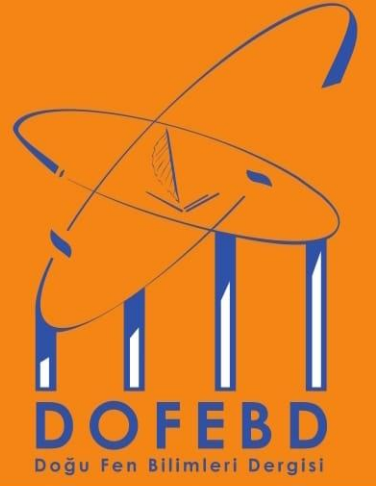




DOFEBD

DOĞU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

JOURNAL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF EAST



**HAKKARI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOĞU FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ**



Yılda 2 kez yayımlanır.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dfbd>

dofebd@hakkari.edu.tr

Sahibi

Prof. Dr. Musa GENÇCELEP
Rektör

Sorumlu Müdür

Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

Baş Editör

Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ
metinertas@hakkari.edu.tr

Yönetici Editör

Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU
erkanazizoglu@hakkari.edu.tr

Yardımcı Editör

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN
tayfuncetin@hakkari.edu.tr

Mizanpajcı

Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ

Editör Kurulu

Prof. Dr. Can YILMAZ
Prof. Dr. Hakan GÜNDOĞMUŞ
Prof. Dr. Şevket ŞİMŞEK
Doç. Dr. Mehmet Macit ERTUŞ
Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN

Prof. Dr. Mehmet Sait TAYLAN
Prof. Dr. Cemal ULUTAŞ
Doç. Dr. Melek ERDEK
Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ

Alan Editörleri

Prof. Dr. Mehmet Nuri BODUR
Prof. Dr. Şevket ŞİMŞEK
Doç. Dr. Hakan GÜNDOĞMUŞ
Doç. Dr. Abdulahad DOĞAN
Doç. Dr. Selçuk EŞSİZ
Dr. Öğr. Üyesi Emrah ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN

Doç. Dr. Melek ERDEK
Doç. Dr. Gülistan KAYA GÖK
Dr. Öğr. Üyesi Şengal BAĞCI TAYLAN
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YURDERİ
Dr. Öğr. Mustafa Emre AKÇAY
Dr. Öğr. Üyesi Metin ERTAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer MÜKEMRE

Sekreter

Sevgi Pınar ZEYDAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Bütünleşik Kodlama Modellemesi ile Karesel ve Üçgensel Sayılardan Algoritmik Şifreleme Oluşturulması Generating Algorithmic Cipher from Quadratic and Triangular Numbers with Integrated Coding Modelling Bahar KULOĞLU	1
Siirt'in Kurtalan İlçesinde Buğday Mahsullerini Kirleten Yabancı Ot Tohumlarının Belirlenmesi Determination of Weed Seeds Contaminating Wheat Crops in Siirt's Kurtalan District Mesut SIRRI, Sipan SOYSAL	16
Batmış (Cil) Gölü (Bitlis) Ornitofaunası Üzerine Bir Araştırma A Study on Ornithofauna of Batmış (Cil) Lake (Bitlis) Hümeyra Nergiz Uyar, Ramazan Alanmış	30
Machining of AISI 52100 Steel: Statistical Insights into Dry Environment with Variable Tool Nose Radius AISI 52100 Çeliğinin İşlenmesi: Değişken Takım Ucu Yarıçapına Sahip Kuru Ortama İlişkin İstatistiksel Bilgiler Songül KARABULUT, Rüstem BİNALİ, Mehmet Erdi KORKMAZ, Tayfun ÇETİN	39
Design, Modeling, and Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of an Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Otonom Sualtı Aracının (AUV) Tasarımı, Modellemesi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Analizi Hakan TERZİOĞLU, Furkan CENGİZ	53

Bütünleşik Kodlama Modellemesi ile Karesel ve Üçgensel Sayılardan Algoritmik Şifreleme Oluşturulması

Bahar KULOĞLU^{1*}

¹ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Sivas, Türkiye
e-mail: bkuloglu@sivas.edu.tr

DOI: 10.57244/dfbd.1567632

Geliş tarihi/Received:15/10/2024

Kabul tarihi/Accepted:18/03/2025

Özet

Bu çalışmada 29 harfli Türk alfabesine karşılık gelen rakamlar boşluk (●) dahil "n"den "n+29" a kadar yazılmıştır. Kodlanacak kelime veya herhangi bir verinin her bir harfine karşılık gelen sayılar harf sırasına göre yazılmış ve sayılar mod30'a göre yeniden düzenlenmiştir. Daha sonra mod30'a göre düzenlenen sayılara karşılık gelen harf kullanılarak oluşturulan metnin her harfini temsil eden bir kod oluşturulmuştur. Kodlanan metnin her türlü saldırı ve virüslere karşı korunması amacıyla $Z_{n+1}Z_{n-1} - Z_n^2 = -2n^2 + 1$ (Karesel sayılar için Cassini Özdeşliği) ile ikinci dereceden sayılardan oluşan matris formatının (Z_n) her bir elemanı belirli işlem ve yöntemlerden sonra çözülmüştür. Özellikle çalışmanın devamında yukarıda verilen şifreleme işlemlerine farklı bir boyut kazandırmak yani daha güçlü bir şifreleme ve şifre çözme algoritması oluşturarak geçerlilik ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla i'nin tek veya çift olmasına göre hem karesel hem de üçgensel sayılar dikkate alınarak "Bütünleşik Kodlama" adını verdiğimiz yeni bir şifreleme modellemesi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kriptoloji, Metin şifreleme, Karesel sayılar, Üçgensel sayılar

Generating Algorithmic Cipher from Quadratic and Triangular Numbers with Integrated Coding Modelling

Abstract

In this study, the numbers corresponding to the 29-letter Turkish alphabet were written from 'n' to 'n+29' including the space (●). The numbers corresponding to each letter of the word or any data to be coded were written in letter order and the numbers were rearranged according to mod30. Then, a code representing each letter of the text was created by using the letter corresponding to the numbers arranged according to mod30. In order to protect the encoded text against all kinds of attacks and viruses, $Z_{n+1}Z_{n-1} - Z_n^2 = -2n^2 + 1$ (Cassini Identity for quadratic numbers) and each element of the matrix format consisting of quadratic numbers (Z_n) was decoded after certain operations and methods. In the continuation of the study, to add a different dimension to the encryption processes given above, that is, to increase the validity and reliability by creating a stronger encryption and decryption algorithm, a new encryption modelling, which we call 'Integrated Coding', has been created by considering both quadratic and triangular numbers according to whether is odd or even.

Keywords: Cryptology, Text encryption, Quadratic numbers, Triangular numbers.

Giriş

Kriptoloji, bilgilerin gizlenmesi ve korunması için kullanılan matematiksel tekniklerin bir bütünüdür (Kriptografi, 2023). En basit tanımıyla şifreleme bilimi olarak da bilinen bu alan, bilginin istenmeyen kişiler tarafından okunamayacak şekilde yeniden farklı bir forma dönüştürülmesini sağlar.

Kriptolojinin tarihi, insanlığın bilgi güvenliğine duyduğu ihtiyaç kadar eskidir. Mısır hiyerogliflerinden Jül Sezar'ın kullandığı şifreleme yöntemine kadar uzanan bu tarih, günümüzde dijital dünyanın güvenliğini sağlamada da kritik rol oynamaktadır. Yapılan literatür taramalarında sayı dizileri üzerinde birçok şifreleme ve şifre çözme algoritmalarına rastlamaktayız (Kuloğlu ve ark., 2023a; Kuloğlu ve ark., 2023b; Eser ve ark., 2023; Uçar ve ark., 2019; Stakhov, 1999; Dişkaya ve ark., 2022; Stakhov, 2006; Basu ve ark., 2009; Wang ve ark., 2010; Prajapat ve ark., 2014).

Sayı dizilerini temel alan şifreleme ve şifre çözme algoritmaları, kriptolojinin temelini oluşturur. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dijital bilginin güvenli iletimi ve korunması daha da önem kazanmıştır. Bu bağlamda, karesel sayılar (Eric), matrisler ve determinantlar üzerine kurulu yeni bir kodlama ve kod çözme algoritması geliştirilmiştir.

Algoritmamızın temel özellikleri: Virüslere, frekans saldırılarına ve yetkisiz erişime karşı daha yüksek güvenlik, askeri, politik, ticari ve kişisel alanlarda kullanılabilirlik, akıllı kartlar, yazılım ve donanım uygulamaları, blok ve akan şifreler gibi geniş bir yelpazede uygulama imkânı, modern kriptanaliz yöntemleriyle uyumluluk olup; çalışmanın amacı ise bilgi güvenliğine yönelik yeni ve daha güvenilir bir çözüm sunmak, farklı alanlarda kullanılabilecek esnek ve güçlü bir algoritma geliştirmek ve kriptoloji bilimine katkıda bulunmaktır.

Bütün bu çalışmalardan esinlenip üzerinde çalışılmış olan şifreleme ve şifre çözme sistemlerini göz önüne alarak daha önce çalışılmamış karesel sayılarla matris/determinant ilişkileriyle isimlendirdiğimiz Bütünleşik Kodlama modeliyle daha güçlü bir şifreleme yöntemi olarak oluşturuldu.

Fibonacci dizisi F_n , $F_0 = 0$ ve $F_1 = 1$ başlangıç şartları olmak üzere

$$F_{n+1} = F_{n-1} + F_n, n \geq 1, n \in \mathbb{N}$$

bağıntısıyla verilir. Bu dizinin ilk birkaç terimi; 0,1,1,2,3,5,8,13,21,34, ... şeklindedir.

Fibonacci matrisi,

$$Q = \begin{pmatrix} F_{n+1} & F_n \\ F_n & F_{n-1} \end{pmatrix}$$

şeklinde tanımlanır. Burada dikkat edilirse Q matrisinin determinanı, $\det Q = (-1)^n$ dir. Örneğin $n = 5$ için

$$\det Q = \det \begin{pmatrix} F_6 & F_5 \\ F_5 & F_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 & 5 \\ 5 & 3 \end{pmatrix} = 8 \cdot 3 - 5 \cdot 5 = (-1)^5 = -1$$

Fibonacci dizileri için Cassini özdeşliği (Beall)

$$F_{n+1}F_{n-1} - F_n^2 = (-1)^n, n \geq 1 \text{ bağıntısı ile verilir.}$$

Sayı dizileri için de önemli bir eşitlik olan ve Curry paradoksunun çözümü gibi birçok yerde kullanıma sahip olan Cassini özdeşliği, her iki modellemeye de kullanılmıştır. İlginç olan ve bizi kullanıma iten güç tabiki Fibonacci matrisinin determinant değerinin Cassini özdeşliğinin sağ tarafını vermesidir.

Yaptığımız bu şifreleme yöntemi, günümüzde bilgi güvenliği son yıllarda daha önemli bir sorun haline geldiğinden bu alanda yapılan kodlama ve kod çözme algoritmaları bu güvenliğin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada yapılan literatür taraması ile matematiksel işlemlerde kullanılan mantıksal tasarım ve bilimsel metotlardan yararlanılmıştır.

Bu anlamda sayı dizilerine karşı artan ilgi de göz önüne alınarak ilk olarak yapılan çalışmalar üzerinde durduğumuzda Fibonacci sayıları ya da Pascal üçgeninin bağlantılı örnekleri incelenmiş olup bu sayıların doğada, bilimde özellikle “ALTIN ORAN” adı altında birçok uygulamasına rastlanılmıştır. Bu bağlamda ilham kaynağım bu şekilde bir örüntüye sahip olan Pascal üçgeni ile özdeşleştirmiş olduğumuz karesel sayılar olmuştur. Karesel sayılar ilk terimleri 1, 4, 9, 16, ... olan ve genel terimi $Z_n = n^2$ şeklinde tanımlanmış bir sayı dizisidir (“Karesel sayı,” 2023).

Çalışmanın devamında yukarıda verilen şifreleme işlemlerine farklı boyut kazandırmak amacıyla yani daha güçlü bir şifreleme ve şifre çözme algoritması oluşturularak geçerlilik ve güvenirliliğin artırılması için i nin tek ve çift olma durumuna göre hem karesel hem de üçgensel sayılar ele alınıp “Bütünleşik Kodlama” adını verdiğimiz yeni bir şifreleme modellemesi oluşturulmuştur.

Bu modelleme de şifrelerken karesel sayılar ve blok matrisler kullanılırken şifre çözmede ise matrisin determinantına karşılık gelen karesel sayılar için Cassini özdeşliği, $Z_{n+1}Z_{n-1} - Z_n^2 = -2n^2 + 1$, kullanılmıştır.

Bulgular

Bu kısımda şifreleme ve şifre çözmede sayı dizilerinden yararlanılmıştır. Matris yöntemi ile oluşturacağımız 4×4 mertebeli X matrisi, 2×2 mertebeli B_1, B_2, B_3 ve B_4 blok matrislerine aşağıdaki gibi ayrılır. Yani

$$X = \begin{pmatrix} a & z & c & d \\ e & f & g & h \\ k & l & m & n \\ o & ö & p & r \end{pmatrix}$$

$$B_1 = \begin{pmatrix} a & z \\ e & f \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} c & d \\ g & h \end{pmatrix}, B_3 = \begin{pmatrix} k & l \\ o & ö \end{pmatrix} \text{ ve } B_4 = \begin{pmatrix} m & n \\ p & r \end{pmatrix} \text{ matrisleri elde edilir.}$$

Blok matris sayısını b ile gösterirsek; n' yi

$n = \begin{cases} 3, & b \leq 3 \\ b, & b > 3 \end{cases}$ şeklinde tanımlayabiliriz. Bu çalışmada karesel sayılar ve buna bağlı olarak elde edilen “Cassini özdeşliği” kullanılarak üretilen yeni kod ve kod çözme algoritmasını uyguluyoruz. 29 harfli Türkçe alfabeye ek olarak (●) boşluk dahil olacak şekilde 30 harfli A, B, C, ..., (●) karakterlerine sırasıyla $n, n+1, n+2, n+3, \dots, n+29$ karşılık gelecek şekilde yerleştirilir.

Tablo 1. Harflere karşılık gelen kod sayıları

A	B	C	Ç	D	E	F	G	Ğ	H
n	$n + 1$	$n + 2$	$n + 3$	$n + 4$	$n + 5$	$n + 6$	$n + 7$	$n + 8$	$n + 9$
I	İ	J	K	L	M	N	O	Ö	P
$n + 10$	$n + 11$	$n + 12$	$n + 13$	$n + 14$	$n + 15$	$n + 16$	$n + 17$	$n + 18$	$n + 19$
R	S	Ş	T	U	Ü	V	Y	Z	•
$n + 20$	$n + 21$	$n + 22$	$n + 23$	$n + 24$	$n + 25$	$n + 26$	$n + 27$	$n + 28$	$n + 29$

Tablo1’deki n sayısına bağlı olarak elde ettiğimiz veriler ile X matrisi oluşturulur. Sonra X matrisi B_i blok matrislerine ayrılır. Oluşan blok sayısına bağlı olarak n değeri belirlenir. Harflere karşılık gelen değerler. Yazılan değerlere karşılık oluşan blok matrislerin determinantları yazılır hesaplanır. Bu determinantlar 4×4 mertebeli aşağıdaki S matrisinin ilk sütununa yazılır. İkinci sütuna sırasıyla B_1, B_2, B_3 ve B_4 matrislerinin 1. Satır ve 1.sütundaki elamanları, üçüncü sütuna sırasıyla B_1, B_2, B_3 ve B_4 matrislerinin 1. satır ve 2. sütundaki elamanları ve son olarak dördüncü sütuna sırasıyla B_1, B_2, B_3 ve B_4 matrislerinin 2. Satır ve 2.sütundaki elamanları yazılır. 2. satır ve 2. sütundaki değerleri yazmamamızın sebebi şifre çözme yönteminin doğru çalışıp çalışmadığını kontrol etmek içindir. Eğer aşağıda verilen (1) eşitliğindeki x_i değerlerinin 2. satır ve 2. sütundaki değerleri veriyorsa bu durumunda şifre çözme algoritması doğru çalışıyor demektir. Burada 2. satır ve 2. sütundaki değerler rastgele seçilmiş olup 2. satır ve 2. sütundaki değerler dışında diğer satır ve sütunlardan herhangi biri için de benzer işlemler yapılabilir. Böylece şifreleme algoritması sonlandırılır.

Şifre çözme algoritması başlatılır. Şifre çözme algoritmasında kullanacağımız terimlerden olan $\bar{Z}_n$ aşağıda verilen Z_n matrisinin her bir elemanını temsil etmektedir. Karesel sayılar matris formatı ile

$$Z_n = \begin{pmatrix} \bar{Z}_{n+1} & \bar{Z}_n \\ \bar{Z}_n & \bar{Z}_{n-1} \end{pmatrix} \text{ şeklinde gösterilir.}$$

Benzer şekilde üçgensel sayılar

$$T_n = \begin{pmatrix} \tilde{T}_{n+1} & \tilde{T}_n \\ \tilde{T}_n & \tilde{T}_{n-1} \end{pmatrix}$$

matris formatı ile gösterilir ve karesel sayılar için elde edilen ve şifre çözme esnasında kullanılan formül üçgensel sayılar içinde $T_{n-1}T_{n+1} - T_n^2 = -T_n$ şeklinde elde edilir.

Daha sonra t_1^i, t_2^i değerleri hesaplanır ve

$$\begin{aligned} t_1^i &= \bar{Z}_1 b_1^i + \bar{Z}_3 b_3^i \\ t_2^i &= \bar{Z}_2 b_2^i + \bar{Z}_4 b_4^i \end{aligned}$$

Şeklinde formüle edilir. Burada $b_k^i, k = 1, 2, 3, 4$ değerleri verilen cümlelerden oluşturulan X kare matrisinin 2×2 kare matrislerine bölünmesinden sonra elde edilen B_k matrisinin elemanlarını temsil etmektedir.

Son olarak B_k matrisinin değerlerini bulmak için aşağıda bulunan formül kullanılarak şifre çözme algoritmasının doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Bu formül

$$(-2n^2 + 1)d_i = s_1^i(\bar{Z}_2 x_i + \bar{Z}_4 b_4^i) - t_2^i(\bar{Z}_1 x_i + \bar{Z}_3 b_3^i) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir.

Böylece şifre çözme algoritması sonlandırılır. Yukarıdaki işlemleri daha sistematik olması açısından algoritmik olarak aşağıdaki örneği göz önüne alalım.

Örnek:

“KAYBET VE ÖĞREN” kelimesini ele alalım.

İlk olarak X matrisini ve bloklara ayrılmış B_i matrislerini oluşturalım. X matrisi

$$X = \begin{pmatrix} K & A & Y & B \\ E & T & \bullet & V \\ E & \bullet & Ö & Ğ \\ R & E & N & \bullet \end{pmatrix} \text{şeklinde olur. Böylece,}$$

$$B_1 = \begin{pmatrix} K & A \\ E & T \end{pmatrix} \quad B_2 = \begin{pmatrix} Y & B \\ \bullet & V \end{pmatrix} \quad B_3 = \begin{pmatrix} E & \bullet \\ R & E \end{pmatrix} \quad B_4 = \begin{pmatrix} Ö & Ğ \\ N & \bullet \end{pmatrix}$$

Blok matrisleri elde edilir. 4 adet 2×2 blok matris olduğu için $b = 4 > 3$ olur ve n' nin tanımından $n = 4$ elde edilir. O halde $mod30$ 'a göre değerleri yeniden yazarsak:

K	A	Y	B	E	T
17	4	1	5	9	27
V	Ö	Ğ	R	N	•
0	22	12	24	20	3

elde edilir.

Aşağıda $mod30$ 'a göre blok matris elemanlarının aldığı değerleri yerine yazılmıştır:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 17 & 4 \\ 9 & 27 \end{pmatrix} \quad B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} \quad B_3 = \begin{pmatrix} 9 & 3 \\ 24 & 9 \end{pmatrix} \quad B_4 = \begin{pmatrix} 22 & 12 \\ 20 & 3 \end{pmatrix}$$

Blok matrisleri satır ve sütun sıralarına göre şu şekilde yazalım:

$$\begin{array}{llll} b_1^1 = 17 & b_1^2 = 1 & b_1^3 = 9 & b_1^4 = 22 \\ b_2^1 = 4 & b_2^2 = 5 & b_2^3 = 3 & b_2^4 = 12 \\ b_3^1 = 9 & b_3^2 = 3 & b_3^3 = 24 & b_3^4 = 20 \\ b_4^1 = 27 & b_4^2 = 0 & b_4^3 = 9 & b_4^4 = 3 \end{array} \quad (2)$$

Şimdi $mod30$ 'a göre blok matrislerin determinant hesaplamalarını yapalım:

$$\begin{array}{l} \det(B_1) = d_1 = 459 - 36 = 423 \\ \det(B_2) = d_2 = 0 - 15 = -15 \\ \det(B_3) = d_3 = 81 - 72 = 9 \\ \det(B_4) = d_4 = 66 - 240 = -174 \end{array} \quad (3)$$

(2) ve (3)' ten S matrisi elde edilir:

$$S = \begin{pmatrix} 423 & 17 & 4 & 27 \\ -15 & 1 & 5 & 0 \\ 9 & 9 & 3 & 9 \\ -174 & 22 & 12 & 3 \end{pmatrix}$$

Böylece şifreleme algoritması sonlandırılır. Şifre çözme algoritması başlatılır.

Öncelikle karesel sayılardan oluşan matris gösteriminde bulmuş olduğumuz $n = 4$ değeri için aşağıdaki matrisi oluşturalım:

$$Z_4 = \begin{pmatrix} \bar{Z}_5 & \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_4 & \bar{Z}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 25 & 16 \\ 16 & 9 \end{pmatrix}$$

Buradan $\bar{Z}_1 = 25$, $\bar{Z}_2 = 16$, $\bar{Z}_3 = 16$, $\bar{Z}_4 = 9$ olduğu görülür.

Şimdi t_1^i ve t_2^i değerlerini hesaplayalım:

$$t_1^1 = \bar{Z}_1 b_1^1 + \bar{Z}_3 b_2^1 = 25.17 + 16.4 = 489$$

$$t_1^2 = \bar{Z}_1 b_1^2 + \bar{Z}_3 b_2^2 = 25.1 + 16.5 = 105$$

$$t_1^3 = \bar{Z}_1 b_1^3 + \bar{Z}_3 b_2^3 = 25.9 + 16.3 = 273$$

$$t_1^4 = \bar{Z}_1 b_1^4 + \bar{Z}_3 b_2^4 = 25.22 + 16.12 = 742$$

ve

$$t_2^1 = \bar{Z}_2 b_1^1 + \bar{Z}_4 b_2^1 = 16.17 + 9.4 = 308$$

$$t_2^2 = \bar{Z}_2 b_1^2 + \bar{Z}_4 b_2^2 = 16.1 + 9.5 = 61$$

$$t_2^3 = \bar{Z}_2 b_1^3 + \bar{Z}_4 b_2^3 = 16.9 + 9.3 = 171$$

$$t_2^4 = \bar{Z}_2 b_1^4 + \bar{Z}_4 b_2^4 = 16.22 + 9.12 = 460$$

elde edilir.

Şimdi x_1, x_2, x_3 ve x_4 elemanlarının değerlerini bulalım:

$$(-2n^2 + 1) d_1 = t_1^1(\bar{Z}_2 x_1 + \bar{Z}_4 b_4^1) - t_2^1(\bar{Z}_1 x_1 + \bar{Z}_3 b_4^1)$$

$$-31.423 = 489(16.x_1 + 9.27) - 308(25.x_1 + 16.27)$$

$$-13113 = 124x_1 - 14229$$

$$1116 = 124x_1$$

$$x_1 = b_3^1 = 9,$$

$$(-2n^2 + 1) d_2 = t_1^2(\bar{Z}_2 x_2 + \bar{Z}_4 b_4^2) - t_2^2(\bar{Z}_1 x_2 + \bar{Z}_3 b_4^2)$$

$$-31.-15 = 105(16.x_2 + 9.0) - 61(25.x_2 + 16.0)$$

$$465 = 1680x_2 - 1525x_2$$

$$465 = 155x_2$$

$$x_2 = b_3^1 = 3,$$

$$(-2n^2 + 1) d_3 = t_1^3(\bar{Z}_2 x_3 + \bar{Z}_4 b_4^3) - t_2^3(\bar{Z}_1 x_3 + \bar{Z}_3 b_4^3)$$

$$-31.9 = 273(16.x_3 + 9.9) - 171(25.x_3 + 16.9)$$

$$-279 = 93x_3 - 2511$$

$$2232 = 93x_3$$

$$x_3 = b_3^1 = 24,$$

$$(-2n^2 + 1) d_4 = t_1^4(\bar{Z}_2 x_4 + \bar{Z}_4 b_4^4) - t_2^4(\bar{Z}_1 x_4 + \bar{Z}_3 b_4^4)$$

$$-31.-174 = 742(16.x_4 + 9.3) - 460(25.x_4 + 16.3)$$

$$5394 = 372x_4 - 2046$$

$$7440 = 372x_4$$

$$x_4 = b_3^1 = 20.$$

Bulmuş olduğumuz x_1, x_2, x_3 ve x_4 değerleri aradığımız 2. satır ve 2. sütundaki değerleri yani $m_3^i, 1 \leq i \leq 4$ elemanlarına denk geldiğinden algoritmamızın doğru çalıştığı sonucuna varılmaktadır. Şimdi B_i matrislerini oluşturalım:

$$B_1 = \begin{pmatrix} 17 & 4 \\ 9 & 27 \end{pmatrix} \quad B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} \quad B_3 = \begin{pmatrix} 9 & 3 \\ 24 & 9 \end{pmatrix} \quad B_4 = \begin{pmatrix} 22 & 12 \\ 20 & 3 \end{pmatrix}$$

Buradan X matrisini oluşturursak;

$$X = \begin{pmatrix} 17 & 4 & 1 & 5 \\ 9 & 27 & 3 & 0 \\ 9 & 3 & 22 & 12 \\ 24 & 9 & 20 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K & A & Y & B \\ E & T & \bullet & V \\ E & \bullet & Ö & Ğ \\ R & E & N & \bullet \end{pmatrix}$$

elde ederiz böylece gönderdiğimiz mesaj cümlesine ulaşmış olduğumuz için şifreleme ve şifre çözme algoritmasının doğru çalıştığını ispat ederek işlemi sonlandırmış oluruz. Yukarıda ele almış olduğumuz adımlarda detaylı olarak karesel sayılarda kodlama işlemini gösterdikten sonra, yapılan kodlama işlemlerinde daha güçlü ve güvenilir bir kodlama oluşturmak için ikinci aşamaya geçtik. Bu aşamada hem üçgensel hem karesel sayıları kullanarak “Bütünleşik Kodlama” adını verdiğimiz bir şifreleme ve şifre çözme algoritması oluşturduk.

Bu kısımda ele alacağımız bu yeni yöntemde hem üçgensel hem de karesel sayılara ait matris formundan yola çıkılarak i nin tek olduğu durumlarda üçgensel matris formatı kullanılırken çift olduğu durumlarda ise karesel sayılardan oluşan matris formatı üzerinden işlemler yapılacaktır. Bu şekilde şifre çözme işlemi daha karmaşık ve güçlü hale gelecektir.

Bütünleşik Kodlama Modeli

Kodlama Algoritması:

Adım 1: K matrisini blok B_i matrislerine böl.

Adım 2: n sayısını bul.

Adım 3: b_j^i ($1 \leq j \leq 4$) değerlerini bul.

Adım 4: B_i matrislerinin determinantlarını hesapla. ($\det(B_i) = d_i$)

Adım 5: $F = [\det(B_i), b_k^i]$ matrisini oluştur.

Adım 6: Algoritmayı sonlandır.

Kod Çözme Algoritması:

Adım 1: T_n matrisini oluştur.

Adım 2: Z_n matrisini oluştur.

Adım 3: $\check{T}_{n+1}b_1^i + \check{T}_nb_2^i \rightarrow e_1^i$ oluştur.

Adım 4: $\check{Z}_{n+1}.b_1^i + \check{Z}_n.b_2^i \rightarrow e_1^i$ oluştur.

Adım 5: $\check{T}_nb_1^i + \check{T}_{n-1}b_2^i \rightarrow e_2^i$ oluştur.

Adım 6: $\check{Z}_n.b_1^i + \check{Z}_{n-1}.b_2^i \rightarrow e_2^i$ oluştur.

Adım 7: $-T_n.d_i = e_1^i(\check{T}_nb_3^i + \check{T}_{n-1}x_i) - e_2^i(\check{T}_{n+1}b_3^i + \check{T}_nx_i)$ çöz.

Adım 8: $(-2n^2 + 1)d_i = e_1^i(\check{Z}_nb_3^i + \check{Z}_{n-1}x_i) - e_2^i(\check{Z}_{n+1}b_3^i + \check{Z}_nx_i)$ çöz.

Adım 9: $x_i = b_4^i$

Adım 10: Algoritmayı sonlandır.

Yukarıda adımları aşağıdaki örnek üzerinden gösterelim.

Örnek:

“İNSANI SADECE BİLİM SANAT YÜCELTİR” cümlesini aşağıdaki şekilde X matrisinin içerisine yerleştirelim.

$$X = \begin{bmatrix} \dot{I} & N & S & A & N & I \\ . & S & A & D & E & C \\ E & . & B & \dot{I} & L & \dot{I} \\ M & . & S & A & N & A \\ T & . & Y & \ddot{U} & C & E \\ L & T & \dot{I} & R & . & . \end{bmatrix}$$

Kodlama Algoritması:

Adım 1: X matrisini blok (2x2) mertebeli B_i matrislerine böl.

$$\begin{aligned} B_1 &= \begin{bmatrix} \dot{I} & N \\ . & S \end{bmatrix}, & B_2 &= \begin{bmatrix} S & A \\ A & D \end{bmatrix}, & B_3 &= \begin{bmatrix} N & I \\ E & C \end{bmatrix} \\ B_4 &= \begin{bmatrix} E & . \\ M & . \end{bmatrix}, & B_5 &= \begin{bmatrix} B & \dot{I} \\ S & A \end{bmatrix}, & B_6 &= \begin{bmatrix} L & \dot{I} \\ N & A \end{bmatrix} \\ B_7 &= \begin{bmatrix} T & . \\ L & T \end{bmatrix}, & B_8 &= \begin{bmatrix} Y & \ddot{U} \\ \dot{I} & R \end{bmatrix}, & B_9 &= \begin{bmatrix} C & E \\ . & . \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Adım 2: $b > 3$ için $n = b$ olduğundan $b = 9 = n$ olur. $n = 9$ için karakter tablosundan X matrisindeki harfleri yerleştirirsek;

$$\begin{array}{cccccccccc} \dot{I} & N & S & A & N & I & . & S & A & D & E & C & E & . \\ \hline 20 & 25 & 0 & 9 & 25 & 19 & 8 & 0 & 9 & 13 & 14 & 11 & 14 & 8 \\ B & \dot{I} & L & \dot{I} & M & . & S & A & N & A & T & . & Y & \ddot{U} & C & E & L & T & \dot{I} & R & . & . \\ \hline 10 & 20 & 23 & 20 & 24 & 8 & 0 & 9 & 25 & 9 & 2 & 8 & 6 & 4 & 11 & 14 & 23 & 2 & 20 & 29 & 8 & 8 \end{array}$$

Adım 3:

$$\begin{aligned} b_1^1 &= 20 & b_2^1 &= 25 & b_3^1 &= 8 & b_4^1 &= 0 \\ b_1^2 &= 0 & b_2^2 &= 9 & b_3^2 &= 9 & b_4^2 &= 13 \\ b_1^3 &= 25 & b_2^3 &= 19 & b_3^3 &= 14 & b_4^3 &= 11 \\ b_1^4 &= 14 & b_2^4 &= 8 & b_3^4 &= 24 & b_4^4 &= 8 \\ b_1^5 &= 10 & b_2^5 &= 20 & b_3^5 &= 0 & b_4^5 &= 9 \\ b_1^6 &= 23 & b_2^6 &= 20 & b_3^6 &= 25 & b_4^6 &= 9 \\ b_1^7 &= 2 & b_2^7 &= 8 & b_3^7 &= 23 & b_4^7 &= 29 \\ b_1^8 &= 6 & b_2^8 &= 4 & b_3^8 &= 20 & b_4^8 &= 29 \\ b_1^9 &= 11 & b_2^9 &= 14 & b_3^9 &= 8 & b_4^9 &= 8 \end{aligned}$$

Adım 4: Şimdi B_i matrislerinin d_i determinantlarını hesapla.

$$\begin{aligned} \det(B_1) &= \begin{vmatrix} 20 & 25 \\ 8 & 0 \end{vmatrix} = d_1 = -200 \\ \det(B_2) &= \begin{vmatrix} 0 & 9 \\ 9 & 13 \end{vmatrix} = d_2 = -81 \\ \det(B_3) &= \begin{vmatrix} 25 & 19 \\ 14 & 11 \end{vmatrix} = d_3 = 275 - 266 = 9 \\ \det(B_4) &= \begin{vmatrix} 14 & 8 \\ 24 & 8 \end{vmatrix} = d_4 = 112 - 192 = -80 \\ \det(B_5) &= \begin{vmatrix} 10 & 20 \\ 0 & 9 \end{vmatrix} = d_5 = 90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\det(B_6) &= \begin{vmatrix} 23 & 20 \\ 25 & 9 \end{vmatrix} = d_6 = 207 - 500 = -293 \\
\det(B_7) &= \begin{vmatrix} 2 & 8 \\ 23 & 2 \end{vmatrix} = d_7 = 4 - 184 = -180 \\
\det(B_8) &= \begin{vmatrix} 6 & 4 \\ 20 & 29 \end{vmatrix} = d_8 = 174 - 80 = 94 \\
\det(B_9) &= \begin{vmatrix} 11 & 14 \\ 8 & 8 \end{vmatrix} = d_9 = 88 - 112 = 24
\end{aligned}$$

Adım 5: Adım 3 ve Adım 4 ten F matrisi oluşturuldu. Burada, b_4^i $i=1,2,3,4,5,6,7,8,9$ değerleri aranan değerler olduğu için yazılmamıştır.

$$F = \begin{bmatrix} -200 & 20 & 25 & 8 \\ -81 & 0 & 9 & 9 \\ 9 & 25 & 19 & 14 \\ -80 & 14 & 8 & 24 \\ 90 & 10 & 20 & 0 \\ -293 & 23 & 20 & 25 \\ -180 & 2 & 8 & 23 \\ 94 & 6 & 4 & 20 \\ -24 & 11 & 14 & 8 \end{bmatrix}$$

Adım 6: Algoritmayı sonlandır.

Kod Çözme Algoritması

Adım 1:

$$T_9 = \begin{bmatrix} \check{T}_{10} & \check{T}_9 \\ \check{T}_9 & \check{T}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 55 & 45 \\ 45 & 36 \end{bmatrix}$$

Adım 2:

$$Z_9 = \begin{bmatrix} \check{Z}_{10} & \check{Z}_9 \\ \check{Z}_9 & \check{Z}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100 & 81 \\ 81 & 64 \end{bmatrix}$$

Adım 3: Eğer i tek sayı ise biz T_n matrisini kullanacağız.

Şimdi e_1^i değerlerini $i = 1, 3, 5, 7, 9$ için hesaplayalım.

$$e_1^1 = 55.20 + 45.25 = 2225$$

$$e_1^3 = 55.25 + 45.19 = 2230$$

$$e_1^5 = 55.10 + 45.20 = 1450$$

$$e_1^7 = 55.2 + 45.8 = 470$$

$$e_1^9 = 55.11 + 45.14 = 1235.$$

Adım 4: Eğer i çift sayı ise biz Z_n matrisini kullanacağız. Şimdi e_1^i değerlerini $i = 2,4,6,8$ için hesaplayalım.

$$e_1^2 = 100.0 + 81.9 = 729$$

$$e_1^4 = 100.14 + 81.8 = 2048$$

$$e_1^6 = 100.23 + 81.20 = 3920$$

$$e_1^8 = 100.6 + 81.4 = 920$$

Adım 5: i 'nin tek sayı değerleri için benzer şekilde T_n matrisini kullanalım.

$$e_2^1 = 45.20 + 36.25 = 1800$$

$$e_2^3 = 45.25 + 36.19 = 1809$$

$$e_2^5 = 45.10 + 36.20 = 1170$$

$$e_2^7 = 45.2 + 36.8 = 378$$

$$e_2^9 = 45.11 + 36.14 = 999$$

Adım 6: i 'nin çift sayı değerleri için benzer şekilde Z_n matrisini kullanalım.

$$e_2^2 = 81.0 + 64.9 = 576$$

$$e_2^4 = 81.14 + 64.8 = 1646$$

$$e_2^6 = 81.23 + 64.20 = 3143$$

$$e_2^8 = 81.6 + 64.4 = 742$$

Adım 7: Eğer tek sayı ise- $T_9.d_i$ değerini kullanacağız ($i = 1,3,5,7,9$)

$$-45.(-200) = 2225.(45.8 + 36.14) - 1800(55.8 + 45. x_1)$$

$$9000 = 9000 - 900 x_1$$

$$x_1 = 0,$$

$$-45.(9) = 2230(45.14 + 36 x_3)$$

$$-405 = 1.404.900 + 80.280 x_3 - 1.392.930 - 81.405 x_3$$

$$-405 = 11970 - 1125$$

$$x_3 = 11,$$

$$-45.90 = 1450.(45.0 + 36 x_5) - 1170(55.0 + 45 x_5)$$

$$-4050 = 52.200 x_5 - 52.650 x_5$$

$$-4050 = -450 x_5$$

$$-x_5 = 9,$$

$$-45.(-180) = 470.(45.23 + 36 x_7) - 378.(55.23 + 45. x_7)$$

$$8100 = 486450 + 16.920 x_7 - 478.170 - 17010 x_7$$

$$8100 = 8.280 - 90 x_7$$

$$180 = 90 x_7$$

$$x_7 = 2,$$

$$-45.(-24) = (45.8 + 36 x_9) - 999.(55.8 + 45 x_9)$$

$$1080 = 444600 + 44460 x_9 - 439560 - 44.955 x_9$$

$$1080 = 5040 - 495 x_9$$

$$3960 = 495 x_9$$

$$x_9 = 8,$$

Adım 8: Eğer i çift sayı ise $(-2n^2 + 1).d_i$ değerini kullanacağız. ($i = 2,4,6,8$)

$$(-2.81 + 1).(-81) = 4729.(81.9 + 46.656 x_2) - 576.(100.9 + 81 x_2)$$

$$13041 = 531.441 + 46.656 x_2 - 518400 - 46656 x_2$$

$$13041 = 13041$$

$$x_2 \in R$$

$$(-161).(-80) = 2048.(81.24 + 64 x_4) - 1646.(100.24 + 81 x_4)$$

$$12880 = 3981312 + 131072 x_4 - 3950400 - 133326 x_4$$

$$18032 = 2254 x_4$$

$$x_4 = 8,$$

$$(-161).(-293) = 3920.(81.25 + 64 x_6) - 3143.(100.25 + 81 x_6)$$

$$47173 = 7938000 + 250880 x_6 - 7857500 - 254583 x_6$$

$$\begin{aligned}
47173 &= 85000 - 3703 x_6 \\
33347 &= 3703 x_6 \\
x_6 &= 9, \\
(-161).(94) &= 924.(81.20 + 64 x_8) - 742.(100.20 + 81 x_8) \\
-15134 &= 1496880 + 59136 x_8 - 1484000 - 60102 x_8 \\
-15134 &= 12880 - 966 x_8 \\
28014 &= 966 x_8 \\
x_8 &= 29,
\end{aligned}$$

Adım 9:

$$\begin{aligned}
x_1 &= b_4^1 = 0, & x_2 &= b_4^2 = R, & x_3 &= b_4^3 = 11 \\
x_4 &= b_4^4 = 8, & x_5 &= b_4^5 = 9, & x_6 &= b_4^6 = 9 \\
x_7 &= b_4^7 = 2 & x_8 &= b_4^8 = 29 & x_9 &= b_4^9 = 8.
\end{aligned}$$

Böylece, aranan bütün $x_i = b_4^i$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ değerleri bulunmuş olur.

Adım 10: Algoritmayı sonlandır.

Böylece daha karma model olan ve Bütünleşik Kodlama Modeli olarak adlandırdığımız işlemlerin aşamalarını örnek ile açıklamış olduk. Bu sistemde iki sayı dizi kullanıldığı için yapılan şifre çözme işlemleri sadece bir sayı dizisine göre güvenilirliğinin daha yüksek olacağı açıktır.

Aşağıda python da örnek olarak oluşturulan herhangi bir matris ve yukarda bahsedilen algoritmik işlemlerle kodlamanın güvenilirliği sayısal olarak ele alınmıştır:

Python Kodu:

```

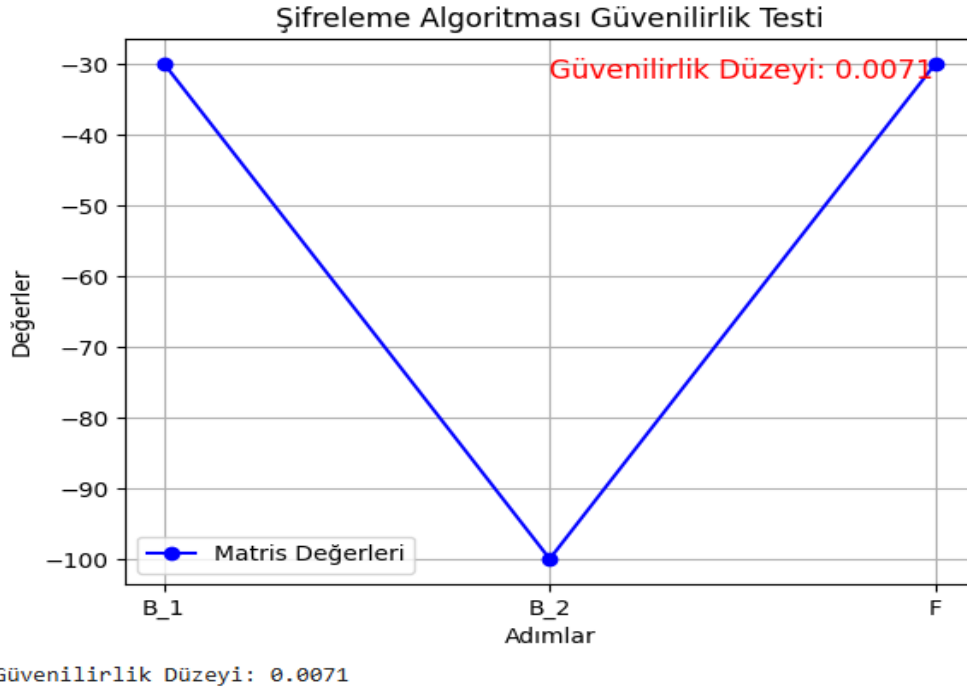
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Örnek bir matris K oluştur
K = np.array([[5, 8, 9, 12],
              [15, 18, 20, 25],
              [30, 32, 35, 40],
              [45, 50, 55, 60]])
# B_1 ve B_2 matrisleri oluştur
B_1 = K[:2, :2] # İlk iki satır ve iki sütun
B_2 = K[2:, 2:] # Son iki satır ve iki sütun
# Matrislerin determinantlarını hesapla
det_B1 = np.linalg.det(B_1)
det_B2 = np.linalg.det(B_2)
# Rastgele b_j^i değerleri
b_1 = np.random.randint(10, 20, size=(4,))
b_2 = np.random.randint(10, 20, size=(4,))
b_3 = np.random.randint(10, 20, size=(4,))
b_4 = np.random.randint(10, 20, size=(4,))
# F matrisini oluştur (det(B_i), b_k^i)
F = np.array([det_B1, *b_1])
# Değişim oranlarını hesaplamak için belirli adımları kullan

```

```

determinants = [det_B1, det_B2, F[0]]
# Değişim oranlarını hesapla
change_rate = [abs(determinants[i+1]- determinants[i]) for i in range(len(determinants)-1)]
# Güvenilirlik hesaplaması
# Güvenilirlik, değişim oranlarının tersine orantılıdır, daha küçük değişimler daha yüksek güvenilirlik anlamına gelir
reliability = 1 / (1 + sum(change_rate)) # Daha düşük değişim daha yüksek güvenilirlik
# Grafiksel gösterim
steps = ['B_1', 'B_2', 'F'] det_values = determinants # det(B1), det(B2), F[0] (det(B1))
# Grafik çizimi
plt.plot(steps, det_values, marker='o', linestyle='-', color='b', label='Matris Değerleri')
plt.title('Şifreleme Algoritması Güvenilirlik Testi')
plt.xlabel('Adımlar')
plt.ylabel('Değerler')
plt.grid(True)
plt.legend()
# Güvenilirlik düzeyini yazdıralım
plt.text(1, max(det_values) - 2, f'Güvenilirlik Düzeyi: {reliability:.4f}', fontsize=12, color='red')
# Grafik gösterimi
plt.show()
# Güvenilirlik düzeyini konsolda yazdıralım
print(f'Güvenilirlik Düzeyi: {reliability:.4f}')

```



Şekil 1. Şifreleme algoritması güvenilirlik testi

Şekil 1 de elde edilen 0.0071'lik güvenilirlik düzeyi, şifreleme algoritmanızın oldukça güvenli ve karmaşık olduğunu, ancak çözülmesinin zor olduğunu gösteriyor. Bu

durum, algoritmanızın güçlü bir şekilde korunmuş olduğu ve şifre çözme işleminin yüksek hesaplama gücü gerektirdiği anlamına gelir.

Değişkenlik: Güvenilirlik düzeyinin 0.0071 olması, algoritmanın her bir adımındaki determinantların ve matris değerlerinin büyük değişimlere uğradığını gösterir. Bu, şifrelemenin oldukça dinamik ve istikrarsız olduğunu, yani her adımda belirgin değişiklikler yaşandığını belirtir.

Güvenlik: Düşük güvenilirlik genellikle daha yüksek güvenlik anlamına gelir. Çünkü sistemdeki değişkenlik ve dalgalanma, şifrenin çözülmesini daha zor hale getirebilir. Şifrelenecek veriler arasında büyük farklar olduğu için, potansiyel bir saldırıya çözümleme yapması oldukça güçleşir.

Çok Karışık Yapı: Algoritmanızda belirgin dalgalanmalar ve değişiklikler olduğunda, bu şifrelemenin daha karmaşık olduğu anlamına gelir. Bu tür şifreleme algoritmaları, genellikle daha güvenli kabul edilir çünkü çözülmesi için çok sayıda olasılık ve yol vardır.

Tartışma ve Sonuç

Kriptoloji Günlük hayatımızın her alanında, internet alışverişinden banka işlemlerine kadar, kriptoloji sessiz bir kahraman gibi bilgi güvenliğini koruyor. Kredi kartı çiplerimizden kimlik numaralarımıza kadar uzanan geniş bir yelpazede, hassas bilgilerimizi korumak için kriptolojiye güveniyoruz.

İnternetin ve veri üretiminin hızla büyümesi, şifreleme ve şifre çözme işlemlerinin de daha hızlı ve güvenli hale gelmesini gerekli kılıyor. Bu amaçla, bilgisayarsız veya programlanabilir şifreleme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmamız, mesaj kelimelerini 2x2 kare matrislere bölerek ve matris ve determinant işlemleri ile şifreleme/çözme algoritması oluşturarak bu alana yeni bir bakış açısı getiriyor. Algoritmamız, esnek yapısı ve yüksek performansı ile geniş bir kullanıcı kitlesine hitap ediyor. Geliştirilen şifreleme algoritmasını kullanan bir mobil uygulama, Flutter uygulama çatısı ile geliştirilerek hem Android hem de IOS cihazlarda çalışabilmesi sağlanabilir.

Burada kullanılan Cassini özdeşliğinin yerine daha genel hali olan Catalan özdeşliği ("Catalan özdeşliği", 2023),

$$F_n^2 - F_{n+r}F_{n-r} = (-1)^{n-r}F_r^2, n \geq 1$$

alınarak şifre çözme algoritmasının da r sayısına bağlı olarak r tane farklı formül üzerinden şifre çözme algoritması uygulanabilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Bu makalenin sunulmasıyla birlikte beyan ederim ki: Bu araştırma makalesinin yazarı, bu çalışmanın planlanmasına, yürütülmesine veya analizine doğrudan katılmıştır. Bu makalenin yazarları gönderilen son versiyonu okumuş ve onaylamıştır. Bu makalenin içeriği başka bir yerde sunulmamış, telif hakkı alınmamış veya yayınlanmamıştır. Bu makalenin içeriği, dergi tarafından kabulü değerlendirilirken telif hakkı alınmayacak, sunulmayacak veya başka bir yerde yayınlanmayacaktır.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Yazar çalışmanın konsept ve tasarımına katkıda bulunmuştur. Materyal hazırlama, veri toplama ve analiz Bahar KULOĞLU tarafından gerçekleştirilmiştir. Makalenin ilk taslağı Bahar KULOĞLU tarafından yazılmış ve yazar makalenin son halini okuyup onaylamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Finansman: Herhangi bir fon, hibe veya diğer destekler alınmamıştır. Çıkar çatışmaları / Rekabet eden çıkarlar: Yazarlar, bu makalede tartışılan konu veya materyallerle ilgili herhangi bir mali çıkarı veya mali olmayan çıkarı olan herhangi bir kuruluş veya kuruluşla bağlantıları veya katılımları olmadığını onaylar.

Veri ve materyallerin mevcudiyeti: Geçerli değil.

Kod kullanılabilirliği: Geçerli değil.

İnsanları ve/veya hayvanları içeren çalışmaların sonuçlarını bildiren yaşam bilimleri dergilerindeki makaleler için ek beyanlar: Geçerli değil.

Etik onayı: Geçerli değil

Katılım onayı: Kabul ediyorum

Yayın için onay: Kabul edildi.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programı Başkanlığı tarafından 2023 yılında düzenlenen araştırma projeleri bölge finali yarışmasında 3. lük ödülüne layık gören bütün jüri ekibine yapıcı eleştirileri ile çalışmamızın geliştirilmesine olan destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Beall, J. C. Curry's paradox. In Zalta, Edward N. (ed.). Stanford Encyclopedia of Philosophy.
- Basu, M. & Prasad, B. (2009). The generalized relations among the code elements for Fibonacci coding theory. Chaos Solitons Fractals, 5, 2517-2525.
- Dişkaya, O., Avaroğlu, E., Menken, H., & Emsal, A. (2022). A new Encryption Algorithm Based on Fibonacci Polynomials and Matrices. International Information and Engineering Technology Association, 39 (5), 1453-1462.
- Eric W. Weisstein, Catalan's Constant (MathWorld)
- Eric W. Weisstein. Square Triangular Number. MathWorld.
- Eser E., Kuloğlu B. & Özkan E. (2023). An Encoding –Decoding Algorithm Based On Narayana Numbers. 9th International Conference on IFS and Contemporary Mathematics and Engineering (IFSCOM 2023), Mersin, Türkiye, 177-187.
- Kriptografi, Bilginin Anahtarı, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/kriptografi-bilginin-anahtari>, (23.05.2023).

- Kuloğlu B. & Özkan E. (2023a). Creating Encryption and Decryption Algorithm Using Pell Numbers. EYFOR14, Antalya, Türkiye, 505-515.
- Kuloglu, B. & Özkan, E. (2023b). Applications of Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas Numbers in Coding Theory, *Mathematica Montisnigri*, Lvii, 54–64.
- Kuloğlu B. (2024). Creating a New Coding and Decoding Algorithm Based on Violin Notes, *Research & Reviews: Discrete Mathematical Structures*, 10 (3).
- Prajapat, S, Jain, A. & Thakur, R. S. (2014) A novel approach for information security with automatic variable key using Fibonacci Q-matrix, *International Journal of Computer and Communication Technology*, 5(4), 295-299.
- Stakhov, A.P. (1999). A generalization of The Fibonacci Q-matrix. *Rep. Natl. Acad. Sci. Ukraine*. 9, 46-49.
- Stakhov, A. P. (2006).Fibonacci matrices, a generalization of the Cassini formula, and a new coding theory,*Chaos Solitons Fractals*, 30, 56-66.
- Uçar, S., Taş, N. & Özgür, N. H. (2019). A New Application to Coding Theory via Fibonacci and Lucas Numbers. *Mathematical Sciences and Application E-Notes*, 7 (1), 62-70.
- Wang, F., Ding, J., Dai, Z., and Peng, Y. (2010). An application of mobile phoneencryption based on Fibonacci structure of chaos. Second WRI World Congress onSoftware Engineering

Siirt'in Kurtalan İlçesinde Buğday Mahsullerini Kirleten Yabancı Ot Tohumlarının Belirlenmesi

Mesut SIRRI^{1*} Sipan SOYSAL²

^{1*}Siirt Üniversitesi, Kurtalan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Siirt (Orcid No: 0000-0001-9793-9599)

²Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt (Orcid No:0000-0002-0840-6609)
e-mail: m.sirri@siirt.edu.tr

DOI: 10.57244/dfbd.1628106

Geliş tarihi/Received: 27.01.2025

Kabul tarihi/Accepted:13/06/2025

Özet

Buğday, dünyada yaygın olarak yetiştirilen ve insan beslenmesi için stratejik öneme sahip bir tarım ürünüdür. Ancak üretim alanlarının daralması, iklim değişiklikleri ve bitki koruma sorunları özellikle yabancı otlar, buğday üretimini olumsuz etkilemektedir. Yabancı otlar, buğdayla rekabete ederek verim ve kalite kayıplarına yol açmakta, diğer hastalık ve zararlılara da konukçuluk yaparak ciddi ekonomik zarara neden olmaktadır. Ayrıca yabancı otlar, buğday tohumuna karışarak tohumluk ve un kalitesini düşürmekte ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, 2020 ve 2021 yıllarında Siirt Kurtalan ilçesinde buğday ürününe karışan yabancı ot türleri ve yoğunluklarını belirlemek için selektörden önce 95 örnek ve selektörden sonra 14 örnek olmak üzere toplam 109 buğday örneği ile yürütülmüştür. Analizler sonucunda buğday ürününün içerisinde 16 familyaya ait toplam 62 yabancı ot tohumunun karıştığı tespit edilmiştir. Buğday ürünü içerisine sayısal olarak en fazla karışan yabancı ot tohumları selektörden önce *Sinapis arvensis* L. (%34,25), *Avena sterilis* L. (%12,20), *Hordeum vulgare* L. (11,43), *Galium aparina* L. (%8,92), *Festuca* spp. (%8,49) *Phalaris brachystachys* Link (%5,20) ve *Ranunculus arvensis* L. (%3,72) türleri bulunurken, selektörden sonra ise *Hordeum vulgare* L. (%31,83), *Polygonum aviculare* L. (%20,69), *Rapistrum rugosum* (L.) All. (%7,67), *Galium aparina* L. (%6,41) ve *Avena sterilis* L. (%5,88) türleri bulunmuştur. Hem çiftçilerle yapılan görüşmeler hem de çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, buğday üretiminde yabancı ot sorununun önemli bir seviyede olduğu ve bazı türlerin mücadeleye rağmen yoğun şekilde tohum üretmeye devam ettiğini göstermektedir. Bu nedenle, yabancı otların bölgedeki popülasyon ve dağılımlarını kontrol altına almak için sertifikalı tohumluk kullanımının yaygınlaştırılması, topraktaki tohum rezervinin azaltılması ve farklı mücadele yöntemlerinin bir arada kullanıldığı entegre mücadele yaklaşımlarının uygulanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buğday, yabancı ot tohumları, bulaşma, selektör, Kurtalan, Siirt

Determination of Weed Seeds Contaminating Wheat Crops in Siirt's Kurtalan District

Abstract

Wheat is a widely cultivated and strategically important agricultural crop for human nutrition worldwide. However, shrinking cultivation areas, climate changes, and plant protection challenges, especially weeds, adversely affect wheat production. Weeds compete with wheat, leading to yield and quality losses, and act as hosts for other pests and diseases, causing significant economic damage. Additionally, weeds contaminate wheat seeds, reducing seed and flour quality, and negatively impacting human health. This study was conducted in 2020–2021 in the Kurtalan district of Siirt to identify weed species and their densities contaminating wheat crops. A total of 109 wheat samples were analyzed, including 95 samples before sieving and 14 samples after sieving. The analysis revealed that a total of 62 weed seed species belonging to 16 families were present in the wheat samples. Before sieving, the most abundant weed species were *Sinapis arvensis* L. (34.25%), *Avena sterilis* L. (12.20%), *Hordeum vulgare* L. (11.43%), *Galium aparine* L. (8.92%), *Festuca* spp. (8.49%), *Phalaris brachystachys* Link (5.20%), and *Ranunculus arvensis* L. (3.72%). After sieving, the dominant species were *Hordeum vulgare* L. (31.83%), *Polygonum aviculare* L. (20.69%), *Rapistrum rugosum* (L.) All. (7.67%), *Galium aparine* L. (6.41%), and *Avena sterilis* L. (5.88%). Interviews with farmers and study results indicate that weeds pose a significant problem in wheat production, with some species continuing to produce

high seed densities despite control measures. Therefore, it is recommended to promote the use of certified seeds, reduce the soil seed bank, and adopt integrated management approaches combining various control methods to manage the population and distribution of weeds in the region.

Keywords: Wheat, weed seeds, contamination, sieving, Kurtalan, Siirt

Giriş

Buğday (*Triticum aestivum* L.) dünya çapında 219.6 milyon hektardan fazla alanda yetiştirilen ve küresel gıda ihtiyacının yaklaşık %21'ini sağlayan önemli bir tahıl ürünüdür (FAO, 2024, USDA, 2024). Son yıllarda yaşanan salgın hastalıklar, savaş ve ekonomik sarsıntılar nedeniyle gelişmiş ülkeler dahil dünya genelinde buğday stoklarında önemli sorunlar yaşanmış ve gıda krizi allarım vermiş durumdadır. Bu nedenle buğday üretimi geçmişte (özellikle kıtlık yıllarında) olduğu gibi gelecekte de küresel gıda güvenliği için hayati bir öneme sahiptir. Nitekim bugün bile stratejik bir ürün olan tahıllar hem ekim alanı hem de üretim bakımında tarımsal üretimde ilk sırada gelmektedir (Kaçan ve Tursun, 2019). Ancak sürdürülebilir buğday üretimi değişen iklim özellikleri nedeniyle zorlanmaktadır (Nakka ve ark., 2019). Ayrıca buğday üretiminde; yönetim sistemleri, bölgesel ekolojik faktörlerin yanı sıra agroteknik uygulamalar (ekim derinliği, ekim zamanı, birim alana düşen dane sayısı vb), tohumluğun türü/cinsi ve kalitesi ve agrofajların (hastalık, zararlı ve yabancı ot) istilası vb faktörler verim ve kaliteyi önemli düzeyde etkilemektedir (Woźniak, 2019).

Tahıl üretiminde yönetsel (monokültür gibi) uygulamalar bitki koruma etmenlerinin (hastalık, zararlı ve yabancı otların) popülasyon yoğunluklarının daha da artmasına sebep olduğu gibi, yüksek miktarda pestisit kullanılmasına, kalıntı sorunu ve dayanıklılık sorunlarına da neden olmaktadır (Mal ve ark., 2015; Mehmeti ve ark., 2018). Ayrıca geleneksel tarım uygulamaları toprak ekosistemi içerisinde özellikle organik maddenin azalması, organik karbon ve toplam nitrojen içeriği gibi toprak ekolojisinde önemli değişiklikler meydana getirerek toprakların verimsizleşmesine sebep olmaktadır (Cattaneo ve ark., 2014; Lal, 2016).

Dolayısıyla tarımsal uygulamalar ve iklim değişikliği buğday yetiştiriciliği olumsuz etkilediği gibi yetiştiricilikte sorun oluşturan bitki koruma etmenlerinin biyolojik ve kontrolünde oluşturduğu derin etkiler sürdürülebilir buğday üretiminde büyük riskler sebep olmaktadır (Nakka ve ark., 2019). Nitekim buğday üretiminde verim ve kaliteyi etkileyen en önemli faktörlerden biri de yabancı otlardır (Sırrı, 2019). Yabancı otların buğdayda neden olduğu potansiyel verim kayıpları küresel düzeyde ortalama %23 olarak bildirilmektedir (Oerke, 2006). Türkiye’de ise bu oran yabancı ot türü ve yoğunluğuna bağlı olarak yaklaşık %34 olarak belirlenmiştir (Özer, 1993). Dolayısıyla yabancı otlar vejetasyon döneminde meydana getirdiği verim kayıpları ve girdi masraflarının yanı sıra buğday ürününe karışmasıyla un ve ekmek kalitesini etkilediği gibi insanlarda zehirlenmelere bile neden olabildiğini belirtilmişlerdir (Özer ve ark, 2001; Kordali ve Zengin, 2009). Bu açıdan değerlendirildiğinde yabancı otlarla mücadelenin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu çerçevede dünyanın farklı bölgelerinde yürütülen çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde buğday verimini etkileyen başlıca yabancı otlar; *Alopecurus myosuroides* Huds., *Anagallis arvensis* L., *Avena fatua* L., *Chenopodium album* L., *Convolvulus arvensis* L., *Galium aparine* L., *Lolium perenne* L., *Lolium rigidum* Gaudin,

Phalaris minor Retz. ve *Raphanus raphanistrum* L. gibi türleri olduğu rapor edilmiştir (Scursoni ve ark., 2011; Kraehmer, 2016; Jabran ve ark., 2017). Ancak yabancı ot tohumlarının ürüne karışma durumları ise ülkeler arasında değişkenlik göstermektedir. Nitekim Almanya’da uzun dönemli (1974-90) olarak yapılan bir çalışmada tahıl ürününe karışan yabancı ot tohum bulaşma oranının ortalama %0,5-2 arasında olduğu bildirilmiştir (Fuchs ve Voit, 1992). Avustralya (Victoria)’da yapılan bir çalışmada buğday ve arpa ürününe karışan başlıca yabancı otlar; *Avena* spp., *Bromus* spp., *Lolium multiflorum*, *Phalaris minor*, *Phalaris paradoxa* ve *Vulpia bromoides* L. olarak tespit edilmiştir (Niknam ve ark., 2002). Diğer bir çalışmada ise Batı Avustralya’da buğday ürününe karışan en yaygın yabancı otların *Avena fatua*, *Hordeum vulgare*, *Lolium rigidum* ve *Raphanus raphanistrum* olarak belirlenmiştir (Pippa ve ark., 2010)

Türkiye’de ise farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda bölgesel olarak yabancı ot tür ve yoğunlukları değişkenlikler görülse de genel olarak buğday alanlarında tespit edilen 24 familya ya ait 138 yabancı ot tür olduğu belirtilmiştir (Özer ve ark., 2001; Tepe, 2014; Güncan ve Karaca, 2018; Sırrı ve ark., 2021; Sırrı ve ark., 2023). Bu yabancı otlardan en önemli ve mücadele edilmesi gereken türler; *Alopecurus myosuroides*, *Avena sterilis*, *Agrostemma githago*, *Bifora radians*, *Boreava orientalis*, *Caucalis* spp., *Cephalaria syriaca*, *Convolvulus arvensis*, *Galium aparine*, *Cirsium arvensis*, *Lolium temulentum*, *Papaver rhoeas*, *Ranunculus arvensis*, *Sinapis arvensis*, *Secale cereale* ve *Vaccaria pyramidata* olarak belirtilmiştir (Güncan ve Karaca, 2018). Yabancı otların vejetasyon döneminde meydana getirdikleri zararların yanında buğday ürününe karışarak kalite düşüşlerine sebep olmaktadır. Türkiye genelinde selektörden geçirilmemiş buğdaylarda yabancı ot tohum karışma oranı sayısal olarak %1,17 ve ortalama ağırlık olarak ise %0,41 olarak hesaplanmıştır (Güncan ve Boyraz, 2001). Bu durumda ülkemizde her yıl 20 milyon ton buğday üretimi yapıldığı düşünüldüğünde, buğday tohumu temizlenmediği takdirde 8,240 ton üzerinde yabancı ot tohumunun una karıştığı ya da tarlaya yeniden taşınmış demektir. Bu durumda tohumluk olarak kullanılan buğday temizlenmeden ekilmesi dekara ortalama 5600 yabancı ot tohumunun taşındığı veya m²’ye ortalama 5-6 adet yabancı ot tohumu bu şekilde taşıyarak yabancı ot bulaşmasına neden olmaktadır (Güncan ve Boyraz, 2001; Bozkan ve Karaca 2021). Türkiye’de buğday ürününe karışan başlıca yabancı ot türleri; *Avena* spp., *Agrostemma githago*, *Cephalaria syriaca*, *Galium* spp., *Hordeum vulgare*, *Lolium* spp., *Ranunculus arvensis* ve *Sinapis arvensis* olarak belirlenmiştir (Kordali ve Zengin, 2009; Gökalp ve Üremiş, 2015; Bozkurt ve Tursun, 2018; Kaçan ve Tursun, 2019; Bozkan ve Karaca, 2021).

Bu çalışmayla, buğday üretiminde verim ve kaliteyi etkileyen en önemli sorunlardan biri olan yabancı otların, Siirt ili buğday tarım alanlarının %50’ten fazlasının yer aldığı Kurtalan ilçesinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohumları ve karışım oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmanın ana materyali 2020 ve 2021 yıllarında Siirt Kurtalan ilçesinde tesadüfi olarak belirlenmiş üreticilerde hasat sonrası buğday yığınları/ambarlarında (95 örnek) ve faaliyet gösteren 1 adet un fabrikası ve 6 adet un değirmeni (14 örnek) olmak üzere toplam 109 buğday örneği içerisinde bulunan yabancı ot tohumları oluşturmaktadır.

Buğday örnekleri; silolarda ve/veya toplama alanlarında selektör işleminden önce, un fabrikası ve un değirmenlerinde ise selektör işleminden sonra, rastgele seçilen en az

beş farklı nokta veya çuvaldan alınarak karıştırılmış ve yaklaşık 1 kg'lık örnekler oluşturmuştur. Bu örnekler uygun şekilde poşetlenmiş ve buğday çeşidi, sulama durumu (sulu veya kuru) gibi bilgilerle etiketlenmiştir. Ayrıca üreticilere; toprak işleme yöntemleri, münavebe uygulamaları, karşılaşılan başlıca yabancı ot türleri, bu otlarla mücadele yöntemleri ile herbisit temini ve kullanımı konularında sorular yöneltilmiş, elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Buğday örnekleri, yabancı otların ayıklanmasına kadar Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak ve Bitki Besleme Laboratuvarı'nda uygun koşullarda muhafaza edilmiştir.

Laboratuvara getirilen örneklerin hassas terazide tartılarak her örnek 500 g olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra farklı boyutlardaki (6-60 mesh) eleklerden geçirerek kaba ve cansız materyaller temizlenerek yabancı otlar ayıklanmıştır (Şekil 1). Buğday ürününe karışan yabancı ot tohumları elle tek tek sayımları yapılarak aynı türe ait tohumlar gruplandırılmış daha sonra teşhis ve diğer işlemlerin yapılması için özel kutulara alınmıştır (Şekil 1). Ayıklanan yabancı ot tohumları, stereo mikroskop altında incelenmiş ve foto-mikroskop altında resimleri çekilmiştir (Şekil 2). İncelenen ve resimleri çekilen yabancı ot tohumları, laboratuvardaki tohum koleksiyonu, tohum teşhis kitapları (Özer ve ark., 1999) ve farklı veri tabanlarda (Anonim, 2022a.b.c) yararlanılarak teşhisleri yapılmıştır. Teşhisleri yapılan tohumların sayımları yapılmış ve hassas terazide tartılarak ağırlıklarını hesaplanmıştır. Elde edilen veriler örnek alınma miktarına oranlamak için % karışım oranları hesaplanmıştır. Ayrıca her yabancı ot için adet (%), ağırlık (%), rastlama sıklıkları (%) ve yaygınlık aralıkları hesaplanmıştır. Hesaplama Güncan (2014) uyarlanmıştır;

Rastlanma sıklığı (RS) = $Z/y \times 100$ (Z: türün rastlandığı örnek sayısı, y: alınan örnek sayısı) formüller kullanılmıştır. Ayrıca Baş (2016)'ndan uyarlanarak hazırlanan yaygınlık skalasına göre; ÇR: çok yaygın >%50,0, YR: yaygın %25,0-49,9, ÖR: önemli %10,0-24,9, NR: nadir <%9,9 olacak şekilde bir skorlama yapılmıştır.



Şekil 1. Buğday örneklerin alınması ve yabancı ot sayımları

Bulgular ve Tartışma

Buğday örneklerinin alındığı üreticilerden elde edilen bilgilere göre, ilçede buğday üretimi genellikle kuru tarım yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Verimlilik ise iklim koşulları ve üretici uygulamalarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bölgede buğday ekimi genellikle sonbaharda, geleneksel toprak işleme yöntemi olan pullukla yapılmakta; münavebe uygulamaları ise çoğunlukla 2B+1M (iki yıl buğday, bir yıl mercimek) ve/veya 3B+1M (üç yıl buğday, bir yıl mercimek) şeklinde gerçekleştirilmektedir. Üreticiler, buğdayda en önemli yabancı ot türleri olarak yabancı yulaf (*Avena sterilis*), yabancı hardal (*Sinapis arvensis*) ve yapışkan ot (*Galium aparine*) olduğu belirtilmişlerdir. Yabancı otlarla mücadelede ise genellikle kültürel ve kimyasal yöntemlerin birlikte kullanıldığı, herbisit seçimlerinin ise çoğunlukla İl ve İlçe 'deki zirai ilaç bayilerinin önerileri doğrultusunda yapıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca, buğday üretiminde herbisitlere karşı dayanıklılık geliştirdiği düşünülen yabancı ot türlerinin özellikle yabancı yulaf (*A. sterilis*) ve yabancı hardal (*S. arvensis*) olduğu belirtilmiştir.

Siirt Kurtalan ilçesinde iki farklı dönemde selektörden önce toplanan örneklerde 500 g buğday ürünü içerisinde bulunan yabancı ot tohumları ortalama 253.71 adet olarak tespit edilmiştir. Çalışmada incelenen 500 g'lık örnekte saptanan yabancı otların ortalama ağırlığı ise 3,455 g (% 0,69) olarak hesaplanmıştır. Araştırmada selektörden önce 500 g buğday ürününün içerisinde 14 familyaya ait toplam 54 yabancı ota ait tohumlar tespit edilmiştir. Yıl bazında değerlendirildiğinde ise 2020 yılı için 52 tür, 2021 yılı için ise 37 tür yabancı ot tohumuna rastlanmıştır. Çalışmanın ikinci yılında yabancı ot tür ve yoğunluklarının düşük kalması bölgenin kurak bir vejetasyon dönemi geçirmesi ve mücadele uygulamalarından dolayı düşük kaldığı tahmin edilmektedir.

Çalışmada selektörden önce buğday içerisinde saptanan yabancı ot tohumların familya ve tür sayıları; Apiaceae (6 tür), Asteraceae (7 tür), Boraginaceae (2 tür), Brassicaceae (5 tür), Caprifoliaceae (1 tür), Caryophyllaceae (2 tür), Convolvulaceae (1 tür), Fabaceae (7 tür), Lamiaceae (2 tür), Malvaceae (1 tür), Papaveraceae (1 tür), Poaceae (15 tür), Polygonaceae (1 tür), Ranunculaceae (2 tür) ve Rubiaceae (1 tür) olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Türkiye'nin farklı bölgelerinde buğday ürününe karışan yabancı otların belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalardan da benzer familyaları ağırlıklı olarak bulunduğu belirtilmiştir (Gökalp ve Üremiş, 2015; Baş ve ark., 2016; Bozkurt ve Tursun, 2018; Kaçan ve Tursun, 2019).

Buğday içerisinde karşılaşılan yabancı ot tohum türleri, % adet sayısı, % ağırlık karışma oranları, rastlama sıklıkları ve yoğunlukları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde yabancı otların karışma oranları (% adet) olarak 2020 yılında en yüksek olan türler; *Sinapis arvensis* L. (%39,6) alırken, *Avena sterilis* L. (%11.25), *Festuca* sp. (%9.11), *Galium aparine* (%7.21), *Phalaris brachystachys* Link (%7.15), *Hordeum vulgare* (%5.03) ve *Ranunculus arvensis* L. (%5.10) olmuştur. 2021 yılında ise en yüksek olan türler; *H. vulgare* (%26.41), *S. arvensis* (%21.53), *A. sterilis* (%14.42), *G. aparine* (%12.80) ve *Festuca* sp. (%7.03) olarak belirlenmiştir. Nitekim hem buğday örneklerinde elde edilen sonuçlar hem de çiftçilerle yapılan görüşmelerde buğday üretiminde karşılaşılan en önemli yabancı otlar sorusuna da yabancı yulaf (*A. sterilis*), yabancı hardal (*S. arvensis*) ve yapışkan ot (*G. aparine*) cevapları verilmiştir.

Selektörden sonra 500 g buğday örnekleri içerisinde 15 familyaya ait toplam 36 yabancı ot türü tespit edilmiştir. Belirlenen yabancı otların familya ve tür sayıları; Amaranthaceae (1 tür) Apiaceae (2 tür), Asteraceae (3 tür), Boraginaceae (2 tür), Brassicaceae (3 tür), Caprifoliaceae (1 tür), Caryophyllaceae (1 tür), Convolvulaceae (1

tür), Fabaceae (3 tür), Lamiaceae (1 tür), Poaceae (10 tür), Polygonaceae (3 tür), Ranunculaceae (3 tür) Roseaceae (1 tür) ve Rubiaceae (1 tür) şeklindedir. Selektörden sonra buğday içerisinde karışma oranı (% adet) en yüksek olan türler; *H. vulgare* (%31.83), *Polygonum aviculare* (%20.69), *Rapistrum rugosum* (%7.67), *G. aparine* (%6.41), *A. sterilis* (%5.88) ve *R. arvensis* (%3.68) olarak saptanmıştır (Tablo 1).



Şekil 2. Buğday tohum içerisinde tespit edilen bazı yabancı otlar

Araştırmada Siirt Kurtalan ilçesinde selektörden önce 500 g buğday içerisinde ortalama 253.71 adet ve ortalama ağırlığı 3.455 g (%0,69) yabancı ot tohumlarının karıştığı ve sayısal olarak tohum sayısı en fazla olan yabancı ot türleri *A. sterilis*, *G. aperina*, *H. vulgare*, *R. arvensis* ve *S. arvensis* olarak görülmüştür. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde farklı illerde yapılan benzer çalışmalardan da selektörden önce 1 kg buğday içerisinde Adıyaman ilinde 801.890 adet (16.717 g), Gaziantep ilinde ise 680.538 adet (15.316 g) yabancı ot tohumun karıştığı ve sayısal olarak en yaygın türlerin *S. arvensis* ve *H. vulgare* olduğu tespit edilmiştir (Tursun ve ark., 2004). Benzer bir çalışmada 2001-2005 yılları arasında 1 kg'lık buğday ürününe karışan yabancı ot tohum sayısı ve ağırlıkları belirlemek amacıyla yapılmış ve il bazındaki dağılımları Adıyaman 801.89 (16,72 g), Batman 995.72 (14.79 g), Diyarbakır 538.49 (16.96 g), Gaziantep 680.54 (15.32 g), Siirt 492.86 (12.84 g) ve Şanlıurfa 1337.16 (24.14 g) olarak tespit edilmiştir (Tursun, 2011). Gökalp ve Üremiş (2015)'te Mardin ilinde 1 kg buğday içerisinde ortalama yabancı ot sayısı 973.05 adet, ağırlık 15.16 g ve karışma oranı ise %1.52 olarak belirlenmiş ve tohum sayısı en yüksek yabancı otlar *A. sterilis*, *G. aperina*, *H. vulgare*, *S. halepense* ve *S. marianum* olarak saptanmıştır.

Araştırma Makalesi / Research Article

Tablo 1. Siirt Kurtalan ilçesinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohum türleri, adet sayısı (%), ağırlık (%), rastlama sıklığı (%) ve skala değerleri

		Selektörden Önce								Selektörden Sonra			
		2020				2021							
Latince İsmi	EPPO Code	Adet (%)	Ağırlık (%)	RS (%)	Skala değeri	Adet (%)	Ağırlık (%)	RS (%)	Skala değeri	Adet (%)	Ağırlık (%)	RS (%)	Skala değeri
Amaranthaceae													
<i>Chenopodium album</i> L.	CHEAL	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.0001	14.29	ÖR
Apiaceae													
<i>Bupleurum rotundifolium</i> L.	BUPRO	0.02	0.029	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caucalis platycarpus</i> L.	CUCLA	0.01	0.004	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lisaea strigosa</i> (Banks & Sol.) Eig	LSAST	1.73	8.086	30.43	YR	0.26	0.289	18.37	ÖR	1.37	0.0059	14.29	ÖR
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	SCAPV	0.01	0.027	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tordylium aegyptiacum</i> (L.) Lam.	TORAE	0.03	0.013	4.35	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Turgenia latifolia</i> (L.) Hoffm.	CUCLF	0.01	0.026	2.17	NR	-	-	-	-	1.89	0.0084	14.29	ÖR
Asteraceae													
<i>Bidens tripartita</i> L.	BIDTR	0.01	0.037	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Centaurea iberica</i> Trev. ex Spreng.	CENIB	0.05	0.028	4.35	NR	-	-	-	-	0.11	0.0002	14.29	ÖR
<i>Centaurea</i> spp.	CENSP	0.32	0.786	23.91	ÖR	0.15	0.213	14.29	ÖR	0.53	0.0011	14.29	ÖR
<i>Cichorium intybus</i> L.	CICIN	0.02	0.003	4.35	NR					0.11	0.0001	14.29	ÖR
<i>Gundelia tournefortii</i> var. <i>tournefortii</i> L.	GUNTO	0.06	1.262	10.87	ÖR	0.03	0.622	4.08	NR	-	-	-	-
<i>Lactuca serriola</i> L.	LACSE	-	-	-	-	0.03	0.002	4.08	NR	-	-	-	-
<i>Silybum marianum</i> L.	SLYMA	0.01	0.049	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
Boraginaceae													
<i>Anchusa azurea</i> var. <i>azurea</i> Mill.	ANCIT	0.12	0.666	10.87	ÖR	0.03	0.136	4.08	NR	0.63	0.0049	14.29	ÖR
<i>Buglossoides arvensis</i> subsp. <i>sibthorpiana</i> (Griseb.) R.Fern.	LITAR	0.04	0.068	8.70	NR	0.10	0.031	4.08	NR	0.74	0.0013	28.57	YR
Brassicaceae													
<i>Lepidium</i> sp.	LEPSP	0.28	0.017	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myagrum perfoliatum</i> L.	MYGPE	-	-	-	-	0.04	0.033	2.04	NR	-	-	-	-
<i>Neslia paniculata</i> subsp. <i>thracica</i> (Velen.) Bormm.	NEAAP	1.00	0.733	43.48	YR	1.51	0.396	26.53	YR	0.63	0.0009	42.86	YR
<i>Sinapis arvensis</i> L.	SINAR	39.66	17.377	76.09	ÇR	21.53	2.617	87.76	ÇR	1.89	0.001	28.57	YR

Araştırma Makalesi / Research Article

Tablo 1. Siirt Kurtalan ilçesinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohum türleri, adet sayısı (%), ağırlık (%), rastlama sıklığı (%) ve skala değerleri (Devamı)

<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	RASRU	-	-	-	-	-	-	-	-	7.67	0.0128	14.29	ÖR
<i>Sisymbrium</i> sp.	SISSP	0.08	0.006	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
Caprifoliaceae													
<i>Cephalaria syriaca</i> (L.) Schrad.	CPISY	0.09	0.198	6.52	NR	0.03	0.033	2.04	NR	1.58	0.0058	14.29	ÖR
Caryophyllaceae													
<i>Silene aegyptiaca</i> L.	SILAE	0.24	0.047	17.39	ÖR	0.46	0.029	10.20	ÖR	-	-	-	-
<i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) Rauschert	VAAPY	1.32	1.277	39.13	YR	0.37	0.140	18.37	ÖR	0.63	0.0007	42.86	YR
Convolvulaceae													
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	CONAR	0.09	0.201	15.22	ÖR	0.50	0.396	14.29	ÖR	0.84	0.0037	42.86	YR
Fabaceae													
<i>Astragalus</i> sp.	ASTSP	0.06	0.110	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lathyrus</i> spp.	LATSP	0.02	0.250	4.35	NR	0.03	0.037	4.08	NR	-	-	-	-
<i>Lens culinaris</i> subsp. <i>culinaris</i> Medik.	LENCU	0.90	4.139	26.09	YR	0.76	2.086	22.45	ÖR	0.74	0.0047	28.57	YR
<i>Pisum sativum</i> subsp. <i>sativum</i> var. <i>sativum</i> L.	PIBSX	0.04	0.447	8.70	NR								
<i>Trifolium</i> spp.	TRISP	0.01	0.038	2.17	NR	0.01	0.002	2.04	NR	0.21	0.0001	14.29	ÖR
<i>Vicia cracca</i> L.	VICCR	0.01	0.014	4.35	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Visia</i> spp.	VICSP	0.61	2.089	36.96	YR	0.11	0.123	10.20	ÖR	0.63	0.0055	14.29	ÖR
Lamiaceae													
<i>Lallemantia iberica</i> (M.Bieb.) Fisch. & C.A.Mey.	LALIB	0.03	0.023	6.52	NR	0.24	0.082	6.12	NR	0.11	0.0001	14.29	ÖR
<i>Salvia</i> sp.	SALSP	0.02	0.003	4.35	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
Malvaceae													
<i>Alcea striata</i> (DC.) Alef. subsp. <i>striata</i>	AKAST	0.04	0.092	4.35	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
Papaveraceae													
<i>Papaver rhoeas</i> L.	PAPRH	1.17	0.012	39.13	YR	0.54	0.001	10.20	ÖR	-	-	-	-
Poaceae													
<i>Aegilops speltoides</i> Tausch	AEGSP	0.02	0.104	6.52	NR	0.06	0.187	6.12	NR	-	-	-	-
<i>Aegilops cylindrica</i> Host	AEGCY	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74	0.0099	14.29	ÖR
<i>Avena sterilis</i> L.	AVEST	11.25	63.987	84.78	ÇR	14.42	30.767	83.67	ÇR	5.88	0.0422	100	ÇR

Araştırma Makalesi / Research Article

Tablo 1. Siirt Kurtalan ilçesinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohum türleri, adet sayısı (%), ağırlık (%), rastlama sıklığı (%) ve skala değerleri (Devamı)

<i>Bromus sterilis</i> L.	BROST	0.04	0.030	8.70	NR	0.10	0.022	14.29	ÖR	-	-	-	-
<i>Bromus tectorum</i> L.	BROTE	0.11	0.043	8.70	NR	0.12	0.257	8.16	NR	0.21	0.0003	14.29	ÖR
<i>Elymus</i> sp.	ELYSP	0.01	0.031	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Festuca</i> sp.	FESSP	9.11	4.582	56.52	ÇR	7.03	0.278	40.82	YR	0.63	0.0004	42.86	YR
<i>Hordeum bulbosum</i> L.	HORBU	0.07	0.801	4.35	NR	0.67	2.003	26.53	YR	-	-	-	-
<i>Hordeum murinum</i> subsp. <i>glaucum</i> (Steud.) Tzvelev	HORMU	0.12	0.055	15.22	ÖR	0.29	0.126	12.24	ÖR	-	-	-	-
<i>Hordeum vulgare</i> L.	HORVX	5.03	40.323	65.22	ÇR	26.41	98.302	89.80	ÇR	31.83	0.3193	100	ÇR
<i>Lolium temulentum</i> L.	LOLTE	0.11	0.201	10.87	ÖR	0.11	0.035	8.16	NR	0.11	0.0002	14.29	ÖR
<i>Lolium perenne</i> L.	LOLPE	-	-	-	-	-	-	-	-	4.94	0.0011	14.29	ÖR
<i>Phalaris brachystachys</i> Link.	PHABR	7.15	4.329	28.26	YR	0.64	0.171	16.33	ÖR	-	-	-	-
<i>Phalaris canariensis</i> L.	PHACA	1.44	0.851	15.22	ÖR	0.32	0.564	12.24	ÖR	0.11	0.0002	14.29	ÖR
<i>Phleum</i> sp.	PHLSP	0.01	0.002	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Poa annua</i> L.	POAAN	0.02	0.006	2.17	NR	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Poa bulbosa</i> L.	POABU	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	0.0002	14.29	ÖR
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	SORHA	0.02	0.012	6.52	NR	-	-	-	-	0.74	0.0007	14.29	ÖR
Polygonaceae													
<i>Polygonum aviculare</i> L.	POLAV	-	-	-	-	-	-	-	-	20.69	0.0143	14.29	ÖR
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	POLCO	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.0026	14.29	ÖR
<i>Rumex crispus</i> L.	RUMCR	0.31	0.169	67.39	ÇR	0.17	0.021	14.29	ÖR	0.11	0.0001	14.29	ÖR
Ranunculaceae													
<i>Adonis aestivalis</i> L.	ADOAE	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	0.0006	14.29	ÖR
<i>Consolida</i> sp.	CONSP	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.0001	14.29	ÖR
<i>Ranunculus arvensis</i> L.	RANAR	5.10	10.619	50.00	ÇR	0.49	0.279	34.69	YR	3.68	0.01	28.57	YR
<i>Ranunculus cornutus</i> DC.	RANCO	0.44	0.336	10.87	ÖR	0.03	0.007	2.04	NR	-	-	-	-
Rosaceae													
<i>Sanguisorba minor</i> L.	SANMI	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	0.0007	28.57	YR
Rubiaceae													
<i>Galium aparine</i> L.	GALAP	7.27	14.318	76.09	ÇR	12.80	8.465	85.71	ÇR	6.41	0.0171	100	ÇR
Diğeri		4.26	0.281	-	-	9.62	0.00028	-	-	2.94	0.01	-	-

*RS:rastlamasıklığı

Pala ve Mennan (2018) ise Diyarbakır ilinde selektörden önce 50 kg buğday içerisinde yabancı ot tohum sayısı 633 adet ve ağırlık 10.96 gr olarak belirlenmiş ve en yoğun türler *Avena fatua* ve *A. sterilis* olarak tespit edilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi Muş ilinde yapılan bir çalışmada ise buğday içerisine karışan yabancı ot tohum sayısı ortalama 1621 adet, ağırlık 15.79 g ve karışma oranı ise %1.58 olarak hesaplanmış ve en yüksek oranda karışan yabancı otlar *S. arvensis*, *C. syrica*, *C. daucoides* *G. tricornis*, *L. temulentum*, *P. aviculare* ve *V. pyramidalis* olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Türkiye'nin farklı bölgelerinde yürütülen çalışmalarda da buğday ürününe karışan yabancı otların yüzdelikleri; Orta Anadolu'da %1,0 Göksel, (1956), Doğu Anadolu'da %1,2446 Tepe, (1998), Ege Bölgesi'nde %0,3811, Marmara Bölgesi'nde %0,7063, Akdeniz Bölgesi'nde 0,6727, Batı Karadeniz Bölgesi'nde %0,6547, Orta güney bölgesinde %0,5122 Güncan ve Boyraz (2001) oranında karıştığı belirtilmiştir.

Çalışmada selektörden sonra 500 g buğday içerisinde ortalama 69.92 adet ve ortalama ağırlık 1.206 g (% 0,24) olarak belirlenmiş ve tohum sayısı en yüksek yabancı otlar *A. sterilis*, *G. aperina*, *H. vulgare*, *P. aviculare* ve *R. rugosum* olarak tespit edilmiştir. Ülkemizde farklı araştırmacılar tarafından selektörden sonra buğday ürününe karışan yabancı otların belirlenmesinde Tokat ili için selektörden önce yabancı otların buğday ürününe karışma oranlarının sayısal olarak ortalama % 0.440 ve ağırlık olarak % 0.502 oranında bir karışma olduğu, bu oran selektörden sonra önemli oranda azaldığını belirtilmiştir (Sırma ve ark., 1997). Trakya Bölgesinde (Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli) yapılan bir çalışmada selektörden önce 32 adet, selektörden sonra ise 25 adet yabancı ot türünün buğday ürününe karıştığı ve en yaygın olanlar *Avena* spp., *Bromus* spp., *Consolida* spp., *C. arvensis*, *Galium* spp., *Hordeum* spp., *M. perfoliatum*, *R. rugosum* ve *Visia* spp. olarak belirlenmiştir (Özkal ve Kara, 2006). Konya ili için ise 15 adet un fabrikasında alınan örneklerde 19 familyaya ait 79 yabancı ot türü belirlenmiş ve sayısal en yoğun türler *G. aperina*, *A. cylindrica* ve *C. arvensis* olarak tespit edilmiştir (Bozkan ve Karaca, 2021).

Türkiye genelinde buğday ürününe karışan yabancı ot tür ve ağırlıkları bölgeden bölgeye değişkenlik gösterdiği yapılan farklı çalışmalarla ortaya konulmuştur. Zira yabancı ot florası bölgenin ekolojik özellikleri ve yönetim sistemine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ancak buğday bitkisine özelleşmiş bazı kozmopolit yabancı otlar (*Avena* spp., *Galium* spp., *H. vulgare*, *S. arvensis* vb) hemen hemen her bölgede dağılım gösterdiğinde buğday ürünü karışan ve sayısal olarak en yaygın türler oldukları belirtilmiştir (Özkal ve Kara, 2006; Tursun ve ark., 2006; Kordali ve Zengin, 2009; Gökalt ve Üremiş, 2015; Baş ve ark., 2016; Şin ve ark., 2016; Pala ve Mennan, 2018; Bozkurt ve Tursun, 2018; Kaçan ve Tursun, 2019; Özkan ve Karaca, 2021). Nitekim Özer ve ark. (2001) tohumlarını az döken bazı yabancı ot türleri *S. arvensis*, *G. tricornutum*, *Papavera rhoeas* ve *Capsella bursa-pastoris* gibi türlerin buğday hasadıyla beraber tohumların ürüne karışma oranını yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada buğday içerisinde bulunan yabancı ot türlerin bölgede yapılan diğer çalışmalar büyük oranda benzerlik göstermiştir. Bu durum farklı iller olsa da genel anlamda bölgenin ekolojik özellikleri benzerlik göstermesi ve yabancı ot mücadelesinde benzer uygulamaların yapılması ürüne karışan yabancı ot tür ve yoğunluklarının genel anlamda benzer olmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bölgede tohumluk olarak kullanılan buğdayın bölgedeki iller arasında sirkülasyon ile beraber bazı yabancı otların gelmiş olma olasılığı da gözde kaçırılmamalıdır. Nitekim Türkiye'ye Rusya'dan ithal edilen buğdayı taşıyan 12 adet gemiden alınan 50 kg buğday alınmış ve 1 kg buğday içerisinde 539.18 adet ve ağırlık olarak 4.23 gr yabancı ot tohumun karıştığı saptanmıştır.

Aynı çalışmada buğday ürününe karışan 19 familyaya ait toplam 68 yabancı ot türü bulunmuş ve sayısal olarak en yaygın yabancı ot türleri *S. arvensi*, *G. aparine*, *H. vulgare*, *A. fatua*, *P. convulvulus*, *C. arvensis*, *P. miliaceum* ve *T. arvense* olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde Alaska’da sap ve saman ithalatında ülkeye giriş yapan istilacı yabancı otların belirlenmesine yönelik bir çalışmada en yoğun bulaşan yabancı ot türleri *B. tectorum*, *E. repens* ve *H. murinum* olduğu tespit edilmiştir (Conn ve ark., 2010). Japonya’da yapılan bir çalışmada ise ithal tahıl girişinin yapılan ve yapılmayan limanların olduğu bölgelerde yapılan floratik incelemede tahıl girişinin olduğu limanlarda yabancı ot çeşitliliğini daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durum ithal tahılla gelen kirletici (yabancı ot) tohumların döküldüğünü ve en yaygın türlerin yerleşik hale gelme olasılığının yüksek olduğu ve yabancı ot tohumlarının bulaşma yoluyla yayılımlarının yüksek bir orana sahip olduğunu bildirmişlerdir (Ikeda ve ark., 2022).

Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan benzer çalışmalarda da özellikle kozmopolit yabancı ot türlerin buğday ürününe bulaşma oranları yüksek olmaktadır. Pippa ve ark. (2010) tarafından Batı Avustralya’da yapılan bir çalışmada 74 çiftlikte alınan 10 kg’lık buğday örneğinde en yaygın yabancı ot türlerinin *A. fatua*, *H. vulgare*, *L. rigidum* ve *R. raphanistrum* olduğu bildirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise 29 üreticiden alınan 81 buğday örneğinin %59’da yabancı ot bulaşmasının olduğu ve en yüksek bulaşma oranı %49’la *L. rigidum* türü olduğu belirtilmiştir (Owen ve Powles, 2020).

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, buğday üretiminde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden birinin yabancı otlar olduğunu ortaya koymuştur. Yabancı otlar, özellikle vejetasyon döneminde buğday bitkisiyle rekabete girerek verim kaybına neden olurken, zehirli yabancı otların buğday ürününe karışmasıyla un kalitesini ve dolaylı olarak insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, yabancı ot tohumları ile bulaşık olan tohumluk buğday, ekonomik değerini kaybetmekte ve piyasa albenisini düşürmektedir.

Bu nedenle, buğday üretiminde hem verim ve kaliteyi artırmak hem de yüksek girdi maliyetlerini düşürmek için yabancı ot tür ve yoğunluklarının ekonomik zarar eşiğinin altında tutulması kritik bir gerekliliktir. Bu kapsamda, entegre mücadele yöntemlerinin benimsenmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle şu stratejiler öne çıkmaktadır:

- ✓ Uygun kültürel önlemlerin alınması: Sertifikalı tohum kullanımının teşvik edilmesi, ekim nöbeti (münavebe) uygulamaları, doğru ekim zamanı ve toprak işleme yöntemlerinin benimsenmesi,
- ✓ Topraktaki yabancı ot tohum rezervinin düşürülmesi: Uygun mekanik ve kültürel yöntemlerle toprak sağlığının korunması,
- ✓ Etkili kimyasal mücadele: Uygun zaman, doz, herbisit seçimi ve doğru ekipman kullanımı ile yapılan bilinçli müdahaleler,
- ✓ Hasat sonrası temizlik uygulamaları: Çiftçilerin kendi tohumunu kullandığı durumlarda, hassas sensörlü eleklerin kullanımının yaygınlaştırılarak tohumla yayılan yabancı otların kontrol altına alınması.

Bu öneriler doğrultusunda, yabancı otların yayılımını önlemeye yönelik bütüncül bir stratejinin geliştirilmesi, buğday üretiminde sürdürülebilirlik ve ekonomik kazanç hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olacaktır. Çiftçilerin farkındalığının artırılması ve

bu yöntemlerin uygulanabilirliğinin desteklenmesi, bölge tarımı üzerinde olumlu bir etki yaratacaktır.

Kaynaklar

- Anonim. (2024a). Conservational seed bank. Retrieved January 5, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/topics/nursing-and-health-professions/conservational-seed-bank>
- Anonim. (2024b). Federal noxious weed disseminules of the United States. Retrieved January 5, 2024, from [http://idtools.org/id/fnw/gallery.php?show\[\]=Other%20Families&remove\[\]=spores&page=2](http://idtools.org/id/fnw/gallery.php?show[]=Other%20Families&remove[]=spores&page=2)
- Anonim. (2024c). Searchable seed image and illustration gallery. Retrieved January 5, 2024, from https://inspection.canada.ca/active/netapp/idseed/idseed_gallerye.aspx?page=5&family=&keyword=&letter=&itemsNum=12
- Asav, Ü., Kadioğlu, İ., (2014). Rusya Federasyonu'ndan Türkiye'ye ithal edilmek üzere Trabzon Limanı'na gelen buğdaylardaki yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(4), 29–36.
- Baş, A., Karaca, M., Güncan, A., (2016). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının tespiti ve dağılımları. *Turkish Journal of Weed Science*, 19(2), 49–60.
- Bozkan, N., Karaca, M., (2021). The species and intensities of weed seeds obtained from wheat flour mill plants in Turkey. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 35(2), 147–154.
- Bozkurt, M. M., Tursun, N., (2018). Muş ilinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohumları. *Turkish Journal of Weed Science*, 21(2), 1–15.
- Cattaneo, F., Di Gennaro, P., Barbanti, L., Giovannini, C., Labra, M., Moreno, B., Benitez, E., Marzadori, C., (2014). Perennial energy cropping systems affect soil enzyme activities and bacterial community structure in a South European agricultural area. *Applied Soil Ecology*, 84, 213–222.
- Conn, J.S., Stockdale, C.A., Werdin-Pfisterer, N.R., Morgan, J.C., (2010). Characterizing pathways of invasive plant spread to Alaska: II. Propagules from imported hay and straw. *Invasive Plant Science and Management*, 3(3), 276–285.
- FAO. (2024). FAOSTAT. World food situation 2024. Retrieved December 12, 2024, from <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- Fuchs, H., Voit, B., (1992). Purity and contamination in cereal seed samples-long term survey from result of seed testing. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 69, 757–777.
- Gökalp, Ö., Üremiş, İ., (2015). Mardin'de buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 23–30.
- Güncan, A., Boyraz, N., (2001). Anadolu'nun batısında buğday ürününe karışan yabancı ot tohumları ve yoğunlukları. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(26), 161–172.
- Güncan, A., (2014). *Yabancı ot mücadelesi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Yayınevi.
- Güncan, A., Karaca, M., (2018). *Yabancı ot mücadelesi* (Güncellenmiş ve ilaveli dördüncü baskı). Konya: Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

- Ikeda, M., Nishi, T., Asai, M., Muranaka, T., Konuma, A., Tominaga, T., Shimono, Y., (2022). The role of weed seed contamination in grain commodities as propagule pressure. *Biological Invasions*, 24, 1707–1723. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02741-6>
- Jabran, K., Mahmood, K., Melander, B., Bajwa, A.A., Kudsk, P., (2017). Weed dynamics and management in wheat. *Advances in Agronomy*, 145, 97–116.
- Kaçan, K., Tursun, N., (2019). Balıkesir ve Çanakkale illerinde buğday ürünü içerisine karışan yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(2), 248–259.
- Kraehmer, H., (2016). *Atlas of weed mapping*. New York: Wiley-Blackwell.
- Kordali, Ş., Zengin, H., (2009). Bayburt ili'nde arpa, buğday ve mercimek tohumluklarındaki yabancı ot türlerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(2), 43–55.
- Lal, R., (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5, 212–222.
- Mal, P., Schmitz, M., Hesse, J. W. (2015). Economic and environmental effects of conservation tillage with glyphosate use: A case study of Germany. *Outlooks on Pest Management*, 26, 24–27.
- Mehmeti, A., Pacanoski, Z., Fetahaj, R., Kika, A., Kabashi, B., (2018). Weed control in wheat with post-emergence herbicides. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24, 74–79.
- Nakka, S., Jugulam, M., Peterson, D., Asif, M., (2019). Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. *The Crop Journal*, 7(6), 750–760.
- Niknam, S. R., Moerkerk, M., Cousens, R., (2002). Weed seed contamination in cereal and pulse crops. In *Proceedings of the 13th Australian Weeds Conference* (pp. 59–62). Melbourne, Australia.
- Owen, M. J., Powles, S.B., (2020). Lessons learnt: Crop-seed cleaning reduces weed-seed contamination in Western Australian grain samples. *Crop and Pasture Science*, 71(7), 660–677.
- Özer, Z., (1993). Niçin yabancı ot bilimi (herboloji), *Türkiye I. Herboloji Kongresi*, (pp. 1-7), 3-5 Şubat, Adana, Türkiye.
- Özer Z., Önen H., Tursun N., Uygur F.N., (1999). *Türkiye'nin Bazı Önemli Yabancı Otları (Tanımları ve Kimyasal Savaşmaları)*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:38, Kitaplar Serisi No:16, Basım sayısı:4, 430s., ISBN:975-7328-24-3, Tokat.
- Özer, Z., Kadioğlu, İ., Önen, H., Tursun, N., (2001). Herboloji (Yabancı Ot Bilimi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 20 Kitap Seri No: 10, Tokat.
- Özgil, M., Kara A., (2006). Trakya bölgesinde selektörden önce ve sonra buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının ve yoğunluklarının belirlenmesi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 45-52.
- Pala, F., Mennan, H., Fatih, Ç., Dilmien, H., (2018). Diyarbakır'da buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 183–190.
- Pippa, J. M., Borger, C. B., MacLeod, W. J., Payne, P. L., (2010). Occurrence of summer fallow weeds within the grain belt region of southwestern Australia. *Weed Technology*, 24(4), 562–578.

- Scursoni, J., Martín, A., Catanzaro, M. P., Quiroga, J., Goldar, F., (2011). Evaluation of postemergence herbicides for the control of wild oat (*Avena fatua* L.) in wheat and barley in Argentina. *Crop Protection*, 30, 18–23.
- Sırma M., Kadioğlu İ., Güncan A., (1997). Tokat ve yöresinde tohumluk buğdayda selektörden önce ve sonra ürüne karışan yabancı ot tohumlarının ve yoğunluklarının belirlenmesi. *Türkiye II. Herboloji Kongresi*, (pp. , 279-287), 1-4 Eylül İzmir-Ayvalık, Türkiye.
- Sırrı, M., (2019). Buğday ekim alanlarında sorun oluşturan yabancı ot türleri: Siirt ili örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 142–152.
- Sırrı, M., Farooq, S., Özaslan, C., (2021). Weed Species Of Winter Cereals And Their Management In Turkey. In book: *Cereal Grain: Productions and Improvement*, (pp. 275-318). Publisher: www.iksadyayinevi.com
- Sırrı, M., Fidan, M., Budak, M. (2023). Yüksekova Havzasında buğday alanlarında yabancı ot florası ve dağılımını etkileyen toprak faktörleri, *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(4), 855-869.
- Şin B., Kadioğlu İ., Kamışlı B., (2016). Tokat İlinde Buğday Ürünü İçerisine Karışan Yabancı Ot Tohumlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Weed Science*, 19(2), 28-37
- Tursun, N., Kantarcı, Z., Seyithanoğlu, M., (2004). Adıyaman ve Gaziantep bölgelerinde buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 7(1), 1–12.
- Tursun, N., Kantarcı, Z., Seyithanoğlu, M., (2006). Kahramanmaraş'ta buğday ürününe karışan yabancı ot tohumlarının belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2), 110-115.
- Tursun, N., (2011). Determination of weed seeds contaminating wheat grains in Southeastern Anatolia region of Turkey. *Proceedings of the IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection of Stored Products*, (IOBC/WPRS Bulletin), 69, 135-139.
- USDA. (2024). United States Department of Agriculture economic research service 2024. Retrieved December 12, 2024, from <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/106544/whs-23e.pdf?v=9179.4>
- Woźniak, A., (2019). Effect of crop rotation and cereal monoculture on the yield and quality of winter wheat grain and on crop infestation with weeds and soil properties. *International Journal of Plant Production*, 13(3), 177–192

Batmış (Cil) Gölü (Bitlis) Ornitofaunası Üzerine Bir Araştırma

Hümeýra Nergiz Uyar^{1*}, Ramazan Alanmış¹

¹Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, BİTLİS

*hnergiz@beu.edu.tr

DOI: 10.57244/dfbd.1650233

Geliş tarihi/Received:03/03/2025

Kabul tarihi/Accepted:13/13/2025

Özet

Bu araştırma Mart 2023-Ekim 2024 tarihleri arasında Bitlis il sınırları içerisinde bulunan Batmış (Cil) Gölü'nde gerçekleştirilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda göl alanı ve çevresinde; 15 takım ve 28 familyaya mensup 67 kuş türü tespit edilmiştir. Bu türlerden; 20 tür yerli (% 29,8), 43'ü yaz ziyaretçisi (% 64,3) ve 4'ü (% 5,9) transit göçerdir.

Batmış Gölü'nde gözlemlenen kuşların, IUCN (Uluslararası Doğa Koruma Birliği) kriterlerine göre tehlike durumları ve statüleri incelendiğinde; 2 tür EN "Tehlike altında" (*Oxyura leucocephala*-dikkuyruk ördek ve *Neophron percnopterus*-küçük akbaba), 2 tür VU "Zarar görebilir=Duyarlı" (*Aythya ferina*-elmabaş patka ve *Streptopelia turtur*-üveyik) ve 1 tür de NT "Tehlikeye yakın" (*Vanellus vanellus*-kız kuşu) kategorisinde bulunmaktadır. Bern Sözleşmesi kriterlerine göre alandaki 41 tür EK-II' listesinde, CITES Sözleşmesine göre ise alandaki türlerden 7'si EKII listesinde yer almaktadır.

Anahtar kelimeler Kuşlar, sulak alan, Bitlis, biyoeкологи, avifauna.

A Study on Ornithofauna of Batmış (Cil) Lake (Bitlis)

Abstract

This research was carried out in Batmış (Cil) Lake within the borders of Bitlis province between March 2023 and October 2024. As a result of the field studies, 67 bird species belonging to 15 orders and 28 families were identified in the lake area and its surroundings. Of these species, 20 species were resident (29,8%), 43 were summer visitors (64,3%) and 4 (5,9%) were transit migrants.

When the birds observed in Batmış Lake were examined in terms of their danger status and status according to the IUCN (International Union for Conservation of Nature) criteria, it was seen that 2 species were in the EN "Endangered" category (*Oxyura leucocephala*-white-headed duck and *Neophron percnopterus*- Egyptian vulture), 2 species were in the VU "Vulnerable = Sensitive" category (*Aythya ferina*-common pochard and *Streptopelia turtur*-European turtle dove) and 1 species was in the NT "Near Threatened" category (*Vanellus vanellus*-Northern lapwing). According to the Bern Convention Red List Categories, 41 species in the area were on the Appendix II, and according to the CITES Convention Red List Categories, 7 of the species in the area were on the Appendix II

Keywords: Birds, wetland, Bitlis, bioecology, avifauna.

Giriş

Biyolojik çeşitliliğin önemli bir bölümünü oluşturan sulak alanlar, yüz binlerce yıllık doğal süreçler sonucu meydana gelmiştir (Yu ve ark., 2023; Song ve ark., 2024). Bulundukları bölgenin iklimine, topoğrafyasına, hidrolojisine, su kalitesine, vejetasyonuna, biyolojik verimliliğine, sosyoekonomik yapısına etki eden çok önemli sucul ekosistemlerdir (Mitsch ve Gosselink, 2000). Özellikle su kuşlarının beslenme, kışlama ve üremeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Dünyanın en önemli genetik rezervuarı olmasının yanında iklim değişikliğinin etkilerini azaltma, karbon depolama ve su döngüsünün sürdürülebilirliği için kritik öneme sahip olan sulak alanlar aynı zamanda

tüm dünyada en çok tehlike altında olan ekosistemlerin başında gelmektedir (Anonim, 1993; Bobbing ve ark., 2006; Khatri, 2014).

Türkiye’de 14 tanesi Ramsar Alanı, 59’u Ulusal öneme sahip ve 58 tanesi de Uluslararası öneme sahip olan 131 sulak alan mevcuttur (Toplam 1.186.466 ha). Ülkemizde son 50 yılda 2 milyon hektardan fazla sulak alan drenaj, kuruma ve kirlenme gibi nedenlerle ekolojik ve ekonomik işlevini yitirmiştir. (Anonim, 2025). Türkiye’deki sulak alanların ekolojik ve ekonomik önemi göz önüne alındığında, bu alanların korunması ve sürdürülebilir kullanımı büyük önem taşımaktadır. Özellikle biyoçeşitliliğin korunması ve doğal dengenin devamı için sulak alanlar vazgeçilmezdir. Bu bağlamda, Van Gölü Havzası gibi önemli sulak alanlar, hem ekolojik hem de biyolojik çeşitlilik açısından büyük bir değer taşımaktadır (Çelik ve Durmuş, 2017). Kuşlar da bu zenginliğin en önemli unsurlarından bir tanesidir. Çalışma alanı olan Batmış Gölü de Van Gölü Havzası içerisinde yer almaktadır. Batmış Gölü’nün kuş faunasının araştırıldığı bu çalışmada alanda konaklayan ve üreyen kuş türlerinin habitat tercihi, birey sayısı, göç statüleri ve alanda türlerin yaşamını olumlu ve olumsuz etkileyen unsurlar ortaya konmuştur. Batmış Gölü başta kuş gözlemciliği ve ekoturizm olmak üzere doğa yürüyüşü, bisiklet turları, botanik inceleme, yayla turizmi gibi çeşitli turizm etkinlikleri için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma ile alanın ekoturizm potansiyelinin ortaya çıkarılmasına katkı sağlanarak, alanın ekolojik sorunları ve çözümleri ile tür ve alan koruma çalışmalarının nasıl planlanması gerektiği konularında da veri sağlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanının tanıtımı

Batmış (Cil) Gölü; Van Gölü’nün kuzeyinde, Süphan ve Ziyaret Dağları’nın arasındaki ovada, Adilcevaz ilçesine yaklaşık 18 km mesafede, Karakol, Çanakyayla ve Gölüstü köyleri arasında yer almaktadır. Toplamda 3395 ha, göl aynası olarak 122 ha bir alanı kapsayan Batmış Gölü, etrafı ıslak çayırlarla çevrili bir tatlı su gölüdür (Eken ve ark., 2006) (Şekil 1).

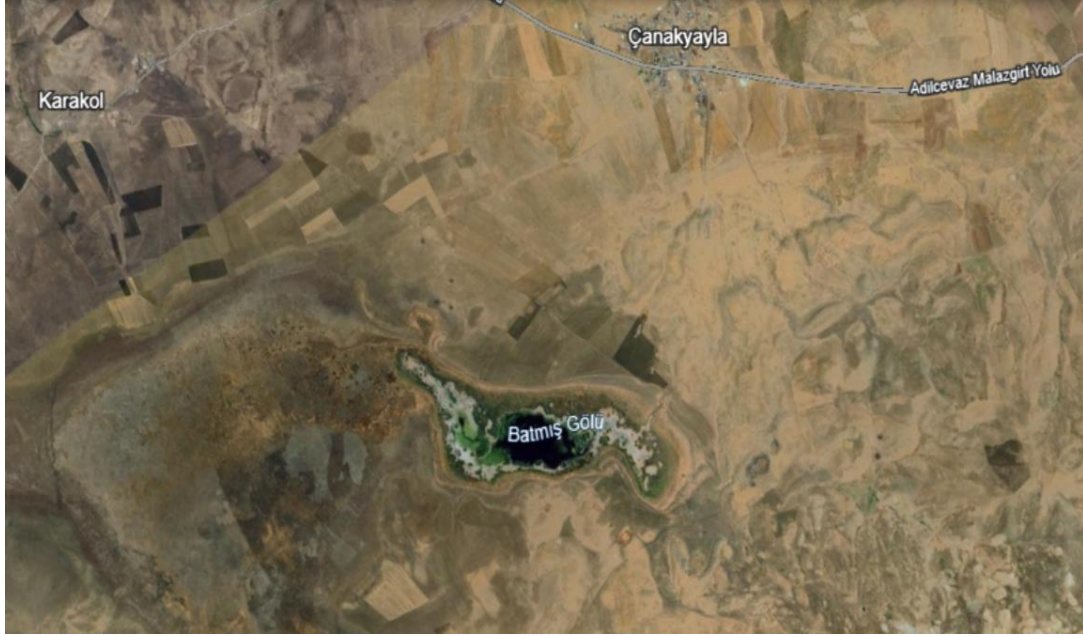
Ortalama 2225 m rakımda olan gölün derinliği ortalama 5-10 m arasında değişmektedir. Ana beslenme kaynağını mevsimsel yağışlar ve hidrolojik açıdan mevsimsel akış özelliğine sahip kuru dereler oluşturmaktadır (Eken ve ark., 2006).

Batmış Gölü’nde bulunan kalkerli seviyelerde erimeyle meydana gelen, yeraltı sularını birbirine bağlayan kanallar şeklinde düdenler bulunmaktadır. Büyük ve küçük düden olmak üzere söz konusu düdenlerden su kaçıışı olduğu düşünülmektedir. Halk arasında bu düdenlere su çıkan, su batan şeklinde isimler de verilmektedir. Batmış Gölü, 2021 yılında Mahalli Öneme Haiz Sulak Alan olarak tescillenmiş ve koruma altına alınmıştır (Anonim, 2023).

Karasal iklimin hüküm sürdüğü Batmış Gölü ve çevresinde kışın erkenden görülen kar örtüsü yüksek kesimlerde nisan ayının sonuna kadar kalmaktadır. Yaz mevsimi ise oldukça kısa sürmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 7,1 °C ile 9,5 °C arasında değişmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 9 °C dolaylarındadır (Anonim, 2023).

Etrafında doğal çayırlıklar ve bataklıklar bulunan Batmış Gölü ve çevresinde 62 familyaya ait ve 336 bitki türü bulunmaktadır. Alanda step formasyonu hakimdir. Bataklık, sazlık ve çayırılık alanlar, meralar ve kayalık alanlar gölün önemli kısmını kaplamaktadır. Alanda en fazla alana sahip olan, yöre halkı tarafından Cil alanı olarak bilinen saha yaklaşık olarak 6 km² kadar olup sulak alanı çevrelemektedir. Ayrıca alan

çevresinde *Astragalus*, *Verbascum*, *Euphorbia*, *Centaurea* gibi step (bozkır) alanlarda yayılış gösteren cinslere ait taksonlar mevcuttur (Behçet, 1991; Avcı, 2005; Eken ve ark., 2006).



Şekil 1. Batmış Gölü'nün uydu görüntüsü (Google Earth).

Batmış Gölü'nün derinliğinin fazla olmaması, su batarlarından suyun çekilmesi ve yazın sonuna doğru alanda su miktarının tamamen kuruması sebebiyle alanda herhangi bir balık türüne rastlanılmamaktadır.

Yöntem

Batmış (Cil) Gölü'nde Mart 2023-Ekim 2024 tarihleri arasında aylık periyotlarla arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Göç ve üreme dönemlerinde sıklaştırılan bu gözlemler genellikle bireylerin aktif olduğu 6⁰⁰-11⁰⁰; 15⁰⁰-19⁰⁰ saatleri arasında yapılmıştır. Popülasyon yoğunluğu ve birey sayısını belirlemeye yönelik gözlemlerde Dobinson'un (1976) "Kareler (Raster Kartlama)" yöntemi uygulanmıştır (Dobinson, 1976; Bibby ve Burgess, 1992). Gözlem ve sayımlar genellikle araştırma alanına hâkim noktalardan belli bir hat dikkate alınarak teleskop, dürbün ve çıplak göz yardımı ile bütün alanın taranması şeklinde yapılmıştır. Çalışmalarda arazi gözlem kartları, dürbün (10 x 50), teleskop (80 mm), numarator, fotoğraf makinesi, objektif (400 mm), video kamera ve teşhis kitapları (Green ve Moorhouse, 1995; Harrison ve Greensmith 2000; Heinzel ve ark., 1995; Kiziroğlu, 2008) kullanılmıştır.

Bulgular

Batmış (Cil) Gölü'nde Mart 2023-Ekim 2024 tarihleri arasında sürdürülen arazi çalışmaları neticesinde göl alanı ve çevresinde; 15 takım ve 28 familyaya mensup 67 kuş türünün konakladığı görülmüştür. Bu türlerden; 20 tür yerli (% 29,8), 43'ü yaz ziyaretçisi (% 64,3), 4'ü (% 5,9) transit göçerdir (Tablo 1).

Tablo 1. Batmış (Cil) Gölü'nde tesit edilen kuş türleri ve koruma statüleri.

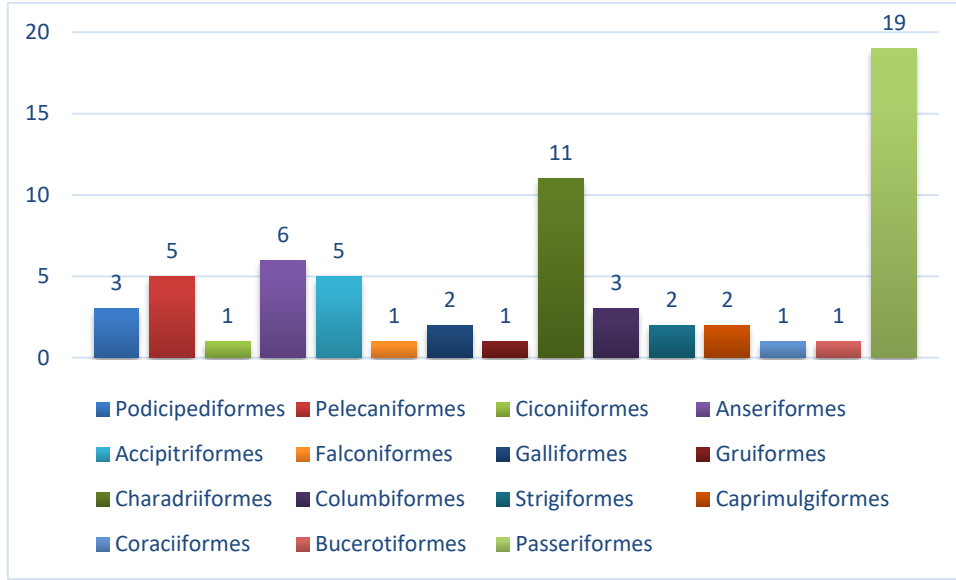
Ordo	Familiya	Tür	Göç Statüsü	IUCN	Bern	CITES
PODICIPEDIFORMES	PODICIPEDIDAE	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Podiceps nigricollis</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Podiceps cristatus</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Ardea purpurea</i>	YZ	LC	EKII	-
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Ardea cinerea</i>	T	LC	EKIII	-
		<i>Ardea alba</i>	YZ	LC	EKII	EKIII
		<i>Egretta garzetta</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Plegadis falcinellus</i>	YZ	LC	EKII	-
	THRESKIORNITHIDAE	<i>Ciconia ciconia</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Anas platyrhynchos</i>	YZ	LC	EKIII	-
CICONIIFORMES	CICONIIDAE	<i>Aythya ferina</i>	YZ	VU	EKIII	-
ANSERIFORMES	ANATIDAE	<i>Aythya fuligula</i>	T	LC	EKIII	-
		<i>Oxyura leucocephala</i>	YZ	EN	EKIII	-
		<i>Tadorna ferruginea</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Tadorna tadorna</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Buteo buteo</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Buteo rufinus</i>	Y	LC	EKII	EKII
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Aquila chrysaetos</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Circus aeruginosus</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Neophron percnopterus</i>	Y	EN	EKII	EKII
		<i>Falco tinnunculus</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Alectoris chukar</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Coturnix coturnix</i>	YZ	LC	EKIII	-
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Fulica atra</i>	Y	LC	EKIII	-
GALLIFORMES	PHASIANIDAE	<i>Himantopus himantopus</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Recurvirostra avosetta</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Charadrius dubius</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Vanellus vanellus</i>	YZ	NT	EKIII	-
		<i>Tringa nebularia</i>	T	LC	EKIII	-
		<i>Tringa totanus</i>	YZ	LC	EKIII	-
GRUIFORMES	RALLIDAE					
CHARADRIIFORMES	RECURVIROSTRIDAE					
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE					
CHARADRIIFORMES	SCOLOPACIDAE					

Tablo 1. Batmış (Cil) Gölü'nde tespit edilen kuş türleri ve koruma statüleri (devamı).

	LARIDAE	<i>Larus ridibundus</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Larus armenicus</i>	Y	LC	EKII	-
		<i>Sterna hirundo</i>	YZ	LC	EKII	
		<i>Chlidonias</i>	YZ	LC	EKII	
		<i>hybrida</i>				
		<i>Chlidonias</i>	YZ	LC	EKII	
		<i>leucopterus</i>				
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>Streptopelia</i>	YZ	LC	EKIII	
		<i>decaocto</i>				
		<i>Streptopelia turtur</i>	YZ	VU	EKIII	
STRIGIFORMES	STRIGIDAE	<i>Athene noctua</i>	Y	LC	EKII	EKII
		<i>Bubo bubo</i>	Y	LC	EKII	
CAPRIMULGIFORMES	APODIDAE	<i>Apus apus</i>	YZ	LC	EKIII	-
ES		<i>Tachymarptis</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>melba</i>				
CORACIFORMES	MEROPIDAE	<i>Merops apiaster</i>	YZ	LC	EKII	-
BUCEROTIFORMES	UPUPIDAE	<i>Upupa epops</i>	YZ	LC	EKII	-
PASSERIFORMES	ALAUDIDAE	<i>Galerida cristata</i>	Y	LC	EKIII	-
		<i>Alauda arvensis</i>	Y	LC	EKIII	-
	HIRUNDINIDAE	<i>Hirundo rustica</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Delichon urbicum</i>	YZ	LC	EKII	-
	MOTACILLIDAE	<i>Motacilla flava</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Motacilla flava</i>	YZ	LC	EKII	
		<i>feldegg</i>				
		<i>Motacilla cinerea</i>	Y	LC	EKII	-
		<i>Motacilla alba</i>	Y	LC	EKII	-
	MUSCICAPIDAE	<i>Erithacus</i>	T	LC	EKII	-
		<i>rubecula</i>				
		<i>Oenanthe</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>isabellina</i>				
		<i>Oenanthe</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>oenanthe</i>				
	LANIIDAE	<i>Lanius collurio</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Lanius minor</i>	YZ	LC	EKII	
	CORVIDAE	<i>Corvus corax</i>	Y	LC	-	-
		<i>Corvus frugilegus</i>	Y	LC	-	-
		<i>Corvus corone</i>	Y	LC	-	-
		<i>cornix</i>				
		<i>Pica pica</i>	Y	LC	-	-
	STURNIDAE	<i>Sturnus vulgaris</i>	Y	LC	-	-
	PASSERIDAE	<i>Passer montanus</i>	Y	LC	EKIII	-
		<i>Passer domesticus</i>	Y	LC	-	-
	FRINGILLIDAE	<i>Linaria cannabina</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>Carduelis</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>carduelis</i>				
	EMBERIZIDAE	<i>Emberiza</i>	YZ	LC	EKIII	-
		<i>calandra</i>				
		<i>Emberiza</i>	YZ	LC	EKII	-
		<i>melanocephala</i>				

Y: Yerli, YZ: Yaz Ziyaretçisi, T: Transit Göçer, EN: Endangered/Tehlikede, VU:Vulnerable/Hassas, NT: Near Threatened/Tehlikeye yakın, LC:Least Concern/Düşük risk

Batmış Gölü'nde en fazla tür sayısına sahip olan ordo Passeriformes, en az türe sahip olan ordolar ise Ciconiiformes, Falconiformes, Gruiformes, Coraciiformes ve Bucerotiformes 'tir.



Şekil 2. Takımların içerdiği tür sayıları.

Araştırma süresince Batmış Gölü'nde gözlemlenen kuşların IUCN'e göre tehlike durumları ve statüleri incelendiğinde; 2 türün EN "Tehlike altında" (*Oxyura leucocephala*-dikkuyruk ördek ve *Neophron percnopterus*-küçük akbaba), 2 türün VU "Zarar görebilir=Duyarlı" (*Aythya ferina*-elmabaş patka ve *Streptopelia turtur*-üveyik) ve 1 türün de NT "Tehlikeye yakın" (*Vanellus vanellus*-kız kuşu) kategorisinde yer aldığı görülmektedir. Alandaki 62 tür ise LC "Asgari endişe=Düşük riskli" kategorisinde yer almaktadır. Alanda gözlenen kuşlar Bern Sözleşmesine göre sınıflandırıldığında 41 türün EK-II' listesinde yani "Önemli Düzeyde Korunan Türler" arasında bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışma sahasındaki türlerden 20 tanesi aynı sözleşmenin EK III listesinde yer almaktadır. CITES sözleşmesi kriterleri değerlendirildiğinde alandaki türlerden 7'si EKII listesinde yer almaktadır.

Adızel (1998)'in, Van Gölü Havzası'nın kuş faunasını araştırdığı çalışmasında kış ziyaretçisi olarak belirlediği elmabaş patka-*Aythya ferina* yaz ziyaretçisi ve tepeli patka-*Aythya fuligula* ise transit göçer olarak gözlemlenmiştir. Avcı ve ark., (2017)'nin bölge için statüsünü kış ziyaretçisi, Gökşen (2022)'nin Nemrut Kalderası Tabiat Parkı'nın ornitofaunası ile ilgili çalışmasında yaz ziyaretçisi olarak verdikleri kızılgerdan-*Erithacus rubecula* Batmış Gölü'nde transit göçer olarak gözlemlenmiştir.

Adızel ve Durmuş (2009)'un Erçek Gölü'nün kuş türleri ile ilgili çalışmalarında yerli tür olarak verdikleri ak balıkçıl-*Ardea alba* Batmış Gölü'nde yaz ziyaretçisi olarak tespit edilmiştir.

Azizoğlu (2013)'ün, Hakkari'deki Nehil Sazlığı'nda yaz göçmeni olduğunu belirttiği gri balıkçıl-*Ardea cinerea* Batmış Gölü'nde transit göçer olarak kaydedilmiştir.

Nergiz (2019)'un, Adilcevaz'daki Heybeli Gölü'nde konaklayan kuş türleri ile ilgili çalışmasında yerli tür olarak belirttiği karabaş martı-*Larus ridibundus* alanda yaz ziyaretçisi olarak gözlemlenmiştir.

Eken ve ark., (2006)'nın alanda ürediğini belirttiği küçük kerkenez-*Falco naumanni*, turna-*Grus grus* ve balaban-*Botaurus stellaris* gibi türlerin alanda bulunduğu dair bir bulguya rastlanmamıştır.

Ercasip (2024)'ün, Van'daki Turna Gölü kuşları ile çalışmasında yerli tür olarak verdiği boz kuyrukkakan-*Oenanthe isabellina* Batmış Gölü'nde yaz ziyaretçisi olarak gözlenmiştir.

Batmış Gölü'ndeki kuş türlerinin göç statülerindeki bu farklılıkların en önemli sebebinin iklimsel ve coğrafik farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Kış aylarında alanın tamamına yakını donmaktadır. Alan ve çevresindeki kar örtüsünün diğer alanlara göre daha uzun süre kalıyor olması da kuş türlerinin burada barınmasını ve beslenmesini zorlaştırmakta, başka alanları tercih etmelerine sebep olmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Batmış Gölü'nde yapılan araştırmalar sonucunda; gölün sahip olduğu kuş faunası açısından önemli bir sulak alan olduğu gözlemlenmiştir. İnsan etkisinden uzak zengin habitatları başta nesli küresel olarak tehlike altında olan dikkuyruk ördek, küçük akbaba ve elmabaş patka olmak üzere birçok canlı türüne konaklama ve üreme imkânı sunmaktadır. Çalışmalarımız sırasında alandaki canlı türlerinin popülasyon durumunu tehdit edecek bazı olumsuzlukların olduğu görülmüştür. Bunlardan ilki cil kesimidir. Cil kesimi ilkbaharın ortalarında başlayıp sonuna kadar yapılmaktadır. Kuşların kuluçka zamanına denk gelen bu kesimler özellikle alanda üreyen ve nesli dünya çapında tehlike altında olan dikkuyruk ördek ve elmabaş ördek gibi su kuşlarının üremesini olumsuz etkilemektedir.

Sonbaharda alanda kalan ve kuruyan vejetasyonun yakılması sonbahar göçü öncesi alanı kullanan türleri etkilemekte ve erkenden alandan uzaklaşmalarına sebep olabilmektedir. Ayrıca alandan uzaklaşamayan sürüngen, amfibi ve diğer türleri de tehdit etmektedir.

Alandaki yasa dışı avcılık faaliyetleri de alandaki kuş türleri üzerinde önemli bir baskı ve ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Avlanan türler genelde suna-*Tadorna tadorna*, angıt-*Tadorna ferruginea*, yeşilbaş ördek-*Anas platyrhynchos* ve elmabaş patka-*Aythya ferina* gibi su kuşlarıdır. Göl çevresindeki aşırı otlatma faaliyetleri de alandaki biyolojik çeşitliliği olumsuz etkileyen önemli bir ekolojik risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Batmış Gölü'nde kaydedilen bütün bu olumsuzluklara ve belirtilen problemlere rağmen, alanın evsel ve sanayi atıkları ile kirletilmemiş olması, topografik yapısının düzlük olması, Adilcevaz ilçesine yakın olması ve rahat ulaşım sağlanması alana avantaj sağlamaktadır. Özellikle kurak dönem ile yaz aylarında Batmış Gölü'nde su tutulamamasının ve bir göl aynası oluşmamasının en büyük nedenlerinden biri bölgede yer alan düdenlerdir. Öncelikle düdenlerden batan suyun çıkış noktası tespit edilerek alanın su rejimi oluşturulmalıdır. Alanda üreyen özellikle dikkuyruk ördek ve elmabaş gibi türlerin varlığı ön plana çıkarılarak bir an önce yasal koruma statüsüne kavuşması gerekmektedir. Cil kesimlerinin yapılma sürelerinin belirli periyotlarda yapılması kuşların kuluçka zamanlarına denk gelmemesinin sağlanması önerilebilir. Yine sonbahar döneminde bölgedeki kalan vejetasyonun yakılmak yerine başka bir yöntem ile temizlenmesi sağlanarak kuş türlerinin göç dönemi öncesinde alanı erkenden terk edilmelerin önüne geçilecektir.

Kaynaklar

- Adızel Ö., Durmuş, A. (2009). A study on bird species under threat and avifauna of Erçek Lake (Van/Turkey). *Scientific Research and Essay*, 4 (10), 1006 -1011.
- Adızel, Ö. (1998). *Van Gölü Havzası Ornitofaunası Üzerine Araştırmalar*. Doktora tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Anonim (1993). *Türkiye'nin Sulak Alanları. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı*, Ankara.
- Anonim (2023). Bitlis İli 2022 Yılı Çevre Durum Raporu. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/b-tl-s_-cdr202220231114081338.pdf (Erişim tarihi:23.09.2024)
- Anonim (2025). Türkiye Sulakları Koruma Altında. (<https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/6507/Turkiyede-131-Sulak-Alan-Koruma-Altinda>). (Erişim tarihi: 12.10.2024)
- Avcı, F., Adızel, Ö., Azizoğlu, E. (2017). A Study On Ornithofauna of Muş Plain. *Adyütayam*, 5(1), 20-32.
- Avcı, M.(2005). Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye'nin Bitki Örtüsü. *İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi (Electronic)*, 13: 27- 55.
- Azizoğlu, E. (2013). *Yüksekova (Hakkari) Nehil Sazlığı Ornitofaunası Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Behçet, L. (1991). Süphan Dağı (Bitlis) Florası. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 29-38.
- Bibby, C.J., Burgess, N.D. (1992). *Bird Census Techniques*. Academic Press Limited.
- Bobbink, R., Beltman, B., Verhoeven, J.T.A., Whigham, D.F. (2006). *Wetlands: functioning biodiversity conservation and restoration*. Springer.
- Çelik, E., Durmuş, A. (2017). Determining the seasonal ornithological potential of the Dönemeç (Engil) delta and generate the digital maps using geographical information systems (GIS). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(3), 73-78.
- Dobinson, H.M. (1976). *Bird Count, A Practical Guide to Bird Survey*. Penguin Books Ltd.Hormondsworth.
- Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyoğlu, S., Kılıç, D.T., Lise, Y. (2006). *Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları*. Mas Matbaacılık.
- Ercasip, M. (2024). *Turna (Keşiş) Gölü Ornitofaunası Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Gökşen, H.İ. (2022). *Nemrut Kalderası Tabiat Anıtı'nın Kuş Faunası*. Yüksek lisans tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis.
- Green, I., Moorhouse, N. (1995). *A Birdwatchers' Guide to Turkey*. Bird Watcher's Guides Prion Ltd. England.
- Harrison, C., Greensmith, A. (2000). *Birds of the World*. A Dorling Kindersley Book.
- Heinzel, H., Fitter, R., Parsiov, J. (1995). *Türkiye ve Avrupa'nın Kuşları*. Doğal Hayatı Koruma Derneği Yayınevi.
- Khatri, T.B. (2014). Wetlands, Biodiversity and Climate Change. *The Initiation*, 5,138-142.
- Kızıroğlu, İ. (2008). *Türkiye Kuşları Kırmızı Listesi*. Desen Matbaası.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (2000). *Wetlands*. John Wiley & Sons, New York. <https://doi.org/10.1002/rrr.637>.

- Nergiz, H. (2019). Heybeli Gölü (Bitlis) Kuş Çeşitliliği Üzerine Bir Araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2): 692-698.
- Song, A., Liang, S., Li, H., Yan, B. (2024). Effects of biodiversity on functional stability of freshwater wetlands: a systematic review. *Frontiers in Microbiology*, 8(15):1397683. doi: 10.3389/fmicb.2024.1397683.
- Yu Z., Jiang M., Chen F. (2023). Wetland science, ecosystem services and protection actions in China. *Fundamental Research*, 3, 831–832.

Machining of AISI 52100 Steel: Statistical Insights into Dry Environment with Variable Tool Nose Radius

Songül KARABULUT¹, Rüstem BİNALI^{1*}, Mehmet Erdi KORKMAZ², Tayfun ÇETİN³

¹Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya

²Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabük

³Hakkari University, Yüksekova Vocational School, Department of Electricity and Energy, Hakkari

*e-mail: rustem.binali@selcuk.edu.tr

DOI: 10.57244/dfbd.1708389

Geliş tarihi/Received: 28/05/2025

Kabul tarihi/Accepted: 18/06/2025

Abstract

The present work studies the machinability of bearing steel, AISI 52100 in dry turning process with two different tool nose radius, i.e. 0.4 mm and 0.8 mm. A full factorial design was used to analyze the effect of cutting speed, feed, and depth of cut in terms of a cutting force, surface roughness, and energy consumption. The experimental data demonstrated that higher cutting forces and energy consumption always occurs when increasing the tool nose radius (0.8 mm), and the higher surface roughness in the case of the smaller (0.4 mm) nose radius. ANOVA and S/N ratio analysis indicated that the most important factor affecting cutting force was the feed rate of feed per tooth, and the depth of cut also had considerable effects on the surface roughness between the two depths of cut, particularly for the 0.4 mm radius tool. Although the trend in force and energy as a function of both radius were close to each other, the surface finish performance differed significantly. The results can be used in setting cutting parameters for high-hardness steels (AISI 52100) to balance productivity and surface quality.

Keywords: AISI 52100, Tool nose radius, Surface roughness, Cutting force, Energy Consumption

AISI 52100 Çeliğinin İşlenmesi: Değişken Takım Ucu Yarıçapına Sahip Kuru Ortama İlişkin İstatistiksel Bilgiler

Özet

Mevcut çalışma, iki farklı takım ucu yarıçapı, yani 0,4 mm ve 0,8 mm, ile kuru tornalama işleminde rulman çeliği, AISI 52100'ün işlenebilirliğini araştırmaktadır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi açısından etkisini analiz etmek için tam faktöriyel bir tasarım kullanılmıştır. DeneySEL veriler, takım ucu yarıçapı (0,8 mm) artırıldığında her zaman daha yüksek kesme kuvvetlerinin ve enerji tüketiminin meydana geldiğini ve daha küçük (0,4 mm) burun yarıçapı durumunda daha yüksek yüzey pürüzlülüğünün meydana geldiğini göstermiştir. ANOVA ve S/N oranı analizi, kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktörün dış başına ilerleme hızı olduğunu ve kesme derinliğinin de özellikle 0,4 mm yarıçaplı takım için iki kesme derinliği arasındaki yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Her iki yarıçapa bağlı olarak kuvvet ve enerjideki eğilim birbirine yakın olsa da, yüzey kalitesi performansı önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Sonuçlar, üretkenlik ve yüzey kalitesini dengelemek amacıyla yüksek sertlikteki çelikler (AISI 52100) için kesme parametrelerinin ayarlanmasında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: AISI 52100, Takım ucu yarıçapı, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme kuvveti, Enerji tüketimi

Introduction

AISI 52100 is a bearing steel, and it is a high carbon chromium alloy steel with high wear resistance, high hardness and good strength. Thanks to its high wear resistance and strength, it is preferred in jobs requiring strength such as metalworking, aircraft engines and fastening jobs. The high hardness ratio increases the resistance of materials made of this material to surface fatigue, while allowing it to be actively used for many years in a way that will be resistant to corrosion together with the chromium alloy. With the addition of chromium to the high carbon ratio, the material offers equal hardness and strength on the surface. This allows it to be used in jobs that will meet difficult requirements while providing structural integrity. The high hardness of 52100 steel can cause quick breakage due to its limitation of flexibility. In this case, a stronger structure is obtained by changing its microstructures with the necessary heat treatment processes and used in bearing production machines and the automotive sector. Steels quenched with the tempering method are heated, and after heat protection, a cooling process is carried out in air, oil or water. Tempering increases the workability of the steel and minimizes brittleness. 52100 steel can be easily machined, but being harder than the reference steel wears out the mold faster, making it more difficult to machine. Therefore, considering that there may be differences in the first mass production of the tool produced and the final mass production, as well as changes in the technological developments of the tools produced with the developing technology, it is necessary to continue the experiments by taking into account factors such as each machine and each condition (Azizi et al., 2012; Uğur et al., 2022; Demirpolat et al., 2023).

Machinability input parameters are; cutting speed, feed rate, cutting environment, depth of cut. However, the most common ones are cutting speed, depth of cut, feed rate (Binali et al., 2022; Gupta et al., 2023; Günay et al., 2017; Işık et. al., 2024; Turan et al., 2025; Korkmaz et al., 2019; Özlü, 2022; Machado et. al., 2024; Yamaner and Kul, 2025). Many studies have been done on this subject. These studies are as follows; Demirpolat et al. have examined the effects of machining parameters on surface roughness, cutting temperature and cutting force in turning AISI 52100 steel in their experiments. As a result of the experiments, machining of bearing steel at high cutting speed decreased the surface roughness value, it was seen that the most effective factor on surface roughness was the feed rate followed by the depth of cut, and the most effective parameter in increasing the temperature value was the depth of cut (Demirpolat et al., 2023).

Tool life refers to the time between the moment the cutting tool starts cutting the workpiece and the time the tool tip becomes unworkable (Cook, 1973; Khadka et al., 2025; Mikolajczyk et al., 2022). When the tool life is long, the tool is changed less frequently. This ensures more efficient production and therefore reduces costs. As the tool life decreases, the cutting efficiency of the cutting tips decreases, reduces the surface quality of the workpiece, and causes rapid wear of the machines. Cutting tools with long tool life should be preferred for high quality workpieces.

Agar et al. have examined the cutting tool life of AISI 52100 bearing steel with the ultrasonic turning method in their experiments. As a result of the study, it was seen that the increase in cutting speed in all machining methods caused the cutting tool life to decrease. It was determined that the highest tool life occurred in ultrasonic turning performed at 30 kHz in all cutting speeds, and the lowest tool life occurred in conventional turning. It was observed that increasing vibration frequency values in ultrasonic turning caused the cutting tool life to increase, and CBN cutting tools exhibited

longer tool life than carbide cutting tools in all machining methods and cutting speed values (Çaydaş et al., 2017). Motorcu experiment dealt with the predictive modeling of the surface roughness obtained in the turning of AISI 52100 steel with uncoated ceramic, coated ceramic and coated carbide cutting tools. As a result of the experiment, it was observed that the most effective parameter on the surface roughness was the feed rate, the surface roughness improved at the lowest value of the cutting speed and the highest value of the cutting depth, but this situation was not parallel with the increase in the cutting speed. In the machinability experiments, it was observed that coated and uncoated ceramic tools showed better surface roughness results than coated carbide tools under all cutting conditions. It was predicted that this situation could be explained by the minimum plastic deformation of the ceramic tools (Motorcu, 2013). Çaydaş et al. investigated the machinability of AISI 52100 bearing steel according to the surface roughness, tool life and temperature criteria in their experiments. In their experiments, they turned by applying global heat treatment as the medium and by applying a small amount of lubrication. It has been found that the tool life of the samples with spheroidizing heat treatment is increased when they are machined with ceramic tools at low cutting speeds. In addition, the machinability of the material is also increased by applying the spheroidizing heat treatment. Surface roughness values decreased with the increase in cutting speed. While better quality surfaces were obtained in spheroidized samples, it was observed that the type of cutting tool did not have a significant effect on the surface roughness. In general, in this experiment, the processes were carried out under dry machining conditions (Çaydaş et al., 2017). Siraj R. et al. investigated the formulation techniques in regression analysis to estimate tribological parameters in hard turning of AISI 52100 steel. As a result of the experiment, it was concluded that tribological parameters have a high effect on roughness, and the most effective parameters are speed, feed and depth of cut. In this research, the experiments were carried out in wet flat turning process on CNC lathe (Siraj et al., 2016). Biçek et al. In their experiments, cryogenic machining was considered as an alternative turning process of normalized and hardened AISI 52100 bearing steel. As a result of the experiments, it was observed that cryogenic machining significantly extended the tool life of the cutting inserts and increased their productivity. On the other hand, cryogenic machining of normalized bearing steel increased the tool life more than machining of hardened bearing steel (Biçek et al., 2012). Azizi et al. investigated the effects of cutting parameters and workpiece hardness of AISI 52100 steel on surface roughness and cutting force components in their experiments. As a result of the experiment, it was observed that surface roughness increased with the increase in feed rate and decreased with the increase in workpiece hardness. It was concluded from the experiment that the most important factors affecting the cutting forces in general were the depth of cut, workpiece hardness and feed rate (Azizi et al., 2012).

In the studies, evaluations were generally made on force and temperature. These evaluations were generally made according to dry and MQL environments. Our innovation in our study is that the effect of two different tool nose radius was evaluated graphical and statistically in the machinability tests in dry conditions. In this case, the effect of the nose radius will give an idea about the effect of the output parameters.

Material and Method

The AISI 52100 steel used in the experiments was selected as 100 mm in processing length and 40 mm in diameter. The cutting tools used were TiC coated CCMT-09T308

and CCMT-09T304 with PVD method. The full factorial method was used for the experiments of cutting speed, cutting depth, feed rate and tool nose radius parameters. A total of 16 experiments were conducted, 8 for each nose radius. All experiments were conducted in the Central Laboratory-2 of the Mechanical Engineering Department of Selcuk University, Faculty of Technology. The input and output parameters used in the machinability tests of AISI 52100 material are given in Figure 1. Mahr Perthometer M1 was used for surface roughness, TelC DKM 2000 for cutting force and KAEL Multiser 02 PC TFT Network Analyzer for energy consumption.

The values obtained as a result of the experiments were evaluated both graphically with the Excel program and ANOVA. ANOVA analyses were performed using Minitab. The processing parameters of the AISI 52100 material are given in Table 1, and its chemical composition is given in Figure 2. Additionally, the experimental setup is given schematically in Figure 3.

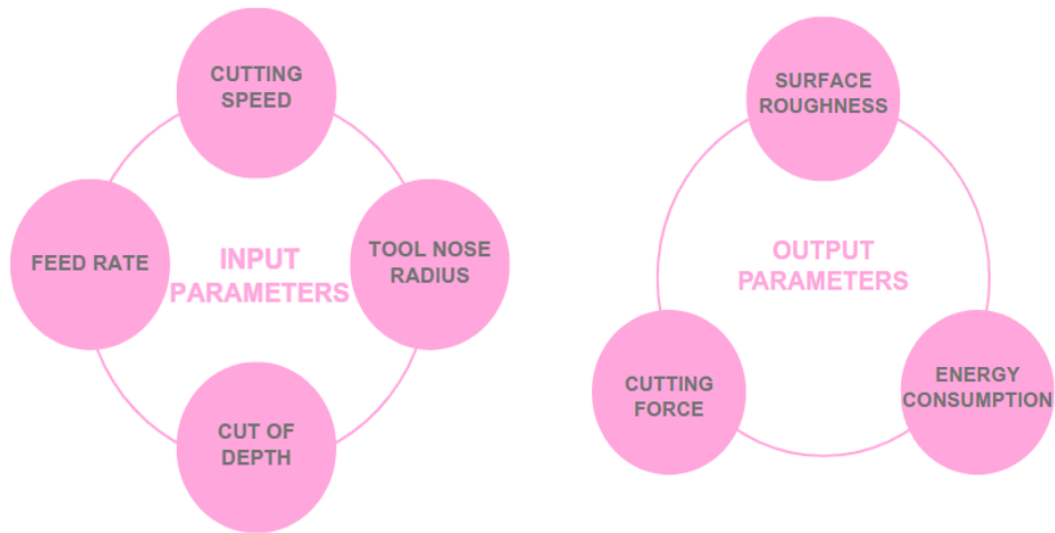


Figure 1. Input and Output Parameters of AISI 52100 Material.

Table 1. Cutting parameters for 52100

Cutting parameters	Levels
Cutting Speed (m/min)	40-50
Feed Rate (mm/rev)	0.1-0.15
Depth of cut	0.1-0.2
Tool nose Radius	0.4-0.8

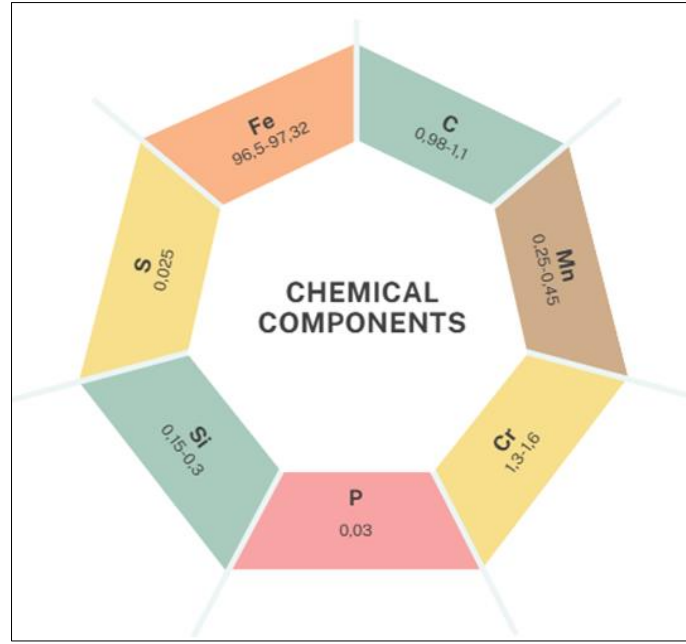


Figure 2. Chemical components for AISI 52100.

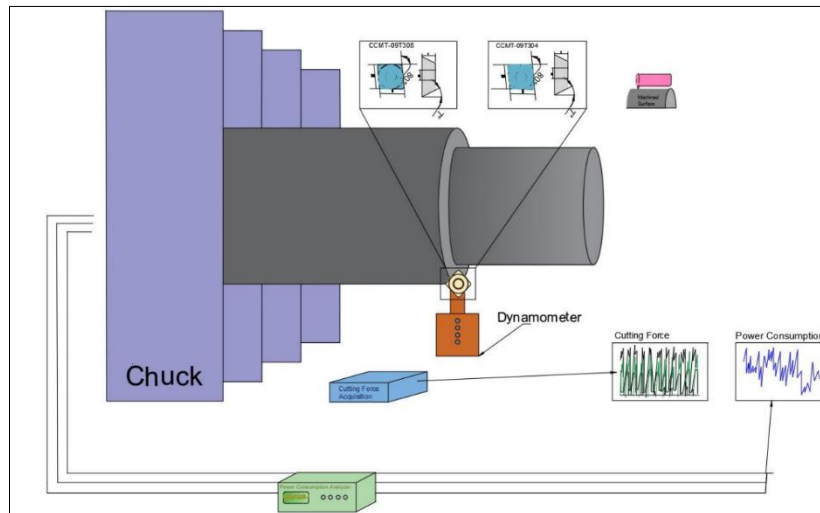


Figure 3. Experimental setup.

Results

Experimental results are shown in the cutting force graph in Figure 4, surface roughness graph in Figure 5 and energy consumption graph in Figure 6. The cutting force is the evaluation output used in the machinability tests (Özlü, 2021; Kul and Yamaner, 2025). Cutting force directly affects tool life in machining. Operations performed at high cutting forces shorten tool life due to rapid wear of the tool. Cutting force also directly affects other parameters. As a result of good analysis of cutting forces, efficiency of parameters such as cutting speed and feed rate increases.

When Figure 4 is examined, it is seen that cutting force changes depending on cutting depth, cutting speed, feed rate and tool nose radius. The maximum cutting force value for 0.8 tool nose radius was obtained in experiment number 7 with 0.2 mm depth of cut, 40 m/min cutting speed and 0.2 mm/rev. The maximum cutting force value for 0.4

tool nose radius was reached in experiment number 7 with 0.2 mm depth of cut, 40 m/min cutting speed and 0.2 mm/rev. For both tool nose radius, under constant speed, increasing the depth of cut caused the cutting force to increase, while increasing the cutting speed caused the cutting force value to decrease.

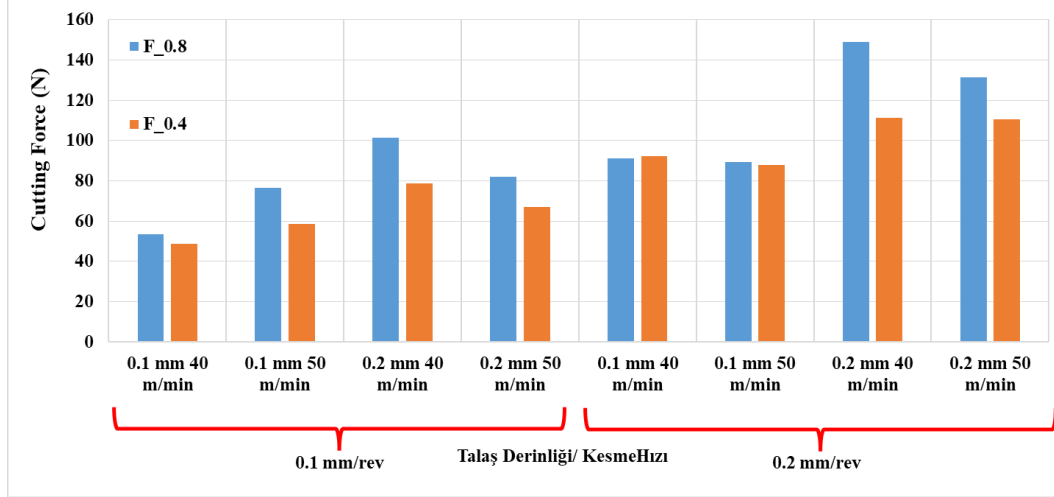


Figure 4. Cutting force results.

Surface roughness is an important parameter for the durability of the material (Kuntoglu, 2022; Salur, 2022; Machado et. al., 2024). While low surface roughness allows the material to work more easily with other parts, high roughness causes more friction and causes breakage in the part. This reduces tool life (Kuntoglu, 2022). Evaluation was made by measuring the average surface roughness (Ra) values created according to ISO 4287. When Figure 5 is examined, it is seen that the experiment in which the maximum surface roughness was reached for 0.8 tool nose radius was experiment number 7, where 0.2 mm depth of cut, 40 m/min cutting speed and 0.2 mm/rev conditions were applied. The maximum surface roughness value for 0.4 tool nose radius was obtained in experiment number 7, where 0.2 mm depth of cut, 40 m/min cutting speed and 0.2 mm/rev were applied.

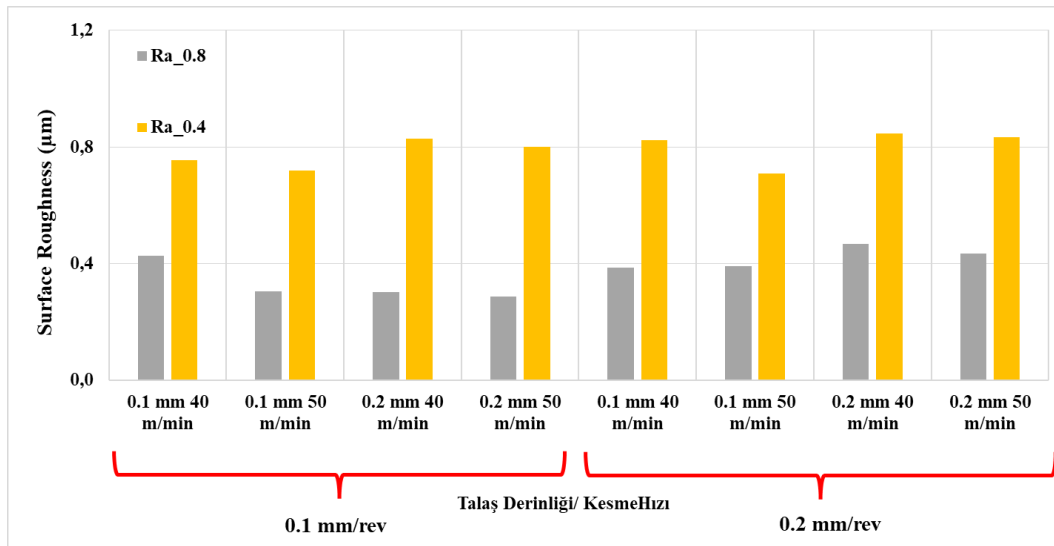


Figure 5. Surface roughness results.

In the surface roughness results, it was observed that the depth of cut and cutting speed decreased with the increase of the cutting depth under 0.1 fixed speed for 0.4 tool nose radius. Under 0.2 fixed speed, it increased with the increase of the cutting speed at 0.1 mm depth of cut, while the increase of the cutting speed at 0.2 mm depth of cut caused the surface roughness to decrease.

Energy consumption is quite important in terms of cost (Binali et al., 2022; Binali et al., 2025). It is directly affected by parameters such as cutting force. High cutting force causes more energy consumption. Thus, a more costly process is performed. Energy analysis provides an understanding of how efficiently the machines operate. Necessary improvements and optimizations can be made to machines that consume more energy than normal. As a result of examining Figure 6, the maximum energy consuming experimental data for the experiments where 0.8 tool nose radius was used was reached in experiment number 8 with 0.2 mm depth of cut, 50 m/min cutting speed, and 0.2 mm/rev values. The maximum energy consumption experimental data for 0.4 tool nose radius was also seen in experiment number 8, which has the values of 0.2 mm depth of cut, 50 m/min cutting speed, 0.2 mm/rev. In the energy consumption change graph, it is seen that the increase in cutting speed and depth of cut under the constant feed rate of 0.1 and 0.2 for both tool nose radius increases the energy consumption.

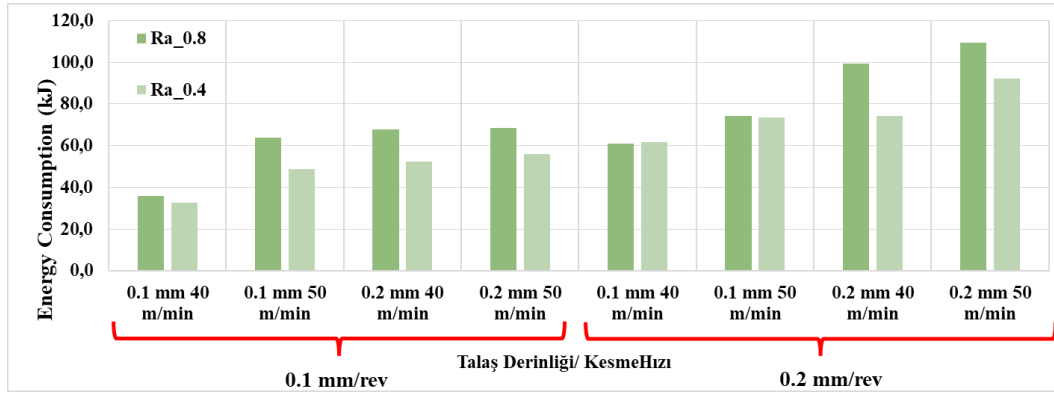


Figure 6. Energy consumption results.

Statistical Evaluation

Evaluation for the cutting insert radius of 0.8

According to the average S/N graph as a result of the surface roughness given in Figure 7, optimum results were achieved at values where the slope was low. The effect orders in Table 2 are indicated by rank. When the graph is examined, it is understood that the factors that affect the surface roughness the most are feed rate, cutting speed, and cutting depth, respectively. Cutting depth is the parameter where the slope has the lowest value, so the second level of feed rate and cutting depth and the first level of cutting speed can be used to reach the optimum value.

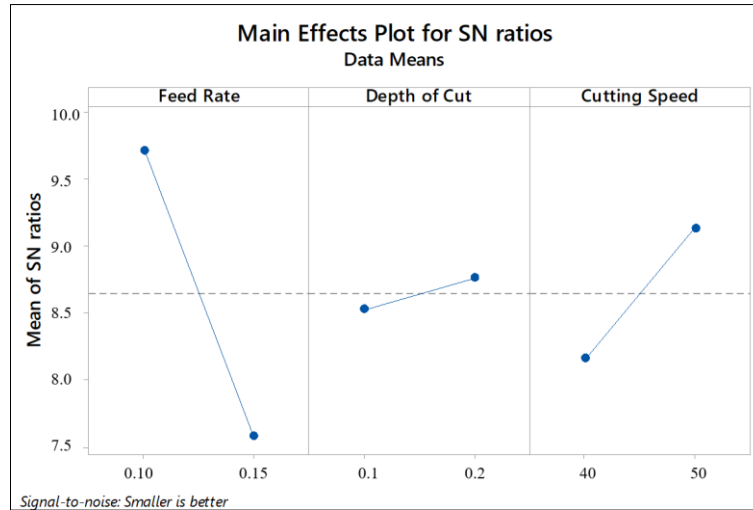


Figure 7. S/N graph for surface roughness.

Table 2. Average S/N response for surface roughness.

Level	Feed Rate	Depth of Cut	Cutting Speed
1	9.716	8.529	8.156
2	7.574	8.762	9.134
Delta	2.142	0.233	0.978
Rank	1	3	2

The results of the ANOVA analysis for surface roughness are given in Table 3. When examined according to this table, the order of the effect values, as in S/N, is the feed rate, cutting speed and cutting depth. Significance levels are expressed with P-value (Binali et al, 2024; Kuntoğlu and Sağlam, 2019; Güneş et. al., 2021; Mutlu et. Al., 2022). However, since the P-values are greater than 0.05, it is seen that it is not significant. The decision of whether it is significant alone cannot be determined with a single output parameter value. Although the P-values obtained in the analysis are above 0.05 and are not statistically significant, the fact that the P-value of the feed rate is quite close to this limit and the effect size is higher than the other parameters shows that this parameter can have a practically important effect on surface roughness.

Table 3. ANOVA for surface roughness.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Feed Rate	1	9.1790	9.1790	9.1790	5.04	0.088
Depth of Cut	1	0.1088	0.1088	0.1088	0.06	0.819
Cutting Speed	1	1.9136	1.9136	1.9136	1.05	0.363
Residual Error	4	7.2861	7.2861	1.8215		
Total	7	18.4875				

The average S/N graph for cutting force is given in Figure 8. The optimum values of cutting force are obtained in places where the slope is low. The parameter with the lowest slope is the cutting speed. The most effective parameter in achieving optimum

results is the feed rate and cutting speed (Table 4), the second level of feed rate and cutting depth can be used, while the first level of cutting speed can be used.

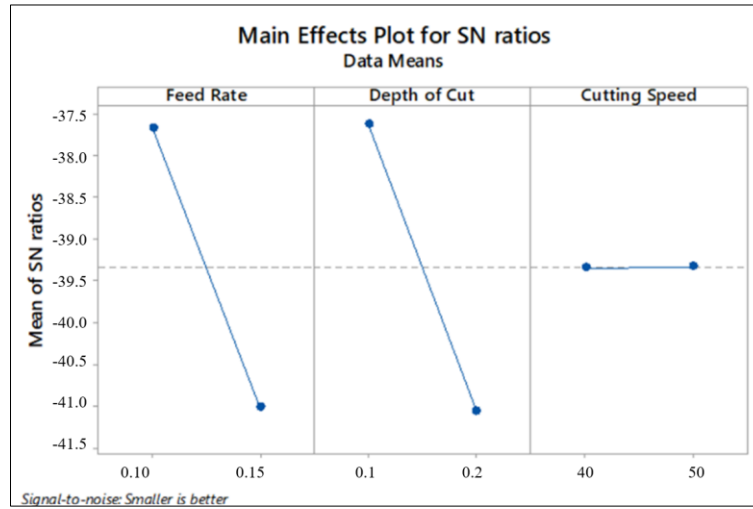


Figure 8. S/N graph for cutting force.

Table 4 Average S/N response for surface roughness.

Level	Feed Rate	Depth of Cut	Cutting Speed
1	-37.67	-37.62	-39.35
2	-41.01	-41.06	-39.33
Delta	3.34	3.45	0.01
Rank	2	1	3

Anova analysis for cutting force is given in Table 5. When the table is examined, it is seen that the feed rate and cutting depth are significant with a P-value less than 0.05. The fact that the effect value of the cutting speed is 0.00 can be expressed that the cutting speed can be neglected in the effect ratios.

Table 5. ANOVA for cutting force

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Feed Rate	1	22.3643	22.3643	22.3643	12.02	0.026
Depth of Cut	1	23.7905	23.7905	23.7905	12.79	0.023
Cutting Speed	1	0.0002	0.0002	0.0002	0.00	0.992
Residual Error	4	7.4403	7.4403	1.8601		
Total	7	53.5953				

Evaluation for the cutting insert radius of 0.4

The average S/N results of surface roughness for 0.4 tool nose radius are given in Figure 9. When the graph is examined, it is seen that the optimum results are approached at low slope and the most effective parameters in this are cutting depth, cutting speed and feed rate, respectively (Table 6). The lowest slope was encountered at feed rate. It was concluded that the optimum value could be reached by using the first level of cutting speed and the second level of feed rate and cutting depth.

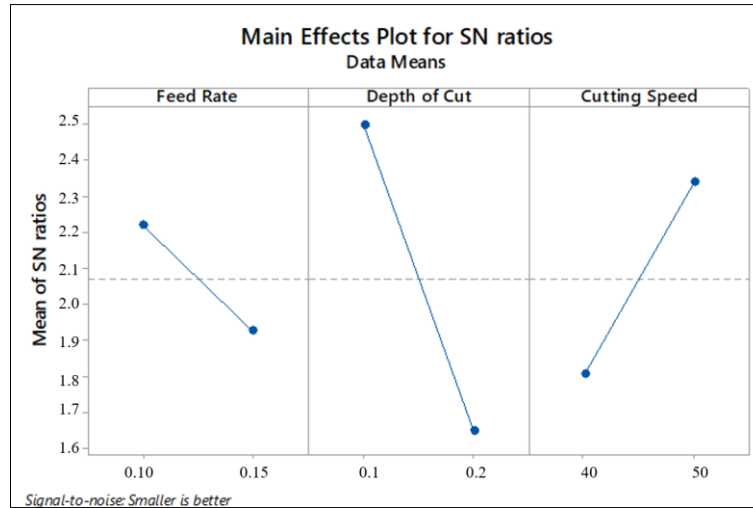


Figure 9. S/N plot for surface roughness.

Table 6. Average S/N response for surface roughness

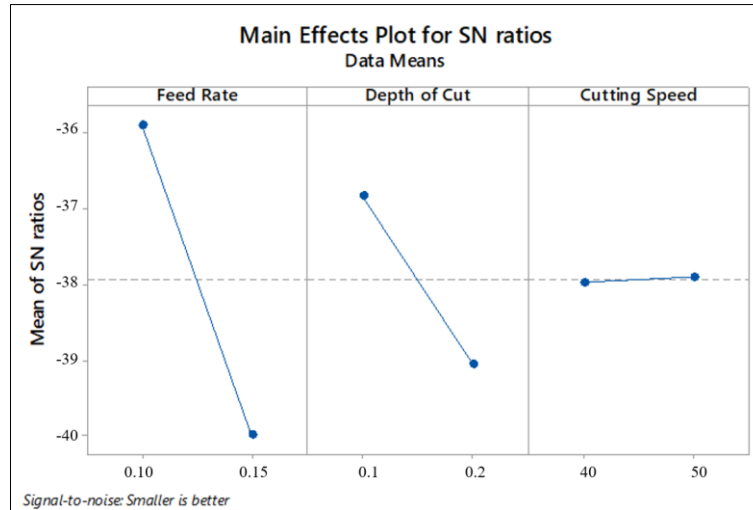
Level	Feed Rate	Depth of Cut	Cutting Speed
1	2.221	2.497	1.805
2	1.924	1.648	2.340
Delta	0.297	0.848	0.535
Rank	3	1	2

In the ANOVA given in Table 7, it can be stated that the depth of cut is significant and the feed rate has a negligible effect rate.

Table 7. Anova analysis for surface roughness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Feed Rate	1	0.1760	0.1760	0.1760	1.73	0.259
Depth of Cut	1	1.4398	1.4398	1.4398	14.16	0.020
Cutting Speed	1	0.5723	0.5723	0.5723	5.63	0.077
Residual Error	4	0.4068	0.4068	0.1017		
Total	7	2.5949				

The average S/N graph of the cutting force for a 0.4 tool nose radius is given in Figure 10. The optimum result was approached at low inclination. The lowest inclination was reached at cutting speed. The most effective parameters in achieving the optimum result are feed rate, cutting depth, and cutting speed, respectively. The optimum value can be reached by using the second level of feed rate and cutting depth and the first level of cutting speed (Table 8).

**Figure 10.** S/N graph for cutting force**Table 8.** Average S/N response for cutting force

Level	Feed Rate	Depth of Cut	Cutting Speed
1	-35.88	-36.82	-37.97
2	-40.00	-39.05	-37.90
Delta	4.12	2.22	0.07
Rank	1	2	3

According to the ANOVA in Table 9, the input parameters used to achieve significant results in the cutting force values of feed rate and cutting depth are suitable. It can be stated that the cutting speed is at a negligible level with an effect ratio of 0.01.

Table 9. ANOVA for cutting force

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Feed Rate	1	33.8980	33.8980	33.8980	50.14	0.002
Depth of Cut	1	9.9001	9.9001	9.9001	14.64	0.019
Cutting Speed	1	0.0099	0.0099	0.0099	0.01	0.909
Residual Error	4	2.7045	2.7045	0.6761		
Total	7	46.5125				

Conclusion

In this study, the force, roughness and energy consumption results obtained in the turning of AISI 52100 bearing steel according to two different tool nose radius were evaluated both graphically with the Excel program and with ANOVA analysis. The following conclusions were made as a result of the obtained values.

Under all conditions, the cutting force gave higher results at 0.8 tool nose radius.

In all change tables, the maximum results were reached at the same values for both tool nose radius. These values are in the experiment where 0.2 mm depth of cut, 40 m/min cutting speed and 02 mm/rev values were accepted.

The highest surface roughness values for all experiments were reached at 0.4 tool nose radius.

In all applied conditions, the energy consumption results were higher at 0.8 tool nose radius.

In the energy consumption and cutting force change results, the two tool nose radius generally produced closer results to each other compared to the surface roughness parameter.

Low slope factor is valid for optimum value in all S/N results.

In ANOVA results, it was seen that the most effective parameter for both tool nose radius was depth of cut for surface roughness and feed rate for force.

The significance level in Anova results was generally below 0.05.

In the Anova results, it was concluded that the most effective parameter for cutting force at 0.8 nose radius was the depth of cut with 12.79%, and the most effective parameter for surface roughness was the feed rate with 5.04%.

In the Anova results, it was concluded that the most effective parameter for cutting force at 0.4 nose radius was the feed rate with 50.14%, and the most effective parameter for surface roughness was the depth of cut with 14.16%.

In ANOVA results, it was seen that when it is desired to reach optimum value for all graphs, it can be reached by using second level of feed rate and depth of cut and first level of cutting speed.

To conduct such studies more comprehensively, analysis can be done with machine learning.

References

- Azizi, M. W., Belhadi, S., Yallese, M. A., Mabrouki, T., & Rigal, J. F. (2012). Surface roughness and cutting forces modeling for optimization of machining condition in finish hard turning of AISI 52100 steel. *Journal of mechanical science and technology*, 26, 4105-4114.
- Biček, M., Dumont, F., Courbon, C., Pušavec, F., Rech, J., & Kopač, J. (2012). Cryogenic machining as an alternative turning process of normalized and hardened AISI 52100 bearing steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(12), 2609-2618.
- Binali, R., Yıldız, S., & Neşeli, S. (2022). Investigation of power consumption in the machining of S960QL steel by finite elements method. *European Journal of Technique (EJT)*, 12(1), 43-48.
- Binali, R., Yıldız, S., & Neşeli, S. (2024). Finite element analysis and statistical investigation of S960ql structure steel machinability with milling method. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 46(5), 260.
- Binali, R., Patange, A. D., Kuntoğlu, M., Mikolajczyk, T., & Salur, E. (2022). Energy saving by parametric optimization and advanced lubri-cooling techniques in the machining of composites and superalloys: A systematic review. *Energies*, 15(21), 8313.
- Binali, R., Korkmaz, M. E., Özdemir, M. T., & Günay, M. (2025). A Holistic Perspective on Sustainable Machining of Al6082: Synergistic Effects of Nano-Enhanced Bio-Lubricants. *Machines*, 13(4).

- Cook, N. H. (1973). *Tool wear and tool life*.
- Çaydaş, U., Kuncan, O., & Çelik, M. (2017). AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve sıcaklık kriterlerine göre araştırılması. *Politeknik dergisi*, 20(2), 409-417.
- Demirpolat, H., Kaya, K., Binalı, R., & Kuntoğlu, M. (2023). AISI 52100 Rulman Çeliğinin Tornalanmasında İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Sıcaklığı ve Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 4(3), 179-189.
- Gupta, M. K., Niesłony, P., Korkmaz, M. E., Królczyk, G. M., Kuntoğlu, M., Pawlus, P., ... & Sarıkaya, M. (2023). Potential use of cryogenic cooling for improving the tribological and tool wear characteristics while machining aluminum alloys. *Tribology International*, 183, 108434.
- Günay, M., Korkmaz, M. E., & Yaşar, N. (2017). Finite element modeling of tool stresses on ceramic tools in hard turning. *Mechanics*, 23(3), 432-440.
- Güneş, A., Şahin, Ö. S., Düzcükoğlu, H., Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., ... & Pimenov, D. Y. (2021). Optimization study on surface roughness and tribological behavior of recycled cast iron reinforced bronze MMCs produced by hot pressing. *Materials*, 14(12), 3364.
- Işık, U., Demir, H., & Özlü, B. (2024). Multi-objective optimization of process parameters for surface quality and geometric tolerances of AlSi10Mg samples produced by additive manufacturing method using taguchi-based gray relational analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-19.
- Khadka, S., Rahman Rashid, R. A., Stephens, G., Papageorgiou, A., Navarro-Devia, J., Hägglund, S., & Palanisamy, S. (2025). Predicting cutting tool life: models, modelling, and monitoring. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-40.
- Korkmaz, M. E., Çakıroğlu, R., Yaşar, N., Özmen, R., & Günay, M. (2019). Al2014 alüminyum alaşıımının delinmesinde itme kuvvetinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *El-Cezeri*, 6(1), 193-199.
- Kul, B. S., & Yamaner, A. S. A Comparative Evaluation of Dry-MQL Turning Applications for AISI 5115 Steel. *Manufacturing Technologies and Applications*, 6(1), 23-32.
- Kuntoğlu, M., & Sağlam, H. (2019). Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning. *Measurement*, 140, 427-436.
- Kuntoglu, M. (2022). Machining induced tribological investigations in sustainable milling of Hardox 500 steel: A new approach of measurement science. *Measurement*, 201, 111715.
- Kuntoğlu, M. (2022). Measurement and analysis of sustainable indicators in machining of Armox 500T armor steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(13), 7330-7349.
- Machado, A. R., da Silva, L. R. R., Pimenov, D. Y., de Souza, F. C. R., Kuntoğlu, M., & de Paiva, R. L. (2024). Comprehensive review of advanced methods for improving the parameters of machining steels. *Journal of Manufacturing Processes*, 125, 111-142.

- Mikolajczyk, T., Paczkowski, T., Kuntoglu, M., Patange, A. D., & Binali, R. (2022). Research on using an unconventional tool for increasing tool life by selective exchange of worn cutting edge. *Applied Sciences*, 13(1), 460.
- Motorcu, A. L. İ. (2013). AISI 52100 Çeliğinin Farklı Kesici Takımlarla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Tahminsel Modellenmesi. *1. Genç İstatistikçiler Sempozyumu* 10-11 Eylül 2013 – Hacettepe Üniversitesi – ANKARA
- Mutlu, B., Binali, R., Demirsöz, R., & Yaşar, N. (2022). Machinability of CoCrMo Alloy used in Biomedical applications: Investigation of Cutting Tool Type. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 215-227.
- Özlü, B. (2021). Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1241-1252.
- Özlü, B. (2022). Evaluation of energy consumption, cutting force, surface roughness and vibration in machining toolox 44 steel using taguchi-based gray relational analysis. *Surface Review and Letters*, 29(08), 2250103.
- Salur, E. (2022). Understandings the tribological mechanism of Inconel 718 alloy machined under different cooling/lubrication conditions. *Tribology International*, 174, 107677.
- Sayyed Siraj, R., Dharmadhikari, H. M., & Kshirsagar, J. M. Formulation Techniques in Regression Analysis to Estimate the Roughness Value from Tribological Parameters in Hard Turning of AISI 52100 Steels.
- Turan, İ., Özlü, B., Ulaş, H. B., & Demir, H. (2025). Prediction and Modelling with Taguchi, ANN and ANFIS of Optimum Machining Parameters in Drilling of Al 6082-T6 Alloy. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(3), 92.
- Uğur, L., Kazan, H., & Özlü, B. (2022). Investigation of the Impacts of Cutting Parameters on Power Usage in Cryogenic-Assisted Turning of AISI 52100 Bearing Steel by FEM. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 3(3), 55-61.
- Yamaner, A. S., & Kul, B. S. (2025). Evaluation of tool radius and machining parameters on cutting forces and surface roughness for AA 6082 aluminum alloy. *European Mechanical Science*, 9(2), 125-138.

Design, Modeling, and Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of an Autonomous Underwater Vehicle (AUV)

Hakan TERZİOĞLU^{1*}, Furkan CENGİZ²

¹Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, Konya

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Konya

* hterzioglu@selcuk.edu.tr

DOI: 10.57244/dfbd.1708365

Geliş tarihi/Received:28/05/2025

Kabul tarihi/Accepted:23/06/2025

Abstract

This study provides a comprehensive examination of the design and modelling processes of autonomous underwater vehicles (AUVs). Fundamental design principles that influence underwater-vehicle performance—such as hydrodynamic efficiency, structural robustness, buoyancy control and stability—are analysed in detail. Considering the harsh marine environment, the selection criteria for materials are thoroughly discussed with respect to mechanical properties, corrosion resistance and weight optimisation. The workflow, spanning from 3-D modelling to manufacturing, is explained step by step. Engineering challenges during the design phase—water-tightness, stability and balance—are addressed, and solution approaches are proposed. Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses were used to evaluate hydrodynamic performance and optimise hull geometry. Combining early-stage CFD with Finite-Element Method (FEM) analyses reduced trial-and-error cycles and shortened development time by approximately 30 percent. The total mass of the design was calculated as 17.5 kg, yielding a net buoyant force of -10.5 N. CFD results indicated a maximum speed of 0.45 m/s and peak dynamic pressure of 75.3 Pa. Finally, improvement strategies and development recommendations based on the analysis outcomes and design iterations are presented to advance AUV research.

Keywords: Autonomous Underwater Vehicle (AUV), Hydrodynamic Design, Computational Fluid Dynamics (CFD), Vehicle Modeling, Material Selection, Buoyancy-Stability, Waterproofing Solutions

Otonom Su Altı Aracının (AUV) Tasarımı, Modellemesi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Analizi

Özet

Bu çalışma, otonom su altı araçlarının (AUV) tasarım ve modellenme süreçlerini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Araştırmada, su altı aracı performansını etkileyen temel tasarım ilkeleri; hidrodinamik verimlilik, yapısal dayanıklılık, yüzdürme kontrolü ve stabilite gibi faktörler üzerinden incelenmiştir. Zorlu deniz ortamı göz önünde bulundurularak, kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, korozyon direnci ve ağırlık optimizasyonuna dayalı seçim kriterleri detaylı bir şekilde tartışılmıştır. 3B modellemeyi üretim kadar uzanan süreç adım adım açıklanmıştır. Tasarım sürecinde karşılaşılan mühendislik zorlukları – su geçirmezlik, stabilite ve denge gibi – ele alınmış, bu problemlere yönelik çözüm yaklaşımları sunulmuştur. Aracın hidrodinamik performansını değerlendirmek ve gövde geometrisini optimize etmek amacıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizlerinden yararlanılmıştır. Tasarımın erken aşamalarında yapılan CFD ve FEM analizlerinin birlikte kullanılması, deneme-yanılma sürecini minimize ederek geliştirme süresini yaklaşık %30 oranında azaltmıştır. Tasarımın toplam kütlesi 17,5 kg olarak hesaplanmış, bu doğrultuda aracın net yüzdürme kuvveti -10.5 N olarak bulunmuştur. CFD analizleri sonucunda aracın maksimum hızı 0,45 m/s, maksimum dinamik basınç değeri ise 75.3 Pa olarak belirlenmiştir. Son olarak, analiz sonuçlarına ve tasarım yinelemelerine dayalı çözüm stratejileri ile geliştirme önerileri sunularak, otonom su altı aracı geliştirme çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otonom Su Altı Aracı (AUV), Hidrodinamik Tasarım, Hesaplamalı Akışkanlar

Dinamiği (CFD), Araç Modellemesi, Malzeme Seçimi, Yüzdürme-Stabilite, Su Geçirmezlik Çözümleri

Introduction

Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) have become indispensable tools in recent years across a wide range of fields including underwater research, environmental monitoring, military applications, search and rescue missions, and pipeline inspection in the oil and gas sector. These vehicles are capable of operating independently in complex and hazardous underwater environments for extended periods, performing tasks such as environmental data collection, mapping, biological monitoring, and structural inspections. Their increasing use is largely due to their operational efficiency and cost-effectiveness compared to manned submersibles.

One of the most critical performance parameters in AUV design is hydrodynamic efficiency. This directly influences the vehicle's maneuverability, stability, and energy consumption underwater. Therefore, optimizing hull geometry to minimize drag and improve flow characteristics is a central objective of the design process. Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis plays a crucial role in this process by simulating fluid behavior around the vehicle, identifying pressure distributions, and predicting drag forces (Mitra et al., 2024; Vardhan et al., 2024). These simulations enable improvements in hydrodynamic performance even before physical prototyping is undertaken.

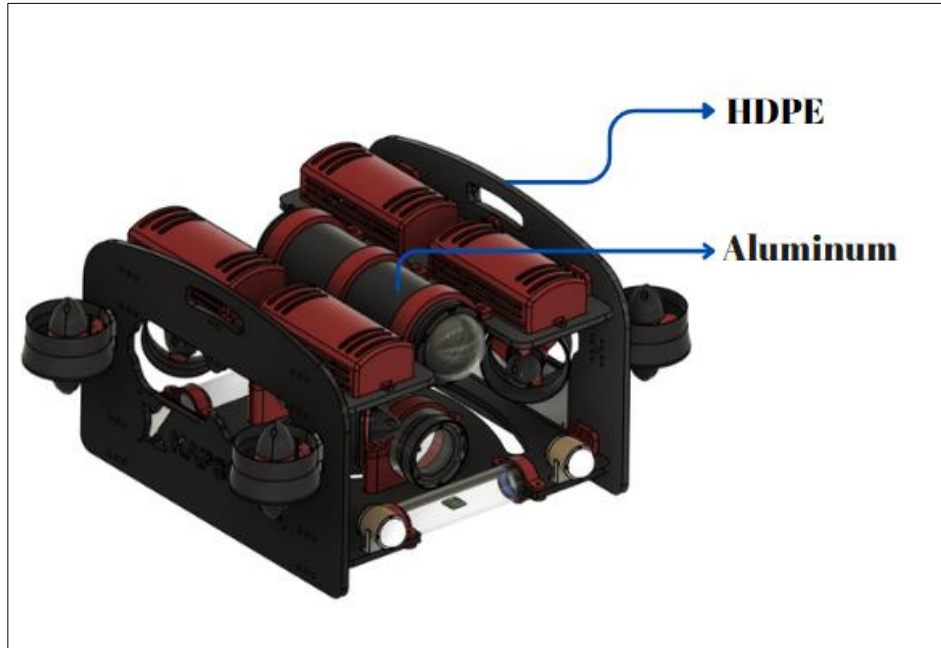


Figure 1. Polyethylene-aluminum hybrid body structure.

However, AUV design also presents multidisciplinary challenges. These vehicles must operate reliably under harsh marine conditions, including high hydrostatic pressure, temperature fluctuations, and the corrosive effects of saltwater. As a result, material selection becomes critically important. Materials such as aluminum and high-density polyethylene (HDPE) have proven advantageous due to their high strength-to-weight ratios, low density, and excellent corrosion resistance. Aluminum ensures structural durability, while polyethylene enhances buoyancy and reduces long-term degradation due

to corrosion. In this study, a polyethylene–aluminum hybrid hull structure is proposed, combining the strengths of both materials to achieve mechanical integrity and buoyancy stability under real-world conditions. The visual of the polyethylene-aluminum hybrid body structure is given in Figure 1.

Another major factor affecting AUV performance is energy efficiency. Since these vehicles often operate at depths where real-time intervention is not possible, the onboard energy systems—mainly batteries—must be managed efficiently. Advances in battery technology, energy-efficient motor systems, and battery management software have significantly extended operational durations. Parameters such as charging time, discharge rates, and thrust-to-energy conversion efficiency must be optimized during the design phase (Vardhan et al., 2023).

Beyond material and energy considerations, other vital design aspects include waterproofing, corrosion protection, structural balance, and thermal insulation. The vehicle's enclosures must be pressure-resistant and fully sealed; anti-corrosive coatings should be applied to metal components; and sensors and communication systems must be protected against environmental variations through proper sealing. These strategies are essential to maintaining sensor functionality and data integrity during long underwater missions, particularly in saline and temperature-variable waters (Mitra et al., 2020).

This study presents a comprehensive design strategy that addresses these engineering challenges through an integrated workflow. The AUV was modeled and optimized using CFD and Finite Element Method (FEM) analyses to assess both hydrodynamic performance and structural integrity. The vehicle is specifically designed for medium-depth, low-complexity, and cost-effective missions. With a total weight of 17.5 kg, a net buoyant force of -10.5 N, and a cruising speed of 0.45 m/s, the proposed AUV offers a compact and efficient alternative to widely used commercial models such as BlueROV2 and SeaBED. While those systems may offer higher top speeds (e.g., 1.5 m/s), their larger size and modular nature often result in increased energy demands and structural complexity.

In this context, the study aims to provide a detailed account of the engineering principles and methods used in the design of autonomous underwater vehicles. This includes modeling approaches, material selection criteria, energy systems, hydrodynamic analysis, and environmental durability strategies. By integrating modern simulation tools into the design cycle, this work contributes to the development of more reliable, energy-efficient, and environmentally resilient underwater vehicles suited for future marine missions.

Material and Method

Design

The Autonomous Underwater Vehicle (AUV) has undergone a series of structural and functional modifications before reaching its final design. This process has been supported by 3D modeling and simulations using software tools such as Autodesk Fusion, SolidWorks, and Ansys to ensure the accuracy and efficiency of the vehicle's design.



Figure 2. Initial design.

During the design phase, the vehicle was constructed with 8 Utras thrusters powered by an M5 motor, a polyethylene chassis made of 4 sheets, a single aluminum waterproof compartment, a plexiglass camera compartment, and PETG L hinges. To prevent corrosion in the water, PETG filament was chosen. Four of the thrusters were positioned for forward, backward, and axial movements, while the remaining four motors were positioned for vertical movements. Connections between the vehicle chassis and the thrusters were established using the L hinges. After initial analyses and evaluations, some deficiencies in the design were identified, leading to necessary improvements. As a result, the design progressed to the second phase. A render image of the initial design is presented in Figure 2.



Figure 3. Improved design.

In the second design phase, it was observed that the maneuverability and control at the tips of the four thrusters positioned in the middle section of the vehicle were insufficient (Bozoklu, 2021). This led to imbalances in the vehicle's underwater movements. As a result, the thrusters were moved to the outer regions of the vehicle. This adjustment aimed to eliminate any imbalances that might occur under underwater conditions and enable the vehicle to actively maintain stability. Consequently, the maneuverability was enhanced, allowing for more stable movements in confined spaces and strong currents. A render image of the second design is presented in Figure 3.

Additionally, static analyses performed using Fusion 360 software revealed that the displacement of the side walls of the vehicle exceeded the desired limits. To address this structural weakness, lower walls were added, and this reinforcement increased the rigidity of the vehicle, making it more resistant to external forces.



Figure 4. Advanced design.

In the second design, the body structure added to the lower section obstructed the field of view of the camera compartment located in the upper section. As a result, the camera compartment was repositioned and moved to the lower body. This adjustment allowed the camera to achieve the necessary field of view during operations. Additionally, to provide an advantage in underwater missions and create a layout that would not affect the vehicle's balance, an additional camera was placed at the rear of the vehicle. After these structural and functional improvements, the final design process was initiated. A render image of the second design is presented in Figure 4.



Figure 5. Final design.

The final design was completed by improving the vehicle design and resolving the identified deficiencies. In the final stage, a battery compartment was added under the avionics system compartment to balance the center of gravity. In addition, headlights were added to improve visibility in dirty and low-visibility sea conditions. Special buoyancy foam housings were designed to increase underwater stability and balance

buoyancy forces. In addition, the stability of the vehicle was increased thanks to the vehicle dimensions calculated during the design process (Ayhan et al., 2019). These improvements increased the overall performance of the vehicle, allowing it to perform underwater missions more efficiently and safely. The final design render is presented in Figure 5.

Buoyancy and Stability

In the mechanical design process, the relationship between the center of mass (CG) and the center of buoyancy (CB) was carefully evaluated to ensure the vehicle's static and dynamic stability underwater. In accordance with hydrostatic stability principles, the center of mass was placed as low as possible, while the center of buoyancy was positioned towards the upper regions. This arrangement enables the vehicle to exhibit a more stable structure underwater, enhancing its resistance to tipping and providing better stability against external forces (Huang et al., 2013).

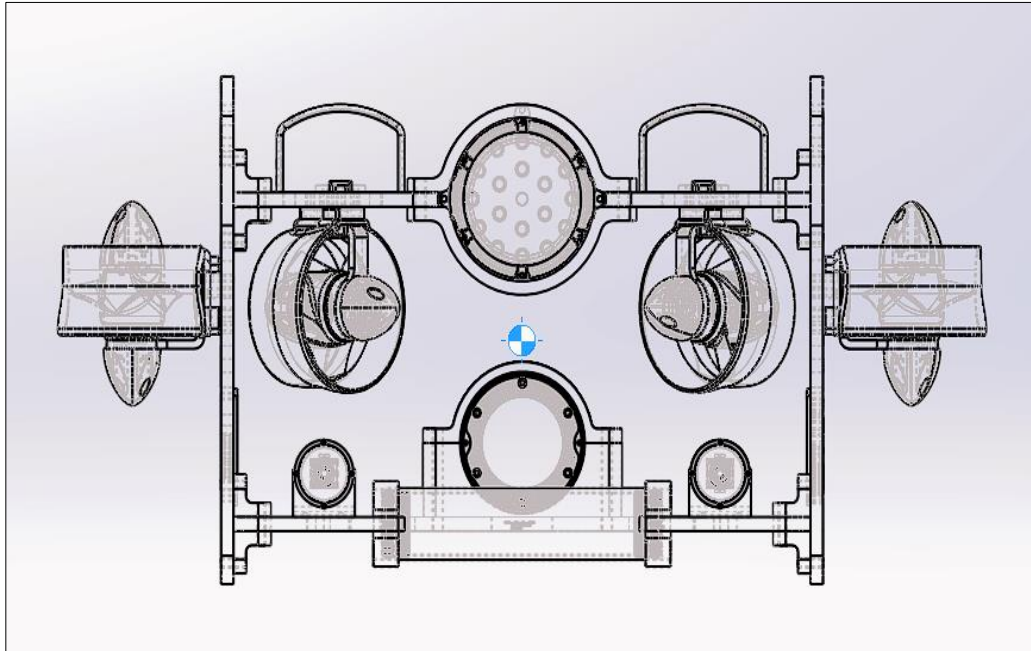


Figure 6. AUV center of mass.

The positioning of the thrusters was carried out on elevated support structures to ensure sufficient thrust force while maintaining the balance of the vehicle. To lower the center of mass, the heavier battery was placed in the lower compartment, while the lighter avionics systems were positioned in the upper sections. On the other hand, special buoyancy enclosures integrated into the upper structure were used to raise the center of buoyancy. This configuration ensures the optimal distance between the center of mass (CG) and the center of buoyancy (CB), thus enhancing the vehicle's stability (Huang et al., 2013). A visual representation of the AUV's center of mass is presented in Figure 6.

This balancing placement strategy enhances the vehicle's maneuvering accuracy during underwater missions and minimizes the loss of stability against sudden external forces. A visual representation of the vehicle's center of mass is presented in Figure 5.

To maintain the underwater stability of the autonomous underwater vehicle (AUV),

it is crucial to correctly design the vertical distance between the center of mass (CG) and the center of buoyancy (CB). In this study, the vertical balance of the vehicle, with a mass of 17.5 kg, was evaluated using the meta-central analysis method. The distance between the center of mass and the center of buoyancy was determined to be 0.12 meters. The vertical restoring moment was calculated using the following formula:

$$M = W \times GM \times \sin(\theta) \quad (1)$$

Here, W represents the weight of the vehicle (171.675 N), GM is the metacentric height (0.12 m), and θ is the inclination angle (10°). The inclination angle of 10° is chosen because it allows the analysis of small-angle deviations that underwater vehicles may encounter during missions, and this angle is commonly used as a reference in the literature. As a result of the calculations, the righting moment is approximately:

$$M \approx 171.675 \times 0.12 \times \sin(10^\circ) \approx 3.57 \text{ Nm} \quad (2)$$

was found. This value indicates that the vehicle has sufficient resistance against small-angle rollovers and can maintain directional stability during missions. Consequently, the vehicle's current vertical stability structure provides an adequate safety margin from an engineering standpoint.

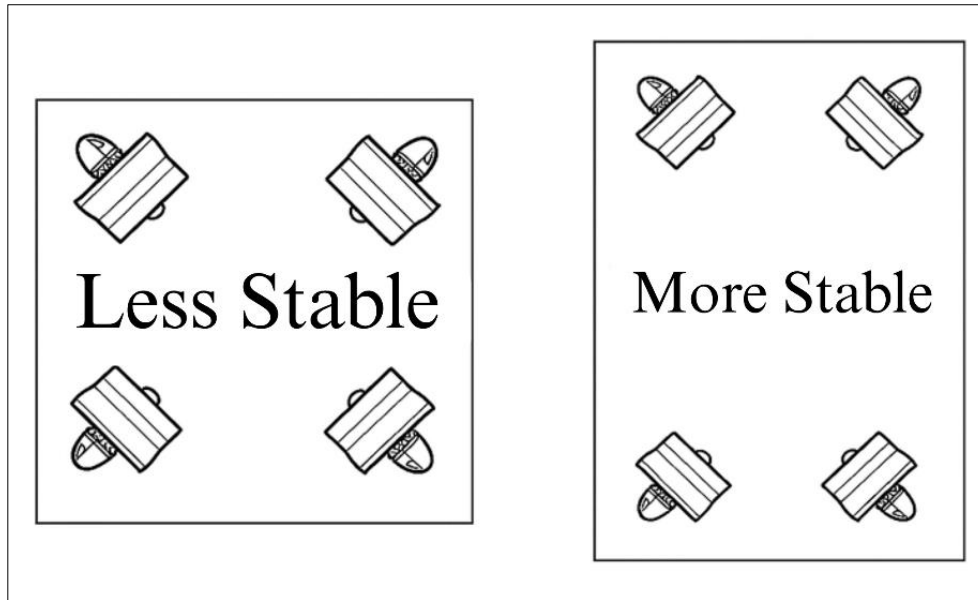


Figure 7. Stability diagram.

The fact that the AUV has a square or symmetrical shape when viewed from above may pose certain disadvantages in terms of directional stability. Vehicles that are symmetrical along any axis in the horizontal plane are more prone to losing their directional reference axis during underwater motion. This can lead to unstable oscillations along the longitudinal (bow-stern) axis and may require more corrective interventions by the automatic control systems. Therefore, longitudinally symmetrical forms are generally preferred (Kırıkbaş et al., 2021). This situation is illustrated in Figure 7.

To evaluate the buoyancy of the unmanned underwater vehicle (AUV), two fundamental forces are considered: the weight force and the buoyant force. The weight force is calculated by multiplying the vehicle's mass by the acceleration due to gravity, and it acts downward. In this calculation, given the vehicle's mass is 17.480 kg and the gravitational acceleration is 9.81 m/s^2 , the weight force is calculated as follows:

Weight force = mass $\times$ gravitational acceleration

$$W = 17.480 \times 9.81 = 171.4 \text{ N} \quad (3)$$

On the other hand, the buoyant force is calculated by multiplying the volume of water displaced by the vehicle, the density of the water, and the gravitational acceleration. In a saltwater environment, the density of water is approximately 1.025 kg/m^3 . Assuming the volume of the vehicle is 0.016 m^3 , the buoyant force is calculated as: Buoyant force = water density $\times$ volume $\times$ gravitational acceleration

$$F_b = 1.025 \times 0.016 \times 9.81 = 160.9 \quad (4)$$

In this case, the net force is calculated as: Net force = buoyant force – weight force (Yılmaz, 2022).

$$F_{\text{net}} = F_b - W = 160.9 - 171.4 = -10.5 \text{ N} \quad (5)$$

As a result, since the net force is negative, the vehicle tends to sink, indicating that it has negative buoyancy. To achieve neutral buoyancy, the vehicle needs an additional buoyant volume of approximately 1.05 liters. Therefore, buoyant foam has been used to increase the vehicle's flotation capacity.

Differential Thrust Principle

In this study, the autonomous underwater vehicle (AUV) platform developed employs a total of four electrically driven thrusters, arranged in a forward-reverse orientation, to provide maneuverability and orientation control in the horizontal plane. These propulsion units are configured to support the vehicle's maneuvering capabilities along the surge (forward–backward motion) and yaw (rotational/orientation) axes.

The thrusters operate based on the differential thrust principle, enabling directional changes in the horizontal plane by creating a thrust imbalance between opposing pairs of motors. This approach eliminates the need for traditional mechanical rudder systems, thereby reducing the number of moving parts and enhancing the overall reliability and maintenance ease of the system (Wang, 2006).

Differential thrust–based attitude control also contributes to the simplification of control algorithms, offering advantages in terms of system dynamics modeling and real-time control implementation. For mission profiles that require precise maneuvering in confined spaces, such a propulsion configuration enhances the vehicle's operational effectiveness and expands its mission flexibility.

Moreover, the reduction in total weight and volume requirements of the system translates into improved energy efficiency and extended mission duration (Wang 2006). The placement of the thrusters has been optimized to align with the vehicle's center of mass, and this symmetric arrangement contributes to improved static and dynamic stability, while minimizing undesired moments caused by external disturbances (e.g., currents, collisions).

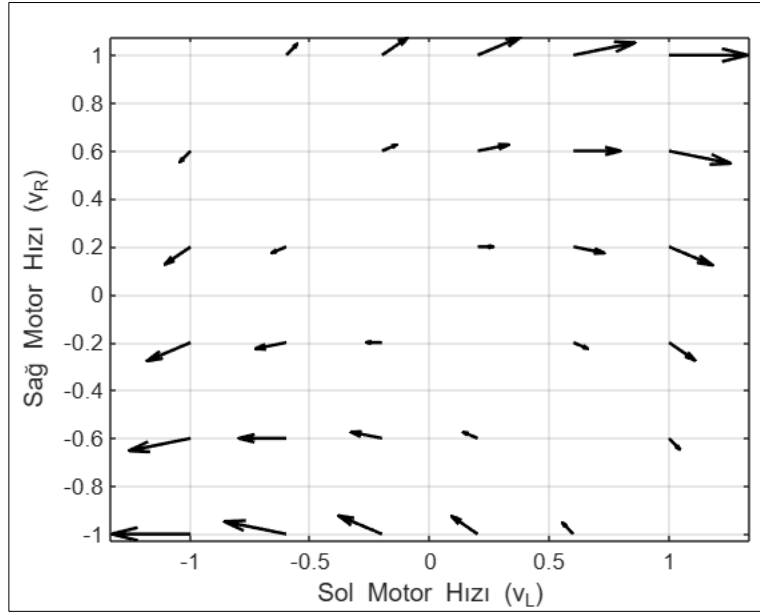


Figure 8. Differential thrust principle diagram.

The graph created in the MATLAB/Simulink environment is presented in Figure 8.

- Horizontal arrow pointing right: The vehicle moves straight forward.
- Horizontal arrow pointing left: The vehicle moves straight backward.
- Right-tilted arrow: The vehicle turns right while moving forward.
- Left-tilted arrow: The vehicle turns left while moving forward.
- Length of the arrows: Represents speed (long arrow = high speed, short arrow = low speed).

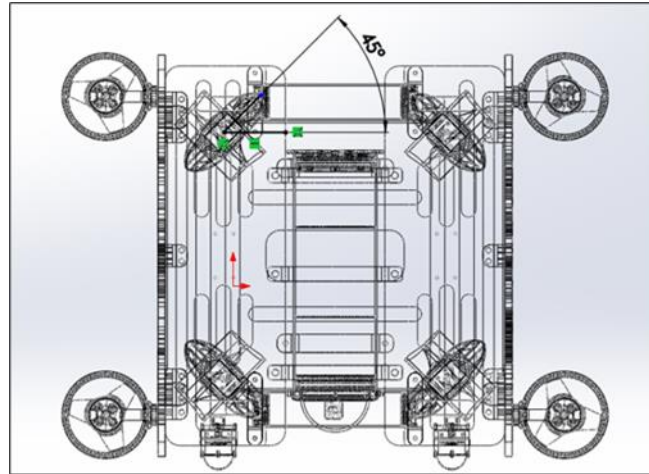


Figure 9. Motor placement.

In the vehicle, which operates with a total of 8 motors, 4 sinking motors provide vertical motion (upward and downward). The other 4 motors consist of thrusters positioned at a 45-degree angle and provide both forward-backward and side-to-side thrust. The 45-degree orientation of the thruster motors enables multi-directional force generation, rather than just linear movement. As a result, the vehicle can move in four different axes: forward-backward, upward-downward, side-to-side, and rotation around

its own axis. Additionally, a more stable and controlled motion is achieved during yaw, roll, and pitch movements. A visual representation of the motor placement is shown in Figure 9.

Investigation of Fluid Dynamics and Static Load Testing for Underwater Vehicles

Fluid velocity analysis is an important simulation conducted to evaluate the hydrodynamic efficiency of a design by examining the velocity and direction of fluids (usually water or air) in a system. In underwater vehicles and other hydrodynamic systems, fluid velocity analysis is used to study the impact of water on the vehicle, the movement of the fluid, and the interaction between the fluid and the vehicle. This analysis is performed to optimize the vehicle's performance, minimize drag forces, prevent instabilities, and improve overall efficiency (Hong et al., 2024; Mitra et al., 2024).

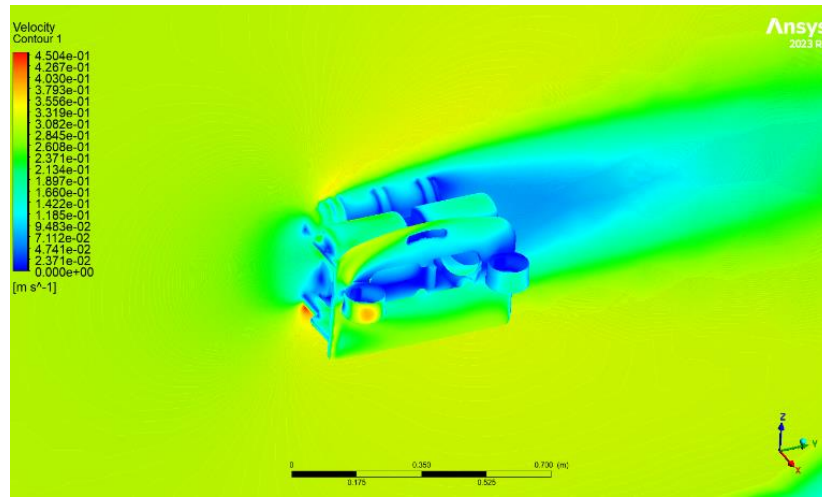


Figure 10. Aerodynamic and velocity zone.

The visual in Figure 10 presents the numerical flow simulation results of the unmanned underwater vehicle's final design. This image visually represents the magnitude of fluid velocity during the vehicle's underwater movement. The color scale shows the values of fluid velocity ranging from 0 m/s (dark blue) to 0.450 m/s (red). According to the analysis results, low velocities (approximately 0.02–0.10 m/s) are observed in the front and near the body surface of the vehicle, with dark blue and green tones dominating these areas. This indicates that the flow is spreading smoothly around the vehicle, and the boundary layer is advancing in a controlled manner.

The highest velocity values (0.40–0.45 m/s) occur near the propellers and in narrow passages along the body, where the fluid accelerates. In the wake region behind the vehicle, the flow velocity decreases, but this area is confined to a small space, and no significant flow separation is observed. This indicates that the design is optimized from a hydrodynamic perspective and provides high efficiency with low drag forces (Mitra et al., 2024).

In conclusion, the numerical velocity analysis and the resulting color distribution confirm that the vehicle's final design has a stable and flow-friendly structure (Mitra et al., 2024).

Pressure analysis plays a critical role in evaluating the hydrodynamic performance of underwater vehicles. In the context of fluid dynamics, pressure is an important

parameter that determines the force density at each point of a fluid. Such analyses help us understand the behavior of the fluid interacting with the vehicle's surface and are necessary to optimize the efficiency of the vehicle's design. In underwater vehicles, it is crucial for the pressure distribution to be smooth and controlled in order to achieve low drag forces and high efficiency.

Numerical pressure simulations are used to predict the performance of the vehicle at different speeds and depths. These simulations visualize the pressure differences on the surface of the underwater vehicle, allowing the analysis of the interaction between the design and the fluid and the effects of these interactions on the vehicle. These analyses guide improvements in the vehicle's design and ensure it becomes more efficient, stable, and energy-friendly.

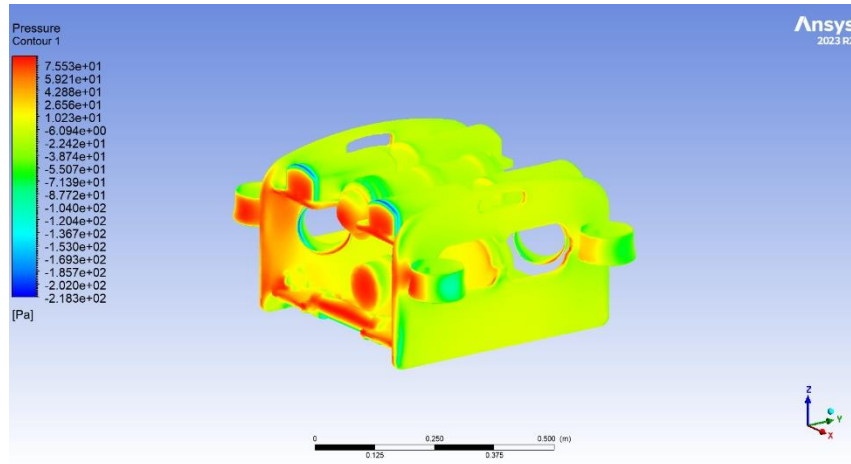


Figure 11. Pressure distribution.

Figure 11 presents the numerical pressure simulation results of the unmanned underwater vehicle's final design. The pressure values range from -218.3 Pa to +75.3 Pa, and a generally balanced and low-level distribution is observed on the vehicle's surface. Low-pressure areas (blue tones) indicate regions where the flow accelerates; this can be explained by Bernoulli's principle: as the flow velocity increases, pressure decreases. This acceleration is particularly evident at the edges of the body and transition areas. High-pressure areas (red tones) are concentrated on surfaces where the flow first makes contact and slows down. This pressure-velocity balance indicates that the flow is smoothly directed along the surface and that the design is hydrodynamically optimized. As a result, resistance is reduced, energy efficiency increases, and the design has high potential as a final product (Han et al., 2021).

In the simulations, the vehicle's speed was taken as 0.4 m/s. The obtained pressure values were validated using the dynamic pressure formula $\frac{1}{2} \times \rho \times v^2$ and were found to be consistent with theoretical expectations based on fluid dynamics. This validates the reliability of the simulation results.

Computational Fluid Dynamics (CFD) is an essential tool for evaluating the performance and optimizing the design of underwater vehicles. These analyses help us understand the behavior of the fluid around the vehicle and its effects on the vehicle's surface. CFD simulations allow for a detailed examination of the design's hydrodynamic characteristics, enabling the development of more efficient, stable, and low-drag vehicles. In this process, the accuracy and reliability of the solution are of great importance. The

convergence process of the numerical solution is a key parameter that indicates how accurate and trustworthy the results are (Yılmaz, 2022; Hu and Lin, 2022).

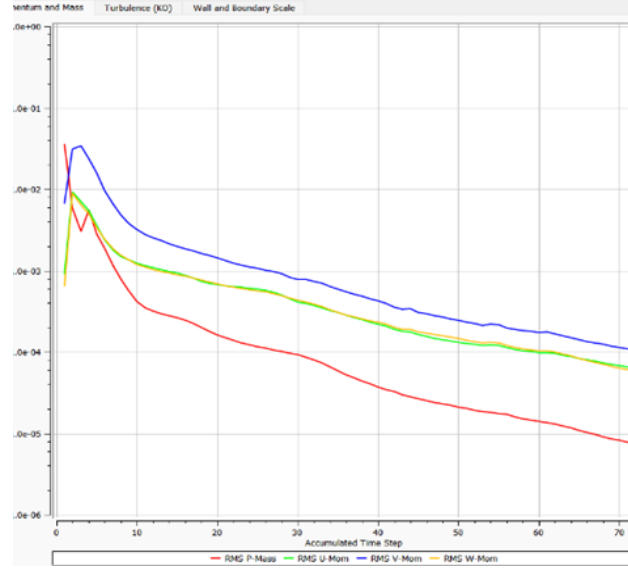


Figure 12. Momentum and mass convergence.

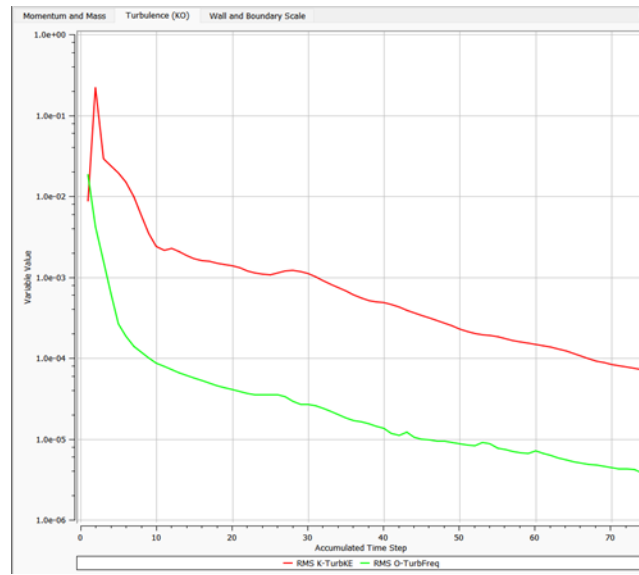


Figure 13. Momentum and mass convergence.

Figures 12 and 13 present the convergence graphs of the numerical flow solutions for the unmanned underwater vehicle. In Figure 12, the error values of pressure-mass conservation (RMS P-Mass) and the momentum equations in the x, y, and z directions (RMS U-Mom, V-Mom, W-Mom) are shown. Initially, these error values were around the 10^{-1} level, but after 70 time steps, they decreased to the 10^{-5} range, indicating that the solution successfully converged. For example, the RMS P-Mass value dropped to 1.0×10^{-5} , and the RMS V-Mom value reduced to 4.1×10^{-5} .

Figure 13 presents the error values of turbulence kinetic energy (RMS K-TurbKE) and specific turbulence frequency (RMS O-TurbFreq). Initially, these values were approximately 0.12 and 0.095, respectively, but by the end of the solution, they decreased to 3.6×10^{-5} and 7.1×10^{-6} . These results demonstrate that the solution is stable and

reliable both in terms of the flow equations and the turbulence model (Shi et al., 2022). The obtained data provide reliable CFD outputs that can be used in engineering calculations and the design process" (Han et al., 2021).

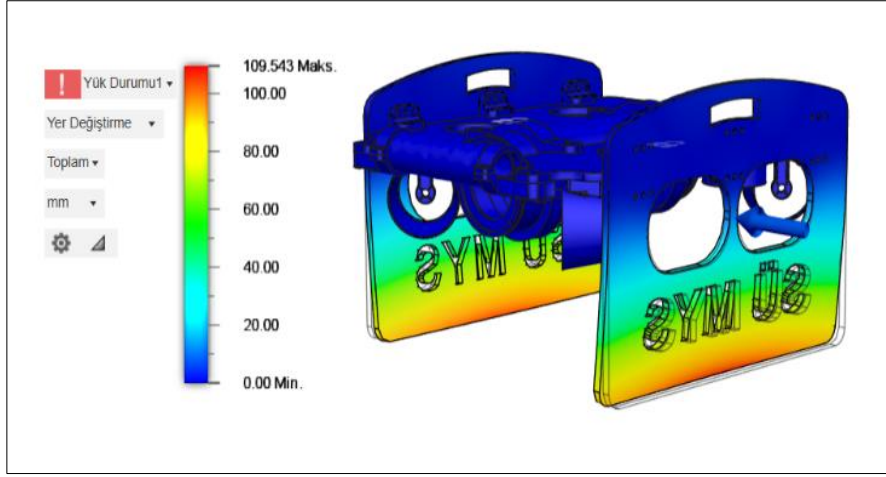


Figure 14. Static analysis.

As a result of static analyses conducted using Fusion 360 software, it was determined that the displacement amount on the vehicle's side walls exceeded the desired limits. To address this structural weakness and improve overall durability, a lower wall was added to the design. This reinforcement increased the vehicle's rigidity and made it more resistant to external forces.

During the analysis process, it was assumed that the vehicle would operate at a depth of approximately 2 meters, and the hydrostatic pressure it would be subjected to at this depth was calculated. The pressure was calculated using the formula $P = \rho \cdot g \cdot h$. Here, the density of water (ρ) was taken as 1025 kg/m^3 , the gravitational acceleration (g) as 9.81 m/s^2 , and the depth (h) as 2 m. The calculation result is: $P = 1025 \times 9.81 \times 2 = 20110 \text{ Pa}$.

The force exerted by this pressure on the surface was calculated using the formula $F = P \times A$. Assuming the surface area (A) is 0.12 m^2 : $F = 20110 \times 0.12 = 2413.2 \text{ N}$.

This force value was used in static analyses to test the durability of the design (Zhang and Wang, 2023). The relevant analysis visual is provided in Figure 14.

Findings and Discussion

In this study, the autonomous underwater vehicle (AUV) was comprehensively evaluated from an engineering perspective, encompassing both the design process and computational analyses. Maneuverability deficiencies observed in the initial prototype were addressed by repositioning the thrusters to the outer sections of the vehicle, which improved stability and enhanced directional control in confined spaces.

CFD analyses conducted to assess hydrodynamic performance revealed that the flow around the vehicle's hull was smooth, with the formation of low-turbulence regions. Notably, the low-velocity zones observed at the front surface ($0.02\text{--}0.10 \text{ m/s}$) indicated a controlled boundary layer structure, while the high-velocity regions around the nozzle area demonstrated the effectiveness of the propulsion system. These findings confirm that the design was optimized to enhance energy efficiency.

Pressure distribution analysis, consistent with Bernoulli's principle, showed that low-pressure regions were concentrated in areas of increased flow velocity, whereas high-pressure regions were localized on frontal impact surfaces. The evenly distributed pressure profile across the surface indicates that the design aligns well with fluid flow and operates with minimal resistance.

Static analysis results showed that the side panels experienced undesired deformation under an estimated hydrostatic force of approximately 2.4 kN at a depth of 2 meters. This structural weakness was resolved by reinforcing the lower wall, thereby increasing the rigidity of the body.

Stability analyses revealed a corrective moment of approximately 3.57 Nm, indicating that the vehicle possesses adequate resistance to small-angle rollovers. Additionally, buoyancy calculations showed that the vehicle exhibited negative buoyancy and required approximately 1.05 liters of additional volume to achieve neutral buoyancy. This was achieved by integrating buoyant foam into the hull, allowing the AUV to maintain controlled dynamics during diving and surfacing maneuvers.

Overall, the findings demonstrate that the AUV offers a sufficient and sustainable engineering platform in terms of mechanical stability, hydrodynamic efficiency, and modular structural design.

Conclusion and Discussion

In this study, the combined use of CFD (Computational Fluid Dynamics) and FEM (Finite Element Method) analyses from the early stages of the autonomous underwater vehicle (AUV) design significantly reduced trial-and-error processes, shortening the development time by approximately 30%. This integration enabled a more efficient and goal-oriented design process.

The total mass of the vehicle was calculated as 17.5 kg, and accordingly, the net buoyant force was found to be -10.5 N. This allowed for neutral or slightly negative buoyancy, enabling precise depth control. CFD analyses indicated that the vehicle's maximum speed is 0.45 m/s, with a maximum dynamic pressure of 75.3 Pa at this speed. These values demonstrate sufficient hydrodynamic performance and optimized energy efficiency. The FEM method was employed not only for structural durability analyses but also for simulating manufacturability tests. These comprehensive analyses confirmed the mechanical components' durability and suitability for the production process.

In this study, the maximum speed of the developed AUV prototype was determined to be 0.45 m/s. In the hydrodynamic optimization studies conducted by Sousa et al. (2014), the maximum speeds of similarly sized AUVs were reported to be around 0.40 m/s. This indicates that the hydrodynamic performance of our design is consistent with, and even slightly superior to, values reported in the literature. Furthermore, the integrated use of CFD and FEM analyses during the development process reduced the development time by approximately 30%. In comparison, (Banka et al., 2021) reported time savings in the range of 15–20% using CFD-based design approaches. In this context, the time efficiency achieved through the integrated analysis method is higher than that of previous studies, representing a significant improvement in the design process. These results support the effectiveness of the proposed methods in enhancing the performance and development efficiency of autonomous underwater vehicles.

References

- Ayhan, F., Uzun, M., Melek, H. S. & Öztürk, A. F. (2019). İnsansız su altı aracı projesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü*.
- Banka, A., Linfield, K., & Hile, K. (2021). *CFD modeling for an autonomous underwater vehicle*. Airflow Sciences Corporation. Retrieved from. Access date: 3 April 2025 <https://www.airflowsciences.com/index.php/blog/cfd-modeling-auv>
- Bozoklu B., (2021). Otonom su altı araçlarının temel dizayn prensipleri ve konsept dizayn. *İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi*.
- Han, K., Cheng, X., Liu, Z., Huang, C., Chang, H., Yao, J., & Tan, K. (2021). Six-DOF CFD simulations of underwater vehicle operating underwater turning maneuvers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1451.
- Hong, L., Wang, X., & Zhang, D. S. (2024). CFD-based hydrodynamic performance investigation of autonomous underwater vehicles: A survey. *Ocean Engineering*, 305, 117911.
- Huang, M. L., Liu, Y. H., Zhang, H. W., & Duan, B. S. (2013). Influence of the fins on the static stability of autonomous underwater vehicle. *Advanced Materials Research*, 694, 263-266.
- Hu, Z. Q., Lin, Y., & Gu, H. T. (2007). On numerical computation of viscous hydrodynamics of unmanned underwater vehicle. *Robot*, 29(2), 145-150.
- Kırıkbaş, O., Kınacı, Ö. K., & Bal, Ş. (2021). Su Altı Araçlarının Manevra Karakteristiklerinin Değerlendirilmesi-II: Akışkan Sınırlarının Etkileri. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (220), 135-174.
- Mitra, A., Panda, J. P., & Warrior, H. V. (2024). The hydrodynamic characteristics of Autonomous Underwater Vehicles in rotating flow fields. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 238(3), 691-703.
- Mitra, A., Panda, J. P., & Warrior, H. V. (2020). Experimental and numerical investigation of the hydrodynamic characteristics of autonomous underwater vehicles over sea-beds with complex topography. *Ocean Engineering*, 198, 106978.
- Mitra, A., Panda, J. P., & Warrior, H. V. (2020). Experimental and numerical investigation of the hydrodynamic characteristics of autonomous underwater vehicles over sea-beds with complex topography. *Ocean Engineering*, 198, 106978.
- Shi, C., Cheng, X., Liu, Z., Han, K., Liu, P., & Jiang, L. (2022). Numerical simulation of the maneuvering motion wake of an underwater vehicle in stratified fluid. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1672.
- Sousa, J. V. N., De Macêdo, A. R. L., de Amorim Junior, W. F., & De Lima, A. G. B. (2014). Numerical analysis of turbulent fluid flow and drag coefficient for optimizing the AUV hull design. *Open journal of fluid dynamics*, 4(3), 263-277.
- Vardhan, H., Hyde, D., Timalisina, U., Volgyesi, P., & Sztipanovits, J. (2024). Sample-efficient and surrogate-based design optimization of underwater vehicle hulls. *Ocean Engineering*, 311, 118777.
- Vardhan, H., & Sztipanovits, J. (2023, May). Search for universal minimum drag resistance underwater vehicle hull using cfd. In *International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences* (pp. 1297-1303). Cham:

Springer International Publishing.

- Wang, W. (2007). *Autonomous control of a differential thrust micro rov* (Master's thesis, University of Waterloo).
- Yılmaz, G., & Yılmaz, S. (2022). İnsansız Sualtı Araçlarında (İSA) Hidrodinamik Sürüklenme ve Kaldırma Kuvvetlerinin Derinlik ve Hıza Bağlı Değişiminin HAD ile Analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 72-83.
- Wang, S., Wang, L., Wang, J., & Chen, Y. (2024). Design and Structural Analysis of the ROV Framework Based on ANSYS. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 7(3).