortalaması alınmış olup, sonucun negatif çıkması nüfusun giderek azaldığını işaret etmektedir.

Nüfus hesabı formül (2) ile yapılmaktadır (Selçuk, 2014).

$$N = N_2 + k_a (t - t_2) \quad (2)$$

Burada,  $N$  gelecekteki nüfusu,  $t$  geleceğe yönelik nüfus tahminlerinin yapılacağı yılları ifade etmektedir.

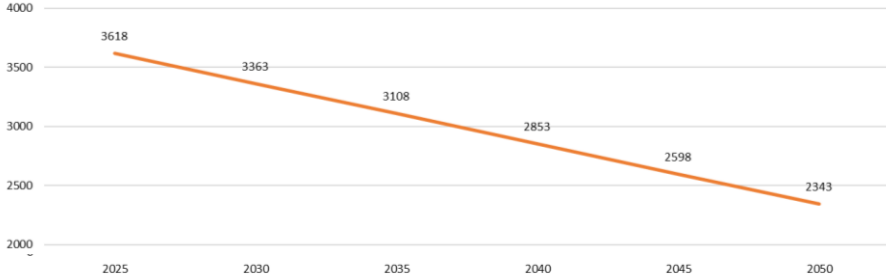
Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda bulunan yerleşim yerlerinin nüfus projeksiyonu, aritmetik artış metoduna göre çıkarılmıştır. Elde edilen nüfus projeksiyonu sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.



**Tablo 5.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nın aritmetik artış metoduna göre nüfus projeksiyonu

| Yıl   | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nüfus | 3822 | 3771 | 3720 | 3669 | 3618 | 3363 | 3108 | 2853 | 2598 | 2343 |

Projeksiyon yapılan 2025-2050 yılları arasında hesaplanan nüfus projeksiyon değişim grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir.

**Şekil 5.** Aritmetik artış metodu ile yıllara göre nüfus projeksiyon grafiği

### Geometrik Artış Metodu

Bu metotta, aritmetik artış metodunda olduğu gibi nüfusun birim zamandaki artışının mevcut nüfus ile orantılı olduğu kabul edilir. Dolayısıyla geçmiş yıllara ait nüfus verileri üzerinden geometrik nüfus artış katsayısı bulunarak gelecek yıllara ilişkin projeksiyon yapılmaktadır (Selçuk, 2014).

$$k_g = \frac{\ln\left(\frac{N_1}{N_2}\right)}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Burada,  $k_g$  geometrik artış katsayısını,  $t_2$  son nüfus sayım yılını,  $t_1$  bir önceki nüfus sayım yılını,  $N_2$   $t_2$  yılındaki nüfusu ve  $N_1$   $t_1$  yılındaki nüfusu ifade etmektedir.

Nüfus her yıl farklı bir şekilde artıp veya azaldığı için, her yıl için özgün bir geometrik artış katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 6).

**Tablo 6.** Hesaplanan geometrik artış katsayıları

| Nüfus       | 1985 | 1990      | 2000      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | Artış Katsayısı Ortalaması |
|-------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
|             | 9729 | 9986      | 10406     | 4991      | 5012      | 4806      | 4482      | 4674      | 4202      | 4310      | 3943      | 3865      | 4025      | 4573      | 5473      | 4551      | 4146      | 3822      |                            |
| Hesap Yılı  |      | 1990-1985 | 2000-1990 | 2007-2000 | 2008-2007 | 2009-2008 | 2010-2009 | 2011-2010 | 2012-2011 | 2013-2012 | 2014-2013 | 2015-2014 | 2016-2015 | 2017-2016 | 2018-2017 | 2019-2018 | 2020-2019 | 2021-2020 |                            |
| Artış Kats. |      | 0.005     | 0.004     | -0.105    | 0.004     | -0.04     | -0.07     | 0.042     | -0.10     | 0.025     | -0.08     | -0.02     | 0.04      | 0.12      | 0.18      | -0.18     | -0.09     | -0.08     | -0.010                     |

Geometrik artış katsayıları 1985-2000 yılları arasında pozitif değerler almış, ancak 2000 yılından itibaren 2007-2008 yılları arası hariç tamamıyla negatif değerler almıştır. 2007-2008 yılları arasındaki geometrik artış katsayısı ise sifıra yakın bir değer almıştır. Artış katsayısının negatif çıkması nüfusun giderek azaldığını işaret etmektedir, sifıra yakın değerler ise o dönemdeki artış ya da eksiliş miktarının toplam nüfusa oranla az olduğunu göstermektedir.

Hesaplanan geometrik artış katsayılarının 1985-2021 yılları ortalaması alınmış olup, Nüfus hesabı aşağıdaki formül ile yapılmaktadır (Selçuk, 2014):

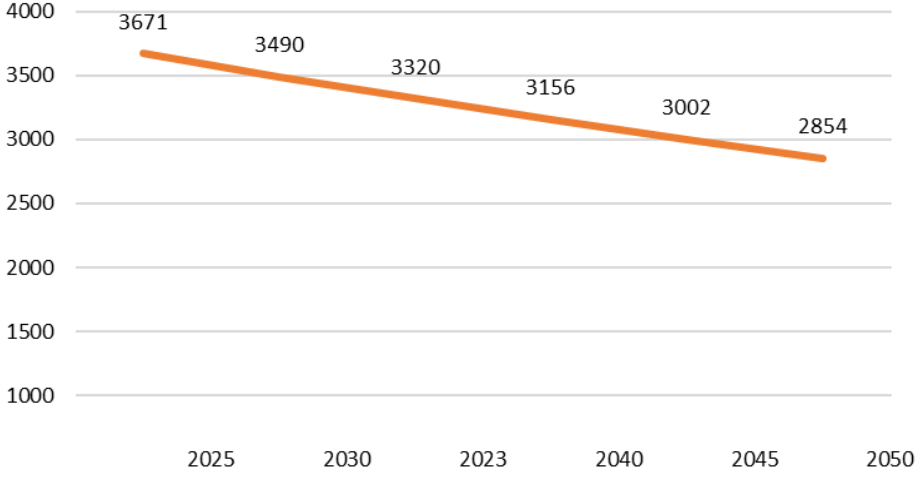
$$N = N_2 x e^{k_g(t-t_2)} \quad (4)$$

Burada, N gelecekteki nüfusu, t geleceğe yönelik nüfus tahminlerinin yapılacağı yılları ifade etmektedir.

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda bulunan yerleşim yerlerinin nüfus projeksiyonu, geometrik artış metoduna göre çıkarılmıştır. Elde edilen nüfus projeksiyonu sonuçları Tablo 7'de yıllara göre nüfus projeksiyon değişim grafiği ise Şekil 6'da verilmiştir.

**Tablo 7.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nın geometrik artış metoduna göre nüfus projeksiyonu

| Yıl   | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nüfus | 3822 | 3784 | 3746 | 3708 | 3671 | 3490 | 3320 | 3156 | 3002 | 2854 |



**Şekil 6.** Geometrik artış metodu ile yıllara göre nüfus projeksiyon grafiği

### İller Bankası Metodu

İller Bankası metodu geometrik artış yöntemine benzemekle birlikte nüfus tahmini, artış katsayısı yerine sınırlandırılmış çoğalma katsayıları ile hesaplanır.

Çoğalma katsayıları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Çelik vd., 2011):

$$\zeta = \left( a \sqrt{\frac{N_y}{N_e}} - 1 \right) \times 100 \quad (5)$$

Burada,  $\zeta$  çoğalma katsayısı,  $a$  iki nüfus arasında geçen süre (yıl),  $N_y$  beldenin yeni nüfus değeri,  $N_e$  beldenin eski nüfus değerini ifade etmektedir.

İller Bankası yöntemine göre, nüfus artış oranının aşırı yüksek veya düşük tahmin edilmesinin önüne geçilmesi adına;  $\zeta \geq 3$  ise  $\zeta = 3$ ,  $\zeta \leq 1$  ise  $\zeta = 1$  alınır (İller Bankası, 2013). Nüfus her yıl farklı bir şekilde artıp veya azaldığı için, her yıl için özgün bir çoğalma katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 8).

Çoğalma katsayısının yıllara göre değişiklik göstermesi ve ortalama değerinin 1'den küçük olması nedeniyle projeksiyonda  $\zeta = 1$  olarak alınmıştır.

**Tablo 8.** Hesaplanan İller Bankası çoğalma katsayıları

| Nüfus         | 1985      | 1990      | 2000      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021  | Çoğalma Katsayısı Ortalaması |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|------------------------------|
|               | 9729      | 9986      | 10406     | 4991      | 5012      | 4806      | 4482      | 4674      | 4202      | 4310      | 3943      | 3865      | 4025      | 4573      | 5473      | 4551      | 4146      | 3822  |                              |
| Hesap Yılı    | 1990-1985 | 2000-1990 | 2007-2000 | 2008-2007 | 2009-2008 | 2010-2009 | 2011-2010 | 2012-2011 | 2013-2012 | 2014-2013 | 2015-2014 | 2016-2015 | 2017-2016 | 2018-2017 | 2019-2018 | 2020-2019 | 2021-2020 |       |                              |
| Çoğalma Katsa | 1.03      | 1.04      | 0.48      | 0.42      | -4.11     | -6.74     | 4.28      | -10.10    | 2.57      | -8.51     | -1.98     | 4.14      | 13.61     | 19.68     | -16.85    | -8.90     | -7.81     | -1.82 |                              |

Hesaplanan çoğalma katsayıları incelendiğinde 1985-2008 yılları arasında pozitif değerler aldığı, 2008-2014 yılları arasında 2010-2011 ve 2012-2013 dönemleri hariç negatif değerler aldığı, 2015-2018 yılları arasında tekrar pozitif değerler aldığı ve 2018 yılından sonra sürekli negatif değerler aldığı gözlemlenmektedir.

Nüfus hesabı ise aşağıdaki formül (6) ile yapılmıştır (Çelik vd., 2011):

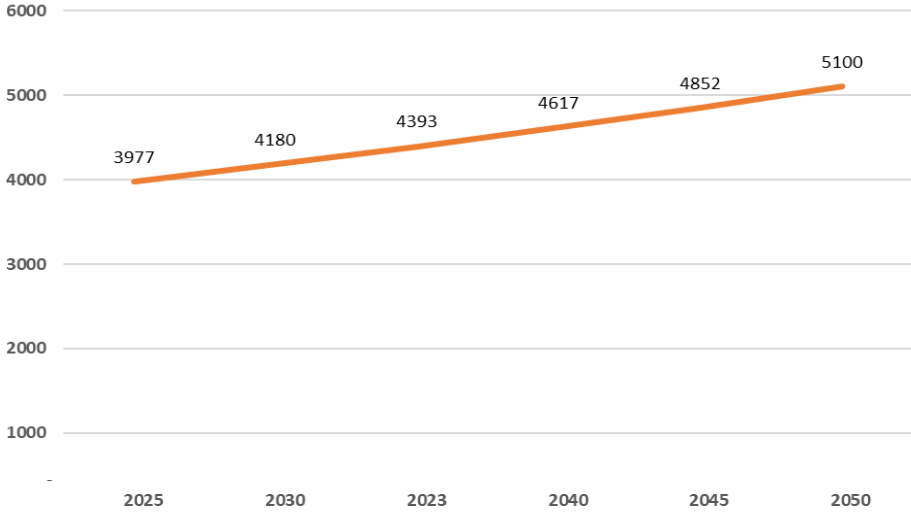
$$N_y = N_e \times \left(1 + \frac{ç}{100}\right)^n \quad (6)$$

Burada,  $N_y$  yeni nüfus sayım değerini,  $N_e$  eski nüfus sayım değerini,  $ç$  çoğalma katsayısını ve  $n$  iki nüfus arasında geçen süreyi (yıl) ifade etmektedir.

Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda bulunan yerleşim yerlerinin nüfus projeksiyonu, İller Bankası artış metoduna göre çıkarılmıştır. Elde edilen nüfus projeksiyonu sonuçları Tablo 9'da, yıllara göre nüfus projeksiyon değişim grafiği ise Şekil 7'de verilmiştir.

**Tablo 9.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nın İller Bankası artış metoduna göre nüfus projeksiyonu

| Yıl   | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nüfus | 3822 | 3860 | 3898 | 3938 | 3977 | 4180 | 4393 | 4617 | 4852 | 5100 |



Şekil 7. İller Bankası artış metodu ile yıllara göre nüfus projeksiyon grafiği

## SONUÇ

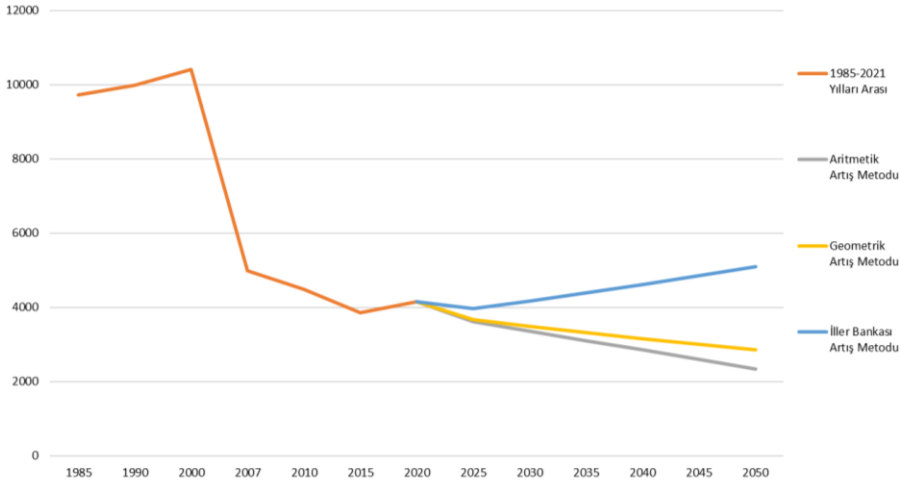
Proje kapsamında Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nın yer aldığı Ankara ili Bala ilçesi ve Kırşehir ili Kaman ilçesinin, havza sınırında kalan yerleşim birimlerinin özelinde, 2007-2021 yılları arasında (ADNKS) nüfus verileri kullanılarak aritmetik artış, geometrik artış ve İller Bankası metodu kullanılarak nüfus projeksiyonları yapılmıştır. Yapılan projeksiyonlardan elde edilen veriler Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası için yapılan nüfus projeksiyonlarının karşılaştırılması

| Yıllar | Aritmetik Artış Metodu | Geometrik Artış Metodu | İller Bankası Artış Metodu |
|--------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| 2022   | 3771                   | 3784                   | 3860                       |
| 2023   | 3720                   | 3746                   | 3898                       |
| 2024   | 3669                   | 3708                   | 3938                       |
| 2025   | 3618                   | 3671                   | 3977                       |
| 2030   | 3363                   | 3490                   | 4180                       |
| 2035   | 3108                   | 3320                   | 4393                       |
| 2040   | 2853                   | 3156                   | 4617                       |
| 2045   | 2598                   | 3002                   | 4852                       |
| 2050   | 2343                   | 2854                   | 5100                       |

Aritmetik artış, geometrik artış ve İller Bankası metodu kullanılarak yapılan nüfus projeksiyonlarından elde edilen verilerin karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 8'de sunulmaktadır.

Baraj havzasında bulunan yerleşim birimlerinin nüfusu 2015-2020 yılları arasındaki beş yıllık dönemde artma eğilimindedir. Bu duruma paralel olarak, yapılan üç farklı projeksiyon yönteminde bu artış eğilimi sadece İller Bankası metodunda gözlemlenebilmektedir. Aritmetik artış ve geometrik artış metodları ise 2007-2015 yılları arasındaki dönemde gözlemlenen azalma eğilimine devam etmektedir. Bu nedenle İller Bankası metodunun gelecek nüfus tahminlerini yansıtmada diğer iki metoda kıyasla daha başarılı olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 8.** Kesikköprü Baraj Gölü Havzası için yapılan nüfus projeksiyonlarının karşılaştırmalı grafiği

Yapılan görüşmelerde ise alandaki nüfus dağılımının dönemsel olarak ciddi bir şekilde artış gösterdiği beyan edilmiştir. Bu durum ise ADNKS'de gözlemlenmemektedir. ADNKS nüfusun belirli bölgelerdeki dağılımını ve demografik özelliklerini çok hassas bir şekilde tahmin etmektedir ve bu yerel yönetimler, işletmeler ve planlamacılar için çok değerlidir. Ancak, adrese dayalı nüfus ölçümleri giriş verilerine dayalıdır ve bu verilerin eksik veya hatalı olması, tahminlerin doğruluğunu etkileyebilir. Adres verileri zaman içinde değişebilir ve güncellemeler gerektirebilir. Yetersiz güncelleme ölçümlerin güvenilirliğini etkileyebilir. Özellikle turizm ya da mevsimlik çalışma gibi kısa süreli göç olaylarında adrese dayalı kayıtlar gerçek değerlerden uzaklaşmaktadır. Bu durum ise nüfus tahminine dayalı projelendirmelerde hatalara sebep olmaktadır. Bundan kaçınmak için, nüfus

hareketliliğin yoğun olduğu yerlerde gerçekleşen kısa süreli, geçici nüfus hareketleri de nüfus projeksiyonlarına eklenmelidir.

### **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Ankara Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Kesikköprü Barajı Havza Koruma Planı ve Özel Hüküm Belirleme Projesi” çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Abama, H. İ. (2016). *Kilis İli İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu İhtiyacının Tespiti, Temini ve Alternatif Su Kaynaklarının Araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.
- Bilgiç, Ş., Barut, H. B., Er, A., & Yüçetürk, G. (2010). Nüfus Tahmin Metotlarının ve Gelecekteki Su İhtiyacı Hesaplarının Java ile Programlanması: Bir Uygulama. *Akademik Bilişim '10- XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 10-12 Şubat 2010, Muğla.
- Ceyhan, Z. N. & Diş, M. Ö. (2022). Çoklu Projeksiyon Yöntemleri ile Kahramanmaraş'ın Gelecek Nüfusunun Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37 (4), 1155-1164. DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1230968.
- Çelik, H., Kanit, R., ve Öztürk, Y. (2011). Kahramanmaraş İlinde İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacının Tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), 749-757.
- DSİ. (2019). *Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu Hazırlanması İş, Master Planı Nihai Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- İçme ve Kullanma Suyu Temini ve Dağıtım Sistemleri Hakkında Yönetmelik. (2017). *Resmî Gazete*, 12 Ekim 2017, sayı:30208.
- İller Bankası. (2013). *İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Teknik Şartname*. İller Bankası A.Ş., Ankara.
- Karakaş Güler, C. (2022). Batı Akdeniz Bölgesi İllere Göre Nüfus Projeksiyonları. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Karakaya, M. D. (2009). Provincial and Regional Population Projections for the Centenary of the Republic of Turkey. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Hacettepe Üniversitesi / Nüfus Etütleri Enstitüsü, Ankara.
- Kocaman, T. (2002). *Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri*, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 80.
- Muslu Y. 2008. *Çözümlü Problemler Su Temini ve Çevre Sağlığı*. Su Vakfı, 4. Baskı. İstanbul, Türkiye.
- Selçuk, İ.A. (2014). Şehir Planlamada Nüfus Kavramı ve Tahmininde Kullanılan Matematiksel Yöntemler. *Artium*, 2(2).



- TÜİK. (2022, Ağustos). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları*, Türkiye İstatistik Kurumu. Retrieved from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.
- Türkdoğan, F. İ & Yetilmezsoy, K. (2015). *Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları*, 3. Baskı, Su Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Türkyılmaz, S. & Hancıoğlu, A. (2006). Türkiye’de Nüfus ve Üreme Sağlığına İlişkin Sayısal Büyüklükler: 2003 Türkiye Nüfus ve Sağlık Araştırması Bulgularına Dayalı Tahminler. *Nüfusbilim Dergisi*, 28 (1), 3-14. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nufusbilim/issue/22961/245717>
- Uğurlu, İ. K. (2023). Mekansal Planlamalarda Nüfus Projeksiyon Yöntemlerinin Değerlendirilmesi; İzmit Kent Örneği. *Journal of Protected Areas Research*, 2(1), 63–76. Retrieved from <https://mimarlikbilimleri.com/ojs/index.php/journalofprotectedareasresearch/article/view/21>.

**BÖLÜM 4**

**KAOS VE ZAMAN GECİKMELİ KAOTİK**

**SİSTEMLER**

Dr. Öğr. Üyesi Kenan ALTUN<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10445501>

---

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. [kaltun@cumhuriyet.edu.tr](mailto:kaltun@cumhuriyet.edu.tr), Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>



## GİRİŞ

Doğada doğrusal olmayan birçok sistemi araştıran ve matematiksel olarak modelleyen bilim dalına doğrusal olmayan bilim denir. Kaotik sistemler de büyük ilgi gören doğrusal olmayan bilim alanlarından birisidir (Tuna ve Fidan, 2018).

Kaotik sistemlerin üzerine yapılan yoğun çalışmalar, bu sistemlerin birçok mühendislik alanında kullanılabileceğini göstermektedir. Bu alanlar arasında görüntü işleme (Barakat vd., 2014; Anees vd., 2014), haberleşme (Kang vd., 2014), biyomedikal (Xiong vd., 2014; Huang vd., 2014), güç elektroniği (Deivasundari vd., 2014) gibi disiplinler yer almaktadır. Bu alanlarda, kaotik sistemlerin özellikleri ve dinamikleri üzerine yapılan araştırmalar, yeni ve yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine ve sistemlerin daha etkili bir şekilde tasarlanmasına katkıda bulunmaktadır.

Kaotik sistemler son zamanlarda bilgi güvenliği için güvenli haberleşme (Çavuşoğlu vd., 2016) ve kriptografi (Jakimoski ve Kocarev, 2001) alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır.

Kaos üzerinde uzun süredir çalışmalar yapılmaktadır. Kaosun resmi kullanımı, Li ve Yorke'nin 1975 yılındaki "Periyot üç, kaosu ima eder" başlıklı makalesinden gelmektedir (Li & Yorke, 1975). Bundan sonra, kaos geniş bir şekilde çalışılmış ve boyutlar, Lyapunov üstel sayıları, Fourier dönüşümü ve Hilbert dönüşümü, çekicilerin yeniden oluşturulması gibi birçok önemli kavram tanıtılmıştır.

Bilimsel anlamda kaos kavramını ilk inceleyen kişinin Fransız bilimci Jules Henry Poincare olduğu düşünülür. Poincare, 20. Yüzyılda gökbilimi ile ilgili karmaşık sistemlerin kararlılık ilişkilerini araştırmıştır. Poincare, bir beden diğer iki bedene kıyasla ihmal edilebilir derecede küçük olduğu kısıtlı üç cisim problemi üzerine çalışmıştır (Barrow, 1997). Poincare, bu basit sistemde çözümün çok karmaşık olduğunu ve kesin bir şekilde verilemeyeceğini keşfetmiştir.

Başlangıç koşullarındaki çok küçük farkların sonunda büyük farklara neden olduğunu ve tahmin edilebilirliğin imkânsız hale geldiğini gözlemlemiştir. Küçük bir parametre değişikliği bile düzgün davranış sergileyen dinamik sistemleri kaotik hale dönüştürebilir.

Sistem verilerinde gürültü bulunduğunda veya verilerin kaydedildiği sistemler doğrusal olmadığında, bu yöntemler tatmin edici sonuçlar sağlamayabilir. Bu sebepten dolayı doğrusal olmayan zaman zaman serilerini analiz etmek için farklı araştırmalar yapılmıştır.

Ardından, 1963 yılında Lorenz, hava tahmini üzerinde çalışırken kelebek etkisini ortaya atmış ve bu nedenle kaosun babası olarak kabul edilmiştir. Bu teoriye göre, bir sistemin gelecekteki durumu, başlangıç koşullarının küçük bir değişikliği nedeniyle büyük ölçüde farklılık gösterebilir (Lorenz, 1963).

Lorenz çalışmasında bir hava durumu modeli oluşturarak, mevcut hava durumu verilerini kullanarak gelecekteki hava durumunu tahmin etmeye çalışır. Ancak bu modellerin tamamen doğru olması mümkün değildir. Çünkü hava durumu çok karmaşık bir sistemdir ve pek çok faktörün etkileşimi ile birlikte belirlenir. Önceki modellerde başlangıç koşulu olarak tam sayı kullanılmaktaydı. Fakat Lorenz yaptığı modelde başlangıç koşulu olarak 0,506127 ondalıklı sayısını kullanmıştır. Yapılan bu küçük değişiklik ile tamamen farklı bir hava durumu ortaya çıkmıştır. Bu deney, küçük bir değişikliğin bile sonuçlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bir sistemdeki başlangıç koşullarındaki ufak bir değişiklik, zamanla büyük sonuçlara yol açabilir. Bu durumda, Lorenz'in deneyinde bir kelebeğin kanat çırpması gibi küçük bir hareketin bile zamanla büyük bir fırtınaya neden olabileceği düşünülmüştür.

Kaotik davranışlar düzensiz olmalarına rağmen deterministiktir. Örnek olarak; dumanın havada oluşturduğu şekiller, rastgele ve düzensiz gibi görünebilir. Ancak, teorik bir fizikçiye göre, dumanın dinamiği aslında çevredeki birçok parametre ve etkene bağlıdır. Örneğin, sıcaklık değişikliği hava akımı oluşturur ve bu oluşan hava akımı tekrar sıcaklığı etkiler. Benzer şekilde, birçok parametrenin değişimi sistem üzerinde etkili olacaktır. Bu parametrelerin sürekli değişmesi, sistemi etkileyerek farklı düzenlerin ortaya çıkmasına neden olur; bu da kaos olarak adlandırılır. Kısacası kaos, düzensizliğin düzeni anlamına gelmektedir.

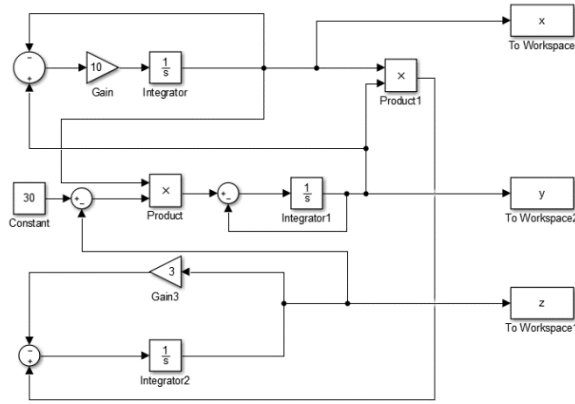
### 1. Örnek Kaotik Sistemler

Lorenz kaotik osilatörü kaos sistem davranışı gösteren 3. derece boyuta sahip doğrusal olmayan dinamik bir sistemdir (Lorenz, 1963). Bu sistem kaos gösteren doğrusal olmayan sistemlerin ilk örneğidir.

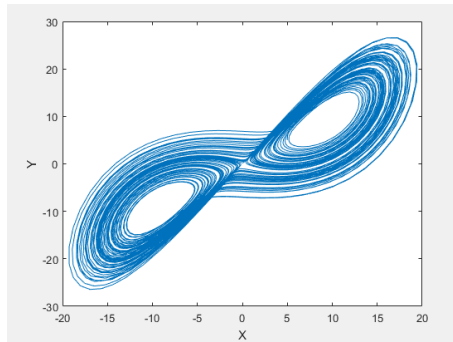
Lorenz osilatörü, matematiksel denklemler kullanılarak modellenmesi yapılan bir sistemdir. Bu denklemler belirli parametreler ile birlikte sürekli birbirleriyle etkileşim halinde olan 3 değişkeni ( $x,y,z$ ) tanımlar. Bu değişkenler, zaman içerisinde birbirleri ile karmaşık şekilde etkileşime girerek kaotik bir davranış gösterir. Lorenz'in doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemi (1) denkleminde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= \sigma \cdot (y - x) \\
 \dot{y} &= -x \cdot z + r \cdot x - y \\
 \dot{z} &= x \cdot y - b \cdot z
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

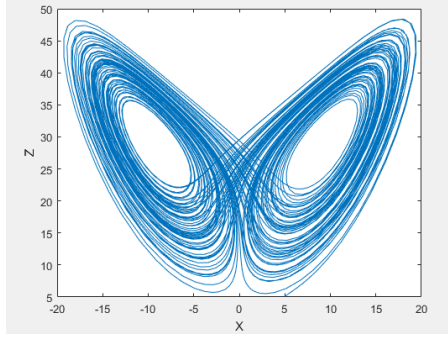
Denklemden  $\sigma, b$  ve  $r$  sabit olan sistem parametreleridir.  $x, y$  ve  $z$  ise sabit olan durum değişkenleridir. Sistem  $\sigma = 10, r = 28$  ve  $b = 8/3$  parametreleri ve  $x_0 = 0, y_0 = -0.1$  ve  $z_0 = 9$  başlangıç değerleri için kaotik davranış göstermektedir. Lorenz kaotik osilatörünün Simulink blok gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



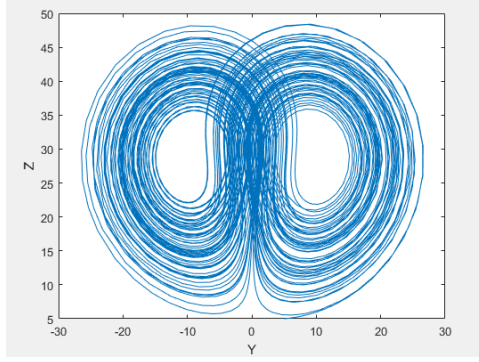
Şekil 1. Lorenz Simulink blok gösterimi.



(a)

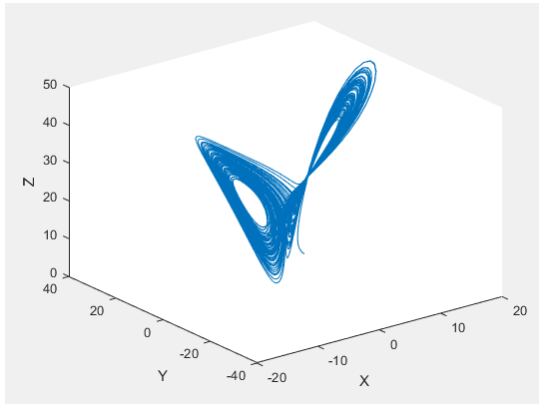


(b)



(c)

Şekil 2. Lorenz faz-uzay gösterimi: a) x-y, b) x-z, c) y-z.



Şekil 3. Üç boyutlu (x,y,z) faz diyagramı.

Sistem yörüngesi hiçbir zaman aynı şekilde gerçekleşmediği için, yörüngeler kesişmez. Yörüngenin izlediği yollar sürekli olarak salınım yaparlar.

### 1.1 Duffing sistemi

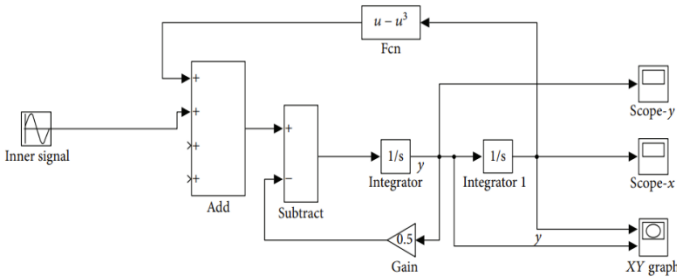
Sistem doğrusal olmayan dinamikleri temsil etmek için kullanılan bir matematiksel modeldir (Duffing, 1918). Fizikte, mühendislikte, elektromekanik osilatörlerin ve elektrik devrelerinin davranışını modellemek için kullanılan bir sistemdir. Duffing osilatörü  $r$ ,  $w_0^2$ ,  $\beta$ ,  $f$  ve  $w$  parametrelerine sahiptir. Duffing osilatörü denklem (2) ile tanımlanır.

$$\dot{x} = y \quad (2)$$

$$\dot{y} = -ay - bx - cx^3 + d\cos(wt)$$

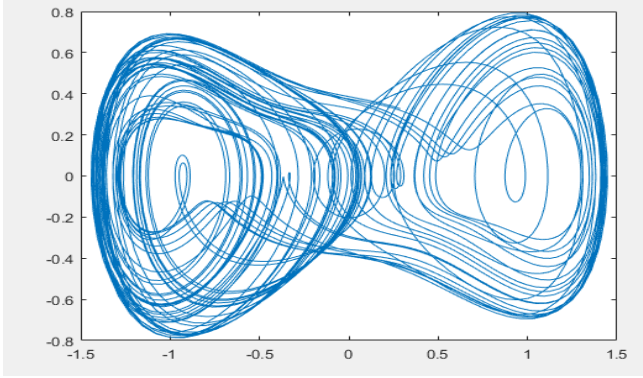
Denklemden  $a, b, c$  ve  $d$  sabit olan sistem parametreleridir.  $x, y$  ve  $z$  ise zamanla değişen durum değişkenleridir. Sistem  $a = 0.2$ ,  $b = -1$ ,  $c = 1$ ,  $d = 27$  ve  $w = 1 \text{ rad/sn}$  parametreleri ile önerilen çalışma durumuna sahiptir.

Duffing kaos sisteminin Simulink modellemesi Şekil 4'te gösterilmiştir (Wu vd., 2018).



Şekil 1. Duffing Simulink blok gösterimi.





**Şekil 2.** Duffing sisteminin faz-uzay gösterimi.

## 2. Zaman Gecikmeli Kaotik Sistemler

Mackey ve Glass'ın zaman gecikmeli sistemlerde kaosu bulmasından (Mackey ve Glass, 1977) bu yana gecikmeli kaotik sistemlere ilgi artmıştır (Chen ve Yu, 1999; Tian ve Gao, 1998; Lu ve He, 1996).

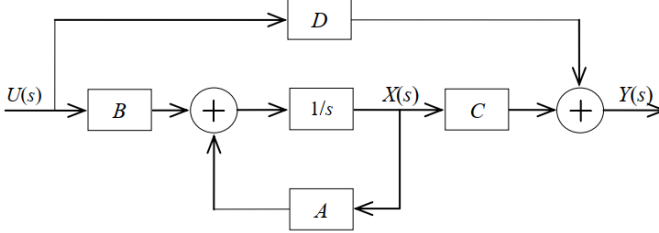
Zaman gecikmeli sistem, bir sistemin geçmiş zamana bağlı olarak kendisini etkileyen bir sistemdir. Zaman gecikmeli sistemlerde, bir giriş sinyali veya değişkeni, aynı anda sistem çıkışını etkilemez; bunun yerine belirli bir zaman gecikmesiyle sisteme etki eder.

Fiziksel ve kimyasal bütün yapıların matematiksel modelleri genelde sistemlerin anlık durumlarına bağlıdır. Fakat, bazı yapıların modelleri yalnızca o anki durumlarıyla sınırlı kalmaz; geçmişteki durumları da dikkate alır. Bu tür sistemlere zaman gecikmeli sistemler (time delay systems) adı verilir. Zaman gecikmeli sistemlerde, sistem çıkışı girişle aynı anda etkilenmez, belirli bir zaman gecikmesiyle etkilenir. Zaman gecikmeli sistemlerin matematiksel modelleri, geçmiş zamana dayalıdır ve sistem davranışını analiz etmek ve kontrol etmek daha karmaşıktır.

Zaman gecikmeli sistemlere içerdiği yapıdaki gecikmeden dolayı ölü zamanlı sistemler adı da verilir. Bir sistemde  $e^{-\theta s}$  üstel ifade eklendiğinde zaman gecikmesi gerçekleşir. Bu üstel fonksiyonun kökleri sonsuz sayıda olduğundan, zaman gecikme ifadesi içeren denklemlerin çözümünde sonsuz boyutta diferansiyel denklem yer alır (Michiels ve Niculescu, 2007).

Gerçek dünyada zaman gecikmeleri yaygın olarak mevcuttur ve araştırmalar, zaman gecikmesinin küçük bir değişikliğinin kaotik sistemin dinamik davranışını büyük ölçüde değiştirebileceğini göstermektedir; bu da görüntü şifreleme şemalarının tasarımında kullanılabilir.

Klasik sistemlerde gelecek bir zamandaki davranışların ve durumun sadece sistemin o andaki durumuna bağlı olduğu kabul edilir. Zamana bağlı değişmeyen sistemler için verilen blok diyagramı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Zamana bağlı değişmeyen sistemler için blok şeması.

Zamanla değişmeyen sistemlerin matematiksel modellenmesi denklem (3)'te gösterilmiştir.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (3)$$

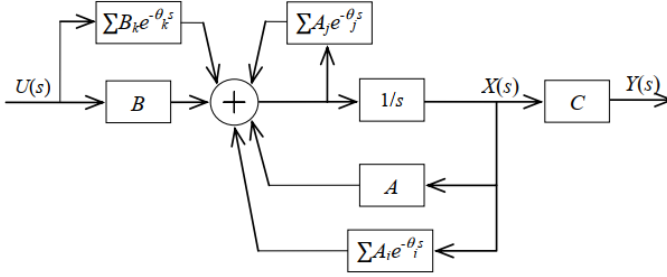
$$\dot{y}(t) = Cx(t) + Du(t)$$

Denklemden A sistemin matrisini, B sistemin giriş matrisini, C sistemin çıkış matrisini, D sistemin iletim matrisini,  $x(t)$  sistemin durum değişkenini,  $u(t)$  sistemin giriş fonksiyonunu,  $y(t)$  ise sistemin çıkış fonksiyonunu ifade etmektedir.

Denklemin transfer fonksiyonu denklem (4)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI - A)^{-1}B + D \\
 &= \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \\
 &= \frac{\sum_{i=0}^m b_i s^i}{\sum_{j=0}^n a_j s^j}
 \end{aligned} \quad (4)$$

Zaman gecikmeli sistemlerin blok diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Zaman gecikmeli sistemlerin genel blok diyagramı.

Zaman gecikmeli sistemlerin matematiksel modellemesi denklem (5)'te gösterilmiştir.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + \sum_{i=1}^n A_i x(t - \theta_i) + \sum_{j=1}^m A_j \dot{x}(t - \theta_j) + Bu(t) + \sum_{k=1}^r B_k u(t - \theta_k) \quad (5)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

Bu modellemede  $\theta_i$  sistem içerisindeki durum değişkenlerinin zaman gecikmelerini,  $\theta_j$  durum değişkenlerinin türevlerinin zaman gecikmelerini,  $\theta_k$  ise sistem çıkışı ve girişi arasındaki zaman gecikmesini temsil eder.

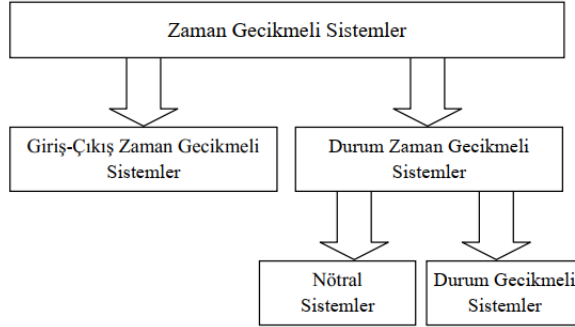
## 2.1 Zaman Gecikmeli Sistemlerin Sınıflandırılması

Zaman gecikmeli sistemler, sistemin etkilendiği gecikmeden yola çıkarak iki kısma ayrılır.

1. Giriş-Çıkış Zaman Gecikmeli Sistemler: Yalnızca sistemin girişinde ve çıkışında bir gecikme bulunmaktadır. Girişteki sinyal gecikmeli bir şekilde işlenir. Çıkış sinyali de bu gecikmenin etkisiyle meydana gelir. Bu gecikme sistemin yalnızca giriş ve çıkış ilişkisine etki eder.
2. Durum Zaman Gecikmeli Sistemler: Bu sistemlerde gecikme etkisi sistemin iç yapısından kaynaklıdır. Durum değişkenleri sistemin geçmiş zamandaki durumlarına bağlı olarak şekillenir. Durum zaman gecikmeli sistemler kendi içerisinde ikiye ayrılır.
  - Nötral Sistemler: Bu tür sistemlerde gecikme süresi sistem denklemlerinde doğrusal olarak yer alırlar. Gecikme süreleri genellikle sabittir.

- Durum Gecikmeli Sistemler: Bu tür sistemlerde gecikme süresi sistemin denklemlerinde doğrusal olmayan bir şekilde yer alırlar. Gecikme süresi sistem dinamiğini etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkar.

Şekil 8’de zaman gecikmeli sistemlerin sınıflandırması gösterilmiştir.



Şekil 8. Zaman gecikmeli sistemlerin sınıflandırılması.

## 2.2 Zaman Gecikmeli Sistemlerin Matematiksel Modelleri Ve Transfer Fonksiyonları

Giriş-çıkış zaman gecikmeli sistemlerin matematiksel modellemesi denklem (6)'da verilmiştir.

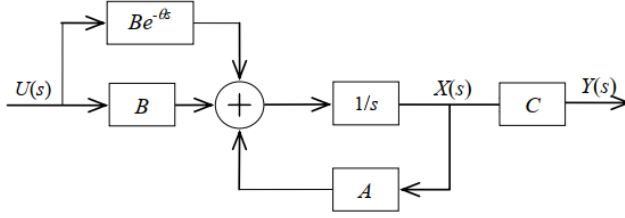
$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t - \theta) \quad (6)$$

$$\dot{y}(t) = Cx(t)$$

Giriş-çıkış zaman gecikmeli sistemlerin transfer fonksiyonu denklem(7)'de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI - A)^{-1} B e^{-\theta s} \quad (7)$$

Giriş-çıkış zaman gecikmeli sistemlerin genel diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir.



**Şekil 9.** Giriş-çıkış zaman gecikmeli sistemlerin genel blok diyagramı.

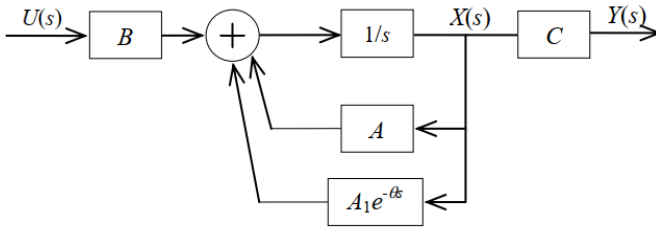
Durum zaman gecikmeli sistemlerin matematiksel modellemesi denklem (8)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + A_1x(t - \theta) + Bu(t) \\ \dot{y}(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (8)$$

Durum zaman gecikmeli sistemlerin transfer fonksiyonu denklem (9)'da verilmiştir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI - A - A_1e^{-\theta s})^{-1}B \quad (9)$$

Durum zaman gecikmeli sistemlerin genel diyagramı Şekil 10'da verilmiştir.



**Şekil 10.** Durum zaman gecikmeli sistemlerin genel blok diyagramı.

Nötral sistemlerin matematiksel modellemesi denklem (10)'da verilmiştir.

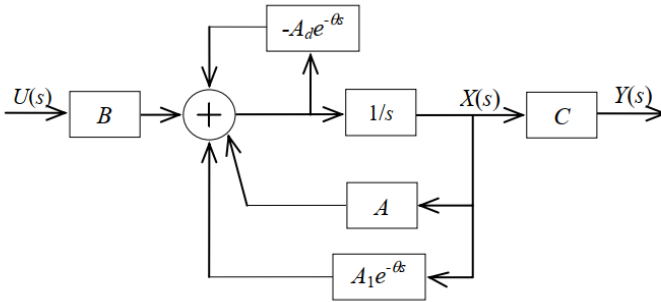
$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A_d\dot{x}(t - \theta) = Ax(t) + A_1x(t - \theta) + Bu(t) \\ \dot{y}(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (10)$$

Nötral sistemlerin transfer fonksiyonu denklem (11)'de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = C(sI - A - A_1e^{-\theta s} + sA_d e^{-\theta s})^{-1}B \quad (11)$$

Denklem (11)'de  $A_d$  gecikmeden etkilenen değişkenlerin türevlerinin katsayılarının bulunduğu sistem matrisidir.

Nötral sistemlerin genel diyagramı Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Nötral sistemlerin genel blok diyagramı.

## SONUÇ

Zaman gecikmeli kaotik sistemlerde, bu gecikmelerin spesifik özellikleri ve önemi büyük ölçüde değişebilir. Zaman gecikmeleri dinamik sistemlerde çeşitli etkilere yol açabilir. Karmaşıklığın artması, senkronizasyon süreleri, sistem kararlılığı en önemli kontrol edilebilir etkileridir. Araştırmacılar ve mühendisler, özellikle kaos tabanlı kriptografi, güvenli iletişim ve karmaşık sistemlerin analizi gibi alanlarda, bu sistemleri anlamak ve kontrol etmek için sıklıkla faydalanırlar. Bu nedenle zaman gecikmeli kaosun önemi, çalışmanın veya uygulamanın amaçlarına bağlı olarak değişebilir.

## KAYNAKÇA

- Anees, A., Siddiqui, A. M., & Ahmed, F. (2014). Chaotic substitution for highly autocorrelated data in encryption algorithm. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 19(9), 3106-3118.
- Barakat, M. L., Mansingka, A. S., Radwan, A. G., & Salama, K. N. (2014). Hardware stream cipher with controllable chaos generator for colour image encryption. *IET image processing*, 8(1), 33-43.
- Barrow-Green, J. (1997). Poincaré and the three body problem (No. 11). American Mathematical Soc..
- Çavuşoğlu, Ü., Akgül, A., Kaçar, S., Pehlivan, I., & Zengin, A. (2016). A novel chaos-based encryption algorithm over TCP data packet for secure communication. *Security and Communication Networks*, 9(11), 1285-1296.
- Chen, G., & Yu, X. (1999). On time-delayed feedback control of chaotic systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 46(6), 767-772.
- Deivasundari, P., Uma, G., & Ashita, S. (2014). Chaotic dynamics of a zero average dynamics controlled DC–DC Ćuk converter. *IET Power Electronics*, 7(2), 289-298.
- Duffing, G. (1918). Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung (No. 41-42). Vieweg.
- Huang, Z., Dong, W., Duan, H., & Li, H. (2013). Similarity measure between patient traces for clinical pathway analysis: problem, method, and applications. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 18(1), 4-14.
- Jakimoski, G., & Kocarev, L. (2001). Chaos and cryptography: block encryption ciphers based on chaotic maps. *Ieee transactions on circuits and systems i: fundamental theory and applications*, 48(2), 163-169.
- Kang, Z., Sun, J., Ma, L., Qi, Y., & Jian, S. (2014). Multimode synchronization of chaotic semiconductor ring laser and its potential in chaos communication. *IEEE journal of Quantum Electronics*, 50(3), 148-157.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.
- Lu, H., & He, Z. (1996). Chaotic behavior in first-order autonomous continuous-time systems with delay. *IEEE Transactions on Circuits*

- and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 43(8), 700-702.
- Mackey, M. C., & Glass, L. (1977). Oscillation and chaos in physiological control systems. *Science*, 197(4300), 287-289.
- Michiels, W., & Niculescu, S. I. (2007). Stability and stabilization of time-delay systems: an eigenvalue-based approach. *Society for Industrial and Applied Mathematics*.
- The American Mathematical Monthly Vol. 82, No. 10 (Dec., 1975), pp. 985-992 (8 pages) Published By: Taylor & Francis, Ltd.
- Tian, Y. C., & Gao, F. (1998). Adaptive control of chaotic continuous-time systems with delay. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 117(1-4), 1-12.
- Tuna, M., & Fidan, C. B. (2018). A Study on the importance of chaotic oscillators based on FPGA for true random number generating (TRNG) and chaotic systems. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(2), 469-486.
- Wu, A., Mwachaka, S. M., Pei, Y., & Fu, Q. (2018). A novel weak signal detection method of electromagnetic LWD based on a Duffing oscillator. *Journal of Sensors*, 2018.
- Xiong, A., Zhao, X., Han, J., & Liu, G. (2014). Application of the chaos theory in the analysis of EMG on patients with facial paralysis. In *Robot Intelligence Technology and Applications 2: Results from the 2nd International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications* (pp. 805-819). Cham: Springer International Publishing.





## BÖLÜM 5

### SERBEST YÜZEYE YAKIN DERİNLİKLERDE SEYREDEN EKSENEL ASİMETRİK BİR SU ALTI ARACININ HİDRODİNAMİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Dr. Mesut TANER<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10445511>

---

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye. ORCID NO: 0000-0002-4904-2098 (mesut.taner@deu.edu.tr, +90 543 6555049)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye. ORCID NO: 0000-0002-9681-680X (turgut.gursel@deu.edu.tr, +90 536 544 2802)



## GİRİŞ

Serbest yüzeye yakın derinliklerde seyreden su altı araçları, Froude sayısına bağlı olarak büyüklüğü periyodik olarak değişen bir kaldırma kuvvetine ve ek dirence maruz kalır. Bu konu ile ilgili olarak statik ve dinamik testlerin yapılmasının ardından Gertler ve Hagen (1967), altı serbestlik derecesine sahip denizaltı manevra simülasyonları için hidrodinamik kuvvetleri ve momentleri hidrodinamik katsayılarla ifade eden bir matematiksel model önermişlerdi. Bununla birlikte bu model, serbest su yüzeyinden ve deniz tabanından uzakta, derin sularda çalışan denizaltılara yöneliktir. Bu matematiksel model, diğer konuların yanı sıra çeşitli etkileri, özellikle de serbest yüzey etkisini hesaba katacak şekilde değiştirilmiştir (Polis ve diğ., 2013).

Günümüzde, serbest yüzeyin sığ suda dalmış bir denizaltının hidrodinamiği üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi (Broglia ve diğ., 2006; Carrica ve diğ., 2016; Dawson, 2014; Jagadeesh ve Murali, 2010; Mansoorzadeh ve Javanmard, 2014; Nematollahi ve diğ., 2015; Salari ve Rava, 2017) hidrodinamikte artan bir önem kazanmıştır. Bu durum, denizaltıların yüzeye yakın ya da sığ ortamlarda çalışması için artan stratejik bir gereksinimle bağlantılıdır.

Bir denizaltı serbest yüzeye yaklaştığında, denizaltı gövdesi boyunca gerçekleşen dinamik basınç dağılımı ile esnek serbest yüzey arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak sabit yüzey yerçekimi dalgaları oluşur. Bu dalga sistemini oluşturmak, sığ suya dalmış bir denizaltının eksenel direnç kuvvetini artırır (Darrigol ve diğ., 1996).

Dalga sistemine bağlı direnç kuvveti, uzunluğa dayalı Froude sayısıyla belirlenir (Denklem 1):

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (1)$$

Bu denklemde  $v$  (m/s) denizaltı hızını,  $L$  (m) denizaltı veya AUV uzunluğunu,  $g$  (m/s<sup>2</sup>) ise yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Bununla birlikte, sığ suya dalmış denizaltılar, dalga direnç kuvvetine ek olarak kaldırma kuvvetlerine ve trim momentine de maruz kalırlar. Bu bağlamda Broglia ve diğ. (2006), Jagadeesh ve Murali (2010), Mansoorzadeh ve Javanmard (2014), Nematollahi ve diğ. (2015), Carrica ve diğ. (2016) ve Salari ve Rava (2017) Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerini ve tek denklemlili veya iki denklemlili modellere dayanan farklı türbülans algoritmalarını kullanarak, çeşitli dalma derinliklerinde ve Froude

sayılarında serbest yüzeye yakın derinliklerde seyreden su altı araçlarının hidrodinamik özelliklerini incelemişlerdir.

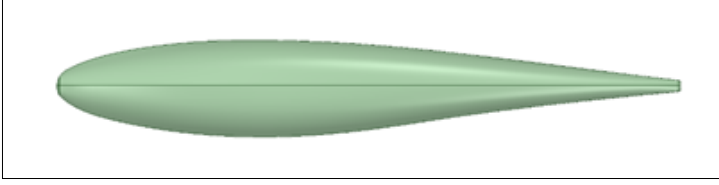
Araştırmacılar, elde edilen sayısal sonuçları doğrulamak için simülasyonlarda kullanılan aynı araçlarla deneyler yapmışlar ve bu araçlara etki eden kuvvetleri ve momentleri saptamışlardır. Serbest yüzeye yakın seyreden bir denizaltının, kaldırma kuvveti ve trim momentinin yanı sıra daha büyük bir direnç kuvvetine maruz kaldığı ve bu kuvvetlerin ve momentin hem Froude sayısına hem de dalma derinliğine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sonuç olarak, serbest yüzeyin yakınında hareket eden bir denizaltı, denizaltının baş, kış ve omuzluklarından kaynaklanan ve denizaltı etrafındaki dinamik basınç dağılımını yakından etkileyen bir dalga sistemi oluşturur (Molland ve diğ., 2017).

Bu çalışmada, araştırma amaçlı iki farklı formda, formu biyomimikri metodolojisi kullanılarak özel olarak oluşturulmuş, serbest yüzeye farklı mesafelerde seyreden aksenal asimetric bir otonom su altı aracının çeşitli Froude sayılarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları yapılmış ve maruz kaldıkları toplam direnç değerleri elde edilerek hidrodinamik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, aracın serbest yüzeye yakınlığının hidrodinamik özellikler, özellikle de direnç kuvveti üzerindeki baskın etkisini açık olarak göstermektedir.

## **1. MATERYAL VE YÖNTEM**

Tüm su altı araçları, enerjileri tükendiğinde ve/veya herhangi bir elektromekanik arıza nedeniyle sistemleri çalışmadığında, yüzeye çıkabilmeleri için pozitif sephiyeye yani kaldırma kuvvetine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle denizde sabit bir derinlikte kalabilmek için düşey aksenli motor ve pervanelerin itme kuvvetine ihtiyaçları vardır. Bu durum enerji tüketiminde önemli bir artışa neden olduğundan su altı operasyonlarının süresi de oldukça sınırlı olabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada incelenen bir otonom su altı aracının (AUV: Autonomous Underwater Vehicle) formu "spoiler"e göre oluşturulmuş, böylece form ters kanat şekline sahip olmuştur. Böylelikle AUV, aracın ileri hareketi sırasında aşağı yönde oluşan itme kuvveti nedeniyle nötr sephiyeye kazanacak ve önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayacaktır (Şekil 1).



**Şekil 1:** “Spoiler” formundaki AUV modeli

Bu çalışmada, öncelikle serbest yüzeye yakın derinliklerde seyreden eksenel asimetrik bir AUV'nin hidrodinamik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu AUV, form etkisini ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek için  $90^\circ$  döndürülmüş ve tüm analizler tekrarlanmıştır.

Çalışmadaki simülasyonlar,  $h = 0,0625 \times L$  (L: AUV'nin uzunluğu) ile  $h = \infty$  arasındaki dalma derinlikleri aralığında STAR CCM+ hesaplamalı akışkanlar dinamiği ticari yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir; burada dalma derinliği  $h = \infty$  derin su durumunu belirtir ve analizler,  $Fn = 0,118$  ile  $Fn = 0,593$  Froude sayıları arasında yapılmıştır. Kullanılan sayısal modeli doğrulamak için, DARPA Suboff isimli denizaltının tamamen dalmış durum simülasyonundan elde edilen direnç kuvvetleri, Liu ve Huang (1998) tarafından yayımlanan deneysel verilerle ve sıgı suya dalmış durumdaki simülasyonlardan elde edilen direnç kuvvetleri de Dawson (2014) tarafından sağlanan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Bunların dışında, öncelikle serbest yüzeyin yakınında hareket eden eksenel asimetrik bir AUV'nin özellikleri kısaca irdelenmiş ve sayısal model açıklanmıştır. Daha sonra hesaplama hacmi, sınır koşulları ve ağ yapısı oluşturma süreci ele alınmıştır. Son olarak elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuş ve tartışılmıştır.

### 1.1 Türbülans Modeli

Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizlerinde, STAR CCM+ yazılımının “Kayma Gerilmesi Taşınımı  $k-\omega$  türbülans modeli” (SST  $k-\omega$ : Shear stress transport  $k-\omega$  turbulence algorithm) uygulanmıştır. Bu türbülans modelinin seçilmesinin nedeni, algoritmanın türbülanslı kayma gerilmesinin taşıma etkilerini hesaplamak için değiştirilmiş bir türbülanslı viskozite formülasyonu içermesi nedeniyle, dalmış bir katı cisimde ters basınç gradyanı altında akış ayrımının başlangıcı ve boyutu hakkında genel olarak doğru tahminde bulunmasıdır. Model, cidara yakın bölgede standart  $k-\omega$  modelini, cidara uzak bölgelerde ise dönüştürülmüş  $k-\varepsilon$  modelini etkinleştiren bir hibrit fonksiyon içermektedir

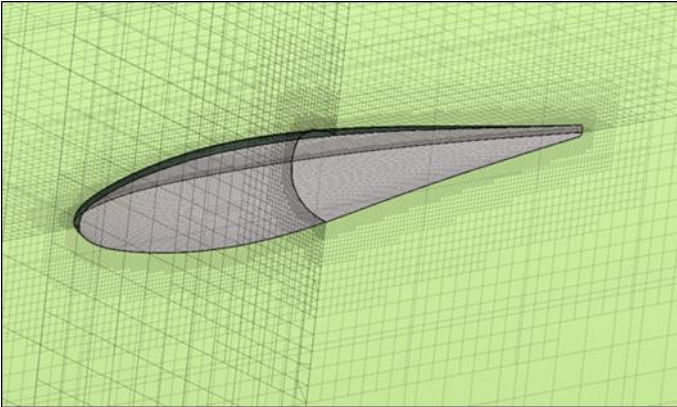
(Gürsel ve Taner, 2019; Menter, 1994). Denklem 2 ve 3, türbülans kinetik enerjisinin ( $k$ ) ve spesifik dağılım oranının ( $\omega$ ) elde edilmesini sağlar;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (3)$$

Burada  $G_k$  ve  $G_\omega$  sırasıyla türbülans kinetik enerjisinin üretimini ve spesifik dağılım hızının oluşumunu belirtir;  $k$  ve  $\omega$ 'nın etkin yayılımını  $\Gamma_k$  ve  $\Gamma_\omega$ ;  $S_k$  ve  $S_\omega$  kullanıcı tanımlı kaynak terimlerini temsil eder.  $Y_k$  ve  $Y_\omega$  sırasıyla türbülans nedeniyle  $k$  ve  $\omega$ 'nin dağılımını belirtir ve  $D_\omega$  çapraz difüzyon terimi anlamına gelir.

AUV gövdelerinin etrafındaki ve hesaplama hacmi içindeki ağ elemanları, seçilen türbülans modeli dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Bu nedenle, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için AUV gövde yüzeylerinin yakınında katmanlı bir ağ yapısı oluşturulmuş ve bunun için "trimmed hexahedral cell shape-based core mesh" tercih edilmiştir. İlgili hacmin dış bölgesinde ise aynı tipte daha büyük bir ağ yapısı uygulanmıştır (Şekil 2).

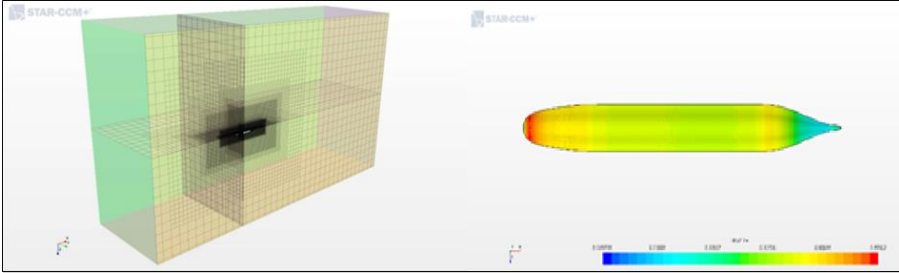


**Şekil 2:** AUV ağ yapısı

Seçilen türbülans modelinin, Denklem 4'te ayrıntılı olarak verilen duvar fonksiyonu  $y^+$ 'nin belirli bir aralığı dahilinde çalıştığına dikkat edilmelidir.

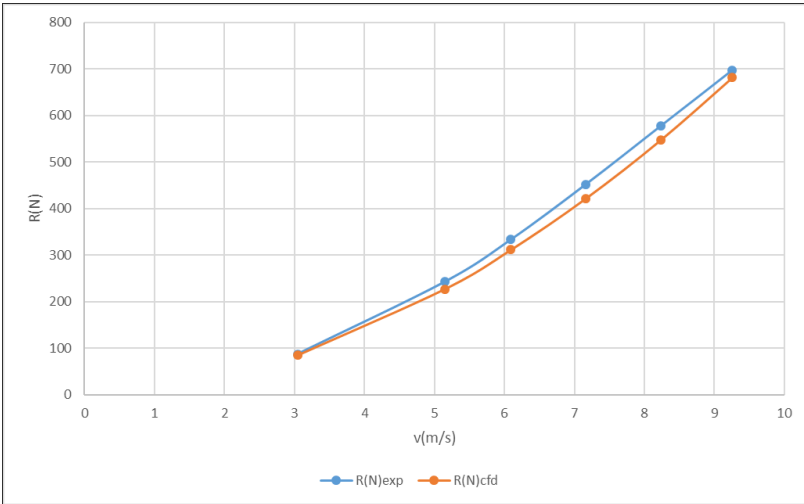
$$y^+ = \frac{\rho y \sqrt{\frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}}}{\mu} \quad (4)$$

Şekil 3'te sırasıyla tüm akışkan hacminin ağ yapısı ve DARPA Suboff modeline ait direnç analizi sırasında elde edilen  $y^+$  değerlerinin dağılımı verilmektedir.



Şekil 3: DARPA için hazırlanan hesaplama hacmi ve  $y^+$  konturları

Bu modellerin  $y^+$  değerleri  $0 < y^+ < 1$  aralığında değişmektedir. Bu çalışmada elde edilen direnç simülasyon sonuçları, Şekil 4'te gösterildiği gibi Liu ve Huang (1998) tarafından gerçekleştirilen DARPA Suboff modelinin çekme tankı test sonuçları ile doğrulanmıştır.

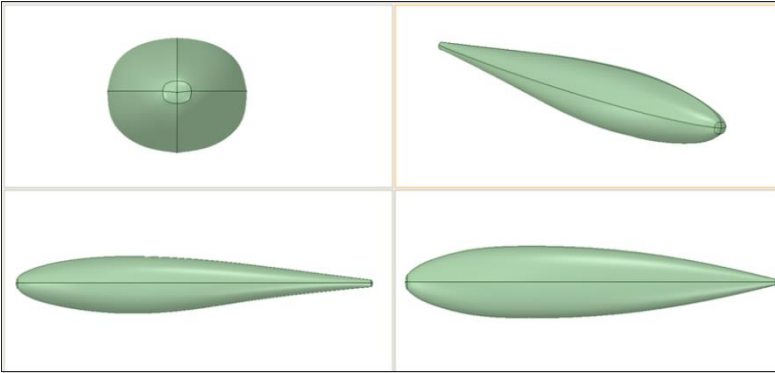


Şekil 4: DARPA Suboff modelinin HAD doğrulaması

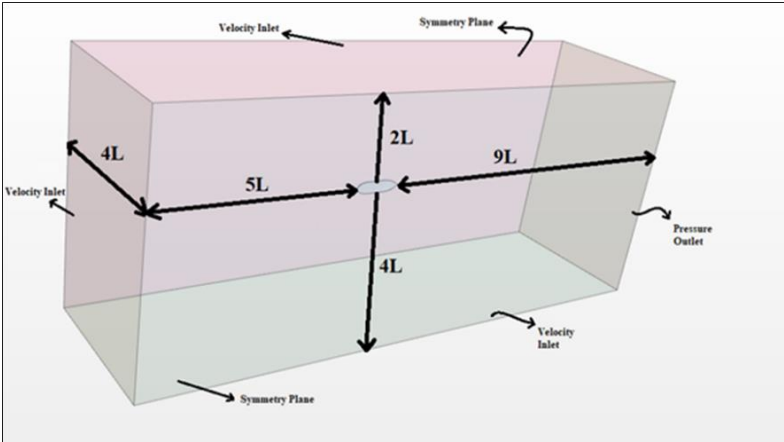


## 1.2 Model Geometrisi ve Sınır Koşulları

Sayısal simülasyonlarda hesaplama hacmi ve ağ boyutları modelin uzunluğuna göre  $L=7,234 \text{ m}$  olacak şekilde ayarlanmaktadır (Şekil 5). Hesaplama hacmi ITTC'nin yayımladığı kılavuza göre oluşturulmuş olup, model, ön kısmında  $5L$ , arkada ise  $9L$  yer kalacak şekilde hazırlanmıştır. Modelin yanlarında  $4L$ , altında  $4L$  olan bu mesafe üst kısmında  $2L$ 'dir. Model etrafındaki akışın, modelin merkez hattına göre simetrik olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle hesaplama hacminin yalnızca yarısı modellenmiş ve ağ sayısı makul bir seviyede tutularak hesaplama süresi önemli ölçüde azaltılmıştır. Hesaplama hacim sınırlarının belirtildiği Şekil 6, akışın 'hız girişi'nden verildiğini ve hesaplama hacmi sonunun 'basınç çıkışı' şeklinde sınır koşulu olarak tanımlandığını göstermektedir. Üst ve alt sınırlar aynı zamanda 'hız girişi' olarak da tanımlanır.



Şekil 5: Farklı bakış açılarından hazırlanan AUV modeli



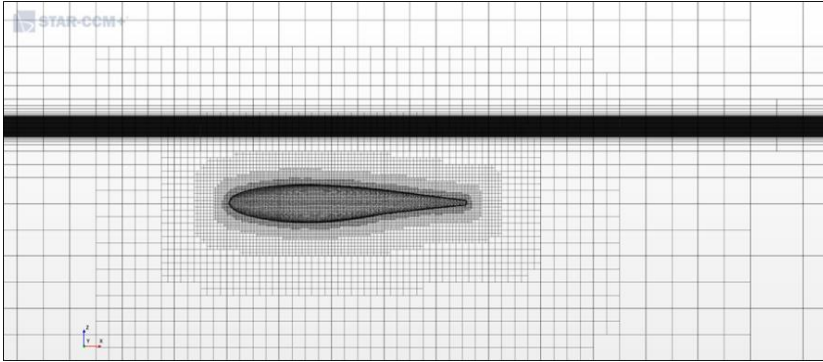
Şekil 6: Toplam hesaplama hacmi (Domain)

Modelin yüzeyi 'duvar' olarak tanımlanmıştır. Bu durum için akışın boyuna yatay ve düşey düzlemlere göre simetrik olduğu varsayılmıştır. Bu, hesaplama hacminin diğer yarısının doğru bir şekilde simüle edilmesine olanak tanıyan 'simetri düzlemi' sınır koşulu kullanılarak elde edilmektedir. AUV modelinin tamamen dalmış olduğu varsayılmış ve HAD analizlerinde iki fazlı akış kullanılmıştır.

Akış, genel olarak üç boyutlu türbülanslı akış, ayrılmış akış ve sabit yoğunluk modelleri ile modellenmiştir. Ana denklemlerin çözümünde Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri ve SST  $k-\omega$  türbülans modeli kullanılmıştır. Analizlerde suyun sıcaklığı 20 °C olarak kabul edilmiş ve su özellikleri bu sıcaklığa göre oluşturulmuştur.

HAD simülasyonları için kullanılan ağ yapısı (ızgara, grid) oluşturma teknikleri şu şekilde özetlenebilir: Dijital ağ, yapılandırılmış bir ızgaradan oluşur; ancak ağ, model yüzeyinde yapılandırılmamış altı yüzlü hücreler içerir (Şekil 7). Sınır tabakasını çözmek için modellerin yüzeyine yakın prizmatik hücreler uygulanmış ve Şekil 7'de gösterilen türbülans etkisini yüksek çözünürlükte elde edebilmek için modellerin etrafındaki yerel hacim ağ iyileştirmeleri kullanılmıştır.

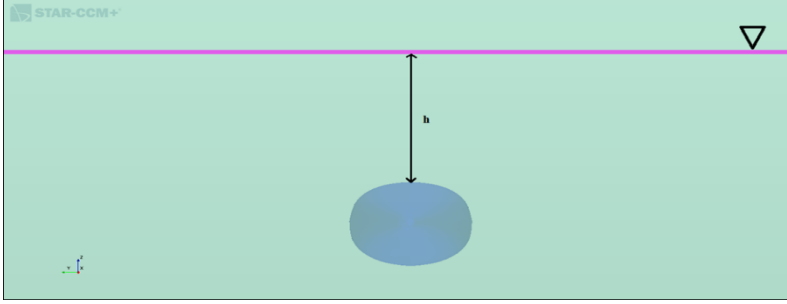
Sayısal analizde kararlılığı sağlayan diğer bir ana parametre ise zaman adımıdır. Zaman adımı ( $\Delta t$ ), her yinelemeli çözümün süresini tanımlar ve değeri 0,01 s olarak ayarlanmıştır.



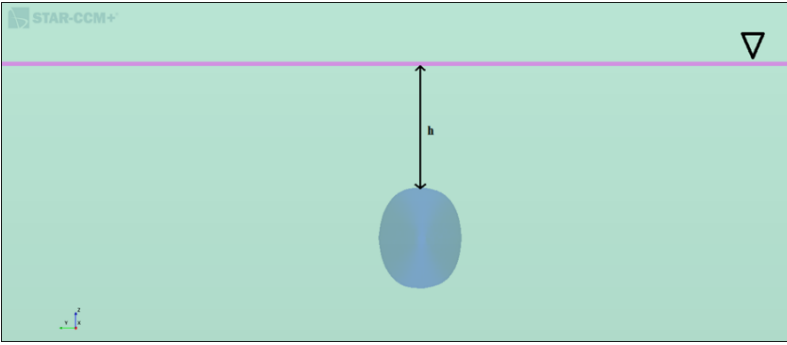
**Şekil 7:** Serbest su yüzeyine yakın bir bölgede ağ yapısı

AUV modeli farklı derinliklerde 1, 3 ve 5 m/s hızlarda analiz edilmiştir. AUV modellerinin uzunluğuna ve konumuna bağlı olarak Şekil 8 ve 9'da "h" ile ifade edilen derinlikler 0,0625L, 0,5L, 0,75L ve L olarak belirlenmiştir. Serbest su yüzeyi ile araç arasındaki mesafeyi ifade eden h

değeri, normal ve döndürülmüş konumlar için aracın en üst noktasına göre  $0,452\text{ m}$  ile  $7,243\text{ m}$  arasında değişmektedir (Şekil 8 ve 9).



**Şekil 8:** AUV'nin normal pozisyonunun ve AUV ile serbest su yüzeyi arasındaki mesafenin önden görünümü



**Şekil 9:** AUV'nin döndürülmüş pozisyonunun ve AUV ile serbest su yüzeyi arasındaki mesafenin önden görünümü

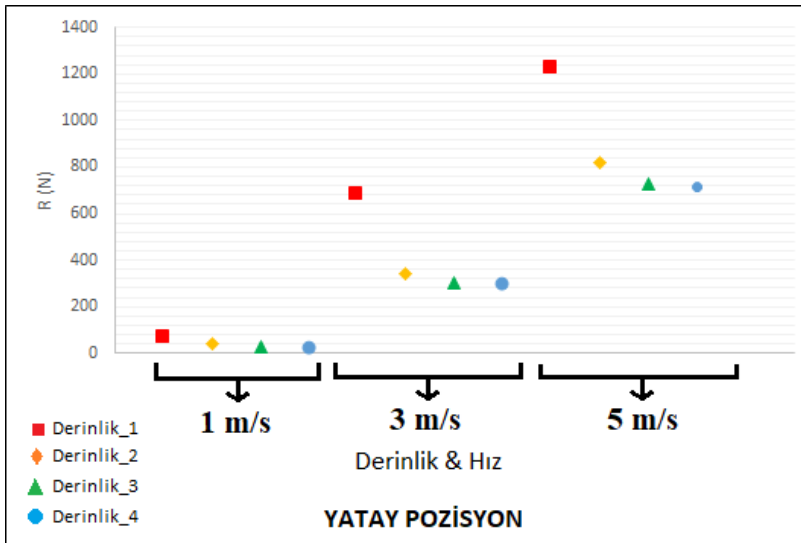
Tablo 1'de verildiği gibi Derinlik\_1, serbest su yüzeyinden AUV modelinin üst kısmına kadar olan mesafeyi göstermektedir ve bu  $0,45\text{ m}$ 'lik dalma derinliğidir. Derinlik\_2, Derinlik\_3 ve Derinlik\_4 sırasıyla  $3,61\text{ m}$ ,  $5,42\text{ m}$  ve  $7,243\text{ m}$  derinliklerindeki analiz noktalarını ifade etmektedir. Bu derinlik değerlerinin her biri için  $1, 3$  ve  $5\text{ m/s}$  hızlarda HAD analizleri yapılmıştır. Şekil 10 ve 11'de verilen sonuçlar, AUV modellerinin direnç değerlerinin serbest su yüzeyine yakın yerlerde önemli ölçüde arttığını göstermektedir. AUV modelinin baş ve kış formunun neden olduğu dalgaların girişimi, yüzeye yakın seyirlerde, derin seyirlere oranla çok daha büyük bir direnç kuvvetine maruz kalınmasına neden olur. Direnç kuvvetindeki bu beklenmedik artış, AUV modelinin daha derine dalması durumunda yüzey dalgaları artık oluşmadığı için etkisini kaybeder.

**Tablo 1:** AUV'nin farklı derinliklerdeki toplam direnç değerleri

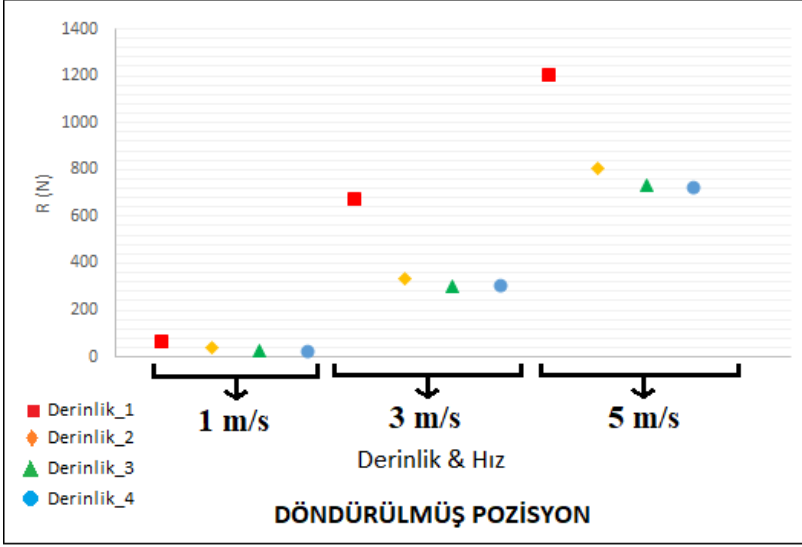
| YATAY POZİSYON  |       | DÖNDÜRÜLMÜŞ POZİSYON |       |
|-----------------|-------|----------------------|-------|
| Derinlik & Hız  | R (N) | Derinlik & Hız       | R (N) |
| Derinlik_1 1m/s | 64,6  | Derinlik_1 1m/s      | 64,6  |
| Derinlik_2 1m/s | 38,1  | Derinlik_2 1m/s      | 38,1  |
| Derinlik_3 1m/s | 26,4  | Derinlik_3 1m/s      | 26,4  |
| Derinlik_4 1m/s | 20,3  | Derinlik_4 1m/s      | 20,3  |
| Derinlik_1 3m/s | 680   | Derinlik_1 3m/s      | 680   |
| Derinlik_2 3m/s | 342   | Derinlik_2 3m/s      | 342   |
| Derinlik_3 3m/s | 303   | Derinlik_3 3m/s      | 303   |
| Derinlik_4 3m/s | 296   | Derinlik_4 3m/s      | 296   |
| Derinlik_1 5m/s | 1226  | Derinlik_1 5m/s      | 1226  |
| Derinlik_2 5m/s | 818   | Derinlik_2 5m/s      | 818   |
| Derinlik_3 5m/s | 726   | Derinlik_3 5m/s      | 726   |
| Derinlik_4 5m/s | 714   | Derinlik_4 5m/s      | 714   |

|            | h (m) |
|------------|-------|
| Derinlik_1 | 0,45  |
| Derinlik_2 | 3,61  |
| Derinlik_3 | 5,42  |
| Derinlik_4 | 7,23  |

Şekil 10 ve 11'den daha iyi anlaşılacağı gibi, derinlik arttıkça AUV modelinin maruz kaldığı direnç değerlerinde önemli bir düşüş görülmektedir. Bunun nedeni, artan derinlikle birlikte AUV modelinin serbest su yüzeyinde dalga oluşturmaması ve bu dalgaların girişiminden kaynaklanan direnç kuvvetlerine maruz kalmamasıdır. Belirli bir derinlikten sonra dalga direnci değerindeki azalma sifıra yaklaşmıştır.

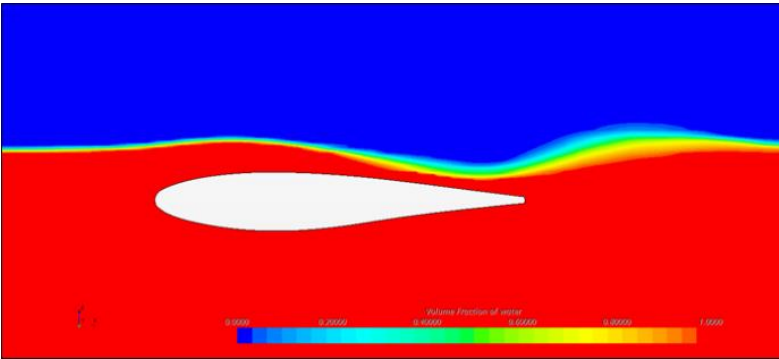


**Şekil 10:** Su altı aracının normal konumunda, farklı hız ve derinlik değerleri için direnç değişimleri

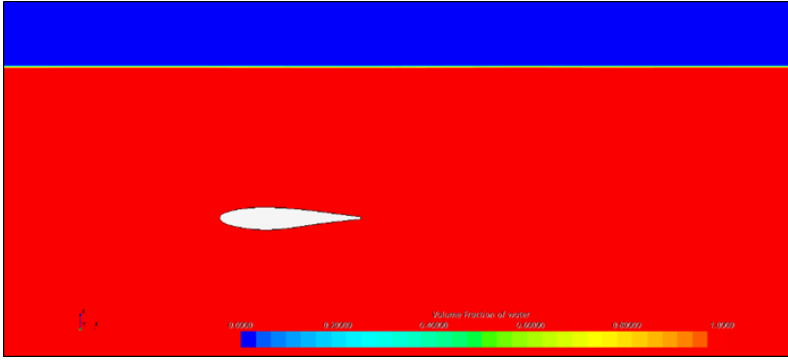


Şekil 11: Döndürülmüş konumda farklı hız ve derinlik değerleri için direnç değişimleri

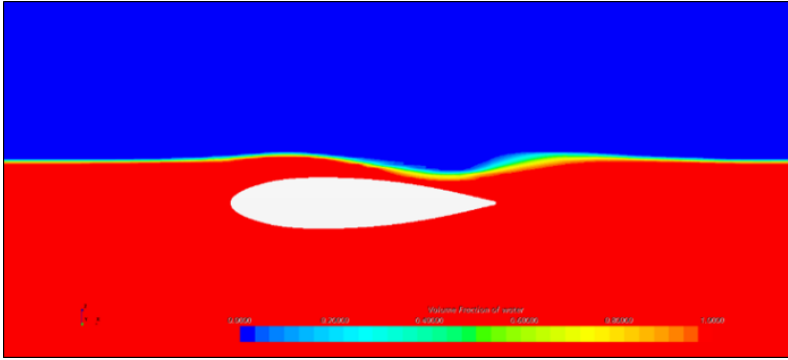
Şekil 12-15'te AUV modellerinin serbest su yüzeyi üzerindeki etkileri ve  $h=0,0625L$  ve  $h=1L$  derinliklerinde normal ve döndürülmüş konumlarda 5 m/s hızla ilerlerken oluşturdukları dalgalar gösterilmektedir. Serbest su yüzeylerindeki bozulmalardan da anlaşılacağı gibi, AUV modelinin yüzeye yakın hareketinde oluşan dalgaların girişim etkisi, denizaltıların ve AUV'lerin hidrodinamik direnç kuvvetlerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken çok önemli bir etkiye sahiptir.



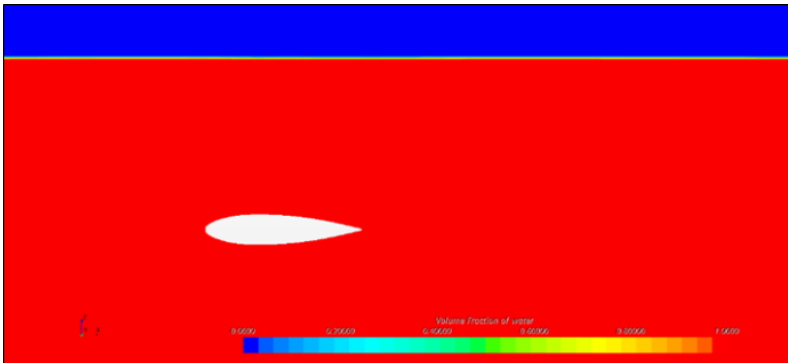
Şekil 12: AUV'nin normal pozisyonda ve "Derinlik\_1'de 5 m/s hızla seyir hali



Şekil 13: AUV'nin normal pozisyonda ve "Derinlik\_4"de 5 m/s hızla seyir hali



Şekil 14: AUV'nin döndürülmüş pozisyonda ve "Derinlik\_1"de 5 m/s hızla seyir hali



Şekil 15: AUV'nin döndürülmüş pozisyonda ve "Derinlik\_4"de 5 m/s hızla seyir hali

## **2. SONUÇLAR**

Bu araştırma, serbest yüzeyden farklı mesafelerde seyreden eksenel asimetric otonom bir su altı aracı (AUV) üzerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonlarının gerçekleştirilmesini içermektedir. Çalışma, aracın hidrodinamik özelliklerini farklı koşullar altında araştırmayı amaçlamış; serbest yüzeye yakınlığın, özellikle direnç kuvvetleri açısından aracın hidrodinamiğini nasıl etkilediğine odaklanmıştır.

Bulgular, aracın serbest yüzeye yaklaşma mesafesinin, özellikle direnç kuvvetlerini artıracak şekilde hidrodinamik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Bir AUV ve/veya denizaltı serbest yüzeye yaklaştığında, batarya enerjisinden tasarruf etmek için ya yavaşlamalı ya da hemen daha derine dalmalıdır. Eksenel asimetric bir AUV serbest yüzeye yakın bölgede hareket ederken, araç, eksenel simetric bir AUV'den biraz daha yüksek hidrodinamik dirence sahiptir. Dolayısıyla burada saptanan sonuçlar, AUV ve denizaltı tasarımında dikkate alınması gereken temel tasarım kriterleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Brogia, R., Di Mascio, A., & Muscari, R. (2006). Numerical Study of Confined Water Effects On a Self-Propelled Submarine In Steady Manoeuvres. The Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference.
- Carrica, P., Kerkvliet, M., Quadvlieg, F., Pontarelli, M., & Martin, J. (2016). CFD simulations and experiments of a maneuvering generic submarine and prognosis for simulation of near-surface operation.
- Darrigol, O. (2005). *Worlds of flow: A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl* / Olivier Darrigol. Oxford: Oxford University Press.
- Dawson, E. (2014). An investigation into the effects of submergence depth, speed and hull length-to-diameter ratio on the near surface operation of conventional submarines. Retrieved from <https://figshare.utas.edu.au/ndownloader/files/40960289>
- Gertler, M., & Hagen, G. R. (1967). Standard equations of motion for submarine simulation. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center. <https://doi.org/10.21236/ad0653861>
- Gürsel, K. T., & Taner, M. (2019). Hydrodynamic Potential Improvement of Pontoon Boats. Retrieved from <https://www.ingentaconnect.com/content/asne/nej/2019/00000131/0000002/art00017>
- Jagadeesh, P., & Murali, K. (2010). RANS Predictions of Free Surface Effects on Axisymmetric Underwater Body. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*.
- Lighthill, J. (2001). *Waves in fluids*. Cambridge mathematical library. Cambridge: Cambridge University Press.
- Liu, H.-L., & Huang, T. T. (1998). Summary of DARPA Suboff Experimental Program Data. Fort Belvoir, VA: Defense Technical Information Center. <https://doi.org/10.21236/ada359226>
- Mansoorzadeh, S., & Javanmard, E. (2014). An investigation of free surface effects on drag and lift coefficients of an autonomous underwater vehicle (AUV) using computational and experimental fluid ... Retrieved from [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889974614001856?casa\\_token=bapbu7ypalwaaaaa:xwxyz5p4foqu4eu7ij7nrcjha6dovlniq-sw1wdm1sfrkzxbg5clyjdusx2lydsv3dt-pztt2a1w](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889974614001856?casa_token=bapbu7ypalwaaaaa:xwxyz5p4foqu4eu7ij7nrcjha6dovlniq-sw1wdm1sfrkzxbg5clyjdusx2lydsv3dt-pztt2a1w)



- Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2017). *Ship resistance and propulsion* (Second edition). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nematollahi, A., Dadvand, A., & Dawoodian, M. (2015). An axisymmetric underwater vehicle-free surface interaction: A numerical study. *Ocean Engineering*, 96, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.12.028>
- Polis, C., Ranmuthugala, D., Duffy, J., & Renilson, M. (2013). Enabling the prediction of manoeuvring characteristics of a submarine operating near the free surface. Retrieved from [https://figshare.utas.edu.au/articles/conference\\_contribution/enabling\\_the\\_prediction\\_of\\_manoeuvring\\_characteristics\\_of\\_a\\_submarine\\_operating\\_near\\_the\\_free\\_surface/23091509/1](https://figshare.utas.edu.au/articles/conference_contribution/enabling_the_prediction_of_manoeuvring_characteristics_of_a_submarine_operating_near_the_free_surface/23091509/1)
- Raphaël, E., & Gennes, P. (1996). Capillary gravity waves caused by a moving disturbance: Wave resistance. *Physical Review E*, 53(4), 3448–3455. <https://doi.org/10.1103/physreve.53.3448>
- Salari, M., & Rava, A. (2017). Numerical investigation of hydrodynamic flow over an AUV moving in the water-surface vicinity considering the laminar-turbulent transition. *Journal of Marine Science and Application*, 16(3), 298–304. <https://doi.org/10.1007/s11804-017-1422-x>



**ISBN: 978-625-367-544-8**