

# Bir boyutlu kutulama probleminin eniyilenmesi için hiper-sezgisel paralel bir algoritma

Tansel DÖKEROĞLU\*

Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi (Received Date): 22.02.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 20.12.2016

## Özet

Bir boyutlu kutulama problemi (IBKP), endüstri mühendisliğinin üzerinde en çok çalışılan NP-Zor kombinatoriyal problemlerinden bir tanesidir. Büyük sayıda (elliden fazla) parça içeren problem kümeleri için en iyi çözümün bulunması klasik kaba kuvvet algoritmaları ile yüz yıllarca sürebilmektedir. Bu yüzden (yaklaşık)-optimal çözümleri ile eniyilemeyi tam olarak ya da düşük performans kayıpları ile kısa sürelerde bulabilen sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma ile birlikte, Gruplama Genetik Algoritmalarında (GGA) kullanılan sezgisel kutulama tekniklerinden sadece bir tanesini kullanan klasik yaklaşımlar yerine, aynı anda birçok sezgisel kutulama tekniğini kullanan hiper-sezgisel paralel bir algoritma (HPGG-IBKP) geliştirildi. En Uygun Boşluğu Doldur (EUBD), İlk Bulduğun Boşluğu Doldur (İBBD) ve En Küçük Boşluğu Bırakarak Doldur (EKBBDD) sezgisel kutu doldurma algoritmaları bu algortmada aynı anda paralel olarak kullanıldı. 1228 benchmark problemi üzerinde yapılan deneyler sonucunda %88.1 başarı ile 1070 optimal sonuç elde edildi. Geri kalan problemler için de sadece bir kutu daha fazla kullanan çözümler üretilerek sonuçlar eniyilendi. Önerilen algoritma Falkenauer GGA ile karşılaştırıldığında %9'a varan iyileşmeler elde edildi.

**Anahtar kelimeler:** Genetik, bir boyutlu kutulama, paralel, hiper-sezgisel

## A parallel hyper-heuristic algorithm for the optimization of one-dimensional bin packing problem

### Abstract

One-Dimensional Bin Packing Problem (1DBPP) is one of the most well-known NP-Hard problems of industrial engineering. The execution time of a brute force approach

\* Tansel DÖKEROĞLU, tdokeroglu@thk.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1665-5928>

algorithm for finding the optimal solution for its problem instances with several items (more than 50) can spend more than hundreds of years. Therefore, heuristic algorithms that can find (near)-optimal solutions are preferred with their reasonable optimization times. With this study, we propose a novel parallel hyper-heuristic Grouping Genetic Algorithm (HHPGGA-1DBPP) that uses several heuristics concurrently, whereas classical Grouping Genetic Algorithms (GGA) use only a single one during the optimization. The solutions of the proposed algorithm outperform the classical ones'. Best Fit Decreasing (BFD), First Fit Decreasing (FFD), and Minimum Bin Slack (MBS) are the bin-oriented heuristics used in the proposed algorithm. With the experiments carried out on 1,228 problem instances, 1,070 of the problems (88.1%) are solved optimally. The remaining problems are optimized by producing only a single extra bin. These experimental results show that the proposed algorithm can outperform Falkenauer GGA. The obtained results are improved up to 9%.

**Keywords:** Genetic, one-dimensional bin packing, parallel, hyper-heuristic.

## 1. Giriş

Bir Boyutlu Kutulama Problemi (1BKP), mühendislik, lojistik ve üretim gibi birçok alanda karşımıza esas problem ya da başka bir problemin parçası olarak sıkça çıkan NP-Zor kombinatoriyal bir eniyileme problemidir [1-3]. Bu problemde, kapasitesi  $c$  olan kutular için  $n$  adet parça en az sayıda kutu ile paketlenmeye çalışılır. Kullanılabilecek kutuların sayısı sınırsız olarak kabul edilir ve kapasiteleri,  $c > 0$ 'dır. Parça  $i \in \{1, \dots, n\}$  ve boyutu  $s_i > 0$  iken 1BKP Denklem 1'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\forall k: \sum_{i \in \text{bin}(k)} s_i \leq c \quad (1)$$

1BKP'nin amacı  $n$  adet parçayı en az sayıda kutu ( $M$ ) içerisine paketleyebilmektir (Bkz: Denklem 2).

$$M \geq \left\lceil \sum_{i=1}^n s_i / c \right\rceil \quad (2)$$

1BKP'nin çözümü için daha önce birçok sezgisel algoritma geliştirilmiş olmasına rağmen, bu çalışma ile ilk defa olarak hiper-sezgisel paralel bir algoritma önerilmiştir. Hiper-sezgisel algoritmalar, birçok sezgisel eniyileme yöntemini aynı anda kullanabilen ve hepsinin farklı özelliklerinden aynı anda faydalanabilen etkin bir yöntemdir [4-6]. Sezgisel yaklaşımlar problemin özelliğine göre farklı performanslar gösterebilmektedir. Bu yüzden, hepsinin en kuvvetli taraflarından faydalanmayı amaçlayan bu yaklaşım, tek başına çalışan sezgisel algoritmalara göre daha iyi sonuçlar üretebilmektedir. Çalışmamıza ilham kaynağı olan Wolpert ve Macready tarafından geliştirilen "No Free Lunch" (NFL) adlı teoride [7] bu konuyla ilgili detaylı bilgi sunulmuştur.

Sezgisel algoritmalar, yerel en iyi çözümlere takılmaları engellenebilip ne kadar fazla deneme yapabilirlerse optimal değerlere o kadar daha fazla yaklaşıma şansı bulmaktadırlar. Bu süreç sırasında birçok alternatif çözümü denemeleri ve bu çözümlerin uygunluklarını görmeleri gerekmektedir. Paralel hesaplama araçları bu

anlamda çok daha fazla deneme yapabilme imkânı vermekte ve eklenen işlemci sayısına bağlı olarak performans artışı sağlayabilmektedir. Önerdiğimiz algoritmada bu yüzden paralel bir geliştirme ortamı olan MPI kullanıldı. Her işlemcide ayrı olarak tutulan ve birbirinden farklı olan popülasyonların nesiller boyu çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilerek en iyi çözümlere ulaşması sağlandı. Bu işlem belirtilen nesil sayısı kadar tekrar edildi. Önerilen algoritma ile paralel hiper-sezgisel bir Gruplama Genetik Algoritmasının (GGA ilk örneklerinden birisi sunulmuş olmaktadır [8].

GGA'da kullanılan sezgisel kutulama tekniklerinden sadece bir tanesini kullanan yaklaşımların yerine, aynı anda birçok sezgisel kutulama tekniği kullanan hiper-sezgisel paralel bir algoritma (HPGG-1BKP) bu çalışmada ilk defa olarak geliştirilmiş oldu. En Uygun Boşluğu Doldur (EUBD), İlk Bulduğun Boşluğu Doldur (İBBD) ve En Küçük Boşluğu Bırakarak Doldur (EKBBDD) sezgisel kutu doldurma algoritmaları aynı anda paralel olarak farklı işlemciler üzerinde kullanıldı. 1228 beçmark problemi üzerinde yapılan deneyler sonucunda %88.1 başarı ile 1070 optimal sonuç elde edildiği görülmüştür. Geri kalan problemler için sadece bir kutu daha fazla bulan çözümler üretilerek sonuçlar eniyilendi. Önerilen algoritmanın diğer güncel GGA yaklaşımlara göre daha etkin olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde; 1BKP için geliştirilen güncel sezgisel algoritmalar ile ilgili bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde; önerilen hiper-sezgisel paralel algoritmanın bileşenleri hakkında bilgi verildi. Dördüncü bölümde; deney ortamı, beçmark problemleri ve elde edilen sonuçların diğer algoritmalar ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapıldı. Son bölümde; önerilen algoritmanın genel bir değerlendirmesi ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar ile ilgili bilgi verildi.

## 2. Önceki çalışmalar

Bu bölümde 1BKP için geliştirilmiş güncel sezgisel algoritmalar hakkında bilgi sunulmaktadır. Martello ve Toth'un kitabında kutulama problemleri hakkında çok detaylı olarak bilgi verilmektedir [9]. En Uygun Boşluğu Doldur (EUBD) ve İlk Bulduğun Boşluğu Doldur (İBBD) algoritmaları en çok bilinen ve kullanılan sezgisel algoritmalarıdır. Her iki algoritma da tüm parçaları büyükten küçüğe göre sıraladıktan sonra, en uygun olan ya da ilk buldukları kutuya parçaları yerleştirirler. Parça için uygun bir yer bulunamazsa yeni bir kutu eklenir [2]. En Küçük Boşluğu Bırakarak Doldur (EKBBDD) algoritması, Gupta ve Ho tarafından 1999 yılında önerilmiştir [10]. EKBBDD' algoritması da EKBBDD algoritmasının parça azaltma teknikleri (İng. reduction) kullanılarak geliştirilmiş bir sürümüdür. Fleszar ve Charalambous 2011 yılında kutulanmamış parçaların ortalama ağırlıklarını dikkate alarak yeni kutuları dolduran sezgisel bir algoritma olan (sufficient average weight) SAW'yi önerdiler [11]. İki ve üç boyutlu kutulama problemleri için sezgisel memetik algoritmaların da geliştirildiği görülmektedir [6].

Falkenauer 1994 yılında yaptığı çalışmalar ile ilk olarak GGA için etkin bir kromozom yapısı geliştirdi ve dejenerasyonun önüne geçerek 1BKP'ni yüksek bir başarı oranı ile çözdü [12]. Bu çalışmada, Falkenauer GGA'larda EUBD sezgisel yaklaşımını kullanmayı tavsiye etmektedir. Dokeroglu ve Cosar yeni melez sezgisel kutulama algoritmaları geliştirerek paralel ortamda 1BKP'ni iyi çözen yöntemler buldular [2]. İki ve üç boyutlu kutulama problemleri için paralel ve bazı hiper-sezgisel algoritmalar

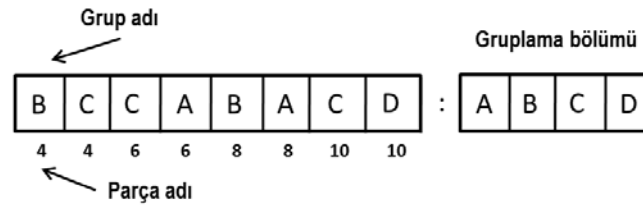
geliştirilmiş olduğu bilinmesine rağmen, bir boyutlu kutulama problemleri için bizim önerdiğimiz gibi hiper-sezgisel paralel bir algoritmanın geliştirilmemiş olduğu görülmektedir [13].

### 3. Önerilen algoritma

Bu bölümde, önerilen hiper-sezgisel paralel algoritmanın (HPGG-1BKP) bileşenleri ve tekrar yerleştirme sezgisel algoritması olarak kullanılan EUBD, İBBD ve EKBBDD hakkında bilgi verilmektedir.

#### 3.1. Kromozom yapısı

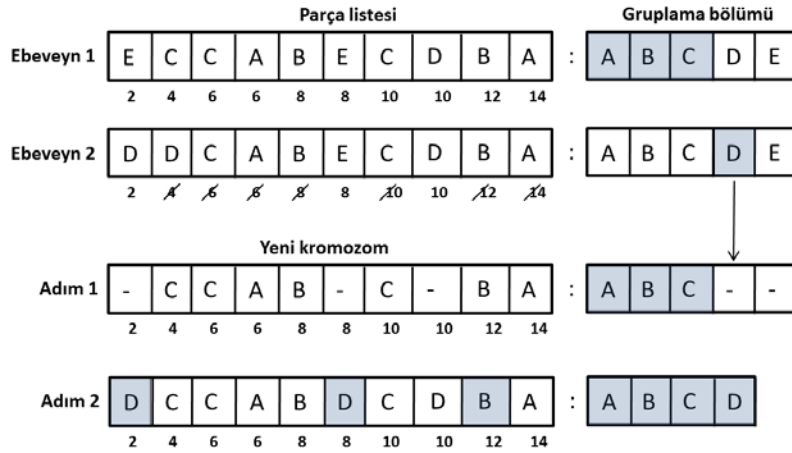
GGA'da en önemli problemlerden biri, çaprazlama ve mutasyon sırasında kromozomların elde ettikleri bilgi seviyesini dejenere olan yeni kromozomlardan dolayı kaybetmeleridir. Bu problem klasik Holland tipi kromozom yapısı ile çalışan GGA'larda sıkça karşılaşılan bir problemdir. Bu yüzden Falkenauer, yeni bir kromozom yapısı önermiş ve bu problemin daha iyi şekilde çözümüne katkıda bulunmuştur [12]. Önerdiğimiz algoritmada dejenerasyonu engelleyen ve Falkenauer tarafından geliştirilmiş olan kromozom yapısı kullanılmaktadır. Şekil 1'de kullanılan kromozom görülmektedir. Sol taraftaki bölüm parçaların hangi grupta olduğunu gösterirken sağ tarafta kullanılan bölüm ise grupların isimlerini göstermektedir. Sol taraftaki bölümün altındaki rakamlar parçaların boyutunu göstermektedir (kutu kapasitesi,  $c=20$  olarak kabul edilmiştir). Çaprazlama, mutasyon ve ters çevirme işlemleri sağ taraftaki bölüm üzerinde yapılmaktadır. Parçaların değişen grup isimleri sol taraftaki bölüm üzerinden takip edilerek güncellenmektedir.



Şekil 1. Önerilen algoritmada kullanılan Falkenauer kromozom yapısı. Gruplama bölümü sağ tarafta yer almaktadır.

#### 3.2. Çaprazlama işlemi

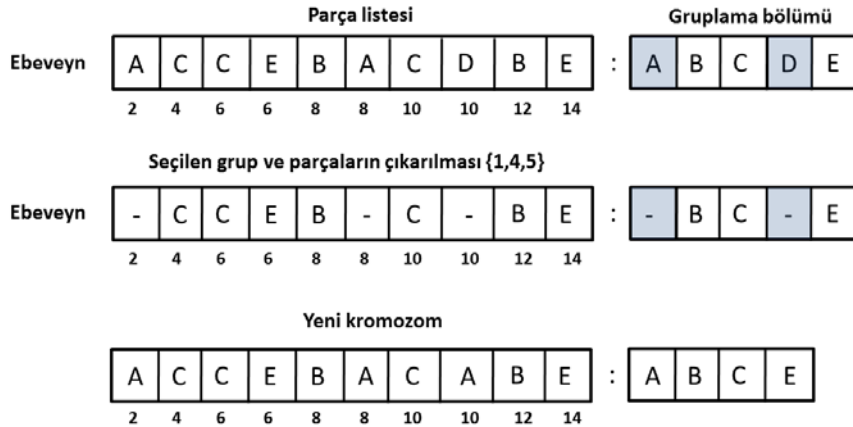
Önerilen algoritmada Şekil 2'de örneği verilmiş olan çaprazlama işlemi kullanılmaktadır. Çaprazlama işlemi sırasında popülasyondan iki adet ebeveyn kromozom seçilmektedir. Bu seçilen kromozomların gruplama bölümleri kesilerek yeni bir kromozom oluşturulmaktadır. Örnekte de görüldüğü gibi, ebeveyn 1'den A, B ve C grupları ebeveyn 2'den de D grubu alınarak yeni bir kromozom oluşturulmuştur. Çaprazlama işlemi sırasında bozulan kutulardan bazı parçalar artmakta ve bu parçalar yeni kutular oluşturularak ya da diğer kutulardaki uygun yerlere tekrar yerleştirilmektedir. Bu işlem sırasında sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu sezgisel algoritmaların etkinliği algoritmanın tüm performansını etkilemektedir. Örnekte 5'er adet kutu ile paketleme yapan kromozomlardan 4 kutulu yeni bir kromozom oluşturulmuştur. Falkenauer bu tekrar yerleştirme işlemi için İBBD algoritmasını tavsiye etmektedir. Biz yaptığımız çalışmada, birçok sezgisel algoritmayı aynı anda paralel olarak deneyerek daha iyi sonuçlar elde ettik.



Şekil 2. Kullanılan çaprazlama işlemi örneği

### 3.3. Mutasyon işlemi

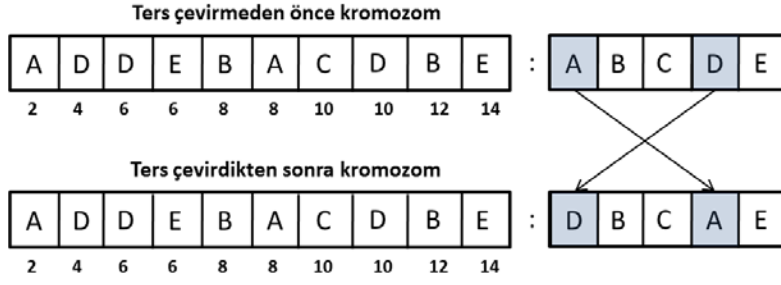
Mutasyon işlemi esnasında rasgele olarak bazı gruplar seçilmektedir. Bu seçilen gruplarda bulunan parçalar, kromozom dışına alınarak sezgisel algoritma ile geride kalan kutuların içerisine ya da yeni kutulara tekrar doldurulurlar. Mutasyon tek bir kromozom üzerinde çalışır. Şekil 3’de bir mutasyon örneği verilmiştir. Ebeveyndeki A ve D grupları seçilerek kromozomdan çıkarılmış ve ardından tekrar kromozoma yerleştirilmişlerdir. 5 kutu ile paketlenmiş olan ebeveyn, mutasyon sonrası 4 kutu ile paklenebilir daha iyi bir çözüme evrilmektedir.



Şekil 3. Mutasyon işlemi örneği

### 3.4. Ters çevirme işlemi

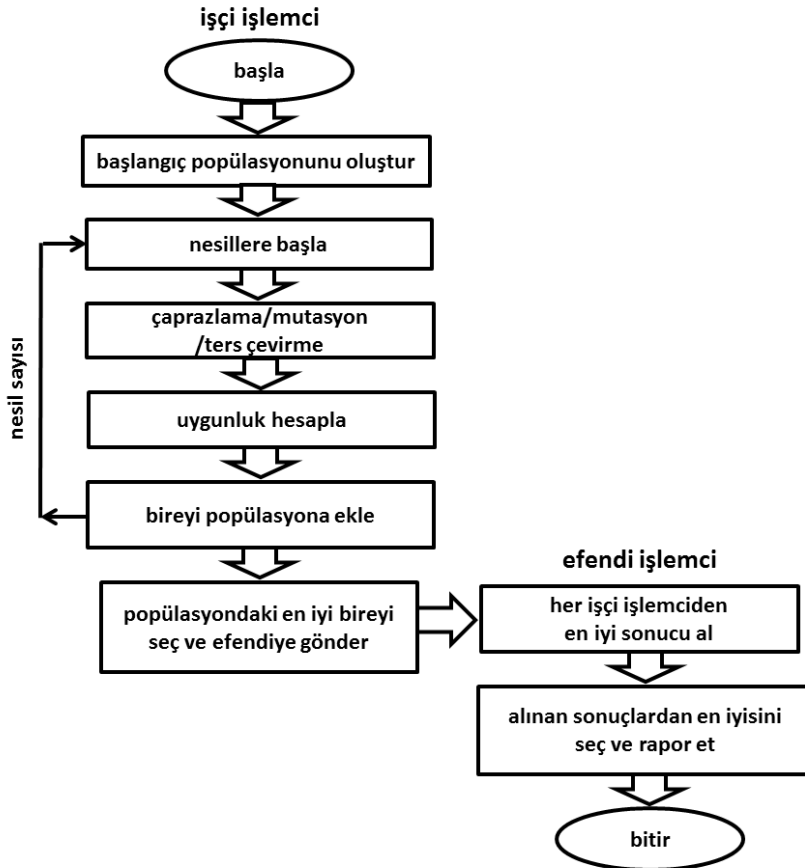
Ters çevirme işlemi grupların çaprazlama ve mutasyonlarda seçilebilme olasılığını çeşitlendirmek amacıyla kullanılan bir işlemidir. Kromozomun grup sayısı ile ilgili bir değişiklik yapmamaktadır. Bunun yanında çaprazlama ve mutasyon için değişik olasılıkların doğmasına sebep olmakta ve farklılaşmayı sağlamaktadır. Şekil 4’teki örnekte, A ve D gruplarının yerleri değiştirilerek bir ters çevirme işlemi yapılmıştır. Kromozomun sol tarafında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 4. Ters çevirme işlemi örneği

### 3.5. Önerilen algoritma, HPGG-1BKP

İşçi işlemciler kendi hafızaları üzerinde başlangıç popülasyonu oluşturarak belirlenen nesil sayısı kadar çaprazlama, mutasyon ve ters çevirme işlemleri ile ellerindeki çözümleri iyileştirirler. İşçi işlemciler daha önceden belirlenen sezgisel algoritmalara göre kutulara yeniden yerleşme işlemi yapar. Birinci işlemci EUBD, ikinci işlemci İBBD ve üçüncü işlemci de EKBBBD sezgisel algoritmasını kullanır. Diğer işlemciler de sayılarına göre bu dağılıma uyarlar. Her işlemcide farklı bir popülasyon oluşturularak problemin farklı çözüm alanlarının daha etkin olarak aranması sağlanmıştır. İşçi işlemciler nesilleri bitince, elde ettikleri en iyi çözümü efendi işlemciye gönderirler. Efendi işlemci, tüm işlemcilerden gelen çözümleri toplar ve en iyisini seçerek esas çözüm olarak belirler. Önerilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 5'te sunulmuştur.



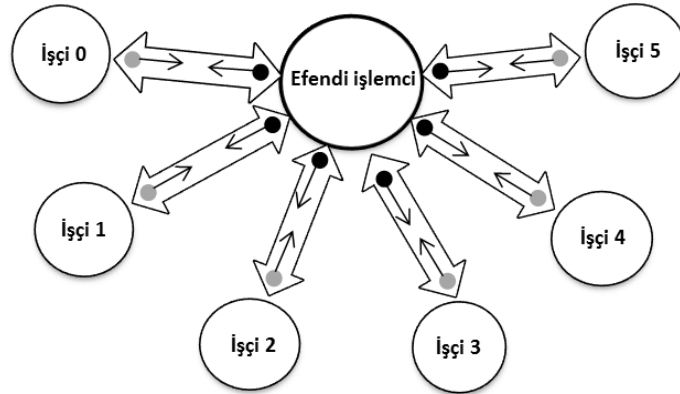
Şekil 5. Önerilen algoritmanın akış diyagramı

### 3.6. Kullanılan sezgisel algoritmalar

HPGG-1BKP algoritması her işlemcide farklı bir sezgisel algoritma kullanır. Parçalar kutulara işlemciye tanımlanmış olan sezgisel algoritmaya uygun olarak tekrar yerleştirilir. Biz bu çalışmada, EUBD, İBBD ve EKBBBD algoritmalarını kullandık. Falkenauer İBBD algoritmasını tavsiye etmiş olmasına rağmen diğer sezgisel algoritmaların farklı problemler örnekleri için daha iyi sonuç verebildikleri bu çalışma ile gösterilmiş olmaktadır. EUBD algoritması, parçaları büyükten küçüğe sıraladıktan sonra var olan kutuların içerisinde bulunan en uygun yere parçayı yerleştirir, eğer kutuların içerisinde yer bulamazsa yeni bir kutuya parçayı yerleştirir. İBBD algoritması da aynı sıralamayı yaptıktan sonra ilk bulduğu kutudaki boşluğa parçayı yerleştirir. Eğer kutularda uygun bir yer bulamazsa yeni bir kutu ekler. EKBBBD algoritması, her seferinde en yüksek oranda doluluğa sahip kutuyu oluşturmaya çalışır. Bütün alt kümeleri deneyerek en az boşluk bırakan alt kümeyi çözüm kümesi olarak tespit eder. Diğer ilk iki algoritmaya göre çalışma zamanı daha yüksektir.

### 3.7. Algoritmanın iletişim topolojisi

HPGG-1BKP algoritmasındaki işlemciler, efendi ve işçi işlemciler olmak üzere ikiye ayrılmışlardır. İşçi işlemciler ile efendi işlemci arasında sadece nesillerin bitmesinden sonra bir haberleşme olmaktadır. Bu yüzden dolayı haberleşme topolojisi oldukça ölçeklenebilir bir özelliğe sahiptir. Paralel uygulamalarda, (İng. master-slave) olarak bilinen ve birçok uygulamada etkin şekilde kullanılan bu topoloji, orta sayıda (50-1000 arasında) işlemcilerin bulunduğu yüksek performanslı bilgisayarlarda ölçeklenebilir bir iletişim ortamı sunmaktadır. Şekil 6'da, HPGG-1BKP algoritmasının işlemciler arasında gerçekleştirdiği iletişimin topolojisi görülmektedir. Bu konfigürasyonda tek efendi işlemci bulunmakta ve işçi işlemciler nesiller bitince ellerindeki en iyi çözümü efendi işlemciye göndermektedirler.



Şekil 6. Geliştirilen algoritma için bir efendi ve altı işçi işlemciden oluşan haberleşme topolojisi (İng. Master-slave topology).

## 4. Deney ortamı ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

Deneyler, her birinde 2 CPU bulunan 46 düğümlü ve toplam 368 işlemcisi bulunan ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği'nin yüksek performanslı bilgisayarı üzerinde gerçekleştirildi. Bu hesaplama ortamında toplamda 736 GB RAM kapasitesi bulunmakta olup, düğümler arasında iki adet 24 kapılı yüksek hızlı Gbps Ethernet anahtarları bulunmaktadır. Bu iletişim altyapısı, işlemciler arasından 8Gbps'lık bir haberleşme ortamı sağlamaktadır.

Deneylerde üç benchmark problem kümesi üzerinde çalışmalar yapıldı. set\_1, set\_2 [14] [15] ve hard28 [16]. Problem örnekleri ile ilgili detaylı bilgi Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Benchmark problem örnekleri hakkında detaylı bilgi.

Problemin Adı	Örnek sayısı	Parça Ağırlıkları	Kutu kapasitesi (c)	Parça sayısı (n)
set_1	720	[1,100]	{100, 120, 150}	{50, 100, 200, 500}
set_2	480	kutuda [3, 9] parça	1000	{50, 100, 200, 500}
hard_28	28	[1, 800]	1000	{160, 180, 200}

Tablo 2’de, geliştirilen HPGG-1BKP algoritması için kullanılan parametreler ve değerleri sunulmuştur. Bu değerler daha önceki çalışmalarımızdan en iyi değere yakın olduğunu bildiğimiz parametrelerdir [2]. Bu değerler ile GGA tüm işçi işlemcilerde çalıştırıldıktan sonra efendi işlemciye en iyi değer gönderilmekte ve en iyi sonuç elde edilmektedir.

Tablo 2. GGA için kullanılan parametreler ve değerleri

Parametrenin adı	Değeri
Popülasyonun boyu	40
Nesil sayısı	100
Transfer edilen mak. gen sayısı	%50
Transfer edilen min. gen sayısı	%10
Mutasyon oranı	%1
Ters çevirme oranı	%10

Önerilen algoritma, C++ ve MPI kütüphaneleri kullanılarak geliştirildi. Sonuçların güvenilirliğini artırmak için deneyler on defa tekrarlanarak ortalama sonuçlar alındı. Deney sonuçları önceki çalışmalar bölümünde bahsedilen, GGA-İBBD (Falkenauer Algoritması), EUBD, İBBD ve EKBBD algoritmalarının elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırıldı. Geliştirilen HPGG-1BKP algoritması eklenen işlemci sayısına doğru orantılı olarak performansını artırmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda eşit bir ortam sağlamak için GGA-İBBD (Falkenauer) algoritması da 128 işlemci ile çalıştırılırken, deterministik olarak çalışan (her çalışmada aynı sonucu veren, değişken olmayan) ve çalışma süreleri oldukça düşük olan diğer algoritmalarda tek işlemci kullanıldı.

Tablo 3, 4 ve 5’te, 1228 adet benchmark problemi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ve diğer algoritmalar ile buldukları en iyi çözüm sayıları, fazla kutu sayıları ve çalışma zamanları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. 1070 adet (%88.1) problem optimal olarak çözülürken sadece bir adet fazla olmak üzere toplamda 170 adet fazla kutu üretildiği gözlemlendi. HPGG-1BKP’ye en yakın başarıyı sağlayan Falkenauer’in GGA-İBBD algoritmasına göre set\_1’de %9.1’lik, set\_2’de %5.9’luk daha yüksek bir başarı sağlandı. EUBD ve İBBD algoritmaları çalışma zamanları diğerlerine göre daha hızlı olmasına rağmen, elde ettikleri optimal çözüm sayısı açısından HPGG-1BKP algoritmasının çok uzağında kaldılar. EUBD ve İBBD algoritmaları ile kıyaslandığında HPGG-1BKP algoritması sırasıyla set\_1 için %43.0 ve %18.1 oranında, set\_2 için ise %81.3 ve %72.8 oranlarında daha fazla optimal çözüm bulmaktadır. HPGG-1BKP algoritmasının çalışma zamanı daha fazla olmasına rağmen pratik olarak kabul edilebilir limitler içerisindedir.



Tablo 3. Set\_1 problem kümesi için HPGG-1BKP algoritmasının diğer algoritmalar ile karşılaştırılması (128 işlemci ile)

Algoritma	Bulunan optimal çözüm sayısı	Fazla kutu sayısı	Çalışma zamanı (s)
EUBD	451	451	9.2
İBBD	546	283	9.3
GGA-İBBD (Falkenauer)	591	129	125.4
Önerilen (HPGG-1BKP)	<b>645</b>	<b>75</b>	128.3

Tablo 4. Set\_2 problem kümesi için HPGG-1BKP algoritmasının diğer algoritmalar ile karşılaştırılması (128 işlemci ile)

Algoritma	Bulunan optimal çözüm sayısı	Fazla kutu sayısı	Çalışma zamanı (s)
EUBD	225	767	7.1
İBBD	236	748	7.0
GGA-İBBD (Falkenauer)	385	95	85.4
Önerilen (HPGG-1BKP)	<b>408</b>	<b>72</b>	84.3

Tablo 5. Hard28 problem kümesi için HPGG-1BKP algoritmasının diğer algoritmalar ile karşılaştırılması (128 işlemci ile)

Algoritma	Bulunan optimal çözüm sayısı	Fazla kutu sayısı	Çalışma zamanı (s)
EUBD	2	51	0.5
İBBD	5	23	0.5
GGA-İBBD (Falkenauer)	5	23	4.8
Önerilen (HPGG-1BKP)	5	23	5.2

Bu bölümde, önerilen algoritmanın hard28 problem kümesi için elde ettiği sonuçların literatürde bulunabilen EUBD, İBBD, EKBBDD, EKBBDD' ve SAWMBS' algoritmaları ile karşılaştırılması yapıldı. hard28 problem seti mevcut bençmarklar içerisinde en zor olanıdır. Bu yüzden algoritmanın bu problem seti üzerindeki performansı diğer algoritmalar ile karşılaştırıldığında okuyucuya iyi bir fikir verecektir.

Tablo 6. hard28 problem kümesi için elde edilen çözümler ve çalışma zamanlarının diğer algoritmalar ile karşılaştırılması

Algoritmanın adı	Bulunan optimal çözüm sayısı	Çalışma zamanı (ms)
EUBD	2	2.3
EKBBDD	2	4.2
EKBBDD'	3	3.6
İBBD	5	2.2
SAWMBS'	5	129.9
GGA-İBBD (Falkenauer)	5	5442.9
Önerilen (HPGG-1BKP)	5	5200.1

Sonuçlara bakıldığında optimal olarak bulunabilen çözüm sayısı 5'i geçen algoritma bulunmamaktadır. Önerdiğimiz algoritma da bunlardan bir tanesidir. Bu anlamda,

mevcut algoritmalar içerisinde en iyilerinden birisi olarak değerlendirilebilir. Sonuçların detayları Tablo 6’da sunulmuştur.

## 5. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışma ile 1BKP için ilk defa olarak hiper-sezgisel paralel bir eniyileme algoritması önerilmiştir. Önerilen HPGG-1BKP algoritması ile her işlemci üzerinde oluşturulan çözüm popülasyonları farklı sezgisel algoritmalar ile aynı anda eniyilenerek mevcut sezgisel çözüm algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Deneyler esnasında 1228 benchmark problemi ile çalışılmıştır. Problemlerin 1070 tanesi (%88.1) optimal olarak bulunmuş ve geri kalan çözümlerde sadece bir adet fazla kutu kullanılmıştır. GGA Falkenauer algoritması ile karşılaştırıldığında %9 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda daha yüksek sayıda işlemcinin bulunduğu bulut bilişim ortamlarına uyumlu ölçeklenebilir ve farklı haberleşme topolojileri öneren yeni hiper-sezgisel algoritmalar ile iki ve üç boyutlu kutulama problemlerinin eniyilenmesi planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Garey, M. R., and Johnson, D. S., **Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness**. W.H. Freeman, (1979).
- [2] Dokeroglu, T., and Cosar, A., Optimization of one-dimensional bin packing problem with island parallel grouping genetic algorithms. **Computers and Industrial Engineering**, 75, 176-186, (2014).
- [3] Stawowy, A., Evolutionary based heuristic for bin packing problem. **Computers and Industrial Engineering**, 55, 465–474, (2008).
- [4] Burke, E.K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S., and Qu, R., A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems, **European Journal of Operations Research** 176, 1, 177–192, (2007).
- [5] Burke, E.K., Hyde, M., Kendall, G., Ochoa, G., Ozcan, E., and Woodward, J.R., A classification of hyper-heuristic approaches, in: **Handbook of Metaheuristics**, Springer US, 449–468, (2010).
- [6] Beyaz, M., Dokeroglu, T., and Cosar, A. Robust hyper-heuristic algorithms for the offline oriented/non-oriented 2D bin packing problems. **Applied Soft Computing**, 36, 236-245, (2015).
- [7] Wolpert, D.H., and Macready, W.G., No free lunch theorems for optimization. **Evolutionary Computation**, IEEE Transactions on, 1, 1, 67-82, (1997).
- [8] Cantu-Paz, E., **Efficient and accurate parallel genetic algorithms**. Kluwer Academic Publishers, (2000).
- [9] Martello, S., and Toth, P., **Knapsack Problems**. Wiley, (1990).
- [10] Gupta, J.N.D., and Ho, J.C., A new heuristic algorithm for the one-dimensional bin packing problem. **Production Planning and Control** 10, 6, 598-603, (1999).
- [11] Fleszar, K., and Charalambous, C., Average-weight-controlled bin-oriented heuristics for the one-dimensional bin-packing problem. **European Journal of Operations Research**, 210, 176–184, (2011).

- [12] Falkenauer, E., A new representation and operators for GAs applied to grouping problems. **Evolutionary Computation**, 2, 2, 123–144, (1994).
- [13] Bozejko, W., Uchronski, M., and Wodecki, M., Parallel hybrid metaheuristics for the flexible job shop problem. **Computers & Industrial Engineering**, 59, 2, 323–333, (2010).
- [14] Falkenauer, E., A hybrid grouping genetic algorithm for bin packing. **Journal of Heuristics**, 2, 1, 5–30, (1996).
- [15] Scholl, A., Klein, R., and Jurgens, C., BISON: A fast hybrid procedure for exactly solving the one-dimensional bin packing problem. **Computers and Operations Research**, 24, 7, 627–645, (1997).
- [16] Belov, G., Scheithauer, G., and Mukhacheva, E. A., One-dimensional heuristics adapted for two-dimensional rectangular strip packing. **Journal of the Operational Research Society**, 59, 6, 823–832, (2007).

# A numerical scheme for continuous population models for single and interacting species

Yalçın ÖZTÜRK<sup>1,\*</sup>, Ayşe ANAPALI<sup>2</sup>, Mustafa GÜLSU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ula Ali Koçman Vocational School, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey

<sup>2</sup> Department of Mathematics, Faculty of Science, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 23.03.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 02.01.2017

## Abstract

*In this article, the dynamic of models such as logistic growth model, prey-predator model and 2-species Lotka-Volterra competition model is approximately solved by the Chebyshev collocation method. These nonlinear mathematical models are transformed into the matrix form by Chebyshev expansion method and converted nonlinear algebraic equation system. Chebyshev coefficients are obtained by solving nonlinear equation system. Results are compared with Homotopy perturbation and Adomian decomposition method and then comparison numerical result and exact solution are presented by graphics for logistic growth model. Plots are showed the numbers of prey and predator versus time for various N values on predaor prey model. In the 2 spices Lotka Volterra competition model numerical results are presented by graphics. Matlab R2010a and Mapple14 are used for all calculations and graphs. In the conclusion part, the CPU times of the programs are given and the models are compared*

**Keywords:** Logistic growth model, prey and predator model, Lotka-Volterra model, 2-species Lotka-Volterra model, system of nonlinear differential equations

## Tek ve etkileşimli türlerin sürekli populasyon modelleri için bir sayısal yöntem

## Özet

*Bu makalede, lojistik büyüme modeli, av avcı modeli ve 2-tür Lotka-Volterra yaşama mücadelesi modeli gibi modeller Chebyshev sıralama metodu ile çözülmüştür. Bu lineer olmayan matematiksel modeller Chebyshev açılımı metodu ile matris formuna*

\*Yalçın ÖZTÜRK, yozturk@mu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-4142-5633>

Ayşe ANAPALI, ayseanapali@mu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-0198-1862>

Mustafa GÜLSU, mgulsu@mu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6139-0266>

dönüştürülmüş ve lineer olmayan cebirsel denklem sistemine indirgenmiştir. Lineer olmayan denklem sistemi çözülerek Chebyshev katsayıları elde edilmiştir. Lojistik büyüme modeli için sonuçlar homotopy perturbation metodu ve Adomian decomposition metodu ile karşılaştırılmış ve elde edilen nümerik sonuçlar ile tam çözümün karşılaştırılması grafiklerle sunulmuştur. Av-avcı modelinde grafikler yardımı ile av ve avcı sayılarının zamana karşı olan durumları farklı  $N$  değerleri için gösterilmiştir. 2 tür Lotka Volterra yaşama mücadelesi modelinde nümerik sonuçlar grafik ile ifade edilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalar ve grafik çizimlerinde Matlab R2010a ve Maple14 kullanılmıştır. Ayrıca sonuç kısmında programların CPU zamanları verilerek modeller arası karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lojistik büyüme modeli, av-avcı modeli, Lotka-Volterra modeli, 2-tür Lotka-Volterra modeli, linear olmayan diferansiyel denklem sistemi

## 1. Introduction

Modelling of ecological systems has received a great deal of attention from theoretical ecologists in the last few decades. Much focus has been on mathematical models of these systems, since they have substantially contributed to the understanding of the dynamics of systems by forging strong links between models and available data. Three of the most popular mathematical models are a logistic growth in population, a prey-predator model: Lotka-Volterra system and a simple 2-species Lotka-Volterra competition model [1-12].

First, dynamic of the logistic growth of population as a single species is described the following equation [1]:

$$\frac{dN}{dx} = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) \quad (1)$$

where  $r$  and  $K$  are positive constant. Here  $N = N(x)$  is the population of the species at time  $t$ . In addition,  $r(1 - N/K)$  is the per capita growth rate and  $K$  is carrying capacity of the environment. For simplifying the notations more,

$$y(t) = \frac{N(t)}{K} \text{ and } t = rx$$

and its become

$$\frac{dy}{dt} = y(1 - y) \quad (2)$$

If  $N(0) = N_0$ , then  $y(0) = N_0 / K$ . Hence, the analytic solution of Eq.(2) is

$$y(t) = \frac{1}{1 + (K / N_0 - 1)e^{-t}} \quad (3)$$

Second model is the predator-prey model: Lotka-Voleterra system as an interacting species [3-10]

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= N(a - bP) \\ \frac{dP}{dt} &= P(cN - d) \end{aligned} \tag{4}$$

where  $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  are constants and  $N(t)$ ,  $P(t)$  are the populations of rabbits and the foxes at the time  $t$  with initially rabbits and foxes populations are  $N(0) = \alpha$ ,  $P(0) = \beta$  respectively. In this model some rabbits and foxes live together. Foxes eat the rabbits and rabbits eat clover. Suppose that there are enough clovers and the rabbits have enough food to eat. There is an increase and decrease in the number of foxes and rabbits.

Third, we consider the simple 2-species Lotka-Volterra competition model. In this model each species  $N_1$  and  $N_2$  have logistic growth in the absence of the other [1, 11, 12]. The dynamic of model as

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dx} &= r_1 N_1 \left( 1 - \frac{N_1}{K_1} - b_{12} \frac{N_2}{K_1} \right) \\ \frac{dN_2}{dx} &= r_2 N_2 \left( 1 - \frac{N_2}{K_2} - b_{21} \frac{N_1}{K_2} \right) \end{aligned} \tag{5}$$

where  $r_1$  and  $r_2$  are the linear birth rates and the  $K_1$  and  $K_2$  are carrying capacities.  $b_{12}$  and  $b_{21}$  measure the competitive effect of  $N_2$  on  $N_1$  and  $N_1$  on  $N_2$  respectively(they are generally not equal). If we non-dimensionalize this model by witting

$$u(t) = \frac{N_1(x)}{K_1}, \quad v(t) = \frac{N_2(x)}{K_2}, \quad x = r_1 t, \quad \rho = \frac{r_2}{r_1}, \quad a = b_{12} \frac{K_2}{K_1}, \quad b = b_{21} \frac{K_1}{K_2}$$

the system given by Eq.(6)becomes [11-12]

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= u(1 - u - av) \\ \frac{dv}{dt} &= \rho v(1 - v - bu) \end{aligned} \tag{6}$$

In recently years, Chebyshev expansion method using for solving linear Fredholm, Volterra integro-differential difference equation [13-15], nonlinear differential equation such as Abel equation [16-17], systems of integral equations [18-19] and some numerical models [20-22]. We construct to the shifted Chebyshev series solutions that is,

$$y_N(t) = \sum_{n=0}^N a_n T_n^*(t) \tag{7}$$

where  $T_n^*(t)$  denotes the shifted Chebyshev polynomials of the first kind,  $a_n$  ( $0 \leq n \leq N$ ) are unknown Chebyshev coefficients, and  $N$  is chosen any positive integer such that  $N \geq m$ .

## 2. Chebyshev polynomials

The Chebyshev polynomials  $T_n(t)$  of the first kind is a polynomials in  $x$  of degree  $n$ , defined by relation [23-25]

$$T_n(t) = \cos n\theta, \text{ when } t = \cos \theta$$

If the range of the variable  $x$  is the interval  $[-1,1]$ , the range the corresponding variables  $\theta$  can be taken  $[0,\pi]$ . We map the independent variable  $t$  in  $[0,1]$  to the variable  $s$  in  $[-1,1]$  by transformation

$$s = 2t - 1 \text{ or } t = \frac{1}{2}(s + 1)$$

and this lead to the shifted Chebyshev polynomial of the first kind  $T_n^*(t)$  of degree  $n$  in  $x$  on  $[0,1]$  given by [23]

$$T_n^*(t) = T_n(s) = T_n(2t - 1).$$

These polynomials have the following properties [23-25]:

i)  $T_{n+1}^*(t)$  has exactly  $n + 1$  real zeroes on the interval  $[0,1]$ . The  $i$ -th zero  $t_i$  is

$$t_i = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos \left( \frac{(2(n-i)+1)\pi}{2(n+1)} \right) \right), i = 0, 1, \dots, n \quad (8)$$

ii) It is well known that the relation between the powers of  $t^n$  and the shifted Chebyshev polynomials  $T_n^*(t)$  is

$$t^n = 2^{-2n+1} \sum_{k=0}^n \binom{2n}{k} T_{n-k}^*(t), 0 \leq x \leq 1 \quad (9)$$

where  $\sum'$  denotes a sum whose first term is halved.

## 3. Fundamental relation

Let us consider Eq. (1) and find the matrix forms of the equation. First we can convert the solution  $y(t)$  defined by a truncated shifted Chebyshev series (3) and its derivative  $y^{(k)}(t)$  to matrix forms

$$y_N(t) = \mathbf{T}^*(t)\mathbf{A}, y_N^{(k)}(t) = \mathbf{T}^{*(k)}(t)\mathbf{A}, k = 0, 1, 2 \quad (10)$$

where

$$\mathbf{T}^*(t) = [T_0^*(t) T_1^*(t) \dots T_N^*(t)]$$

$$\mathbf{A} = [a_0 \ a_1 \dots \ a_N]^T$$

By using the expression (6) and taking  $n=0,1,\dots,N$  we find the corresponding matrix relation as follows

$$(\mathbf{X}(t))^T = \mathbf{D}(\mathbf{T}^*(t))^T \quad \text{and} \quad \mathbf{X}(t) = \mathbf{T}^*(t)\mathbf{D}^T \tag{11}$$

where

$$\mathbf{X}(t) = [1 \ t \ \dots \ t^N]$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 2^0 \binom{0}{0} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2^{-2} \binom{2}{1} & 2^{-1} \binom{2}{0} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2^{-4} \binom{4}{2} & 2^{-3} \binom{4}{1} & 2^{-3} \binom{4}{0} & 0 & \dots & 0 \\ 2^{-6} \binom{6}{3} & 2^{-5} \binom{6}{2} & 2^{-5} \binom{6}{1} & 2^{-5} \binom{6}{0} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 2^{-2N} \binom{2N}{N} & 2^{-2N+1} \binom{2N}{N-1} & 2^{-2N+1} \binom{2N}{N-2} & 2^{-2N+1} \binom{2N}{N-3} & \dots & 2^{-2N+1} \binom{2N}{0} \end{bmatrix}$$

Then, by taking into account (7) we obtain

$$\mathbf{T}^*(t) = \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^{-1})^T \tag{12}$$

and

$$(\mathbf{T}^*(t))^{(k)} = \mathbf{X}^{(k)}(t)(\mathbf{D}^{-1})^T, \quad k = 0,1,2$$

To obtain the matrix  $\mathbf{X}^{(k)}(t)$  in terms of the matrix  $\mathbf{X}(t)$ , we can use the following relation:

$$\mathbf{X}^{(1)}(t) = \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T$$

$$\mathbf{X}^{(2)}(t) = \mathbf{X}^{(1)}(t)\mathbf{B}^T = \mathbf{X}(t)(\mathbf{B}^T)^2 \tag{13}$$

where

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & N & 0 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Consequently, by substituting the matrix forms (11) and (12) into (10) we have the matrix relation



$$y_N^{(k)} = \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^k(\mathbf{D}^T)^{-1}\mathbf{A}, \quad k = 0,1,2 \quad (15)$$

Moreover, since

$$\mathbf{Y}^m = \mathbf{Y}^{m-1}\mathbf{Y} \quad (16)$$

where

$$\mathbf{Y}^{m-1}(x) = \begin{bmatrix} y^{m-1}(x) \\ y^{m-1}(x) \\ \vdots \\ y^{m-1}(x) \end{bmatrix}, \quad \overline{\mathbf{Y}}(x) = \begin{bmatrix} y(x) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & y(x) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & y(x) \end{bmatrix}$$

and

$$\overline{\mathbf{Y}} = \overline{\mathbf{T}}\overline{\mathbf{A}} \quad (17)$$

where

$$\overline{\mathbf{T}}(x) = \begin{bmatrix} \mathbf{T}(x) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{T}(x) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{T}(x) \end{bmatrix}, \quad \overline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{A} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{A} \end{bmatrix}$$

then we construct the following relation

$$y_N^2(t_i) = y_N(t_i)y_N(t_i) = (\overline{\mathbf{T}}\overline{\mathbf{A}})\mathbf{X}(t_i)(\mathbf{D}^T)^{-1}\mathbf{A} \quad (18)$$

We can easily check the accuracy of the method. Since the truncated shifted Chebyshev series (3) is an approximate solution of the logistic models, when the solution  $y_N(x)$  and its derivatives are substituted in models, the resulting equation must be satisfied approximately; that is, for  $x = x_q \in [a, b]$ ,  $q = 0,1,2,\dots$

$$E(x_q) = \left| \frac{dy_N}{dx} - ry_N \left( 1 - \frac{y_N}{K} \right) \right| \cong 0$$

#### 4. Numerical solution of the models

In this section, to show the efficiency of proposed method examples are given. Here after comparison between proposed method and other methods are presented.

##### *Example 1*

In this example we solve the

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)$$

Logistic growth model by using Chebyshev expansion method with the initial condition  $y(0) = 2$  [7]. We seek approximate solutions in the form

$$y_N(t) = \sum_{n=0}^N a_n T_n^*(t)$$

Then, we get the matrix relation for Eq.(2)

$$\left( \mathbf{X}\mathbf{B}(\mathbf{D}^T)^{-1} - \mathbf{X}(\mathbf{D}^T)^{-1} + (\bar{\mathbf{T}}\bar{\mathbf{A}})\mathbf{X}(\mathbf{D}^T)^{-1} \right) \mathbf{A} = \mathbf{F} \tag{19}$$

and the initial condition of matrix representation

$$y_N(0) = \mathbf{X}(0)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A} = [u_{10} \quad u_{11} \quad \cdots \quad u_{1N}] \mathbf{A} = 2 \tag{20}$$

where

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^N \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^N \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_N & x_N^2 & \cdots & x_N^N \end{bmatrix} \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \bar{\mathbf{T}} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}(x_0) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{T}(x_1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{T}(x_2) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \mathbf{T}(x_N) \end{bmatrix}$$

Hence, the fundamental matrix equation (19) corresponding to Eq. (2) can be written in the form

$$\mathbf{W}\mathbf{A} = \mathbf{0} \text{ or } [\mathbf{W}; \mathbf{F}], \quad \mathbf{W} = [w_{i,j}], \quad i, j = 0, 1, \dots, N \tag{21}$$

where

$$\mathbf{W} = \mathbf{X}\mathbf{B}(\mathbf{D}^T)^{-1} - \mathbf{X}(\mathbf{D}^T)^{-1} + (\bar{\mathbf{T}}\bar{\mathbf{A}})\mathbf{X}(\mathbf{D}^T)^{-1}$$

To obtain the solution of Eq. (2) under the initial conditions, by replacing the row matrices (20) by the last 1 rows of the matrix (21), we have the new augmented matrix,

$$[\tilde{\mathbf{W}}; \tilde{\mathbf{F}}] = \begin{bmatrix} w_{00} & w_{01} & \cdots & w_{0N} & ; & 0 \\ w_{10} & w_{11} & \cdots & w_{1N} & ; & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{N-20} & w_{N-21} & \cdots & w_{N-2N} & \vdots & 0 \\ w_{N-10} & w_{N-11} & \cdots & w_{N-1N} & ; & 0 \\ u_{10} & u_{11} & \cdots & u_{1N} & ; & 2 \end{bmatrix}$$

So, we obtained to a system of  $(N+1)$  nonlinear algebraic equations with unknown shifted Chebyshev coefficients. Thus, we obtain the Chebyshev polynomial solution. For  $N = 5$ ,  $N = 6$  and  $N = 7$ , we give the numerical results in Table 1 and plotted the numerical results in Fig.1-2. We compare the numerical results Homotopy perturbation

method [9], Adomian decomposition method [6] and Present method in Table 2. Here, all computations are performed in the Maple 13 and all graphics are drawn by Matlab.

Table 1: Numerical result for Example 1

x	Exact Solution	Present Method					
		N=5	N <sub>e</sub> =5	N=6	N <sub>e</sub> =6	N=7	N <sub>e</sub> =7
0.0	2.000000	2.000000	0.000E-0	2.000000	0.100E-8	2.000000	0.000E-0
0.2	1.693094	1.692985	0.108E-3	1.693110	0.161E-4	1.693102	0.88E-5
0.4	1.504121	1.504343	0.222E-3	1.504094	0.271E-4	1.504107	0.141E-4
0.6	1.378180	1.377784	0.396E-3	1.378183	0.309E-5	1.378197	0.170E-4
0.8	1.289764	1.290240	0.476E-3	1.289759	0.501E-5	1.289742	0.212E-4
1.0	1.225399	1.221358	0.404E-2	1.226409	0.100E-2	1.225150	0.249E-3

Table 2: Comparison of numerical result for Example 1

x	Present method	Homtopy per. method[9]	Adomian decomp. method[6]
0.0	2.000000000	2.0000000000	2.0000000000
0.2	1.6931102983	1.6932805333	1.6924480000
0.4	1.5040941842	1.5236181333	1.4703360000
0.6	1.3781839318	1.6597808000	1.0528640000
0.8	1.2897591977	3.1168085333	-0.293248000
1.0	1.2264095932	8.9083333333	-4.100000000

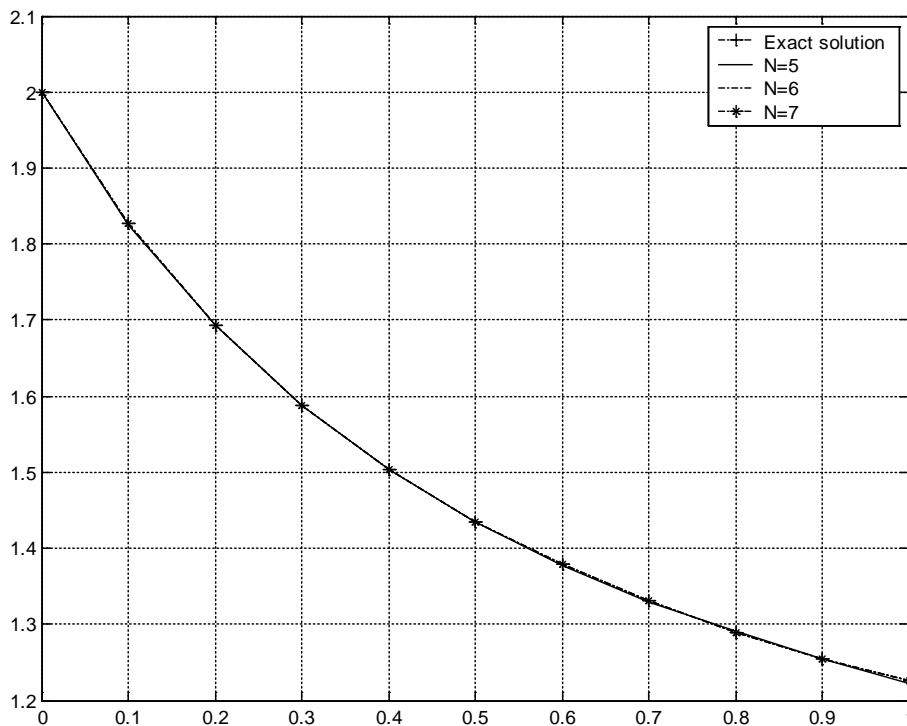


Fig. 1: Comparison numerical results and exact solution

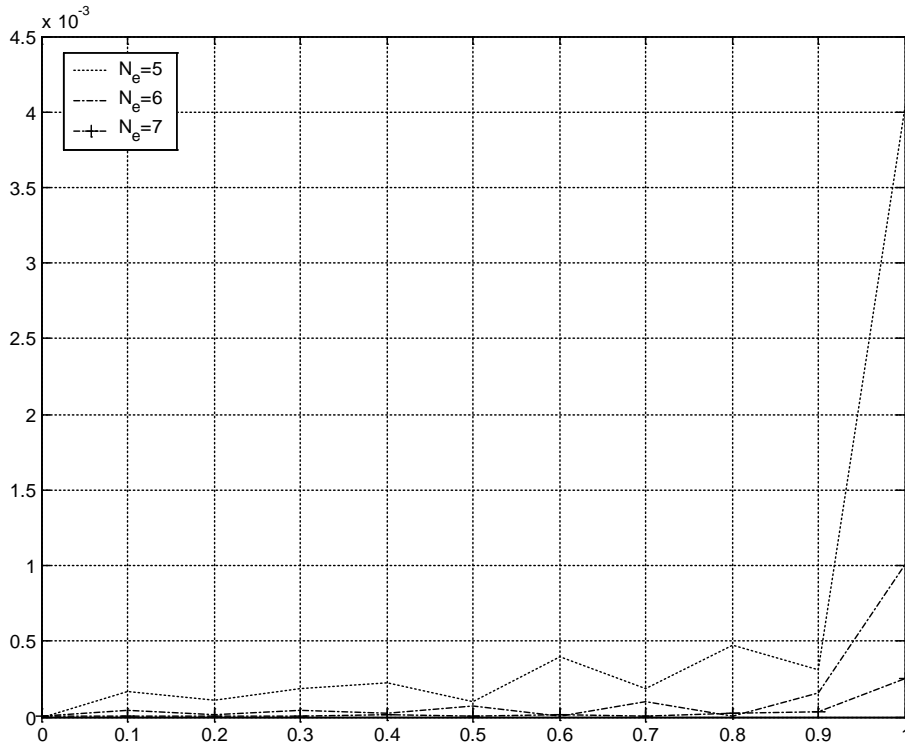


Fig. 2: Error function of logistic growth equation for various  $N$

**Example 2**

In this example we investigate numerical solution of the predator-prey model which is defined before as

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= N(a - bP) \\ \frac{dP}{dt} &= P(cN - d) \end{aligned}$$

We assume that the solutions can be written as truncated Chebyshev sums

$$x(t) = \sum_{r=0}^N a_r^1 T_r^*(t), \quad y(t) = \sum_{r=0}^N a_r^2 T_r^*(t) \tag{22}$$

then, matrix relation of solutions

$$x(t) = \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1, \quad y(t) = \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2 \tag{23}$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{T}(t) &= [T_0^*(t) \ T_1^*(t) \ \dots \ T_N^*(t)] \\ \mathbf{A}_1 &= [a_0^1 \ a_1^1 \ \dots \ a_N^1]^T \quad \mathbf{A}_2 = [a_0^2 \ a_1^2 \ \dots \ a_N^2]^T. \end{aligned}$$

Consequently, we get the approximate solution and its first-derivative of the matrix relations

$$\begin{aligned} x(t) &= \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 & \text{and} & & x'(t) &= \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 \\ y(t) &= \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 & & & y'(t) &= \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 \end{aligned} \quad (24)$$

The matrix relations (24) are written in Eqs.(4) , we get

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 + -a\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 + b(\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 &= 0 \\ \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 + c\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 - d(\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 &= 0 \end{aligned} \quad (25)$$

The matrix form of (25)

$$\left( \overline{\mathbf{Y}(t)}\overline{\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1}} + \mathbf{P}_0 \overline{\mathbf{Y}(t)}\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}} + \mathbf{P}_1 \overline{\mathbf{T}(t)}\overline{\mathbf{Y}(t)}\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}} \right) \mathbf{A} = \mathbf{F}$$

where

$$\begin{aligned} \overline{\mathbf{Y}(t)} &= \begin{bmatrix} \mathbf{Y}(t) & 0 \\ 0 & \mathbf{Y}(t) \end{bmatrix} & \overline{\mathbf{B}^T} &= \begin{bmatrix} \mathbf{B}^T & 0 \\ 0 & \mathbf{B}^T \end{bmatrix} & \overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}} &= \begin{bmatrix} (\mathbf{D}^T)^{-1} & 0 \\ 0 & (\mathbf{D}^T)^{-1} \end{bmatrix} \\ \overline{\mathbf{T}(t)} &= \begin{bmatrix} \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2 & 0 \\ 0 & \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1 \end{bmatrix} & \mathbf{P}_0 &= \begin{bmatrix} -a & 0 \\ 0 & c \end{bmatrix} & \mathbf{P}_1 &= \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & -d \end{bmatrix} & \mathbf{F} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Using the shifted Chebyshev zeroes (8), we put of them in above matrix relation. We obtained

$$\left( \overline{\mathbf{Y}(t_i)}\overline{\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1}} + \mathbf{P}_0 \overline{\mathbf{Y}(t_i)}\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}} + \mathbf{P}_1 \overline{\mathbf{T}(t_i)}\overline{\mathbf{Y}(t_i)}\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}} \right) \mathbf{A} = \mathbf{F}$$

and

$$\left( \overline{\overline{\mathbf{Y}}} \overline{\overline{\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1}}} + \overline{\mathbf{P}_0} \overline{\overline{\mathbf{Y}}} \overline{\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}}} + \overline{\mathbf{P}_1} \overline{\overline{\mathbf{T}}} \overline{\overline{\mathbf{Y}}} \overline{\overline{(\mathbf{D}^T)^{-1}}} \right) \mathbf{A} = \overline{\mathbf{F}}$$

where

$$\begin{aligned} \overline{\mathbf{Y}(t)} &= \begin{bmatrix} \mathbf{Y}(t) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \mathbf{Y}(t) \end{bmatrix} & \overline{\overline{\mathbf{Y}(t)}} &= \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{Y}(t_0)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \overline{\mathbf{Y}(t_N)} \end{bmatrix} & \overline{\overline{\mathbf{T}(t)}} &= \begin{bmatrix} \overline{\mathbf{T}(t_0)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \overline{\mathbf{T}(t_N)} \end{bmatrix} \\ \overline{\mathbf{P}_0} &= \begin{bmatrix} \mathbf{P}_0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \mathbf{P}_0 \end{bmatrix} & \overline{\mathbf{P}_1} &= \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \mathbf{P}_1 \end{bmatrix} & \overline{\mathbf{F}} &= \begin{bmatrix} \mathbf{F} \\ \vdots \\ \mathbf{F} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

On the other hand, the matrix form for conditions can be written as

$$x(0) = \mathbf{X}(0)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 \equiv [u_{00} \quad u_{01} \quad \cdots \quad u_{0N}] = [\alpha] \quad (26a)$$

$$y(0) = \mathbf{X}(0)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 \equiv [u_{10} \quad u_{11} \quad \cdots \quad u_{1N}] = [\beta] \quad (26b)$$

Hence, the fundamental matrix equation corresponding to Eq. (4) can be written in the form

$$\mathbf{W}\mathbf{A} = \mathbf{F} \text{ or } [\mathbf{W};\mathbf{F}], \quad \mathbf{W} = [w_{i,j}], \quad i, j = 0,1,\dots,N \quad (27)$$

where

$$\mathbf{W} = \overline{\overline{\mathbf{Y}}} \overline{\overline{\mathbf{B}^T}} (\overline{\overline{\mathbf{D}^T}})^{-1} + \overline{\overline{\mathbf{P}_0}} \overline{\overline{\mathbf{Y}}} (\overline{\overline{\mathbf{D}^T}})^{-1} + \overline{\overline{\mathbf{P}_1}} \overline{\overline{\mathbf{T}}} \overline{\overline{\mathbf{Y}}} (\overline{\overline{\mathbf{D}^T}})^{-1}$$

To obtain the solution of Eq. (4) under conditions, by replacing the row matrices (26a-b) by the last 2 rows of the matrix (27), we have the new augmented matrix,

$$\tilde{\mathbf{W}} = \begin{bmatrix} w_{00} & w_{01} & \cdots & w_{0(2N+2)} \\ w_{10} & w_{11} & \cdots & w_{1(2N+2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{(2N)0} & w_{(2N)1} & \cdots & w_{(2N)(2N+2)} \\ u_{00} & u_{01} & \cdots & u_{0(2N+2)} \\ u_{10} & u_{11} & \cdots & u_{1(2N+2)} \end{bmatrix}$$

and then

$$\tilde{\mathbf{W}}\mathbf{A} = \mathbf{F} \quad (28)$$

where

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \vdots \\ \mathbf{G} \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

So we obtained to a system of  $2(N+1) \times 2(N+1)$  nonlinear algebraic equations with unknown shifted Chebyshev coefficients. We solved the Eq.(28) by using mathematical program Maple 13 and graphics are drawn with Matlab.

For numerical study the following values  $\alpha = 14$ ,  $\beta = 18$ ,  $a = 0.1$ ,  $b = 1$ ,  $c = 1$  and  $d = 1$  are used [4]. We seek the approximate solutions by truncated shifted Chebyshev series

$$x(t) = \sum_{r=0}^N a_r^1 T_r^*(t), \quad y(t) = \sum_{r=0}^N a_r^2 T_r^*(t)$$

where we assume  $N = 3$ . Then, the zeroes of the  $T_4^*(t)$  are

$$t_0 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{8}\right), \quad t_1 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{3\pi}{8}\right), \quad t_2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{3\pi}{8}\right), \quad t_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

Hence

$$\mathbf{Y}(t_0) = [1 \quad 0.038060 \quad 0.001448 \quad 0.000055]$$

$$\mathbf{Y}(t_1) = [1 \quad 0.308658 \quad 0.095269 \quad 0.029405]$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}(t_2) &= [1 \quad 0.691341 \quad 0.477953 \quad 0.330429] \\ \mathbf{Y}(t_3) &= [1 \quad 0.961939 \quad 0.925328 \quad 0.890109] \end{aligned}$$

$$\mathbf{B}^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\mathbf{D}^T)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 2 & -8 & 18 \\ 0 & 0 & 8 & -48 \\ 0 & 0 & 0 & 32 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{T}(t_0)\mathbf{A}_1 &= a_0^1 - 0.923879a_1^1 + 0.707106a_2^1 - 0.382683a_3^1 \\ \mathbf{T}(t_1)\mathbf{A}_1 &= a_0^1 - 382683a_1^1 - 0.707106a_2^1 + 0.923879a_3^1 \\ \mathbf{T}(t_2)\mathbf{A}_1 &= a_0^1 + 382683a_1^1 - 0.707106a_2^1 - 0.923879a_3^1 \\ \mathbf{T}(t_3)\mathbf{A}_1 &= a_0^1 + 923879a_1^1 + 0.707106a_2^1 + 0.382683a_3^1 \\ \mathbf{T}(t_0)\mathbf{A}_2 &= a_0^2 - 0.923879a_1^2 + 0.707106a_2^2 - 0.382683a_3^2 \\ \mathbf{T}(t_1)\mathbf{A}_2 &= a_0^2 - 382683a_1^2 - 0.707106a_2^2 + 0.923879a_3^2 \\ \mathbf{T}(t_2)\mathbf{A}_2 &= a_0^2 + 382683a_1^2 - 0.707106a_2^2 - 0.923879a_3^2 \\ \mathbf{T}(t_3)\mathbf{A}_3 &= a_0^2 + 923879a_1^2 + 0.707106a_2^2 + 0.382683a_3^2 \end{aligned}$$

with conditions

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & ; & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & ; & 18 \end{bmatrix}$$

These matrix are substituting in Eq.(28), we obtained to a system of  $2(n+1) \times 2(n+1)$  nonlinear algebraic equations. This nonlinear sytem is solved, we gained the shifted Chebyshev coefficients,

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 2.618855 \\ -5.102665 \\ 4.571254 \\ -1.707224 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} 18.334923 \\ -4.934231 \\ -3.544386 \\ 1.724768 \end{bmatrix}$$

We put the these coefficients in Eq.(28), we obtain the approximate solutions for  $N = 3$

$$\begin{aligned} x(t) &= 14 - 77.505413t + 118.516822t^2 - 54.631188t^3 \\ y(t) &= 18 + 49.532465t - 111.143992t^2 + 55.192600t^3 \end{aligned}$$

For  $N = 4$ , approximate solution is obtained

$$\begin{aligned} x(t) &= 14 - 250.6tt + 1424.618550t^2 - 2840.335841t^3 + 1812.627521t^4 \\ y(t) &= 18 - 234t - 1490.402822t^2 + 2959.652578t^3 - 1858.600392t^4 \end{aligned}$$

For  $N = 5$ , approximate solution is obtained

$$x(t) = 14 + 365.989241t - 1798.989241t^2 + 3413.533114t^3 - 2629.755264t^4 + 647.350767t^5$$

$$y(t) = 18 - 365.98924t + 1859.983387t^2 - 3636.520042t^3 + 2925.596518t^4 - 778.890081t^5$$

These results are plotted in Figs. 3–5.

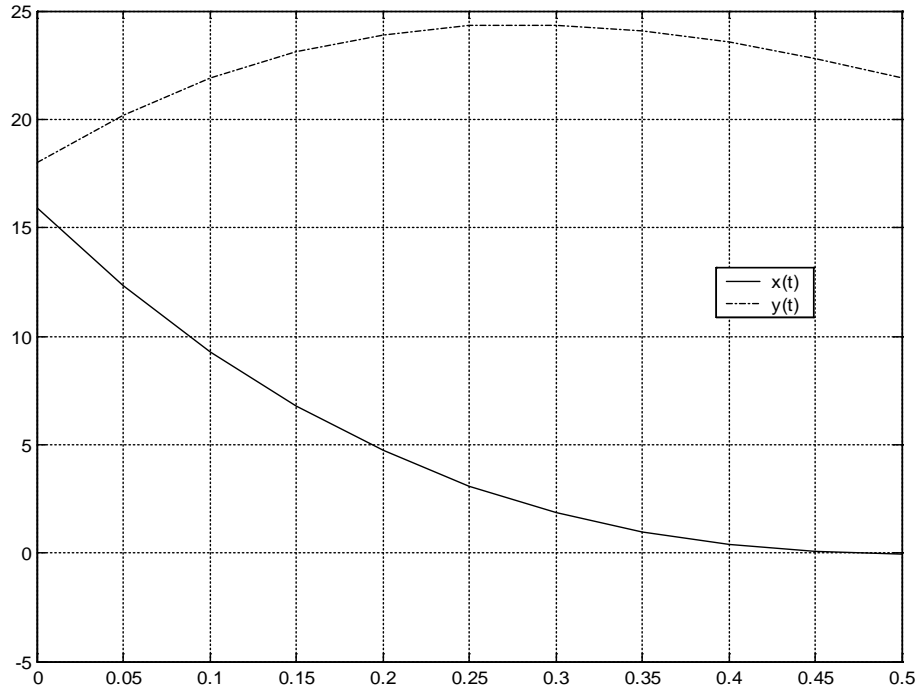


Fig.3. Numbers of the rabbits and foxes versus time for  $N = 3$

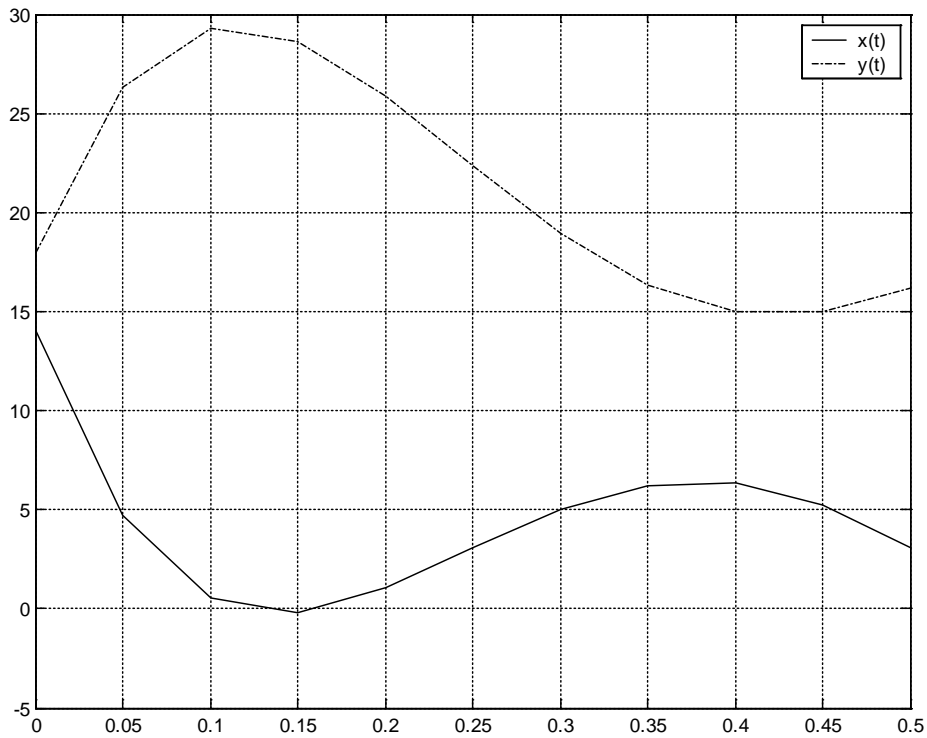


Fig.4. Numbers of the rabbits and foxes versus time for  $N = 4$



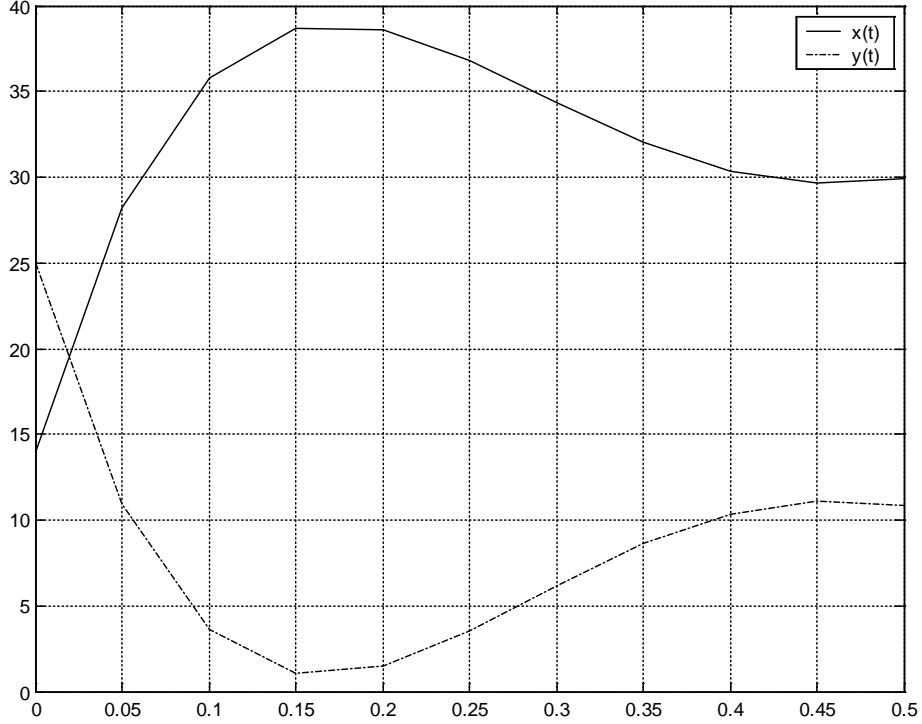


Fig.5. Numbers of the rabbits and foxes versus time for  $N = 5$

**Example 3**

In this example we consider numerical solution of the 2-species Lotka-Volterra competition model

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= u(1 - u - av) \\ \frac{dv}{dt} &= \rho v(1 - v - bu) \end{aligned}$$

Let assume that the solutions of equation can be written as truncated Chebyshev sums

$$u(t) = \sum_{r=0}^N a_r^1 T_r^*(t), \quad v(t) = \sum_{r=0}^N a_r^2 T_r^*(t) \tag{29}$$

then, matrix relation of solutions

$$u(t) = \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1, \quad v(t) = \mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2 \tag{30}$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{T}(t) &= [T_0^*(t) \ T_1^*(t) \ \dots \ T_N^*(t)] \\ \mathbf{A}_1 &= [a_0^1 \ a_1^1 \ \dots \ a_N^1]^T \quad \mathbf{A}_2 = [a_0^2 \ a_1^2 \ \dots \ a_N^2]^T. \end{aligned}$$

Consequently, we get the approximate solution and its first-derivative of the matrix relations

$$\begin{aligned} u(t) &= \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 & \text{and} & & u'(t) &= \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_1 \\ v(t) &= \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 & & & v'(t) &= \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} \mathbf{A}_2 \end{aligned} \quad (31)$$

The matrix relation of Eq.(6) is written as

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} + a(\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} + (\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} - \mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \\ \mathbf{X}(t)\mathbf{B}^T (\mathbf{D}^T)^{-1} + b\rho(\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_2)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} + \rho(\mathbf{T}(t)\mathbf{A}_1)\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} - \rho\mathbf{X}(t)(\mathbf{D}^T)^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

We take  $a = 1$ ,  $b = 0.8$  and  $\rho = 1$  and the initial conditions  $u(0) = 1$  and  $v(0) = 1$  [6]. Similarly, we apply the procedure in Section 3.2. We obtained to a system of  $2(N + 1) \times 2(N + 1)$  nonlinear algebraic equations with unknown shifted Chebyshev coefficients. For  $N = 5$ , we get the approximate solutions

$$\begin{aligned} u(t) &= 0.999999 - 0.999999t + 1.467206t^2 - 1.728703t^3 + 1.302433t^4 - 0.423262t^5 \\ v(t) &= 1 - x + 1.371353t^2 - 1.580208t^3 + 1.175924t^4 - 0.379854t^5 \end{aligned}$$

We plotted these results in Fig. 6.

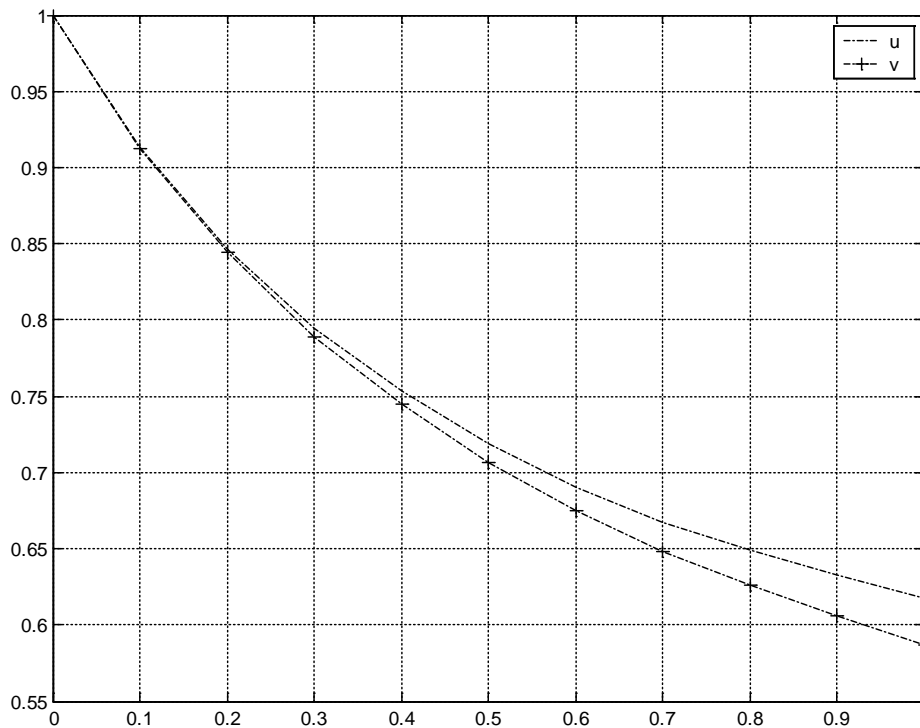


Fig 6: Numerical result of Present method for  $N = 5$

## 6. Conclusion

In this article, we gain the approximate solutions of the continuous population models for single and interacting species by Chebyshev expansion method. In the logistic growth model is successively solved by this method. In Table 1, we see that when N is increasing, approximate solution is closed the exact solution and so absolute errors is

decreasing. In the Lotka-Volterra model, as the plots Fig. 3-5 said the number of foxes increase, as the number of rabbits, the source of food for foxes, decrease. Foxes will reach their maximum as the rabbits reach their minimum. Finally, Fig. 6 is said that species are to be a positive function of others. Also the CPU time for A model is less than B model and CPU time for B model is less than C model.

## References

- [1] Murray, J.D., **Mathematical Biology**, Springer, Berlin, (1993).
- [2] Simmons, G.F., **Differential Equations with Applications and Historical Notes**, McGraw-Hill, (1972).
- [3] Biazar, J. ve Montazeri, R., A computational method for solution of the prey and predator problem, **Applied Mathematics and Computation**, 163,2,841–847, (2005).
- [4] Biazar, J., Ilie, M. ve Khoshkenar, A., A new approach to the solution of the prey and predator problem and comparison of the results with the Adomian method, **Applied Mathematics and Computation**, 171,1,486–491, (2005).
- [5] Rafei, M., Daniali, H., Ganji, D.D. ve Pashaedi, H., Solution of the prey and predator problem by homotopy perturbation method, **Applied Mathematics and Computation**, 188, 1419–1425, (2007).
- [6] Pamuk, S., The decomposition method for continuous population models for single and interacting species, **Applied Mathematics and Computation**, 163, 79–88, (2005).
- [7] Pamuk, S. ve Pamuk, N., He's homotopy perturbation method for continuous population models for single and interacting species, **Computational Mathematics and Applications**, 59, 612–621, (2010).
- [8] Pamuk, S., A review of some recent results for the approximate analytical solutions of non-linear differential equations, **Mathematical Problems in Engineering**, 34, (2009).
- [9] Pamuk, S. ve Pamuk, N., He's homotopy perturbation method for continuous population models for single and interacting species, **Computational Mathematics and Applications**, 59, 612–621, (2010).
- [10] Hu, X., Liu, G. ve Yan, J., Existence of multiple positive periodic solutions of delayed predator-prey models with functional responses, **Computational Mathematics and Applications**, 52, 1453–1462, (2006).
- [11] Edelstein-Keshet, L., **Mathematical Models in Biology**, Random House, New York, (1988).
- [12] Takeuchi, Y., Du, N.H., Hieu, N.T. ve Sato, K., Evolution of predator-prey systems described by a Lotka-Volterra equation under random environment, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 323, 938–957, (2006).
- [13] Akyüz, A. ve Sezer, M., Chebyshev polynomial solutions of systems of high-order linear differential equations with variable coefficients, **Applied Mathematics and Computation**, 144,237-247, (2003).
- [14] Gülsu, M., Öztürk, Y. ve Sezer, M., A new collocation method for solution of mixed linear integro-differential-difference equations, **Applied Mathematics and Computation**, 216, 2183-2198, (2010).
- [15] Sezer, M. ve Dogan, S., Chebyshev series solutions of Fredholm integral equations, **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, 27, 5, 649-657, (1996).

- [16] Gülsu, M., Öztürk, Y. ve Sezer, M., On the solution of the Abel equation of the second kind by the shifted Chebyshev polynomials, **Applied Mathematics and Computation**, 217, 4827-4833, (2011).
- [17] Daşcıoğlu, A. ve Yaslan, H., The solution of high-order nonlinear ordinary differential equations by Chebyshev polynomials, **Applied Mathematics and Computation**, 217, 2, 5658-5666,(2011).
- [18] Daşcıoğlu, A., Chebyshev solutions of systems of linear integral equations, **Applied Mathematics and Computation**, 151, 221-232, (2004).
- [19] Dascioglu, A., ve Sezer, M., Chebyshev polynomial solutions of systems of higher-order linear Fredholm–Volterra integro-differential equations, **Journal of The Franklin Institute**, 342, 688-701, (2005).
- [20] Öztürk, Y., Gülsu, A., ve Gülsu, M., On solution of a modified epidemiological model for drug release systems, **Scholars Journal of Physics, Mathematics and Statistics**, 3,1, 1-5, (2016).
- [21] Öztürk, Y., Gülsu, A., ve Gülsu, M., A numerical approach for solving modified epidemiological model for drug release systems, **Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 2 ,2, 56-64, (2013).
- [22] Öztürk, Y., Gülsu, A.,ve Gülsu, M., A numerical method for solving the mathematical model of controlled drug release, **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 2, 2, 169-175, (2013).
- [23] Mason, J.C. ve Handscomb, D.C., **Chebyshev polynomials**, Chapman and Hall/CRC, New York,(2003).
- [24] Body, J.P., **Chebyshev and fourier spectral methods**, University of Michigan, New York, (2000).
- [25] Rivlin, T. J., **Introduction to the approximation of functions**, London, (1969).

# Transformatör sisteminde manyetik akı dağılımının incelenmesi yöntemiyle güç kayıplarının belirlenmesi

Aykut ILGAZ<sup>1,\*</sup>, Mehmet BAYIRLI<sup>1</sup>, Mehmet AYGÖREN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Çağış kampüsü, Balıkesir.

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çağış kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Recived Date): 05.05.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 18.05.2017

## Özet

Transformatör sistemlerinde kullanılan malzemelerin manyetik akı dağılımlarının deneysel incelenmesi, sistemin yapısal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için önemlidir. Bu amaçla, özel olarak geliştirilen deneysel sistemde transformatörün çekirdeğini oluşturan silisyum-demir (SiFe) levhalarındaki manyetik akı davranışı dairesel sensörler yardımıyla incelenmiştir. Manyetik akı dağılımı hesaplama yöntemi kullanılarak malzemenin manyetik indüksiyon-manyetik alan (B-H) karakteristiği çıkarılmıştır. B-H karakteristiğinden, malzemedeki en yüksek verimin alınabileceği optimum manyetik indüksiyon değeri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra boşta çalışma durumunda meydana gelen demir kayıpları Histerisiz ve Fuko kayıpları olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma çerçevesinde transformatörün yapımında kullanılan malzemenin demir kayıplarına etkisi araştırılmıştır. Hesaplanan demir kayıpları, imalat öncesi transformatörde düzeltme yapılmasına imkân sağlayarak maliyetin azalmasına yardımcı olmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre boşta çalışma durumunda kaybedilen enerjinin çok büyük kısmının Histerisiz ve Fuko kayıpları nedeniyle meydana gelirken bakır kayıpları ihmal edilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Transformatör, manyetik akı, demir kayıpları, sensör, Histerisiz kaybı, Fuko kaybı

\* Aykut ILGAZ, aykut17ilgaz@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9632-0281>

Mehmet BAYIRLI, mehmetbayirli@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0002-7775-0251>

Mehmet AYGÖREN, mehmetaygoren@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6443-0742>

## The determination of power losses in transformer system with magnetic flux distribution investigation method

### Abstract

*It is important to investigate experimentally magnetic flux distributions of used materials in the transformer systems for determining structural and physical properties of system. For this purpose, magnetic flux behavior in silicon-iron (SiFe) tin plates forming core of the transformer has been investigated via circular sensors. Magnetic induction-magnetic field characteristic (B-H) of the material was obtained using the magnetic flux distribution calculation method. The optimum magnetic induction value was determined from B-H characteristic in order to get the maximum efficiency. Besides that, iron losses which occur at no-load operation were calculated as Hysteresis and Faucolt losses. In this framework, the effect of the material used in the construction of the transformer on iron losses was investigated. The calculated iron losses help to reduce the cost enabling corrections in the transformer before manufacturing.*

**Keywords:** Transformer, magnetic flux, iron losses, sensor, Hysteresis losses, Faucolt losses.

### 1. Giriş

Endüstriyel alanlarda ve günlük yaşamda enerjiye olan bağımlılık günden güne artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için hidroelektrik, termik, jeotermal ve nükleer santraller gibi çeşitli tesisler kurulmaktadır [1]. Kurulan bu enerji santralleri ihtiyacı büyük oranda karşılasa da maliyet açısından masraflı ve verimliliği sınırlıdır. Bundan dolayı ilk aşamada yeni tesisler açmaktansa, var olan enerjinin nasıl verimli bir şekilde kullanılacağı bilimsel çalışmalara konu teşkil etmektedir.

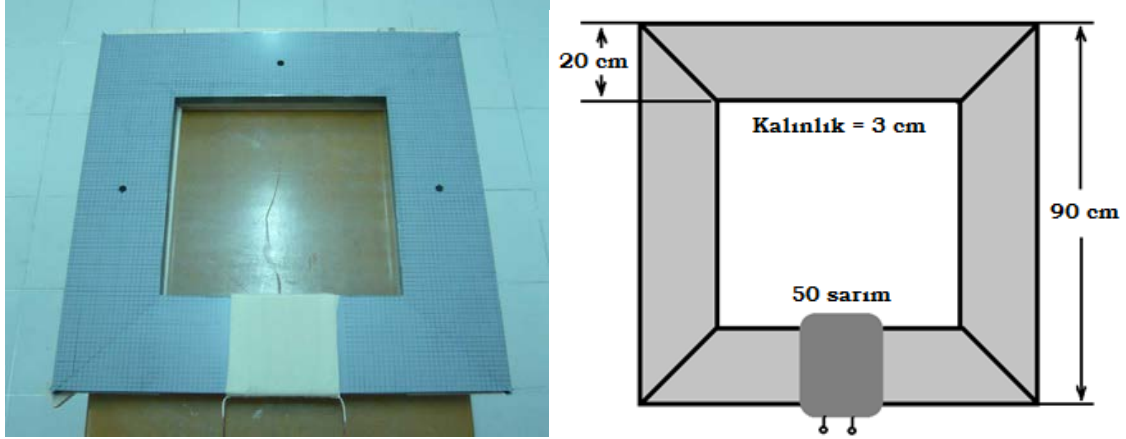
Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin şehirlere taşınmasında ve evlere verimli bir şekilde dağıtımında transformatör sistemleri kullanılmaktadır [2]. Hareketli parçaları olmayan ve stabil olarak çalışan transformatör sistemlerinde gelişen teknolojiye paralel olarak verimlilik sınırları günden güne yukarıya taşınmaktadır. Transformatörün yapısında bulunan ferromanyetik malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi, malzemenin boyutlarının küçültülmesi, yapı içinde bulunan yabancı maddelerin uzaklaştırılması, nüve geometrisinin değiştirilmesi verimliliğin artırılması için yapılan başlıca işlemlerdendir [3-8]. Bunun yanı sıra transformatör sistemlerindeki kayıpların belli bir kısmı kullanılan ferromanyetik malzemenin manyetik indüksiyon davranışından kaynaklanır. Bu nedenle malzemenin manyetik alana karşı davranışı belirlendiği zaman transformatör uygulamaları için uygun malzeme olup olmadığı anlaşılabilir. Böyle bir deneysel ön inceleme, üretim aşamasından önce düşük kayıplı transformatör tasarımı için yardımcı olabilir.

Bu çalışmada, model bir transformatör tasarlanarak farklı sensör grupları ile transformatörün üzerinde ve köşelerindeki manyetik akı dağılımları çıkarılmıştır. Bu akı haritasından yararlanılarak kaçak akı kayıpları elde edilmiş ve boşa çalışma durumunda demir nüvede meydana gelen güç kayıpları hesaplanmıştır.

## 2. Deneysel çalışmalar

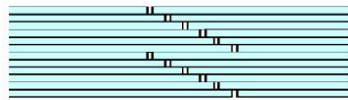
### 2.1. Malzeme

Manyetik güç kayıplarını ölçmek için kullanılan transformatör modelinin ölçeklendirilmiş hali Şekil 1’de görülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan transformatörün demir çekirdeği kare şeklinde olup bir kenarı 90 cm dir. Levha genişliği ise 20 cm olup içteki boş alan 50 cm × 50 cm boyutlarındadır. Kalınlığı 3 cm olan transformatörü manyetize etmek için 50 sarımlı bir primer bobin kullanılmıştır.



Şekil 1. Ölçümlerde kullanılan ölçeklendirilmiş transformatör modeli.

Transformatörü oluşturan levhalar, %3 Silisyum (Si) içeren Silisyum-demir (SiFe) yapıda ve [100] yönünde yönlendirilmiş malzemelerden üretilmiştir. Bu malzemenin sadece x- doğrultusunda bileşeni bulunan [100] yönünde yönlendirilmesinin amacı demirin kolay mıknatıslanma yönünün [100] doğrultusunda olmasından kaynaklanmaktadır. Malzemenin manyetik özelliklerinin ölçümlerinde Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission–IEC) standartlar prosedürü izlenmektedir. Kullanılan malzemenin IEC tanımı M130-3055 dir [9].



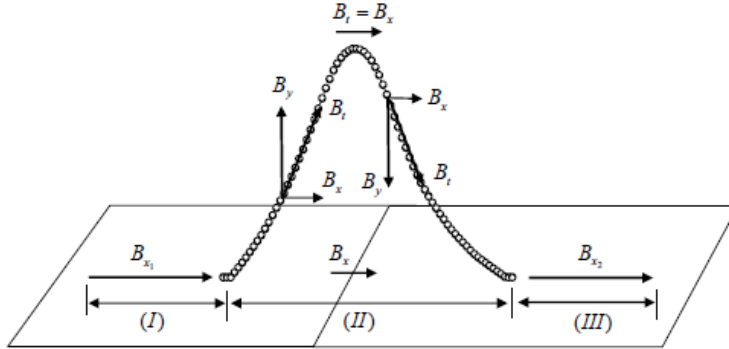
Step-Lap Dizim



Şekil 2. İmal edilen modelde step-lap tasarım uygulaması

Oluşturulan transformatörde dairesel dizilim deliklerinin oluşturulması ve aynı zamanda üretimin etkin biçimde sağlanabilmesi için kademeli yapı (step-lap) denilen tasarım tekniği ile farklı kesitlerdeki sac grupları Şekil 2’de görüldüğü gibi üst üste dizilmiştir.

Bu tasarım tekniği kullanılarak demir kayıplarının minimum düzeye indirilmesi hedeflenmiştir [10].

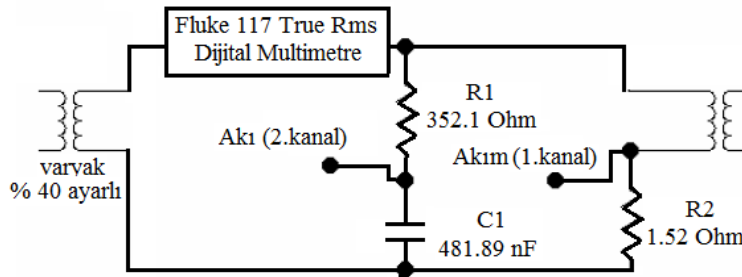


Şekil 3. Manyetik akının karşılaştığı süreksizliğe bağlı olarak gösterdiği davranış

Manyetize edilen transformatör levhaları üzerinde akan manyetik akı her zaman levha yüzeyinden akmayı tercih edecektir. Şekil 3’de görüldüğü üzere (I) ve (III) numaralı bölgelerde sürekli levha üzerinde akan manyetik akı, (II) numaralı bölge içinde bir süreksizlikle karşılaştığında var olan manyetik akının büyüklüğü  $\vec{B}_x$  ve  $\vec{B}_y$  olmak üzere iki bileşene ayrılır. Manyetik akının  $\vec{B}_x$  bileşeni levha yüzeyine paralel yönde ortaya çıkmış olup  $\vec{B}_y$  bileşeni ise levha yüzeyine dik yönde ortaya çıkmıştır. Manyetik akının bu şekildeki davranışı levha üzerinde bir süreksizlikle karşılaşıldığında hemen levha yüzeyine dik bir bileşen oluşturma eğilimi içinde olduğunu göstermektedir. Bu dik bileşen ise numunenin hemen üzerine yerleştirilmiş sensörler yardımıyla algılanmaktadır.

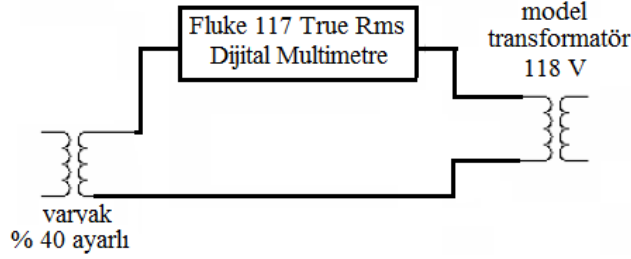
## 2.2. Deneysel Düzenek

Transformatörün B-H eğrisini çıkarmak için Şekil 4’te görülen deney düzeneği kurulmuştur. Seri R1 ve C1 devre elemanları transformatörün akısını gösterir. R2 direnci ile transformatörün çektiği akım algılanır. Algılanan akım manyetik alan şiddetini ifade eder. Böylece kullanılan osiloskobun 1.kanalı akımı 2.kanalı akı göstereceğinden elde edilen veriler yardımıyla B-H eğrisi elde edilir.



Şekil 4. B-H eğrisini çıkarmak için devre şeması





Şekil 5. Transformatorün demir kayıpları için hazırlanan devre şeması

Şekil 5’de boşa çalışma kayıplarını ölçmek için kurulan deney düzeneği görülmektedir. Kullanılan varyak ile transformatorün gerilimi kontrol edilmiş ve maksimum 120 V değerindeki gerilime ulaşılmıştır. Dijital multimetre sayesinde veriler alınmış ve bilgisayara aktarılarak manyetik alan değerlerine karşılık gelen histerisiz ve Fuko kayıpları hesaplanmıştır.

### 2.3. Teorik Bilgi

Faraday İndüksiyon Yasası gereğince kapalı bir devrede meydana gelen akı değişimi, devrede indüksiyon elektromotor kuvveti indüklenmesine neden olur. Meydana gelen indüksiyon elektromotor kuvveti

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. N sarım sayısını,  $\phi$  manyetik akıyı ve t zamanı temsil etmektedir. Eksi işareti, indüklenen voltajın kendini meydana getiren akı değişimine zıt yönde olduğunu göstermektedir. Primer sargıya bir gerilim uygulandığında ideal olarak manyetik akı şöyle ifade edilir:

$$\phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \quad (2)$$

Burada  $\Phi_{\max} = \bar{\mathbf{B}} \cdot \bar{\mathbf{A}}$  şeklinde olup B manyetik indüksiyon, A incelenen kesit alanı ve  $\omega$  açısal hızdır. Denklem (2), denklem (1)’de yerine yazılıp düzenleme yapılırsa transformator sargılarında indüklenen elektromotor kuvveti

$$\varepsilon = 4.44 \cdot f \cdot B \cdot N \cdot A \quad (\text{volt}) \quad (3)$$

olarak elde edilir. Denklemde f, manyetizasyon akımının frekansıdır.

Transformatorlerde demir, bakır, kaçak akı ve harmonik kayıpları gibi verimi azaltan etkiler mevcuttur [11]. Transformatorün boşa ve yüklü çalışma durumuna göre kayıplar iki ana grupta toplanır. Boşa çalışma durumundaki kayıplar demir kayıpları olarak adlandırılırken yüklü çalışma durumundaki kayıplar bakır kayıpları olarak adlandırılır.

Primere bir gerilim uygulandığında sekonderin yüksüz olma durumu boşa çalışma durumu olarak adlandırılır. Bu durumda transformatorün çekirdeğinde meydana gelen kayıplar demir kayıplarıdır.

Girişe bir gerilim uygulandığı zaman ferromanyetik nüve içindeki domen adı verilen mikroskobik yapılar alan doğrultusunda yönelimlerini değiştirmeye çalışırlar. Bu sırada

birbirleri ile sürtünmeleri sonucu ısı şeklinde bir enerji kaybı meydana gelir. Histerisiz kaybı adı verilen bu kayıp şöyle ifade edilir [11]:

$$P_h = a \cdot B_{\max}^n \cdot f \text{ (W/kg)} \quad (4)$$

Burada a, malzemenin karakteristiğine bağlı olan histerisiz katsayısı olup  $a = 1 \times 10^{-5}$  olarak alınmıştır. n sabiti malzemenin türüne ve akı yoğunluğuna bağlı olarak değişen Steinmetz sabitidir ve bu çalışmada nüveyi oluşturan demir malzeme için değeri 1.6'dır [12].  $B_{\max}$  ise nüvedeki manyetik indüksiyonun maksimum değeridir.

Manyetik bir gövde üzerine sarılmış olan bobinden frekansı zamana bağlı olarak değişen bir akım geçirildiği zaman Faraday indüksiyon yasasına göre gövde üzerinde bir gerilim indüklenir. İndüklenen bu gerilim akımın kapalı bir halka şeklinde dolaşmasına neden olur. Su yüzeyindeki girdaplara benzeyen bu akım halkalarına Fuko akımları (Eddy akımları) denir. Bu girdap akımları manyetik alan çizgilerinin dolanım yapmasını zorlaştırır. Transformatörün sağlıklı çalışmasını engelleyen bu akımların neden olduğu güç kaybı [11]

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2 \text{ (W/kg)} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $K_e$  malzemeye bağlı olarak değişen Eddy akımı sabiti olup  $K_e = 1 \times 10^{-5}$  olarak alınmıştır.

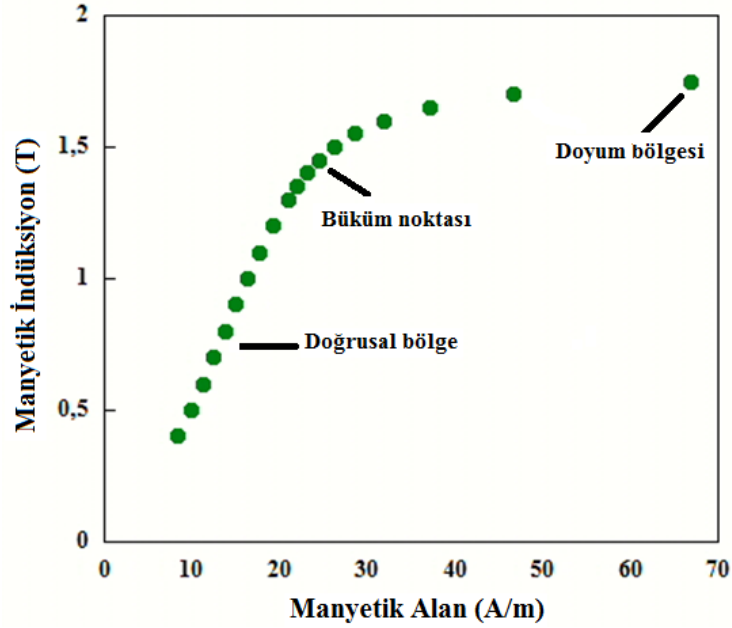
Boşta çalışma durumunda primerden çok küçük bir akım geçtiği için nüvede meydana gelen bakır kayıpları ihmal edilecek kadar küçük olur ve toplam kayıp histerisiz ve Fuko kaybının toplamı şeklinde yazılabilir [11]:

$$P_{\text{boş}} = P_{\text{his}} + P_{\text{fuko}} \quad (6)$$

### 3. Bulgular

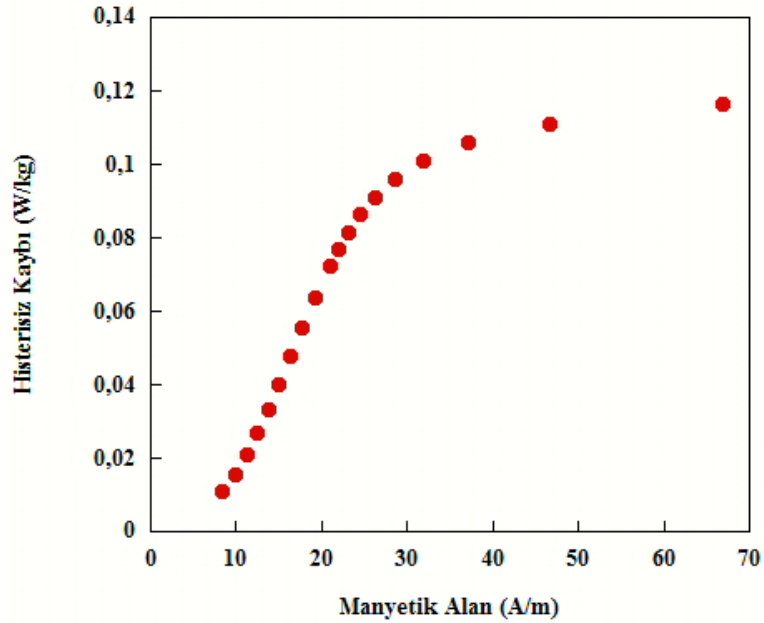
Transformatörün çekirdeğinin mıknatıslanma eğrisi Şekil 6'da görülmektedir. Görüldüğü gibi düşük alan bölgesi doğrusal bölge olarak adlandırılmıştır. Bu bölge mıknatıslanmanın sağlandığı yerdir. Bununla birlikte alan artmaya devam ettikçe manyetik akı yoğunluğu artık aynı oranla artmaz. Oranın değiştiği bu nokta büküm noktasıdır. Bu noktadan ileriye gidildikçe manyetik alan artsa bile akı yoğunluğu bu değişime aynı oranda karşılık veremez ve doyuma ulaşır.

Bir transformatör tasarımı yapılırken gerekli manyetik akı yoğunluğu (B) değeri doğrusal ve doyum bölgesinde seçilmemelidir. Doğrusal bölgede B değerinin küçük olması nüvenin kesit alanının büyümesine ve dolayısıyla gücün azalmasına yol açar. Yüksek indüksiyon değerlerinde yani doyum bölgesinde bobinlerin aşırı yüklenmesi nedeniyle ciddi ısınma problemleri ortaya çıkar. Ortaya çıkan ısı enerjisi ise bakır kayıplarını arttırarak verimin düşmesine neden olur. Bu nedenlerden dolayı manyetik indüksiyon büküm bölgesinde seçilir. Büküm bölgesinde malzemenin optimum özelliklerine ulaşılır ve kayıplar en az seviyeye indirilerek en büyük verim değerine ulaşılır. Bu çalışmada da hesaplamalar için alınan optimum indüksiyon değeri büküm noktasında olup yaklaşık 1.5 T civarındadır.



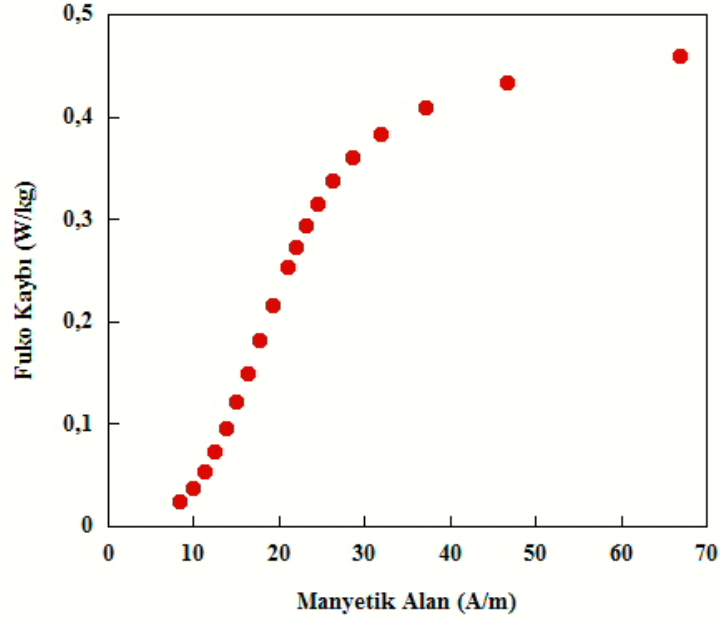
Şekil 6. Transformatör çekirdeğinin mıknatıslanma eğrisi

Ferromanyetik malzeme mıknatıslandığında, manyetik nüve içindeki alanların yönelimleri değişmeye başlar ve bu moleküller birbirlerine değerek ve sürterek bir ısı enerjisi açığa çıkarırlar. Statik kayıp olarak da adlandırılan histerisiz kaybının manyetik alan ile değişimi Şekil 7'de görülmektedir. 8 Wb/m<sup>2</sup> lik manyetik alan uygulandığı zaman malzemede 0.01 W/kg değerinde histerisiz kaybı meydana gelir. Artan manyetik alan ile birlikte bu kayıplar da artar ve yaklaşık 67 A/m lik alan değerine ulaşıldığı zaman bu kayıp 0.12 W değerine çıkar.

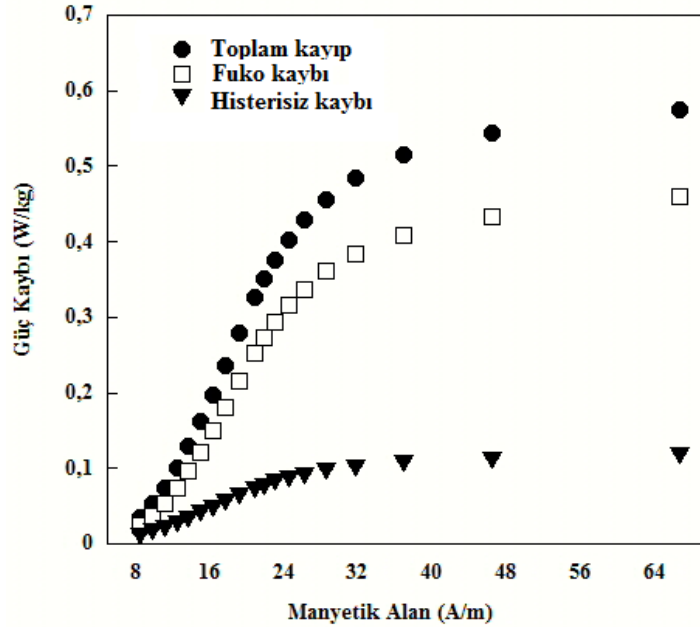


Şekil 7. Histerisiz kaybı

Şekil 8, Feko akımları nedeniyle transformatörde meydana gelen kaybın manyetik alanla değişimini göstermektedir. Nüve üzerinde indüklenen akı yoğunluğunun zamana göre değişmesinden kaynaklanan Feko kaybı düşük manyetik alanlarda 0.02 W/kg seviyelerinde iken manyetik alan artışı malzemedeki indüklenen akımı ve gerilimi arttırarak Feko kayıplarının da artmasına neden olur. Bu durumda girdap akımları manyetik alan çevrimini zorlaştırarak kaybın yaklaşık 0.48 W/kg'a çıkmasına neden olur.



Şekil 8. Feko kaybı



Şekil 9. Boşta çalışma kayıpları

Şekil 9, manyetik çekirdekte meydana gelen güç kayıplarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Uygulanan voltaja bağlı olarak değişen boştaki demir kayıpları artan manyetik alan ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi malzemede

oluşan Fuko kaybı manyetik alanın her değeri için histerisiz kaybından daha çoktur. Bu fark düşük alanlarda küçük değerlerde iken özellikle artan manyetik alanda malzemede indüklenen gerilimin artmasıyla birlikte Fuko kayıpları daha baskın hale gelmektedir.

#### 4. Sonuç ve tartışma

Bu çalışmada %3 Si içeren SiFe malzemelerden oluşan transformatörde boşa çalışma durumunda meydana gelen demir kayıpları ve malzemenin manyetik akı dağılımı incelenerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre boşa çalışma durumunda kaybedilen enerjinin çok büyük kısmının Histerisiz ve Fuko kayıpları nedeniyle meydana gelirken bakır kayıpları ihmal edilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Manyetik alan artışı her iki kayıp türünü artırırken yüksek alanlara doğru Fuko kaybı daha baskın hale gelmektedir. Yüksek manyetik alanlarda toplam kayıp yaklaşık olarak 0.60 W/kg olarak bulunmuştur. Takip edilen IEC prosedürüne göre 50 Hz'de çalıştırılan bir transformatör için 1.7 T değerindeki manyetik akı yoğunluğunda toplam güç kaybı 1.32 W/kg olarak verilmektedir. Buna göre demir kayıpları toplam kaybın yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadırlar. Geriye kalan kayıpların bakır kayıplarından ve kaçak akı kayıplarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Bu kayıpların önceden hesabının yapılması, imalat aşamasından başlayarak transformatörlerin fiziksel ve yapısal özelliklerinin gelişimine katkıda bulunacaktır. Bu özelliklerin gelişimi ile transformatörlerin verimlerinde önemli kazanımlar elde edilecektir. Manyetik nüveyi oluşturan sacların kalınlığının  $d = 3$  cm den daha düşük değerlere çekilmesinin Fuko kayıplarını azaltacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra manyetik nüve geometrisinin, anizotropi özelliklerinin ve kalınlığının bu kayıplar üzerindeki etkisi araştırılırsa kayıpların daha da azaltılabileceği buna bağlı olarak da verimin artacağı düşünülmektedir. Ayrıca silisyum katkısının değiştirilmesinin de direnci artırarak kayıpları makul seviyelere çekeceği öngörülmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Grimmond, W., Moses, A. J. ve Ling, P. C. Y., Geometrical factors affecting magnetic properties of wound toroidal cores, **IEEE Transactions on Magnetism**, 25, 3, (1989).
- [2] Fiorillo, F. ve Novikov, A., An improved approach to power losses in magnetic laminations under non-sinusoidal induction waveform, **IEEE Transactions on Magnetism**, 26, 5, 2904-910, (1990).
- [3] Kumar, H. and Sharma, S., How to Minimize Iron Losses in Transformer, **International Journal of Scientific Research Engineering & Technology**, 1, 1, 36-42, (2012).
- [4] Gençoğlu, M., Elektrik Enerjisi İletiminde Kayıpların Azaltılması, **Kaynak Elektrik**, 128-132, (2004).
- [5] A. Basak, C. Higgs, Flux distribution in three phase transformer cores with various T-joint geometries, **IEEE Transactions on Magnetism**, 18, 670-673, (1982).
- [6] Daneshmand, S. V., Heydari, H., Hysteresis Loss Improvement in HTS Transformers Using Hybrid Winding Schemes, **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, 22, 5500307, (2012).

- [7] Aleem, S., Balci, M. E., Sakar, S., Effective Utilization of Cables and Transformers Using Passive Filters For Non-linear Loads, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 71, 344-350, (2015).
- [8] Orosz, T., Sleisz, A., Tamus, Z. A., Metaheuristic Optimization Preliminary Design Process of Core-Form Autotransformers, **IEEE Transactions on Magnetics**, 52, 1-10, (2016).
- [9] [http://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content\\_1/publikationen](http://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/publikationen), (2015).
- [10] Valkovic, Z., Rezic, A., Improvement of transformer core magnetic properties using the step-lap design, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 112, 413-415, (1992).
- [11] Demir A, SST Yöntemi ile Nüve Malzemelerin Manyetik Kayıplarının Ölçülmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, (2012).
- [12] Mahmoud, S. K., Yağlı Dağıtım Transformatörlerde Kayıpların Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).

# An investigation on length-weight relationships, condition and reproduction of the bleak, *Alburnus alburnus* (L.) population in Çaygören Dam Lake (Balıkesir), Turkey

Zeliha ERDOĞAN, Hatice TORCU KOÇ\*

University of Balıkesir, Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Çağış Campus, 10145, Balıkesir, Turkey

Geliş Tarihi (Received Date): 27.07.2016  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 20.12.2016

## Abstract

*In this study, length-weight relationships, condition, and reproduction characteristics of 713 bleak (Alburnus alburnus L.) caught from the Çaygören Dam Lake were investigated monthly in the years of 2010-2012. Sex ratio was found as 1:1.04, corresponding to 49% males and 51% females. b values were estimated as 3.26 and 3.22 for females and males (b>3.0) Values of monthly conditions were found to be shown a similar pattern for both sexes. The values of hepatosomatic index were pointed out to be parallel with the values of condition factor. Spawning period of this species was determined to occur between April and August.*

**Keywords:** *Alburnus alburnus*, growth, condition, spawning

Balıkesir, Çaygören Baraj Gölü'ndeki *Alburnus alburnus* (L.) inci balığı populasyonunun boy-ağırlık ilişkileri, kondisyon ve üremesi üzerine bir araştırma

## Özet

*Bu çalışmada, Çaygören Barajından yakalanan 713 adet inci balığının boy-ağırlık ilişkisi, kondisyonu ve üreme özellikleri 2010-2012 yılları arasında aylık olarak incelenmiştir. Eşey oranı %49'u erkek ve %51 dişi olmak üzere, 1: 1,04 olarak bulunmuştur. b değerleri dişi ve erkek için sırasıyla 3.26 ve 3.22 olarak hesaplanmıştır.*

\* Hatice TORCU KOÇ, htorcukoc@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0678-1509>  
Zeliha ERDOĞAN, zaka@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-5725-4402>

( $b > 3.0$ ). Aylık kondisyon değerleri her iki eşey için benzerlik gösterdiği bulunmuştur. Hepato-somatik indeks değerlerinin kondisyon faktörü değerleriyle paralellik gösterdiği ortaya konmuştur. Bu türün yumurtlama periyodunun Nisan-Ağustos ayları arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Alburnus alburnus*, büyüme, kondisyon, yumurtlama

## 1. Introduction

The genus *Alburnus* Rafinesque, 1820 (Bleaks and Shemayas) belongs to the largest teleost family, Cyprinidae, and comprises 38 recognized species distributed from Europe to northern parts of Southwest Asia [1]. The genus *Alburnus* is an excellent example for high diversity and endemism in the western Palaearctic freshwater fishes. Kottelat and Freyhof [2] reviewed the European species of *Alburnus* in a part of Palaearctic region. Turkey, with 20 recorded species including *Alburnus alburnus* is center of diversity of the genus [3-5]. Despite their wide distribution, taxonomy, systematic and actual distribution of bleaks of *Alburnus* species are still not well known [6]. Besides, the bleak is of little interest to commercial or sport fisheries in its native range because of its small size [7, 8].

However, the reason to study *Alburnus alburnus* is due to being a ring of the food chain and its bright scales are used as pearl essence in the cosmetic industry [2, 9]. Despite their wide distribution, taxonomy, systematic and actual distribution of bleaks of *Alburnus* species are still not well known [6]. Although there are papers on the growth, morphology, feeding and spreading of bleak in various water bodies across Europe [10, 11], there are a few of published data referring to the growth, metric and meristic characters, reproduction and parasite fauna of the bleak in Turkish waters [12, 13]

This paper was aimed at determination of some growth aspects and spawning period of bleak in Çaygören Dam Lake which was constructed on Simav Stream and its branches.

## 2. Materials and methods

Çaygören Dam Lake which is located in province of Balıkesir, Turkey (28°14'51" E and 39°15'23"N), has major economic importance to the area for both fisheries and irrigating water. The largest water supply to the lake is from Simav Stream which in turn is connected to other streams, namely, the Nilüfer, the Mustafakemalpaşa and the Kocacay. It was constructed in the years of 1965-1968 for the purposes of irrigation and flood prevention by DSI (XXV. General Directorate of State Hydraulic Works). The reservoir has a surface area of 7.25 km<sup>2</sup> with a maximum depth of 52.5 m, an annual mean water capacity 130 hm<sup>3</sup> [14].

A total of 713 samples from the commercial vessels were randomly collected during the period of 2012 to 2014. All samples were maintained in cold box and transferred to the laboratory at 4°C. Total length (TL) (cm) and body weight (W) (g) of the samples were measured to the nearest 0.1 cm and 0.1 g, respectively and recorded before dissection. Length and weight distributions were given as graphics.



The relationships between TL and W were calculated for males and females separately using the allometric model:  $W = a \cdot L^b$ , Condition coefficients (CF) were calculated for both sexes using the equation  $CF = (\text{Body weight} / \text{Total Length}^3) \cdot 100$  [15].

Hepatosomatic index, HSI= (liver weight/gutted weight)×100): this estimates the relative size of the liver to body weight [16].

Sex was determined by macroscopic observation of the gonads. The overall sex ratio and stages of sexual maturity were also determined. Deviations from 1:1 null hypothesis were statistically tested by t -test analysis [15]. The spawning period was determined by means of the monthly changes in the gonadosomatic index (GSI%), as the ratio of gonad weight to the total weight of the body, which can encrypt the growth of gonads during the reproductive cycle, was calculated using the following equation,  $GSI = \text{Gonad weight} / (\text{Body weight} - \text{gonad weight}) \cdot 100$  [17].

### 3. Results

#### 3.1. Length–frequency distribution

While 346 males and 367 females of the specimens were identified, it is found that they had between 12.0-18.6 cm, and 12.4–19.6 cm of lengths, respectively. (Figure 1) ( $p > 0.05$ , t-test)

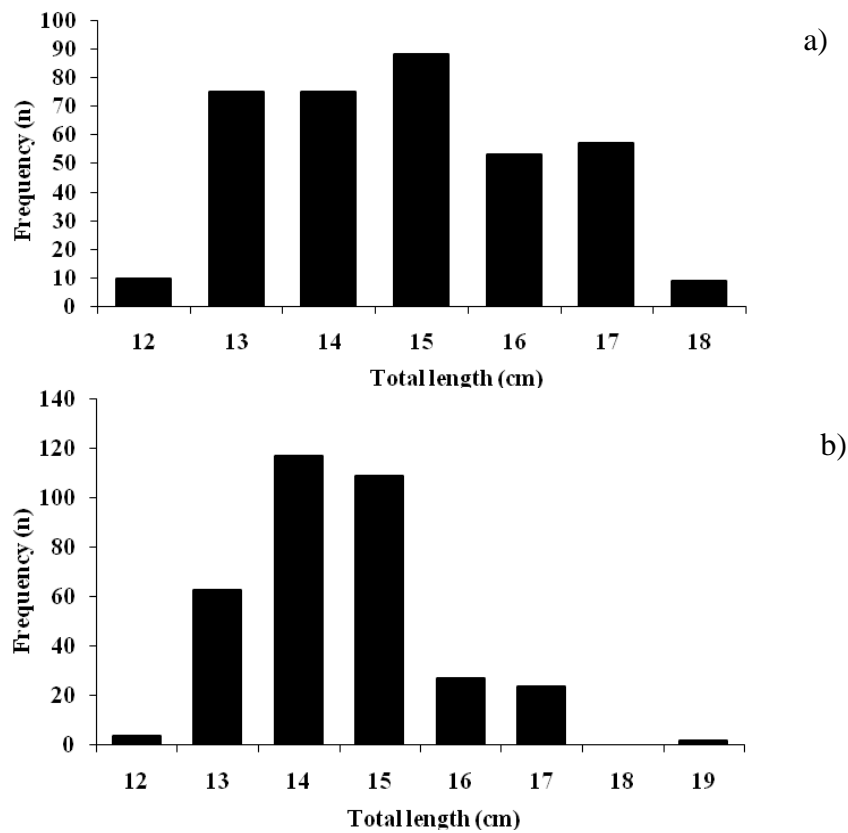


Figure 1. Total length frequency distributions of female (a), and male (b) bleak, *Alburnus alburnus* in Çaygören Dam Lake.

### 3.2. Weight–frequency distribution

The weight of males varied from 26.44 to 123.45 g while the weight of females varied from 30.47–125.28 g (Figure 2) ( $p>0.05$ , t-test).

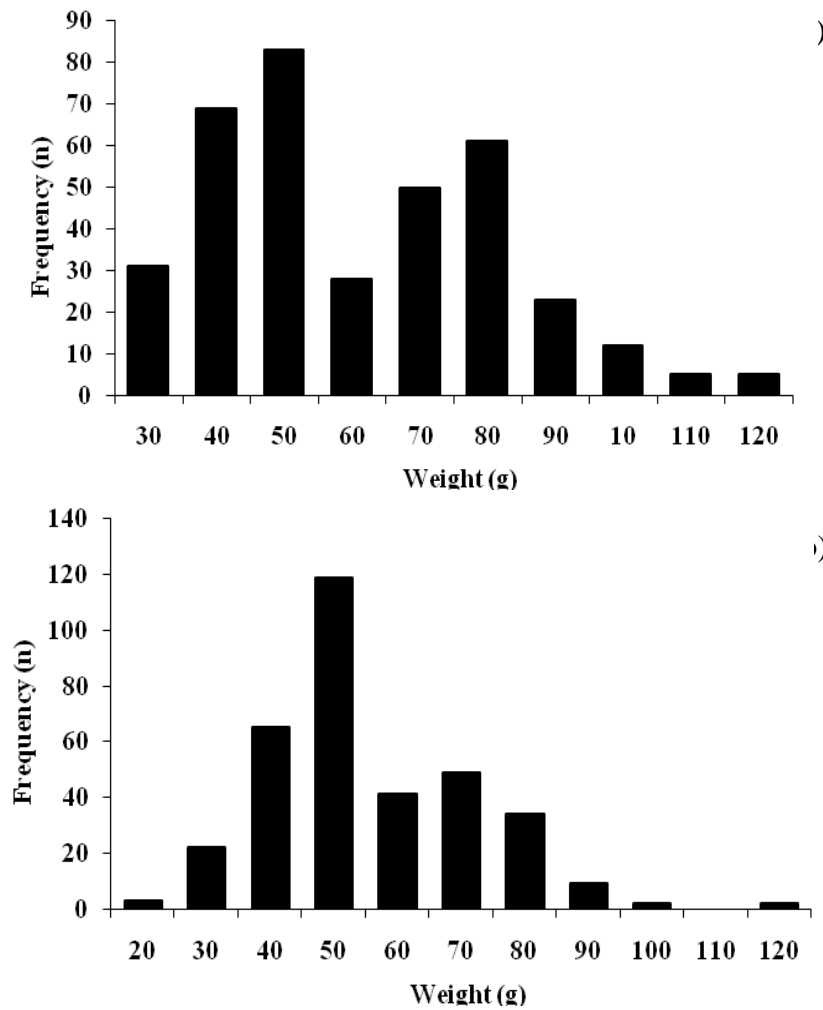


Figure 2. Total weight frequency distribution of female (a), and male (b) bleak, *Alburnus alburnus* in Çaygören Dam Lake

### 3.3. Sex ratio

In the bleak (*Alburnus alburnus*) population, the number of males and females is almost equal, with a small predominance of the females (51.0%) over the males (49.0%). Sex ratio (M:F) was 1:1.04 in the favour of females ( $p>0.05$ , t- test).

### 3.4. Length–weight relationships

The length–weight relationships were pooled for females ( $n=367$ ,  $b=3.26$ ,  $R^2 = 0.969$ ) and for males ( $n= 346$ ,  $b=3.22$ ,  $R^2 =0.980$ ) in Figure 3. The high  $b$  values ( $>3$ ) indicated a positive allometric growth. The correlation coefficient for each sex was found close to one, showing a regular growth in the population.

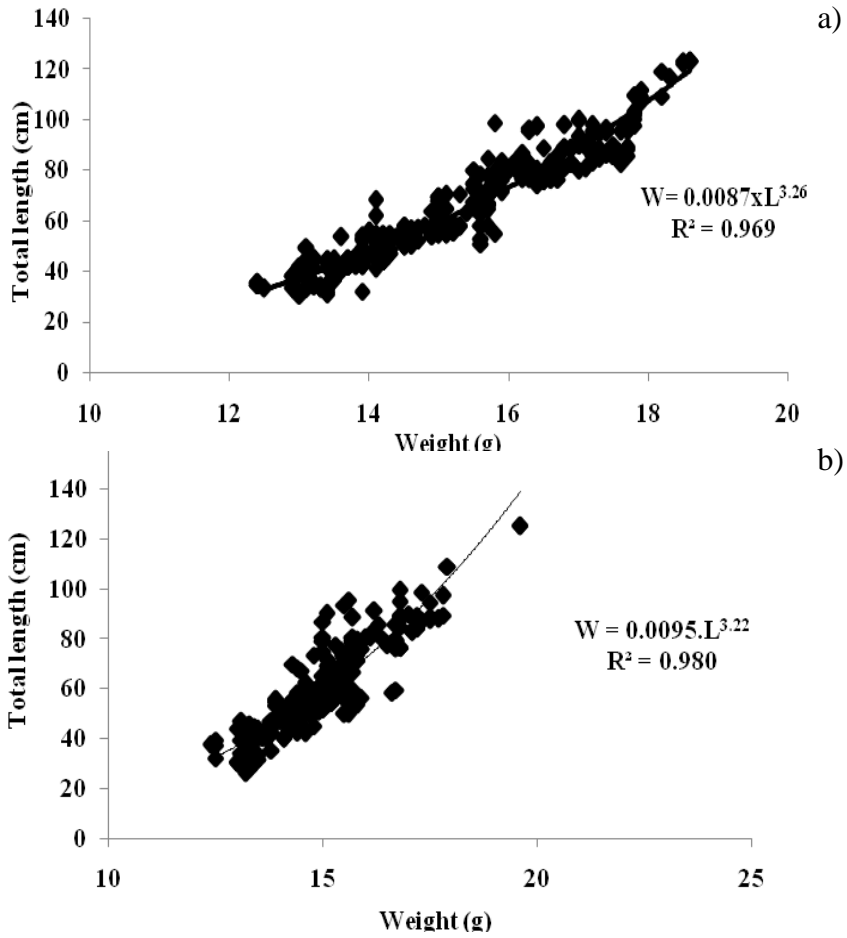


Figure 3. The length-weight relationship for female (a), and male (b) in *Alburnus alburnus* in Çaygören Dam Lake.

**3.5. Condition factor**

Monthly conditions showed a similar pattern for females and males in Figure 4.

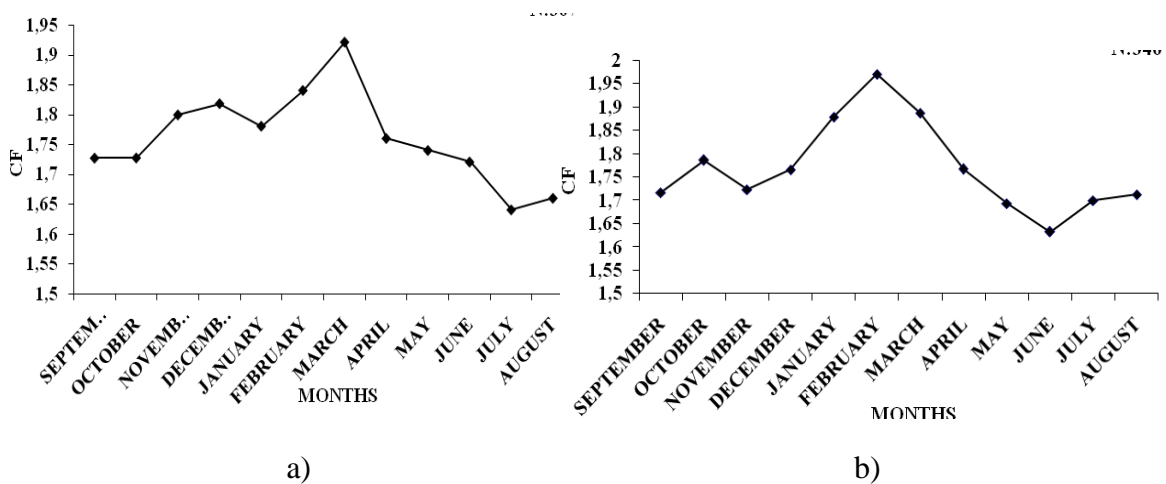


Figure 4. Condition factor values of female (a), and male (b) bleak, *Alburnus alburnus* according to months, in Çaygören Dam Lake

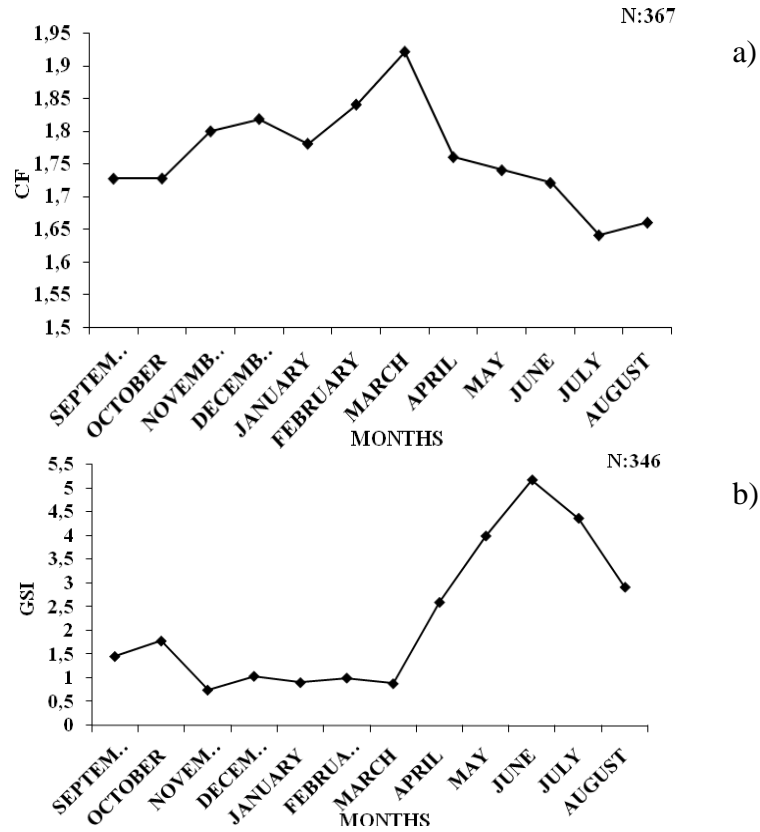


Figure 5. Gonadosomatik index (GSI%) values of female (a), and male (b) bleek, *Alburnus alburnus* according to months, in Çaygören Dam Lake

### 3.7. Hepatosomatic index (HSI%)

In general, monthly HSI values exhibited a peak in January but indicated somewhat lower values to July for all individuals in accordance with values of condition factor as seen in Figure 6.

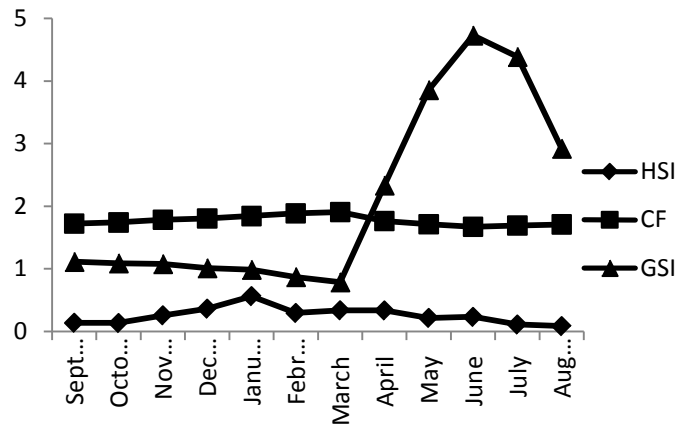


Figure 6. The comparisons of monthly HSI, CF, and GSI values of all bleek, *Alburnus alburnus* in Çaygören Dam Lake.

## 4. Discussion

In this study, the differences in lengths and weights of each sex in bleek population from Çaygören Dam Lake which were not statistically significant ( $P > 0.05$ , t-test) (Fig.

1, Fig. 2, and Table. 1), confirmed bleak population in Zhrebchevo Dam [18]. In contrast, the sex dependent difference of the growth rate was for the bleak reported by Chappaz et al. [19]. This variation may be due to geographic location and some environmental conditions such as temperature, organic matter, quality of food, water system in which the fish live [20].

The trend in sex ratio of studied population supposes an increase, dynamic changes and growth of the number of the respective individuals. Nikolsky [21] indicates different sexual dispersions of the same species in different populations. It is well known that the sex ratio in most species is close to one, but it may vary from species to species, differing from one population to another of same species and may vary year to year in the same population. The sex ratios of the bleak populations in Manyas Lake [22] and Zhrebchevo Dam [18] verify our findings, except for Keddara Dam in which the rates of two sexes are significantly different [23].

Table 1. Parameters of length–weight relationship (a, b, R<sup>2</sup>), and CF of bleak, *Alburnus alburnus* in this and previous studies (– indicates absence of data)

References	Length range	Weight range	N	a	b	R <sup>2</sup>	CF	Locality
Bialokoz, 1980	5.6-9.6							Lake Toyty
Crivelli and Dupont (1987)					2.787			Muga River
Politou et al.(1993)					2.79			Strymon River
Biro and Musco (1995)	4.3-10.6	-	-	-	-	-	-	Balaton Lake
Kleanthidis et al. (1999)	9.4-15.6	-	86	0.0185	2.70	0.85		Lake Volvi
Kompowski (2000)	1.3-16.2	-	-	0.0134	2,947	-		Miedzyodrze
Georgiev (2003)	3.1-1.0	-	106		3.12	-	-	Vardar River
Koutrakis and Tsikliras (2003)	2.0-10.5	-	244	0.0098	2.79	0.985	-	Northern Aegean Estuary
Vasek and Kubeca (2004)	11.0-17.0		298					Rimov Reservoir
Leunda et al. (2006)					3.25			River Thames
Copp et al. (2008)	4.3-21.3	0.50-116.0	456					-
Raikova-Petrova, et al. 2006	3.1-13.0		52	0.1490	1.85	0.95		Sand-Pit Lake
Koyun and Karadavut, 2010	-	-	-	-	3.23	-		Enne Dam Lake
Verreycken et al. 2011					3.64			Lake Mikri Prespa
This study	12.4-18.6 (M)	26.44-125.45 (M)	346 (M)	0.0095 (M)	3.22 (M)	0.98 (M)	1.15-2.62 (M)	Çaygören Dam Lake
	12.4-19.6 (F)	30.47-123.28 (F)	367 (F)	0.0087 (F)	3.26 (F)	0.97 (F)	1.39-2.15 (F)	

Length-weight relationships are very useful for fisheries research as it allow the easy conversion of length in weight and and biomass when only length measurements are available and are required in fishery management and conservation. The same equation is useful for the application of stock assessment models and for the comparison among geographical regions [24-26]. These relationships also enable the computation of condition indexes and allow for comparisons of species growth paths between sexes, different seasons, and regions [27].

The slope ( $b$ ) values of the length-weight relationships in both sexes ( $b=3.22$  for males  $b=3.26$  for females) showed that weight increased positive allometrically with length (Fig. 3A, B). The population of bleak in Çaygören Dam Lake can be classified as growing with a high rate in respect to some European populations of the species. As seen in Table 1, the  $b$  values were not accordance in relevant literature [1, 7, 28-38], except for Koyun and Karadavut [13]. The  $b$  values in fish differ according to species, sex, age, seasons, feeding, diseases, and parasiteloards [39].

For a better evidence of the natural life conditions of the bleak population in Çaygören Dam Lake, we have calculated also the values of condition factor for each sex according to months. Maximum condition factors are found in February, being generally higher just prior to spawning season and lower after spawning with no difference between sexes as seen in Figure 4a, b.

Gonadal development was studied by using the gonadosomatic index of fishes. Mean gonadosomatic index increased gradually from April and then decreases in August (Fig. 5a, b). Altitude, climate and the ecological differences of stagnant and running water as well as altitude, temperature and quality of food have great effects on the spawning period as stated by Bennett [40]. As shown on Table 2, the spawning period in Çaygören Dam Lake is similar to the previous investigations [30, 41-43], except for those in Keddara Dam Lake [23] and Keith and Allardi [44].

Table 2. Spawning seasons of bleak, *Alburnus alburnus* at various localities and average temperatures according to previous studies.

References	Months												Locality	
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Politou <i>et al.</i> 1993														Lake Koronia
Baruš <i>et al.</i> 1995														-
Rinchar & Kestemont, 1996														River Meuse
Kompowski, 2000														Szczecin
Keith & Allardi, 2001														-
Freyhof & Kottelat, 2007														-
Copp <i>et al.</i> 2008														-
Mack, 2009														Germany
Fouzia and Abdeslem, 2012														Keddara Dam
This study (2010-2012)														Çaygören Dam Lake

The hepatosomatic index is an indicator of feeding activity of fish [45]. It shows an allocation of energy to the liver during every period except reproduction, when part of the energy is used for gonad maturation [46]. As shown on Figure 6, the values of

hepatosomatic index show the highest value in January and are found to be parallel with the values of condition factor. This is accordance with the different species studied by Lenhart et al. [47]. The HSI and *CF* data for the fish species collected in the present study provided important information about the patterns of energy utilization and storage during the prespawning period, spawning period and postspawning period. *CF values* of bleak were highest in March relative to all other sampling times, except males in February in contrast to spawning period (Fig. 4a, b).

## 5. Conclusion

According to the results, it can be proposed that fishing should be prohibited between April to September for maximum productivity and the sustainability from the *A. alburnus* population in the Çaygören Dam Lake.

## Acknowledgements

We would like to thank University of Balikesir for providing financial support to 2011/67.

## References

- [1] Freyhof, J., and Kottelat, M., *Alburnus vistonicus*, a new species of shemaya from eastern Greece, with remarks on *Chalcalburnus chalcoides macedonicus* from Lake Volvi (Teleostei: Cyprinidae), **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, 18, 3, 205-212, (2007).
- [2] Kottelat, M., and Freyhof, J., **Handbook of European freshwater fishes**, 640, M. Kottelat, Cornol & J. Freyhof, Berlin, (2007).
- [3] Ozulug, M., and Freyhof, J., *Alburnus demiri*, a new species of bleak from Western Anatolia, Turkey (Teleostei: Cyprinidae)", **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, 18, 4, 307–312, (2007).
- [4] Elp, M., Ozulug, M., Sen, F., and Freyhof, J., Validation of *Alburnus timarensis* from the Lake Van basin, eastern Anatolia (Teleostei: Cyprinidae), **Zoology in the Middle East**, 59, 3, 235–244, (2013).
- [5] Cicek, E., Birecikligil, S.S., and Fricke, R., Freshwater fishes of Turkey: a revised and updated annotated checklist, **Biharean Biologist**, 9, 2, 141-157, (2015).
- [6] Buj, I., Vukić, J., Šanda, R., Perea, S., Čaleta, M., Marčić, Z., Bogut, I., Povž, and M., Mrakovčić, M., Morphological comparison of bleaks (*Alburnus*, Cyprinidae) from the Adriatic Basin with the description of a new species, **Folia Zoologica**, 59, 2, 129–141, (2010).
- [7] Kompowski, A., Growth rate of bleak, *Alburnus alburnus* (L., 1758) in Miedzyodrze waters, **Acta Ichthyologica et Piscatoria**, 30, 1, 37-51, (2000).
- [8] Vinyoles, D, Robalo, J.I., De Sostoa, A., Almodovar, A., Elvira, B., Nicola, G.C., Fernandez Delgado, C., Santo, CS., Doadrio, I., Sarda-Palomer, F., and Almada, VC., Spread of the alien bleak *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) (Actinopterygii, Cyprinidae) in the Iberian Peninsula: The role of Reservoirs, **Graellsia**, 63, 1, 101-110, (2007).

- [9] Billard, R., Les poissons d'eau douce des rivières de France, **Identification, inventaire et répartition des 83 espèces**, Lausanne: Delachaux & Niestlé, (1997).
- [10] Mazurkiewicz-Boroń, G., **Parametry siedliskowe i troficzne [The trophic and habitat parameters]** in: Zbiornik Dobczycki. Ekologia– eutrofizacja– ochrona. [The Dobczyce dam reservoir. Ecology– eutrophication– protection] Eds. Starmach, J. and Mazurkiewicz Boroń, G.) ZBW PAN, 63–80 (in Polish), Krakow, (2000).
- [11] Raikova-Petrova, G., Iliev, M., and Petrov, I., Growth rate and fecundity of bleak [(*Alburnus alburnus* (L.))] in the Pit Lake Chepintsi (Bulgaria), **Proceedings of Biotechnology & biotechnology**, EQ. 23/Se XI Anniversary Scientific Conference, 212-216, (2009).
- [12] Ozuluğ, M., Altun, M., and Meric, N., On the fish fauna of Lake Iznik (Turkey), **Turkish Journal of Zoology**, 29, 371-375, (2005).
- [13] Koyun, M., Karadavut, U., Sex-related growth performance of bleak (*Alburnus alburnus*), **International Journal of Agriculture and Biology**, 12, 629–631, (2010).
- [14] Anonymus, 1997. Report of İkiztepeliler and Çaygören II. Project Planning Revision. DSI, 502, 85–95, Ankara, (1997).
- [15] Froese R., Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. **Journal of Applied Ichthyology**, 22, 241–253, (2006).
- [16] Garcia-Diaz, M.M., Lorente, M.J., and Tuset V. M., Spawning season, maturity sizes, and fecundity in blacktail comber (*Serranus atricauda*) (Serranidae) from the eastern central Atlantic, **Fisheries Bulletin**, 104, 159–166, (2006).
- [17] Sparre, P., and Venema, C.S., Introduction to tropical fish stock assessment - Part I: Manual, **FAO Fisheries Technical Paper**, 306.1 Rev. 1, 376 (1992).
- [18] Georgiev, D., Zhelyazkov, G., and Georgieva, K., Sex and size structure of roach (*Rutilus rutilus*) and bleak (*Alburnus alburnus*) populations in Zhrebchevo Dam, **Ecologia Balkanica**, 7, 2, 51-56, (2015).
- [19] Chappaz, R., Brun, G., and Olivari, G., Mise en évidence de différences de régime alimentaire dans une population d'ablettes *Alburnus alburnus* (L.) dans le lac de Sainte-Croix. Conséquences sur la croissance et la fécondité, **Annales de Limnologie**, 23, 3, 245-252, (1987).
- [20] Wootton, R.J., **Fish Ecology**, Blackwell publishing, Blackie and Son Ltd., Glasgow, (1992).
- [21] Nikolsky, G.V., **Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources**, 323, Otto Koeltz Science Publishing, Koenigstein, (1980).
- [22] Balaban, C., Fish fauna and some biological properties of fish species of Manyas Lake, MSc. thesis. University of Balıkesir, Institute of Science and Technology, (2010).
- [23] Fouzia, A., and Abdeslem, A., Environmental determinism of sex-ratio in the bleak, *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) (Cyprinidae) in Keddara Dam, Algeria, **Indian Journal of Fisheries**, 59, 4, 7-10, (2012).
- [24] Goncalves, J.M.S., Bentes, L., Lino, P. G., Ribeiro, J., Canario, A. V. M., Erzini, K., Weight–length relationships for selected fish species of the small-scale demersal fisheries of the south and south-west coast of Portugal, **Fisheries Research**, 30, 253-256, (1997).



- [25] Froese, R., Length–weight relationships for 18 less studied fish species, **Journal of Applied Ichthyology**, 14, 117–118, (1998).
- [26] Moutopoulos, D.K., and Stergiou K.I., Length-weight and length-length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece), **Journal of Applied Ichthyology**, 18, 200-203, (2002).
- [27] Froese, R., Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta analysis and recommendations, **Journal of Applied Ichthyology**, 22 (4): 241–253, (2006).
- [28] Bialokoz, W., Evaluation of the intensity and efficiency of bleak *Alburnus alburnus* (L.) feeding in Tajty Lake, Masurian Lakeland, Poland, Comparative analysis of methods. **Ekologia Polska**, 38, 163-183, (1990).
- [29] Crivelli, A.J., and Dupont, F., Biometrical and biological features of *Alburnus alburnus* X *Rutilus rutilus* natural hybrids from lake Mikri Prespa, northern Greece, **Journal of Fish Biology**, 31, 721-733, (1987).
- [30] Politou, C.Y., Economidis, P.S., and Sinis, A.I., Feeding biology of bleak, *Alburnus alburnus*, in Lake Koronia, northern Greece, **Journal of Fish Biology**. 43, 1, 33–43, (1993).
- [31] Biro, P., Musco, I.B., Population dynamics and food of bleak (*Alburnus alburnus* L.) in the littoral zone of Lake Balaton, Hungary, **Hydrobiologia**, 310, 2, 139-149, (1995).
- [32] Kleanthidis, P.K., Sinis, A.I., and Stergio, K.I., Length–weight relationships for freshwater fishes in Greece, **Naga**, 22, 4, 25–28, (1999).
- [33] Koutrakis, E.T., and Tsikliras, A.C., Length-weight relationships of fishes from three northern Aegean estuarine systems (Greece), **Journal Applied Ichthyology**, 19: 258-260, (2003).
- [34] Vasek, M., and Kubecka, J., In situ diel patterns of zooplankton consumption by subadult/adult roach *Rutilus rutilus*, bream *Abramis brama*, and bleak *Alburnus alburnus*, **Folia Zoologica**, 53, 203-214, (2004).
- [35] Pollux, B.J.A., Korosi, A., Verberk, W.C.E.P., Pollux, P.M.J., Van der Velde, G., Reproduction, growth, and migration of fishes in a regulated lowland tributary: potential recruitment to the River Meuse, **Hydrobiology**, 565, 105–120, (2006).
- [36] Leunda, P.M., Oscoz, J., and Miranda, R., Length-weight relationships of fishes tributaries of the Ebro River, Spain. **Journal of Applied Ichthyology**, 22, 4, 299-300, (2006).
- [37] Copp, G.H., Kováč, V., Zweimuller, I., Dias, A., Nascimento, M., and Balážová, M., Preliminary study of dietary interactions between invading Ponto-Caspian gobies and some native fish species in the River Danube near Bratislava (Slovakia), **Aquatic Invasions**, 3, 2, 193-200, (2008).
- [38] Verreycken, H., van Thuyne, G., and Belpaire, C., Length-weight relationships of 40 freshwater fish species from two decades of monitoring in Flanders (Belgium), **Journal of Applied Ichthyology**, 27, 6, 1416–1421, (2011).
- [39] Bagenal, T.B., and Tesch, F.W., **Age and growth In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters** in T. Bagenal (Editor). IBP Handbook No.3: Blackwell Scientific Publishing, 101-136, Oxford, (1978).
- [40] Benet, G.W., **Management of lakes and ponds**. 2nd ed. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, (1970).
- [41] Baruš, V., Ěerný, K., Gajdůšek, J., Hensel, K., J. Holčík, I., Kála, V., Krupauer, Z., Kux, J., Libosvářský, J., Lom, S., Flusk, F., Moravec, O., Oliva, M., Peňáz, K., Pivnička, K., Prokeš, M., Ráb, P., Špinar, Z., Švátora, M., and Vostradovský,

- J., **Fauna ÈR a SR. Mihulovci Petromyzontes a ryby Osteichthyes (2)**, Akademie věd Èeské Republiky, Praha, (1995).
- [42] Rinhard, J., and Kestemont, P., Comparative study of reproductive biology in single and multiple-spawner cyprinid fish. I. Morphological and histological features, **Journal of Fish Biology**, 49, 883-894, (1996).
- [43] Mäck, A., **Biologie des ukeleis (*Alburnus alburnus*) im bodensee-obersee. Fischereiforschungsstelle des landes baden-württemberg**, 69, Universität Tübingen, (2009).
- [44] Keith P., and Allardi, V.M. 2001. **Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines naturels**, 387, 47, Paris, (2001).
- [45] Tyler, AV., and Dunn., R.S., Ration, growth, and measures of somatic and organ condition in relation to meal frequency in winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, with hypotheses regarding population homeostasis, **Journal of Fish Research Board of Canada**, 23, 63-75, (1976).
- [46] Nunes, D.M., and Hartz, M.S., Feeding dynamics and ecomorphology of *Oligosarcus jenynsii* (Gunther, 1864) and *Oligosarcus robustus* (Menezes, 1969) in the Lagoa Fortaleza,, Southern Brazil, **Brazilian Journal of Biology**, 66-132, (2006).
- [47] Lenhardt, M., Jaric, I., Aric, I., Cakıcı, P., Vijanovic, G., Gacic, Z., and Kolarevic, J., Seasonal changes in condition, hepatosomatic index and parasitism in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.), **Turkish Journal of Veterinary Animal Science**, 33, 3, 209-221, (2009).

# Gama radyasyonu ile ışınlanan gallik asitte oluşan radikallerin termal özellikleri

Hasan TUNER\*, Mehmet Oktay BAL

Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 08.09.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 03.01.2017

## Özet

Bu çalışmada sıcaklığın, gama radyasyonu sonucunda gallik asit anhydrous (GA-a) ve gallik asit monohydrate (GA-m) bileşenlerine olan etkisi Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Işınlanmamış örneklerde herhangi bir EPR sinyali gözlenmezken, ışınlanmış örnekler merkezde ve her iki tarafında yer alan bir EPR spektrumu verdiği gözlenmiştir. Deneysel EPR spektrumuna kaynaklık eden radikallerin termal özellikleri tepeden-tepeye sinyal şiddeti ve spektrum altında kalan alan dikkate alınarak araştırılmıştır. Ayrıca radikallerin yüksek sıcaklıkta tavlama sonucunda radikallerin kararlılığı araştırılmıştır. GA-a ve GA-m örneklerinin deneysel spektrumlarına katkı getiren iki ana radikalın aktivasyon enerjileri sırasıyla 64.68 kJ/mol ve 88.11 kJ/mol, ve 35.88 kJ/mol ve 127.64 kJ/mol olduğu hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR), gallik asit, ışınlama, termal özellikler

## Thermal features of radiation induced radical of gamma irradiated gallic acid

### Abstract

In the present work, temperature effects of gamma irradiated anhydrous and monohydrate gallic acid components were investigated using Electron Paramagnetic Resonance (EPR) spectroscopy. While unirradiated samples presented no EPR signal, irradiated samples were observed to exhibit an EPR spectrum consisting of an intense resonance line at the middle and weak lines on both sides. Thermal features of the radicals responsible of experimental EPR spectrum were explored through the variations

\* Hasan TUNER, htuner@balikesir.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-4151-8810>

Mehmet Oktay BAL, bayokitay10@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4088-9962>

of the peak-to-peak amplitude and spectrum area under the EPR spectra. Also the high temperature annealing stability of the radicals was investigated. It is calculated that the activation energies of the main two radicals that contributed to the experimental spectra of GA-a and GA-m compounds was 64.68 kJ/mol and 88.11 kJ/mol, and 35.88 kJ/mol and 127.64 kJ/mol, respectively.

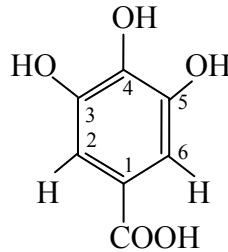
**Keywords:** Electron Paramagnetic Resonance (EPR), gallic acid, irradiation, thermal features

## 1. Giriş

Gallik asit (GA) veya 3,4,5-trihidroksibenzoikasiten çok bilinen fenolik bileşiklerden biridir [1-3]. GA'nın gıda, kozmetik ve ilaç sanayisinde pek çok kullanım alanı vardır [4]. Literatürde GA'nın sulu çözeltilerinin radyasyon ve oksidasyon etkileri farklı spektroskopik yöntemlerle incelenmiştir [3, 5, 6]. Ayrıca Tuner ve ark. [7] GA ve bazı esterlerinin dozimetrik özelliklerini incelemişlerdir. Ancak, sulu çözeltilerde radyo-kimyasal mekanizmaların katı veya toz örneklerden farklı olması Eslami ve ark. [3] ile Melo ve ark. [5, 6]'nın önerdiği radikallerden farklı radikallerin oluşmuş olduğu düşünülmektedir. Ancak bu tartışma çalışmamızın kapsamı dışındadır. Bu çalışmada deneysel EPR spektrumuna kaynaklık eden radikallerin termal ve kinetik özellikleri incelenecektir.

## 2. Materyal ve Yöntem

GA anhydrous ve monohydrate formlarında olmak üzere iki formda kristallenir (Şekil 1). Gallik asit anhydrous (GA-a) ve monohydrate (GA-m) hemen-hemen aynı erime sıcaklığına sahiptir (~452 K). Toz haldeki GA-a ve GA-m örnekleri oda sıcaklığında normal laboratuvar şartlarında muhafaza edilmiş ve ışınlamadan önce hiçbir işleme tabi tutulmamıştır. Kapalı plastik kutular içerisinde hazırlanan örnekler oda (~25 °C) sıcaklığında doz hızı 0.65 kGy/saat olan ve Türkiye Atom Enerji Kurumu, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde yer alan <sup>60</sup>Co-γ kaynağında ışınlanmıştır. Termal ve kinetik incelemeler, 11 kGy doz değerinde ışınlanan örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



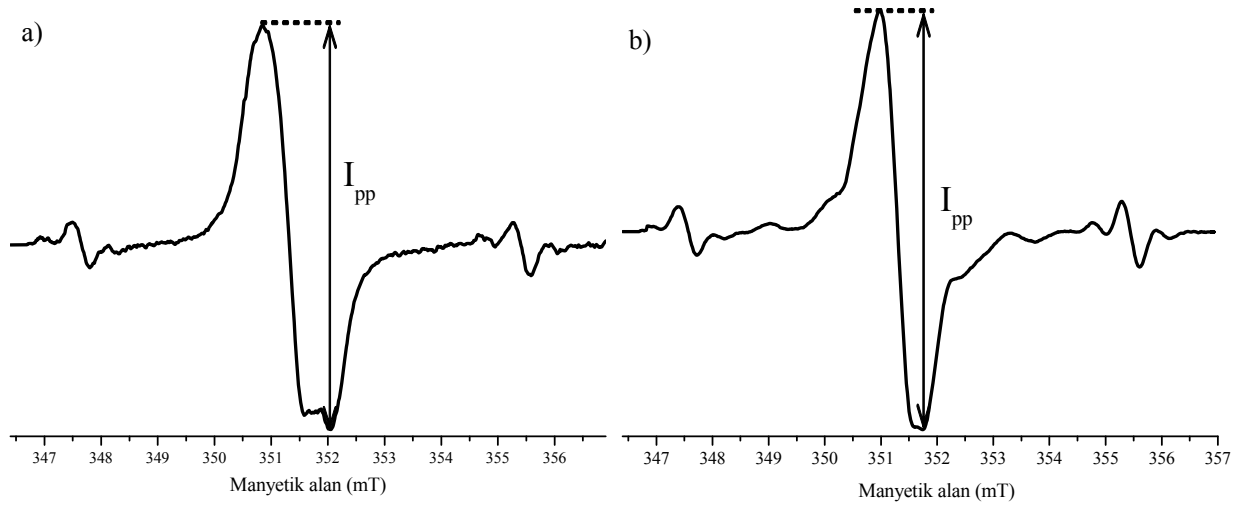
Şekil 1. Gallik asit anhydrousun (GA-a) molekül yapısı.

Deneysel incelemeler iç yarıçapı 2 mm ve dış yarıçapı 2.5 mm olan kuartz EPR deney tüplerine yaklaşık 70 mg örnek yerleştirilerek yapılmıştır. EPR deneyleri Bruker EMX-131 X-band EPR spektrometresinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla spektrometre şartları, merkez manyetik alan, 349.5 mT; mikrodalga gücü, 0.5 mW; mikrodalga frekansı, ~9.86 GHz; tarama alanı, 10 mT; modülasyon genliği, 0.2 mT; kazanç çarpanı,

$2.0 \times 10^4$ ; modülasyon frekansı, 100 kHz; tarama zamanı, 83.89 s olarak ayarlanmıştır. Kavite içerisindeki sıcaklık Bruker ER 411-VT dijital sıcaklık kontrol ünitesi yardımıyla ayarlanmıştır. Isıtma-soğutma döngüsü EPR sinyallerinin oda sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklardaki sönüm davranışları ve değişimlerini belirlemek için uygulanmıştır. Ayrıca ısıtma-soğutma deneyleri ışığında ve erime noktasının altında belirlenen 4 farklı sıcaklıkta yaklaşık 60 dakikalık tavlama deneyleri yapılarak radikallerin kinetik özellikleri ve yüksek sıcaklık sönüm davranışları belirlenmiştir.

### 3. Deneysel sonuçlar

Işınlanmamış GA örnekleri hiçbir EPR sinyali vermezken ışınlanan örneklerin zayıf ve şiddetli rezonans çizgileri verdikleri gözlenmiştir (Şekil 2). Spektrumun merkezinde yer alan şiddetli sinyalin birden fazla sinyalin üst-üste binmesi sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır (Şekil 2 a) ve b)). Her iki GA örneğinin temelde; merkezde şiddetli bir sinyal ve bu sinyalin her iki tarafında zayıf 1:2:1 sinyal şiddeti oranına sahip sinyallerden oluştuğu görülmektedir. Ancak, ışınlanan GA-m örneğinin merkezindeki şiddetli sinyal bölgesinde çözülmemiş ekstra sinyallerin olduğu da gözlenmiştir (Şekil 2 b). Bu durumun GA-m molekülünün yapısında bulunan su molekülünün etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir. Işınlanan GA örneklerin EPR spektroskopik özellikleri literatürde ayrıntılı olarak tartışılmıştır [8].



Şekil 2. Gama ışınlarıyla ışınlanan GA örneklerinin EPR spektrumları: a) GA-a ve b) GA-m

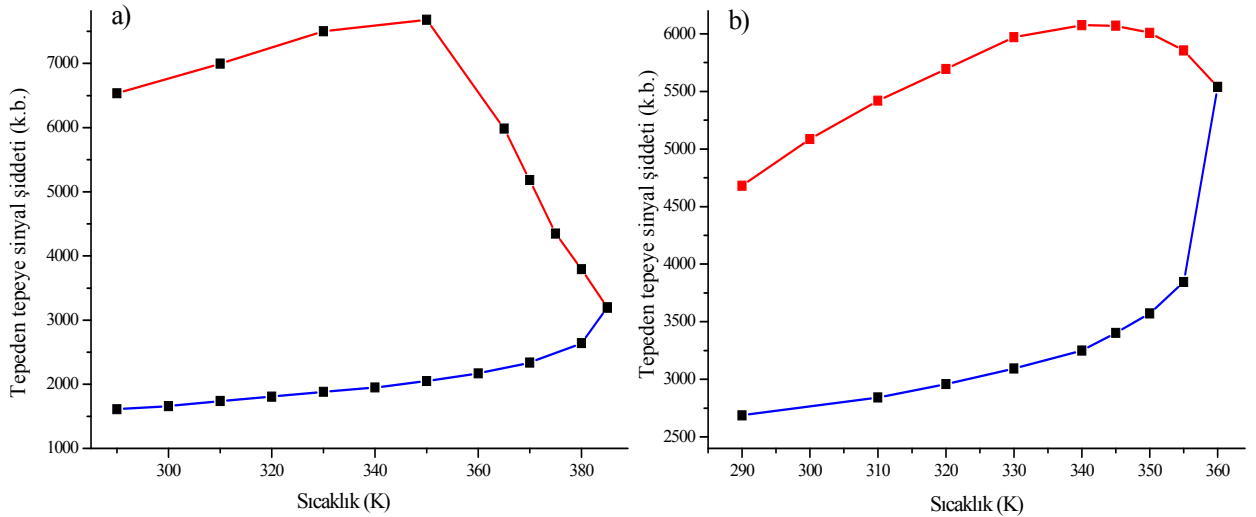
#### 3.1. EPR sinyallerinin oda sıcaklığı üzerindeki davranışı

Işınlanmış örnekler, oda sıcaklığından ( $\sim 290$  K) başlanarak 20 K adımlarla 400 K' e kadar ısıtılmıştır. Yapılan deneme çalışmalarında, GA-a ve GA-m örneklerinde gözlenen EPR sinyallerinin, sırasıyla, 390 K ve 360 K sıcaklıklarında ölçülemeyecek kadar zayıfladıkları görülmüştür. Bu nedenle, yeni GA-a ve GA-m örnekleri hazırlanmış ve 290 K sıcaklığı ile, sırasıyla, 385 K ve 355 K üst sıcaklık limitleri arasında deney tekrar edilmiştir. Merkezi sinyalin şiddetinin sıcaklıkla değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Tepeden-tepeye sinyal şiddetinin, her iki örnek için de, yaklaşık 345 K sıcaklığına kadar arttığı ve bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında ise azalmaya başladığı görülmüştür (Şekil 3). Deney birkaç defa tekrar edilmiş ve sinyal şiddetinin sıcaklık değişiminin aynı olduğu sonucu elde edilmiştir. Sinyal şiddetindeki bu artış ve azalışın,

çizgi genişliğindeki değişimlerden kaynaklanıyor olabileceği değerlendirilmiş ve sıcaklıkla çizgi genişliğinin nasıl değiştiğine de bakılmıştır. Ancak, çizgi genişliğinde sıcaklıkla önemsenecek düzeyde bir değişimin olmadığı görülmüştür.

Bu durumun örnek veya spektrometre kaynaklı olabileceği düşünülerek iki inceleme yapılmıştır. Bu incelemelerden ilki, sıcaklık sebebiyle örnek içerisinde yeni radikallerin oluşup oluşmadıklarının belirlenmesidir. Bu amaçla, her iki GA örneğinden ışınlanmamış örnekler hazırlanarak 10 K adımlarıyla 400 K sıcaklığına kadar ısıtılmış ve her sıcaklık adımında EPR spektrumları kaydedilmiştir. Ancak, hiçbir sıcaklıkta gürültüden ayırt edilebilecek bir EPR sinyali gözlenememiştir. Bu sonuç, merkezi sinyalin şiddetindeki artışın yeni radikal oluşumu ile ilgili olmadığını göstermektedir.

İkinci olarak spektrometrede ölçüm yaparken yapılan veya oluşan beklenmedik durumların katkısı araştırıldı. Bu amaçla, GA-a ve GA-m örnekleri 290 K sıcaklığından başlanarak sırasıyla 350 K ve 330 K sıcaklıklarına kadar 5'er K sıcaklık adımlarıyla ısıtılarak EPR spektrumları kaydedildi. Bu arada, özellikle spektrometre kalite faktörü (Q) ve spektrometre çalışma koşullarında beklenmedik değişiklikler olup olmadığı dikkatle takip edildi. Yapılan çalışmalar esnasında, oda ve örnek sıcaklıkları arasındaki fark nedeniyle, kullanılan kuartz deney tüplerinin iç ve dış çeperlerinde küçük su damlacıklarının oluşmaya başladığı görülmüştür. Diğer taraftan, sıcaklıktaki artışın spektrometre Q-faktöründe de kayda değer seviyede bir artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Bilindiği gibi EPR spektrumu alınan örneğin dielektrik katsayısında oluşacak azalma spektrometrenin Q-faktöründe bir artışa sebep olur [9]. Bu ise, EPR spektrumunda sinyal şiddetlerinin artmasına yol açar. Buradan, Şekil 3' te merkezi sinyalin şiddetindeki artışın spektrometre Q-faktöründe meydana gelen artıştan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Diğer bir deyişle, yüksek sıcaklıklara doğru çıkıldığında örnekteki su kaybı dielektrik katsayısını düşürmüştür ve bu da EPR sinyal şiddetinde artışa sebep olmuştur.

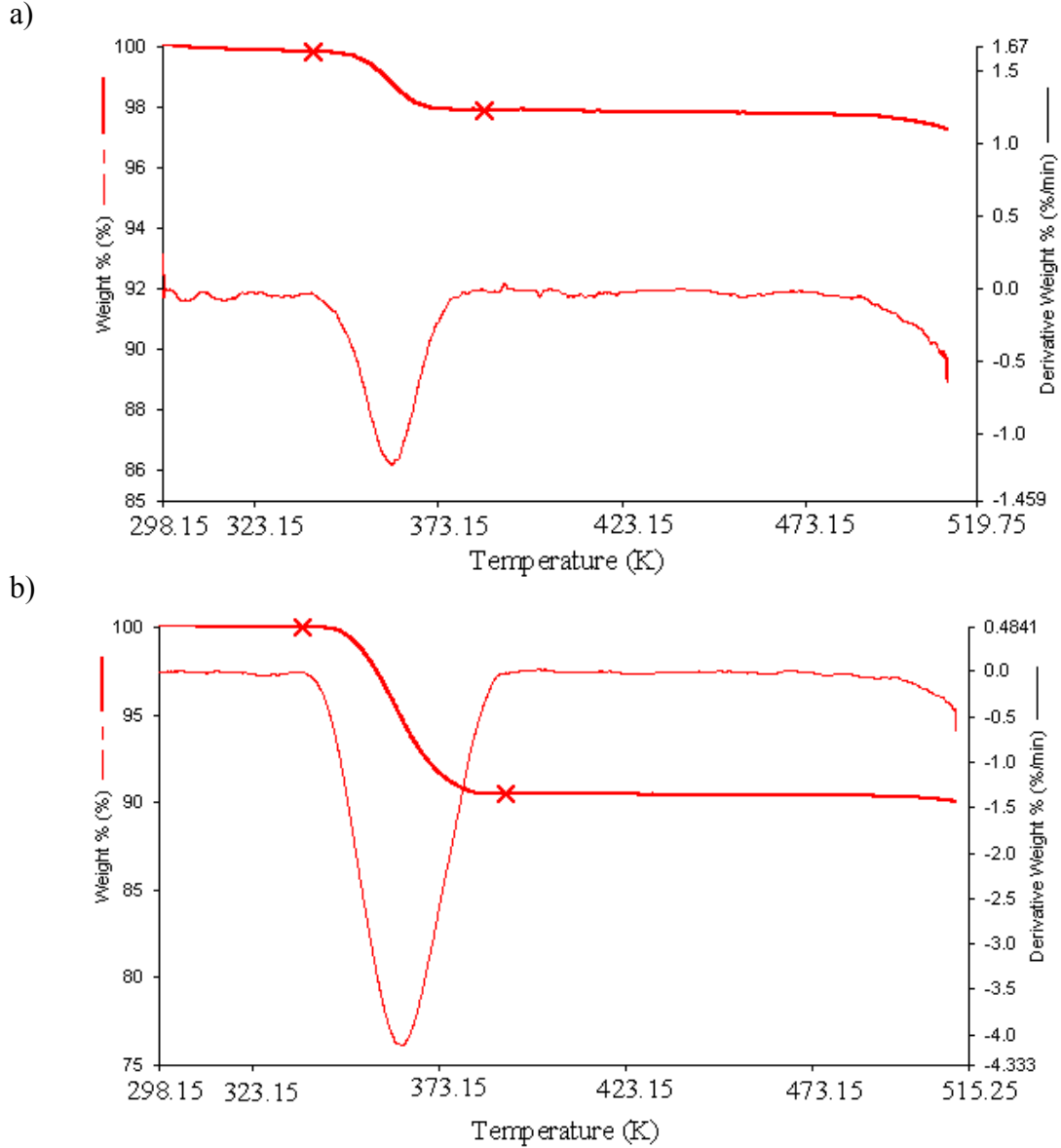


Şekil 3. Merkezi sinyalin tepeden tepeye sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi a) GA-a, ve b) GA-m. (Kırmızı ısıtma, mavi soğutma).

Bu durumu daha ayrıntılı görmek için Termogravimetrik Analiz(TGA) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) deneyleri Perkin Elmer DTA/TG cihazı azot atmosfer altında 10 K/min ısıtma hızıyla 293 K'den 513 K'e kadar yapılmıştır. TGA ve DTA

grafiklerinden de görüldüğü gibi 353 K civarında kayda değer bir değişim görülmektedir (Şekil 4 (a) ve (b)). GA-a ve GA-m örneklerinin kütlelerinde % 2 ve % 10 civarında bir azalma olduğu görülmüştür. Bu azalma, örneklerde var olan nemin/suyun buharlaşması (örneği terk etmesi) olarak değerlendirilmiştir.

345 K sıcaklığının üzerinde sinyal şiddetindeki azalmanın, artan sıcaklıkla birlikte örnek içerisinde moleküler hareketliliğin de arttığı ve böylece radikallerin çevreleriyle ve/veya birbirleriyle reaksiyona girerek paramanyetik olmayan birimlere dönüşmesi sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir.

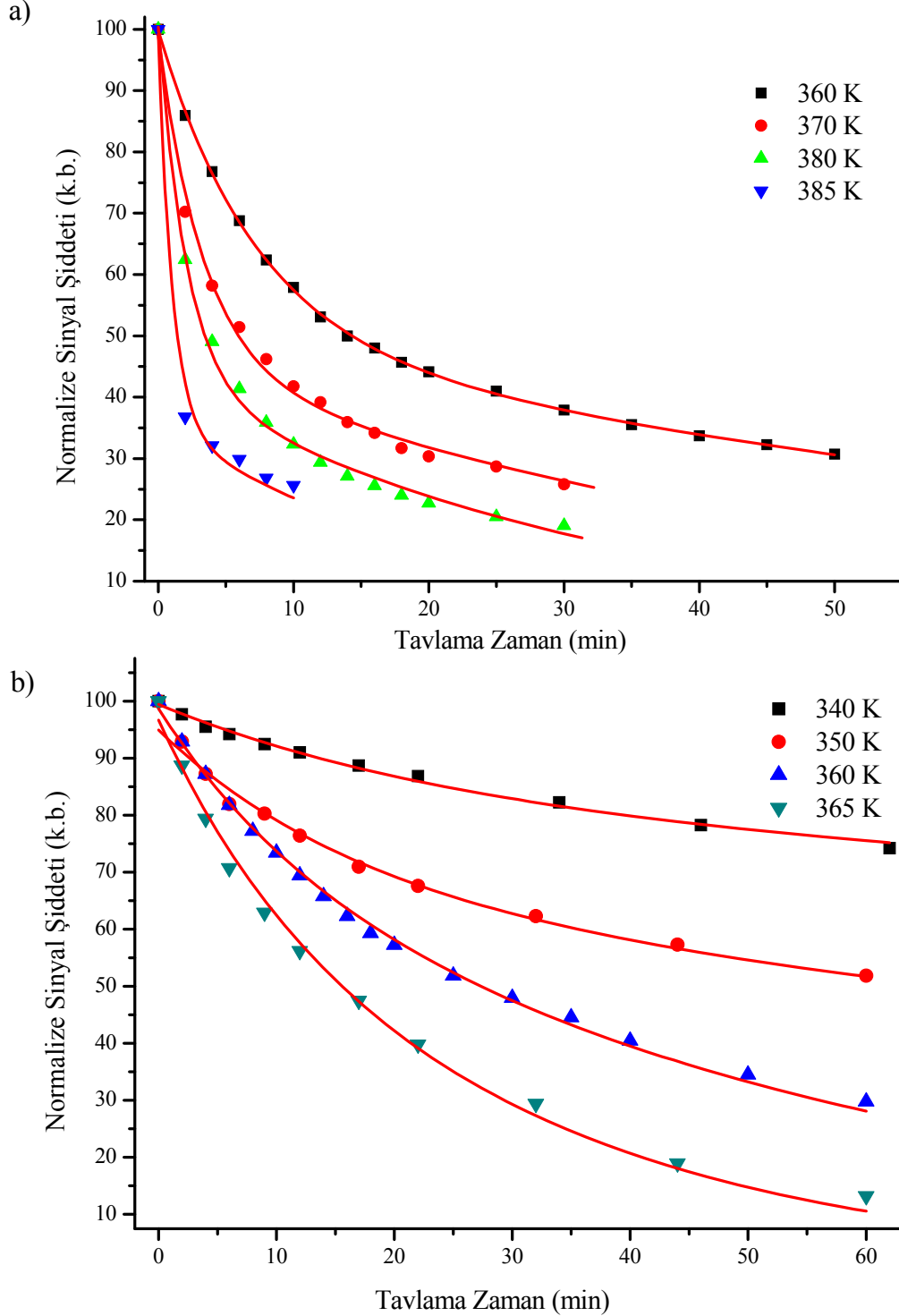


Şekil 4. GA-a (a) ve GA-m (b) örneklerinin Termogravimetrik inceleme sonuçları.

### 3.2. Gallik asit'in tavlama bulguları

Spektrumun oluşumuna katkı getiren radikal türlerinin yüksek sıcaklıklardaki sönüm davranışından yararlanılarak radikallerin kinetik özellikleri tespit edilebilir. 11 kGy doza maruz bırakılmış GA-a ve GA-m toz örnekleri, dört farklı tavlama sıcaklığında 60 dakika boyunca tavlansak merkez sinyalin tepeden-tepeye sinyal şiddetlerindeki

değişim takip edilmiştir. Beklendiği gibi sıcaklık arttıkça sönüm hızında bir artış görülmektedir (Şekil 5). Sönüm kinetiğini en iyi tanımlayan fonksiyonun  $I = A_1 e^{-k_1 t} + A_2 e^{-k_2 t}$  olduğu belirlenmiştir. Burada  $A_1$  ve  $A_2$  serbest radikallerin ağırlık oranlarını  $k_1$  ve  $k_2$  sönüm hızlarını ifade etmektedir.

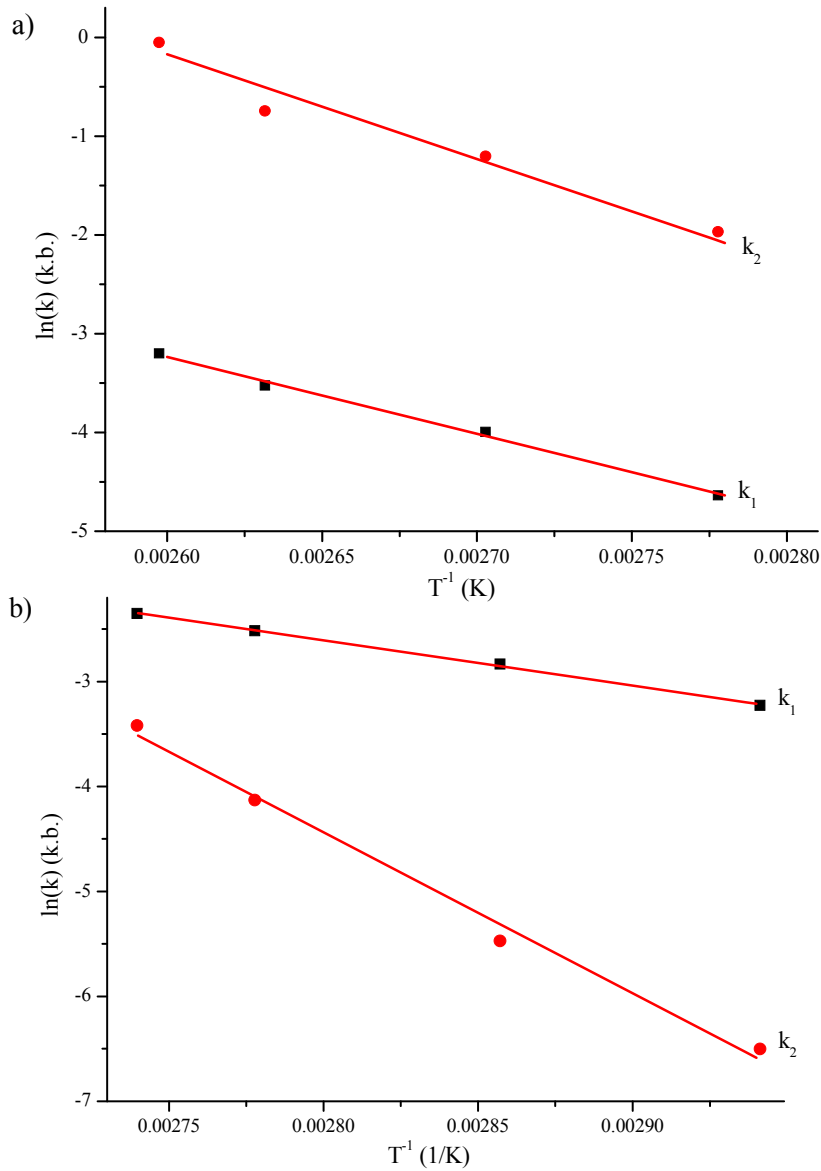


Şekil 5. Işınlanmış GA-a (a) ve GA-m (b) örneklerinin tavlama sonucunda elde edilen sönüm eğrileri



Tablo 1. Yüksek sıcaklıklarda tavlanan GA-a ve GA-m'nin sönüm parametreleri

Sıcaklık	$k_1$	$k_2$	
GA-a	360 K	0.0097	0.1398
	370 K	0.0184	0.3004
	380 K	0.0295	0.4753
	385 K	0.0408	0.9487
Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)	64.680	88.110	
GA-m	340 K	0.0397	0.0015
	350 K	0.5880	0.0042
	360 K	0.0809	0.0161
	365 K	0.0952	0.0328
Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)	35.880	127.640	



Şekil 6. GA-a (a) ve GA-m (b)'nin Arrhenius eğrisi

Elde edilen bu sönüm parametreleri Boltzman dağılım yasasına uyarlanarak radikallerin aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.  $k = k_0 e^{-\Delta E/k_b T}$  Boltzman yasasının her iki tarafının logaritması alındığında sönüm sabitinin sıcaklığa göre değişimini gösteren Arrhenius eşitliği elde edilir:  $\ln(k) = \ln(A) - \frac{\Delta E}{k_b} \cdot \frac{1}{T}$ . Tablo 1’de verilen sönüm katsayılarının logaritmalarının  $1/T$ ’ye karşı değişimleri (Şekil 6) yukarıdaki fonksiyona uyarlanarak sönüm aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Yapılan veri uyarlama sonucunda 1. ve 2. radikalın aktivasyon enerji değerleri GA-a için, sırasıyla, 64.68 kJ/mol ve 88.11 kJ/mol ve GA-m için, sırasıyla, 35.88 kJ/mol ve 127.64 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

#### 4. Sonuç ve tartışma

Gama ışınlarıyla ışınlanan anhydrous ve monohydrate GA bileşikleri hemen-hemen aynı EPR spektrumu vermişlerdir. Her ne kadar radyasyon sonucunda aynı tür radikallerin oluştuğu düşünülse de, bu radikallerin yüksek sıcaklıklardaki sönüm davranışlarının birbirlerinden farklılık gösterdikleri bulunmuştur.

Kavite içerisindeki örneğin ısıtılması sonucunda, içeriğinde bulunan suyun buharlaşarak örneği terk etmesinin bir sonucu olarak, EPR spektrometresinin Q-faktörünün arttığı ve böylece merkezi sinyalin tepeden-tepeye şiddetinin artmasına sebep olduğu görülmüştür. Örneklerde gözlenen su kaybı termogravimetrik inceleme ile de desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Friedman, M., and Jürgens, H.S.J., Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48, 2101-2110 (2000)
- [2] Taniguchi, H., and Schuler, R.H., An ESR study of the dissociation of hydroxyl protons in hydroxycyclohexadienyl radicals. **The Journal of Physical Chemistry**, 89, 3095-3101 (1985)
- [3] Eslami, A.C., Pasanphan, W., Wagner, B.A., and Buettner, G.R., Free radicals produced by the oxidation of gallic acid: An electron paramagnetic resonance study. **Chemistry Central Journal** 4, 15-18 (2010)
- [4] Zhao, J., Khan, I.A., and Fronczek, F.R., Gallic Acid. **Acta Crystallographica Section E**. 67, O316–O317 (2011)
- [5] Melo, R., Leal, J.P., Takács, E., and Wojnárovits, L., Radiolytic degradation of gallic acid and its derivatives in aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials** 172, 1185-1192 (2009)
- [6] Melo, R.P., Leal, J.P., and Botelho, M.L., Radiolytic degradation mechanism of gallic acid and its end-products. **Rapid Communications in Mass Spectrometry** 25, 218-222 (2011)
- [7] Tuner H, Bal M. O., and Polat M., Radiation sensitivity and EPR dosimetric potential of gallic acid and its esters, **Radiation Physics and Chemistry**, 107, 1, 115-120 (2015).
- [8] Tuner, H., EPR spectral investigation of radiation-induced radicals of gallic acid, submitted.

- [9] Weil, J.A., Bolton, J.R., and Wertz, J.E., Electron Paramagnetic Resonance, Elementary theory and applications, John Wiley & Sons, New York, p. 481 (1994)

# Mardin şehrindeki taştan yapılmış eserlerde görülen bozunmalar

Murat DAL<sup>1,\*</sup>, Ali Duran ÖCAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aktuluk kampüsü, Tunceli.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Antropología, Bogota, Kolombiya.

Geliş Tarihi (Received Date): 13.01.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 08.03.2017

## Özet

Tarih boyunca insanlar tarafından yapılarak kullanılmış tüm yapılar, doğa ve yine insan kaynaklı bir bozunma süreciyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu sürecin sonucu olarak ta tarihsel değerdeki birçok yapı, geri dönülmesi çok zor olan bozunma süreci nedeniyle bir kültürel-değer kaybına uğramaktadır. Mardin, tarihsel doku olarak ülkemizin en önemli şehirlerinden biri olarak, içerdiği yapıların da aynı akıbete uğrama olasılığının yüksek olmasından dolayı, araştırma konusu olarak seçilerek kentteki tarihi taş yapılarındaki bozunmalar incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, tarihsel değerdeki yapıların yıpranmasına dikkat çekilerek korunma önlemlerinin zaman kaybetmeden başlanmasını sağlamaktır. Araştırma sonucunda Mardin kentindeki tarihi taş eserlerde genel olarak mekanik bozulmaların yanında biyolojik bozunmalar ve hatalı restorasyon uygulamalarının yoğunlaştığı gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mardin, doğal yapı taşı, tarihsel yapı, bozunma, tahribat.

## Decay of stone elements in Mardin City buildings

### Abstract

All structures which were constructed and used by humans throughout the history were faced with a decay process caused by the nature and humans. As a consequence of this process, which is also very difficult to return, many historical structures undergoing a cultural depreciation due to the process of disintegration. Since Mardin is one of the most important cities of our country as a historical texture and the likelihood of the structures, it has been selected as a research theme and the degradation of historical buildings in the city has been examined. The purpose of this study is to draw

\* Murat DAL, teknikmurathoca@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5330-1868>

Ali Duran ÖCAL, adocal@unal.edu.co, <http://orcid.org/0000-0003-2283-640X>

attention to the degradation of the historical structures and to ensure that preventive measures are started without delay. As a result of the research, it has been observed that in the historical stone works in Mardin city, in addition to mechanical deterioration in general, biodegradation and erroneous restoration applications have been intensified. In this study.

**Keywords:** Mardin, natural construction stone, historical building, weathering, decay.

## 1. Giriş

Mardin ili, tarih öncesi dönemlerde önemli bir ticaret yollarından biri olması nedeniyle (İpek Yolu) yoğun iskânlar görecelik kültürlerarası ilişkilerin oluşmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu özelliğinden dolayı, farklı dini inanışlar paralelinde, kültürel ve sanatsal açıdan tarihsel değeri olan ve uluslararası kuruluşlarca kültür mirası kabul edilmiş çok sayıda kilise, manastır, cami, türbe, çeşme, hamam ve benzeri yapıları bünyesinde bulundurmaktadır. Nitekim bölgede Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Bölge Müdürlüğünce tescil edilmiş 600 den fazla bina mevcuttur (Şekil 1).



Şekil 1. Mardin ili ve ilçelerinin konumu

Kentin mimari dokusunun tam anlamıyla bölgesel bir merkez olarak 12. yüzyıldan itibaren Artuklular döneminde gelişip biçimlendiği söylenebilir. Bu tarihsel yapı, daha sonraları Akkoyunlu ve Osmanlı dönemlerinde fazla değişikliğe uğramamış, mahallelerin olağan gelişimi ve mesken ağırlıklı sivil mimarisinin yoğunlaşması dışında, genel olarak korunmuştur. Dünyanın Süryani merkezi olarak kabul edilen 5. yüzyılda inşa edilmiş olan Mardin Deyrulzafaran Manastırı; Akkoyunlular döneminde yapılmış olan Kayseriye Çarşısı; XVII. yüzyılda ortalarında inşa edilmiş olan Revaklı Çarşı; V. yüzyılda yapılmış olan Mor Behnam Kilisesi; XII. yüzyılda yapılmış olan Ulu Camii, Artukoğulları tarafından yapılmış olan Latifiye Camii, XV. yüzyılda yapılan Kasımiye Medresesi ile XIII. yüzyılın ilk yarısında kurulmuş olan Şehidiye Medresesi yöredeki çok sayıdaki tarihi yapılardan sadece bir kaç tanesini oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Mardin’deki tarihsel önemi büyük olan yapılardan Deyrulzafaran Manastırı (üst-sol), Ulu Camii (üst-sağ), Revaklı Çarşı (alt-sol); Mor Behnam Kilisesi (alt-orta) ile Kasımiye Medresesi (alt-sağ), yöredeki çok sayıdaki tarihi yapılardan sadece birkaç tanesini oluşturmaktadır.

Yöre, güneydeki çöl ikliminin (Basra Alçak Basıncı), etkisi altında iken, şehrin kuzeyindeki dağların serin hava kütlelerinin bölgeye girişini engellemesinden dolayı genel olarak karasal iklimin tipik özelliği görülür [1]. Oluşan yüksek basınç alanından dolayı, kış mevsimi soğuk geçerken, yaz aylarında güneyden gelen çöl iklimi etkisi altında olduğu için kurak geçer ve sıcaklığın özellikle temmuz ve ağustos aylarında en yüksek derecelere (40-45 °C) ulaştığı gözlenmiştir. Aşırı sıcakların neden olduğu “termik şok” lar özellikle taş eserlerde önce kılcal çatlaklara, sonra de kırılmalara neden olmaktadır. Kış mevsiminden yaz mevsimine geçişin birden bire olması bu termik şokların etkisini artırabilmektedir. Kış aylarında ise sıcaklığın -14 °C’lere kadar düştüğü gözlenmiştir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde bölgedeki bozkır bitkileri kurduğundan, çöllerden esen rüzgârlar bol miktarda toz taşırlar ve bu toz taşınımını engelleyecek orman örtüsü bulunmadığından il merkezinin ve diğer yerleşim birimlerinin havası saydam değildir. Ayrıca bu taşınan tozların yapı yüzeylerine çarparak aşınmaya yol açtığı da bazı binaların cephelerinde gözlenmektedir.

## 2. Materyal ve metot

Diyarbakır ve Urfa ile birlikte, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde konut mimarisini en iyi yansıtan yerlerin başında gelen Mardin’deki tarihi yapılarda yaygın olarak silis içeriği oldukça yüksek olan açık renkli beyazımsı sarı renkli kalker kökenli taşlar kullanılmıştır. Bölgedeki taş ocaklarından elde edilen ve kolay işlenen bu taşlardan yapılmış binalarda, herhangi bir sıva malzemesi kullanılmazken, duvarların örülme işleminde taş kırıntılarının kum haline getirilerek kireç ile karıştırılmasından oluşturulan harç ile duvarlar örülmüştür.

Bölgenin iklimi ve topoğrafyası, Mardin yapılarının inşasındaki en önemli etmenlerdir. Şehrin eğimli tomografik yapısından dolayı hemen tüm yapıların cephesi güneye doğru bakmaktadır. Yine aynı topoğrafik özellikten dolayı, şehirleşme, yatay düzlemde yayılma yerine, düşeyde katlı yapıların tercih edilmesine neden olmuştur.

Mardin kentindeki eski yapıların bozunma durumunun incelenmesi ve saptanması, önceki çalışmalarda edinilmiş normlara bağlı kalınarak geliştirilmiş ve bu fenomenolojik ayrışma kriterlerinin, eserler üzerindeki analizleri ve belgelenmesi yoluyla oluşturulmuştur [2- 4]. Uygulanan araştırma prosesinde iki aşamalı bir metodoloji kullanılmıştır. Çalışmanın ilk safhasında yapıların bulunduğu yerlere gidilerek gözlemler yapıp, detaylı fotoğraflar çekilerek geçici ayrışma durumu haritası oluşturulmuştur [5]. Araştırmanın ikinci ve son aşamasında ise oluşturulan geçici ayrışma durum haritasının değerlendirilerek [6] fotoğrafların da ayrıntılı incelenmesi ile yapıların ayrışma haritasıyla ilgili çalışmalar tamamlanmıştır.

### 3. Mardin eski yapılarındaki bozunma türleri

Doğal yapı taşları, dayanıklılığın ve sürekliliğin sembolü olarak bilinmekle beraber farklı kullanım alanlarına ve yerlerine bağlı olarak çevresel faktörlerin etkisiyle fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmaya uğrarlar [7-17]. Yapıtaşı olarak kullanılmış kayalardaki ayrışma, fiziksel etkiler nedeniyle gelişebileceği gibi taşı oluşturan mineraller arasındaki bağlayıcı maddelerin kimyasal etkenlerle bozunarak ortadan kalkması sonucu da oluşabileceği gözlenmiştir. Bu nedenle taşlardaki ayrışma, çoğunlukla birbirine ortam hazırlayan kimyasal ve fiziksel süreçler olarak iki kategoride gerçekleşir. Bunlara ek olarak havanın bileşimindeki gazlar ile su, isi ve organik maddeler de ayrışma sürecini hızlandıran faktörlerdir. Soğuk ve kurak bölgelerde fiziko-mekanik ayrışma ön planda iken, nemli ve sıcak bölgelerde ise kimyasal ayrışma ön plandadır ve bozunma hızı fiziksel sürece göre daha fazladır.

Mardin'in eski yapılarında da her iki süreç gözlenmektedir ve özellikle olumsuz meteorolojik koşullarının hava kirliliği ile birlikte hareket etmesi sonucunda, zamanla taş yapıların renginin değiştiği ve üzerlerinde bulunan bazı motiflerin aşınarak silikleştiği görülmektedir. Kentteki tarihsel yapıların bir çoğunda bitki ve mikroorganizmaların neden olduğu biyotik etmenler ile su, güneş ve rüzgârın neden olduğu abiyotik etmenlerin bozunmaya neden oldukları saptanmıştır. Yapılarda gözlenen bozunmalar genel olarak taştaki çatlak oluşumu, yüzeydeki materyal kaybı, taşlardaki renk değişimi ve yüzeydeki kirlilik ile bitkilerin neden olduğu Biyoalterasyon olarak sınıflandırılabilir. Taş yapısında oluşan çatlakları değişik formlarda ve boyutlarda görmek olasıdır.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma süreçleri birbirleriyle etkileşerek gelişirler. Fiziksel ayrışma süreci taşları daha küçük parçalara ayırarak, yüzey alanını artırır ve böylece kimyasal ayrışmaya zemin hazırlayarak hızlandırır. Aynı durum kimyasal ayrışmanın mineralleri güçsüzleştirerek fiziksel ayrışmaya yardımcı olması ile yinelenir. Biyolojik ayrışmanın elementleri bitki ve mikroorganizmalar ise kök uzatarak parçalama, bakteri ve asidik solüsyon üreterek çözüme v.b. gibi hareketlerle her türlü ayrışmayı hızlandırır.

Doğal etmenlerin yanında, antropojenik etmenler olarak adlandırılan ve insanların bilinçli ya da bilinçsiz olarak neden oldukları bozunma da Mardin’de yoğun olarak gözlenmiştir. Özellikle; bakımsızlık, terk, kasıtlı tahrip gibi eylemlerle Mardin’de bulunan anıtların ve tarihi yapıların zaman içerisinde bozunma sürecine girdikleri gözlenmektedir.

### 3.1. Fizikomekanik bozunmalar

Taşın iç yapısına ya da dış etkilere bağlı olarak, çeşitli derecelerde yüzey kayıplarına yol açan fizikomekanik bozunmalar sonucunda taş yüzeyi, su veya nemden dolayı, rüzgârın da yardımıyla ıslanma-kuruma gibi nedenlerle önce pürüzlü hale gelir ve ardından da zayıflamaya ve gevşemeye başlar. İleriki süreçlerde taş yüzeyi yıkandıkça çözünüp erimeye başlar ve aşınmaya devam eder. Yüzeyden materyal kaybı olarak adlandırılan bu ayrışma, taşın bir bölümünün, gerisinde meydana gelen çeşitli etkiler nedeniyle ana kütlede ayrılmıştır. Bu etkiler, taşın iç yapısında bir basınç oluşturarak, önce çatlaklara yol açar, ardından zayıflayan parçayı itmeye başlayarak taş özgün yüzeyinden 1-8 cm arasında materyal kaybetmesine neden olur.



Şekil 2. Sıcaklık değişimleri ve kimyasal ayrışma olayları sonucunda kaya kütlelerinin ince katlar şeklinde taşın yüzeyine paralel levhalar halinde ayrışması (üst-sol), dağılma şeklinde ayrışma (üst-sağ), granüler çözünme (alt-sol) ve alveolar ayrışma şeklindeki materyal kayıpları.



Mardin yapılarındaki yüzeyden materyal ayrılması, kabarma, tabakalaşma, soyulma ve kabuklaşma şeklinde kendini göstermektedir (Şekil 3). Bu türdeki bozunmada, taşta yüzeysel bir aşınma meydana geldiği ancak henüz taşın yapısal özelliğini bozacak derecede bir kayıp gerçekleşmediği görülmüştür.

Yüzeyden materyal kaybı, taşın kullanıldığı yere ve boyutlarına göre değiştiği, bazı durumlarda ise de bir yapısal hasar oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4). Genel olarak yüzey kaybının derinliği arttıkça hasarın derecesinin de arttığı; taşın boyutlarının giderek küçüldüğü gözlenmiştir. Bu sürecin sonucu olarak, taş kesitinin daralması sonucunda taşın zamanla işlevini yitirmeye başlaması sıklıkla görülen bir bozunma türüdür. Yapılarda, kapı ve pencerelerde kullanılan demirden yapılmış elemanların paslanarak genişlemesi sonucunda taşı patlatarak bazı parçaların zayıflayıp düşmesine neden olması bu tür bir bozunmaya en iyi örnektir.



Şekil 3. Mardin’deki bazı yapılarda, yüzeyden materyal kaybı kendini oldukça belirgin şekilde göstermektedir. Bazı yapılarda, taşın iç basıncından dolayı düzgün olmayan parça ayrılması olarak görülen “patlama” şeklindeki ayrışma sonucunda taşın özgün yapısını tümüyle kaybettiği ve binanın duvarlarında zayıflamaya neden olduğu gözlenmiştir.

Taş yüzeyinde, değişken şekil ve büyüklükte birbirine bağlı olarak gelişebilen boşluklar şeklinde oluşan alveoler ayrışma veya arı peteği şeklindeki ayrışma yine kentteki tarihsel yapılarda sıklıkla rastlanan bir ayrışma türü olarak gözlenmektedir (Şekil 5) ve büyük bir olasılıkla taşın fiziksel veya kimyasal özelliklerinin homojen olmayan düzensizlikleri nedeniyle oluşan bir ayrışma türüdür. Mardin yapılarındaki bu tür boşlukların boyutları genelde santimetre boyutunda kalmaktadır.



Şekil 4. Mardin'deki tarihi yapılarında gözlenen değişik form ve boyuttaki alveolar ayrışma örnekleri ile taşın içerdiği minerallerinin ayrışması yoluyla veya dış biyolojik etmenlerden dolayı, taşın orijinal renginin değişime uğraması sonucunda oluşan renk değişimi şeklinde bozunma (üst-sağ).

Alveolar bozunmanın bir alt grubu olan çukurlaşma veya oyuklanma (Şekil 6), birbirleriyle bağlantılı olmadan gelişen alveolar ayrışmadır. Taşların üzerinde yada aralarında görülebilen, boşluk ya da delik olarak ta bilinen bu ayrışma, çeşitli boyutlarda olabilir. Bir elemanın monte edilmesi amacıyla taş yüzeyinde açılarak daha sonra kapatılmamış olan bir delik, örgüyü oluşturan bir elemanın yerinden düşmesiyle oluşan boşluklar veya örgüde meydana gelen bir kesinti bu grupta ele alınabilir. Bu boşluklar, suyun rahatlıkla toplanabileceği yada bitkilerin gelişebileceği alanlar oldukları için sakıncalıdır. Boşluğun çevresindeki taşlar, hasar verici hava etkilerine açık ve daha korumasız hale gelirler; bu nedenle, diğer bozunma süreçlerini de hızlandırıcı etkisi vardır.

Özellikle fosilli ve taneli yapıda olan doğal taşlarda gözlenen bir bozulma türü olan oyuklanma, atmosfer etkileri nedeniyle iri tanelerin zayıflayarak yerinden çıkmasıdır. Böylece taş yüzeyinde gelişigüzel oyuklar meydana gelir. Oyuklar nedeniyle yüzeyin boşalması iki yönden zarar vericidir: Yüzey kaybı nedeniyle taşın kesiti küçülür. Ayrıca yüzey oyuklandığında bozunma alanı artmış olur, taşın yıpranması hızlanır.



Şekil 5. Bazı tarihsel önemi büyük olan yapılarda gözlenen oyuklanma şeklindeki bozunmaya örnekler.



Şekil 6. Mardin'deki tarihsel yapılarda gözlenen, taşta çeşitli nedenlerden dolayı oluşan (kılcal, tek çatlak veya çatlaklar sistemine örnekler.

Yapıtaşlarında, taşın orijinal yapısında bir eksilme söz konusu olmadan, taşın kendi yapısında oluşan değişimler sonucundaki çatlaklar oluşabilmektedir. Taşta, tozu ve nemi içine çekmesi sonucunda taş yüzeyini ve kesitini çaprazlamasına geçerek ince, kılcal çatlaklar oluşması yine bir ayrışma türü olarak nitelendirilmektedir. Mardin'deki yapıların hemen hepsinde gözlenen bu çatlaklar sistemini, bazen taş yapısını izleyerek bazen da taş yapısından tamamen bağımsız gelişerek eserlerde kırılmaya neden oldukları gözlenmiştir (Şekil 7). Bu çatlakların olasılıkla zeminin stabil olmayışı sonucunda yapının oturması veya kazı yapılması gibi mekanik nedenler ya da taşın gerisindeki bir metal elemanın paslanıp genişlemesi gibi baskı yapıcı etkiler sonucunda oluştuğu düşünülebilir.



Şekil 7. Birçok tarihsel yapıda gözlenen derz boşalmasıyla ilgili ayrışma türlerine örnekler.

Duvar örgüsünde kullanılan taşlar, çeşitli kalınlıklarda derz oluşturacak şekilde yerleştirilir ve harçla birleştirilirler. Derz harçları, özellikle yıkanma sonucunda zayıflayıp çözünerek taşlardan ayrılabilir. Bu durumda, taşların arasındaki derzlerde yer yer çeşitli derinliklerde boşluklar meydana gelir. Derz boşalması, aşların alt ve üst yüzeylerinin de açıkta kalması nedeniyle başka bozunmaları da hızlandırabilir. Mardin'deki birçok eski yapıda gözlenen derz boşalması (Şekil 8), daha sonra ikincil sorunlara temel oluşturmaktadır ki bunlar arasında en sık görüleni, boşluklarda meydana gelen bitkilenmedir.

Taş yüzeyinde, taşla ilgisi olmayan yabancı materyal birikimi olarak gözlenen ve genellikle hava kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkan, gri renkli ve yüzeyde ince bir tabaka halinde görülebilen oluşumlar olarak ortaya çıkan kirlenme yine Mardin'deki yapılarda, özellikle şehir merkezinde bulunan yapılarda önemli dış görünüş alterasyonuna neden olmaktadır (Şekil 9). Taş yüzeylerin yağmur suyu ile yıkanabilen bölümlerinde oluşan, genellikle ince, süreksiz ve yüzeysel kirlilikler, atmosferdeki çok yapışkan özellikleri olmayan toz, kül ve is partiküllerinin, homojen olmayan gri renkten siyaha varan renklerde taş yüzeyinde birikmesinin bir sonucudur. Taşın cinsine ve kirliliği oluşturan kaynağa bağlı olarak; kirin rengi, yapısı ve yüzeyle ilişkisi de değişir. Özellikle gözenekli yapıdaki doğal taşlarda oyuklarda biriken kirlilik, önemli ve temizliği zor bir bozunma şeklidir. Kirliliğin durumuna ve taşın cinsine göre, temizleme yöntemi de farklılaşmaktadır.



Şekil 8. Özellikle şehir merkezine yakın olan yapılarda sıklıkla görülen atmosferik kirlenme, yoğun şekilde kendini hissettirmektedir.

Her ne kadar ilin meteorolojik ve tomografik yapısı hava kirliliğinin yayılmasını engelleyecek özellikte olmasına karşın özellikle kent merkezinde yaygınlaşan hızlı nüfus artışıyla birlikte düzensiz kentleşmeye ek olarak kalitesiz yakıt tüketimi hava kirliliğine neden olmaktadır [1]. Kentte, hava kirliliğine neden olan etkenlerden birisi de motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. Artan nüfusa bağlı olan araç sayısının artışı, yapılarda gözlenen kirlenme ürünlerinin yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca şehirdeki en önemli sanayi kuruluşlarından olan Mardin Çimento Fabrikası ile Mardin Kireç Fabrikasından çevreye yayılan kirleticiler ve partiküller ildeki emisyon yükünün önemli iki bölümünü oluşturmaktadır. Çapları 0,3 – 0,6 mikron arasında değişen bu partiküller hava kirliliğinin en iyi bilinen etkisini tarihi bina cephelerinde göstermektedir.

### 3.2. Biyolojik bozunmalar

Biyolojik yerleşim (gelişme, kolonizasyon) adı altında değerlendirilen, yapıların yüzeyinde likenler ve yosun gibi mikroflora ile ot türündeki bitki gelişimi, Mardin yapılarında gözlenen diğer bir bozunma türüdür. Rüzgarla taşınarak duvar örgüsü içindeki ufak boşluklara, derz aralarına veya taşların içindeki boşluklara yerleşen tohumların, zaman içinde büyüyerek bitki haline gelmesidir. Bir biyolojik bozulma türü olan bitkilenme, duvarlarda, ya da çatı örtüsünde ortaya çıkabilir. Özellikle kullanılmayan yapılarda yoğunlukla gözlenen biyoaşınma, bazı durumlarda yalnızca yüzeyde büyüyen otlar halinde sararak ağaç şeklinde geliştiği de gözlenmiştir (Şekil 10). Bazı durumlarda, giderek büyüyen bitki köklerinin, çevresindeki taşlarda çatlak, parça kopması gibi başka bozunmalara da yol açtığı saptanmıştır.



Şekil 9. Mardin'deki artık kullanılmayan yapılarda çok rastlanan bitki yerleşimine ait örnekler.

Kara yosunları ve su yosunları (algleri) gruplarını kapsayan genel bir terim olan yosun oluşumu birçok eski yapıda gözlenmektedir. Mardin'de, yine birçok diğer kente sıklıkla görüldüğü gibi çoğunlukla temelden yükselen suyun ya da çevre koşullarının etkisiyle, duvarların zemine yakın bölgelerinde ve gölge alan bölümlerinde kolonileştikleri ve zamanla taş yüzeyinde çukurlaşmalara ve çatlaklara neden oldukları saptanmıştır. Yosunlar, ayrıca yüzeyi kaplayarak gerisindeki duvar örgüsünün nefes almasını engellediğinden ve sürekli neme sebep olduklarından, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarını hızlandırarak duvar yapıtaşlarını yıpratılabilmektedirler.



Şekil 10. Mardin'deki özellikle şehir içindeki yapılarda gözlenen yosunlaşmanın 1-2 milimetre arasında değiştiği gözlenmiştir. Yosunlar, ayrıca salgıladığı asidik enzimlerle taşı ayrıştırarak taş yüzeyi ile kendi gövdesi arasında ince bir toprak tabakası oluşturmaktadır.

### 3.3. İnsanların oluşturduğu bozunmalar

Tüm ülkede yaygın olarak rastlanan antropojenik etmenlerin başında, onarım amacıyla yapılan müdahaleler gelmektedir. Mardin'deki bir çok yapıda çimento ile yapılan dolgu, tamamlama gibi uygulamalar, taş yüzeylerin boyanması, sıvanması ya da kaplanması gibi restorasyon denemeleri gözlenmektedir (Şekil 12). Özellikle birçok yapıda gözlenen çimento kullanımının bir sonucu olarak orijinal malzemenin çatladığı görülmüştür. Çimentolu harç ile temas halinde olan taş yüzeylerinde, tuzlanma ve parçalanma gibi bozunmalara rastlanılmıştır. Yine buna bağlı olarak, çimentonun nefes alan bir malzeme olmaması nedeniyle kapladığı taş yüzeyinin kurummasını geciktirmesi sonucu taşın iç kesimlerinde oluşan bozunma ve ayrışmaların gerçekleşmiş olma olasılığı oldukça yüksektir.

Kasıtlı tahrip anlamına gelen vandalizm, günümüzde sosyal ve psikolojik bir sorun olup eski eserlerin bozunmaya uğramasındaki diğer bir etmendir. Mardin'in şehir içerisindeki hemen tüm yapılarında, yapı duvarlarını oluşturan taşların üzerine sonradan yapııştırılan çıkartmalar ve duyurular, metal hane numaralarının yanında grafiti uygulamaları sonucunda yapıların orijinal görüntüsüne zarar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 11. Restorasyon amacıyla taşın çatlamasından sonra kırılarak ayrılmasının engellenmesi için çatlak bölümün çimento ile doldurularak onarılması.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, taş yapıların ve eserlerin korunması üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarının değerlendirildiği çeşitli kaynaklardan yararlanılmış, koruma üzerine yapılan çalışmaların derlemelerinden, kitap ve benzeri kaynaklarda elde edilen veriler toplanarak, ilgili alanında önemli bilgiler sunulmuştur. Yayınlanmış çalışmaların sentez ve meta analizlerini de kapsayan eleştirel bir değerlendirme çalışması olmasının yanında, önceki araştırmaların bütünleştirilmesi ve değerlendirilmesi yoluyla problemlerin açıklanmasına yönelik gelişmeler sunulmuştur.

Her bozunma türünün gerektirdiği onarım yöntemi ve uygulama koşulları farklıdır. Bu nedenle, bozunmalar türlerine göre net ve doğru bir şekilde sınıflandırılabilirse, hasar verici etkilerin nasıl ortadan kaldırılacağı ya da azaltılacağı belirlenebilir. Bozunma türlerini sınıflandırırken uluslararası alanda kabul görmüş terimleri kullanmak çalışmaların ortak dilde olması için önemlidir.

Eserlerin bozunma nedenlerinin kaynağının araştırılarak saptanması, eski eserleri koruma ilkeleri açısından, konservasyon uygulamalarının seçimi ve kararı için en önemli ilk adımı oluşturmaktadır. Günümüze kadar yapılmış ya da hali hazırda devam eden birçok onarım çalışmalarında; özgün taşın özelliklerinin yeterince tanınmaması, bozunma türlerinin doğru tespit edilememesi, edilse dahi bozunma faktörlerinin belirlenememesi, hasara uygun koruma uygulamasının seçilememesi, yanlış malzeme seçimi gibi sayılabilecek daha birçok hata sonucunda tarihi yapıların görünüşünün zedelendiği ve yapının özgün ayrıntılarının yok olduğu literatürde sıkça şikayet konusu olmuştur. Bu tür sorunların önüne geçilebilmesi ve onarımların daha bilinçli



yapılabilmesine yönelik bir amaçla hazırlanan bu makale, aynı zamanda Mardin kentindeki tarihsel değerleri çok büyük olan taş eserlerin koruma uygulamalarında yararlanılabilecek bir kaynak oluşturmaktadır.

Başarılı bir koruma uygulamasının, başta taşın cinsine, daha sonra taşta görülen bozulmalara ve sağlamlaştırma için kullanılacak ürünlerin türüne, uygulama tekniğine, penetrasyon kabiliyetine ve durabilitesine bağlı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, taş eserlerin temizlenme, onarılma, sağlamlaştırma ve koruma aşamalarından sonra düzenli aralıklarla bakımlarının yapılması halinde eserlerin daha uzun süre yaşamaları sağlanabilmektedir. Böylece kültür mirasımız olan taş eserler gelecek nesillere kazandırılabilir.

## Kaynaklar

- [1] Mardin Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, **Çevre Durum Raporu**, Mardin, (2011).
- [2] ICOMOS-ISCS, 200ICOMOS-ISCS: **Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns**, Paris, (2008).
- [3] Fitzner, B., Heinrichs, K. & Kownatzki, R., Weathering forms at natural stone monuments –classification, mapping and evaluation. **International Journal for Restoration of Buildings and Monuments**, 3, 2, 105-124, (1997).
- [4] Öcal, A.D., Dal, M., **Doğal Taşlardaki Bozunmalar**, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul, (2012).
- [5] Fitzner, B., Documentation and evaluation of stone damage on monuments. - In Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. (ed.): **Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone**, Stockholm, ICOMOS, Sweden, 27 June - 2 July 2004, 2, 677-690, (2004).
- [6] Heinrichs, K., Diagnose der Verwitterungsschäden an den Felsmonumenten der antiken Stadt Petra/Jordanien.- Dissertation - RWTH Aachen, Aachener Geowissenschaftliche Beiträge, Band 41, Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen, (2005).
- [7] Price, D.G., Weathering and weathering process, **Quarterly Journal of Engineering Geology**, 28, 243-252, (1995).
- [8] Dal, M., Öcal, A.D., Investigations on Stone weathering of Ottoman Architecture: A Kırklareli Hizirbey Kulliyeye case study, **Paripex-Indian Journal of Research**, 2, 11, (2013).
- [9] Siegesmund, S., Auras, M., Snethlage, R. (eds.), Stein. **Zerfall und Konservierung**, Edition Leipzig, Leipzig, (2005).
- [10] Öcal, A. D., **Deterioration of Archaeological Environment in the Eastern Mediterranean**, Homer Yayınevi, İstanbul, (2000).
- [11] Küçükaya, A. G., **Taşların Bozulma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri**, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2004).
- [12] Dal, M., Irgas, C., Doğal taşlar üzerindeki biyolojik organizmaların alterasyondaki rolü, **Trakya University Journal Engineering Science**, 13, 1, 41-55, (2012).
- [13] Dal, M., Umaroğulları, G., A petrographic and chemical analysis of the degree of deformation in historical building stones in Edirne, **International Journal of Scientific Research**, 3, 3, 392-395, (2014).

- [14] Dal, M., Öcal, A. D., Limestone used in Islamic religious architecture from Istanbul and Turkish Thrace, **METU Journal of the Faculty of Architecture**, 30, 1, 29-44, (2013).
- [15] Dal, M., Dolomitics stones at historical buildings in Edirne, **2nd International Symposium on Architect Sinan-Spirit of the Place** Edirne, 13-14 April 2006, Trakya University, Congress&Cultural Center Edirne/TURKEY, 73-84, (2006).
- [16] Dal, M., Clay minerals and their effects at stones of Edirne historic building, **Trakya University Journal of Engineering Sciences**, 13, 1, 31-39, (2012).
- [17] Dal, M., Trakya bölgesi tarihi yapılarında kullanılan karbonatlı taşların bozunma nedenleri, **T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Vakıflar Dergisi**, 34, 2, 47-59, (2010).

# Kara mayınlarının tespiti için askeri eğitim simülasyonu tasarımı: Bir araştırma ve ön çalışma

Merve VAROL ARISOY<sup>1,\*</sup>, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE<sup>2</sup>, Ayhan ARISOY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Enformatik Bölümü, İstiklal kampüsü, Burdur.

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Batı kampüsü, Isparta.

<sup>3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Batı kampüsü, Isparta.

Geliş Tarihi (Recived Date): 23.01.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.05.2017

## Özet

Mayınların çeşitli donanımsal yapılara sahip olması ve farklı tiplerdeki üretiminin sürekli artması nedeniyle hem mayının saha içerisinde tespiti hem de farklı özellikteki bu mayınların temin edilerek askeri eğitimin verilmesi zorlaşmıştır. Bunun neticesinde, verilen mayın tarama eğitimleri teori düzeyinde kalmıştır.

Bu çalışmada mayın tarama eğitimini daha çok uygulamaya dönük bir hale getirebilmek için bir simülasyon geliştirilecektir. Simülasyonda kullanıcının istediği mayın tipini, araziye ve toprak koşulunu seçebileceği bir ortam yaratılacaktır. Aynı zamanda simülasyondaki sanal asker ile dışarıdaki gerçek askerin eş zamanlı olarak koordineli bir biçimde çalışması sağlanacaktır. Bunun için, gerçek askerin kullanacağı aygıt ile sanal askerin yönlendirmesi yapılacaktır. Bu çalışma ile askerlerin birçok mayın tipini tanıyabildiği yeterli bir pratik eğitim almaları amaçlanmaktadır. Bahsedilen simülasyon uygulamasını geliştirebilmek için, dünyada kullanılan mayın tarama cihaz ve yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, gerçekleştirilecek mayın tarama eğitim simülatörü yazılımının kapsamı anlatılarak, hedeflenen çıktılar ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Askeri amaçlı mayın arındırma, insani mayın temizleme, mayın tarama eğitimi, mayın temizleme yöntemleri, simülatör, sanal gerçeklik.

\* Merve VAROL ARISOY, mvarisoy@mehmetakif.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-2085-1964>  
Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, ecirkucuksille@sdu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-3293-9878>  
Ayhan ARISOY, ayhanarisoy@sdu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3353-7667>

## Military training simulation design for detection of landmines: A research and pre-study

### Abstract

*Because of the having various hardware structures of mines and increased production of different types, both retaining them in their field and by providing various types of these mines it has become difficult to give military training as a result of this, given mine detecting trainings remained at much theory level.*

*In this study in order to make this training more practically oriented a simulation will be developed. In simulation an environment will be created in which the user can select the type of mine, land and soil conditions that he wanted. At the same time, the simulated virtual soldier and the real soldier outside will work simultaneously in a coordinated manner. For this, the virtual soldier will be guided by the device that will be used by the real soldier. With this study it is aimed to obtain an adequate practical training that soldiers could recognize the many mine type. In order to improve the mentioned simulation application, information about mine detection devices and methods used in the world is given. In addition by describing the scope of the training simulator software, the targeted outputs have been revealed.*

**Keywords:** *Demining methods, humanitarian demining, military mine removal, minesweeper education, simulator, virtual reality.*

### 1. Giriş

Mayın üretiminin gittikçe kolaylaşması ve etki gücü yüksek bir savunma silahı olması, mayın kullanımını yaygın bir hale getirmiştir. Mayınları coğrafi bir bölgeye yerleştirmek, onları tespit edip sonra da imha etmeye göre daha az uğraş gerektirir. Çünkü günümüzde mayınların plastik, ağaç gibi malzemelerden imal edilmesi ayrıca ateşleyicisindeki iğnesi dışında başka bir metal bir parça ihtiva etmemesi, onların tespitini zorlaştırmaktadır [1]. Mayın tarama ve tespit etme askeri ve insani açıdan ele alınmıştır. Askeri amaçlı olana mayın temizleme, insani amaçla yapılan ise mayın arındırma denilmektedir. Askeri ve insani amaçla yapılan mayın temizleme işi birbirlerinden farklı şekillerde ilerlemektedir. Askeri amaçlı olanda hız önemli bir faktördür. Çünkü mayınlı arazide askerin hızlı bir biçimde ilerlemesi gerekir ayrıca bu temizleme işi, ateş altında iken yapıyor olabilir [2]. Bununla birlikte askeri amaçlı yapılan mayın temizlemede arazinin tümü mayından arındırılmaz sadece gidiş güzergâhı üstünde bulunan mayınlar temizlenir. Fakat insani amaçlı yapılan mayın arındırmada söz konusu tüm sahanın temizlenmesi ve orada yerleşimin tekrar güvence altına alınması gerekir [3].

#### **1.1. Askeri amaçlı mayın temizleme**

Askeri amaçlı mayın temizlemede bugüne kadar mekanik mayın temizleme, yoğun top ateşine tutma, araziye yakma, Bangalor torpidosu, roketle fırlatılan infilaklı fitille mayın tarlasından geçit açma sistemi gibi yöntemler kullanılmıştır [2].

Mekanik mayın temizleme yöntemi, yeke sistemlerini, mayın silindirlerini, mekanik kazıyı, mayın temizleme pulluğu kullanımını içerir. Son zamanlarda kullanılan gelişmiş mekanik temizleme yöntemleri uzaktan kumandalı sistemleri de kapsar. Her ne kadar mekanik temizleme sistemleri başta askeri amaçlı geliştirilmiş olsa da insani amaçla yapılan mayın temizleme işinde de kullanılmaktadır [3]. Yoğun top ateşine tutma yönteminde, arazinin seçili tüm bölümleri hava bombardımanına tutularak bir ilerleme kaydedilmektedir. Bu yöntemde büyük çaplı arazilerde temizleme gerçekleştirilir [4]. Bangalor torpidosu yöntemi, birbirine bağlı birkaç adet boru içine patlayıcının yerleştirilmesi prensibine dayanır [5]. Roketle fırlatılan infilaklı fitille mayın tarlasından geçit açma sistemi de Bangalor torpidosu yöntemine benzer. Burada da mayın tarlası üzerinde gedik açıp bu gediklere boruların yerleştirilmesi ve boruların içine de patlayıcı malzemelerin konması söz konusudur [6].

### **1.2. İnsani amaçlı yapılan mayın temizleme**

İnsani amaçlı yapılan mayın temizlemede ise başlıca olarak, mayın dedektörü ya da mayın çubuğu kullanılarak manuel algılama, mayın tarama köpeklerinden ve farelerden yararlanma, zırhlı araçları kullanarak mekanik temizleme, teleopere ve otonom araçların kullanımı gibi yöntemlerden faydalanılmaktadır [2].

İnsani amaçlı yapılan mayın temizleme yöntemlerinden olan mayın dedektörü ya da mayın çubuğu kullanılarak manuel algılama, %99,6'lık bir mayın temizleme başarısı oranına sahiptir. Bu yöntemin temel işlevi mayını algılama ve konumunu tespit etmektir. Edinilen bu veriler de imhanın daha sonraki aşamalarında kullanılmaktadır. Bu yöntem mayın tespitinde ve imhasında etkilidir fakat yavaş bir sistemdir. Yöntemi yavaşlatan etken de, toprak üzerindeki herhangi bir madeni cisimde bile dedektörün alarm vermesidir. Ayrıca bu konuda eğitilmiş yoğun insan gücünü gerektirmektedir [7].

İnsani amaçlı yapılan mayın temizleme probleminin çözümünde hayvanlardan da yararlanılır. Hayvanların bir insana oranla çok daha az bir ağırlığa sahip olmaları nedeniyle üzerinde buldukları bir mayını patlatmalarının düşük bir olasılık olması, yöntemi tercih edilebilir kılmıştır [8]. Hayvanların kullanıldığı tarama faaliyetlerinin detayları ve başarı oranları 2.1.2'deki başlıkta verilmektedir.

Zırhlı araçları kullanarak yapılan mekanik temizleme, dümen sisteminin, mayın silindirlerinin, mekanik kazının, mayın pulluğunun ve mayın yarıklarının kullanımını içerir. Dedektör ihtiva etmezler. Mekanik temizleme sistemlerinin avantajı kısa sürede büyük çapta araziye temizleyebilmesidir. Fakat bu sistem de %100 bir temizleme başarısına sahip değildir ve manuel algılama yöntemleriyle desteklenmelidir [7]. ELADIN [9] isimli proje mekanik temizleme sistemlerine bir örnektir. Ayrıca yüksek basınçlı su kullanılarak mayınları tespit etme ve onları etkisizleştirme üzerine çalışmalar da yapılmıştır [10].

Mayın tarama probleminde teleopere araçlar da kullanılmaktadır. Bu araçlarda bir robot insanın yerini alır ve operatör uzaktan, video kameraları kullanarak aracı kontrol edebilir. Tehlikeli cismin konumunun az çok bilindiği operasyonlarda kullanılmaktadır [11]. Şekil 1'de teleopere bir araç gösterilmektedir.

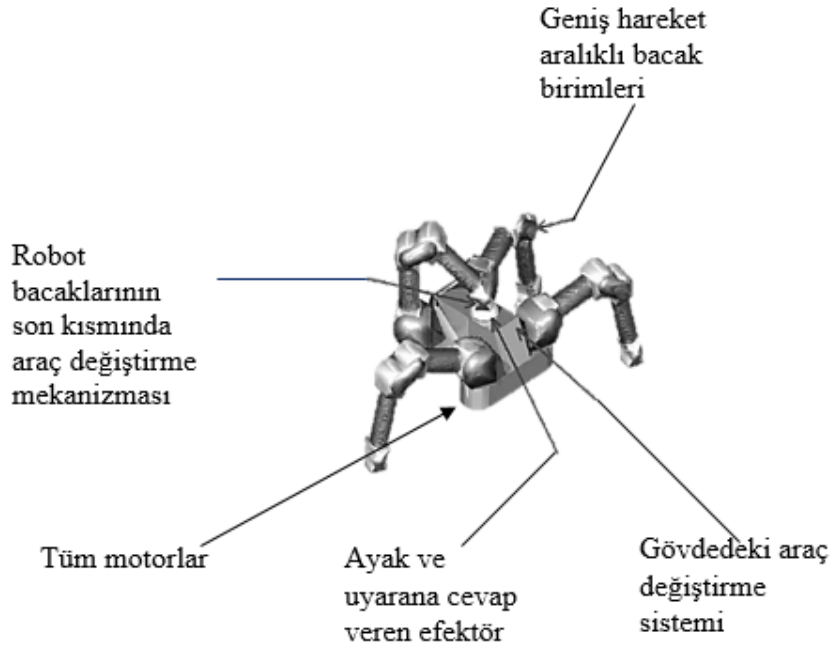


Şekil 1. Uzaktan kontrol edilen bir robot ve kumanda paneli [11].

Yarı otonom mayın tarama robotunun bir versiyonu da Ishikawa et al. 'un çalışmalarında verilmiştir [12]. Yarı otonom robotların kullanıldığı Şekil 2'deki çalışmada, robotik araçların üzerine monte edilen GPR sisteminden faydalanılmıştır. GPR sistemini elektromanyetik indüksiyon (EMI) sensörleri ve metal dedektörleri birleştirerek geliştirmişlerdir. Bu robotu kullanan operatörler yeraltı görüntü resimlerine bakarak resimdeki bir gölgenin gerçek bir mayın olup olmadığını değerlendirmektedirler [11].



Şekil 2. Geliştirilmiş bir mayın tarayıcı [12].



Şekil 3. TITAN-IX robotu [13].

Otonom bir robotun kullanıldığı Şekil 3'deki çalışmada geleneksel yürüyüş yapan robotun aksine 4 bacaklı yürüyebilen ve bir idareci tarafından yönlendiriliyormuş gibi bacaklarını kullanabilen TITAN-IX mayın tarama robotu tasarlanmıştır. Daha geniş alanlarda arama yapmayı sağlayan bu robotun farklı mayın temizleme görevlerinde kullanılmak üzere çeşitli araçları bulunmaktadır [11].

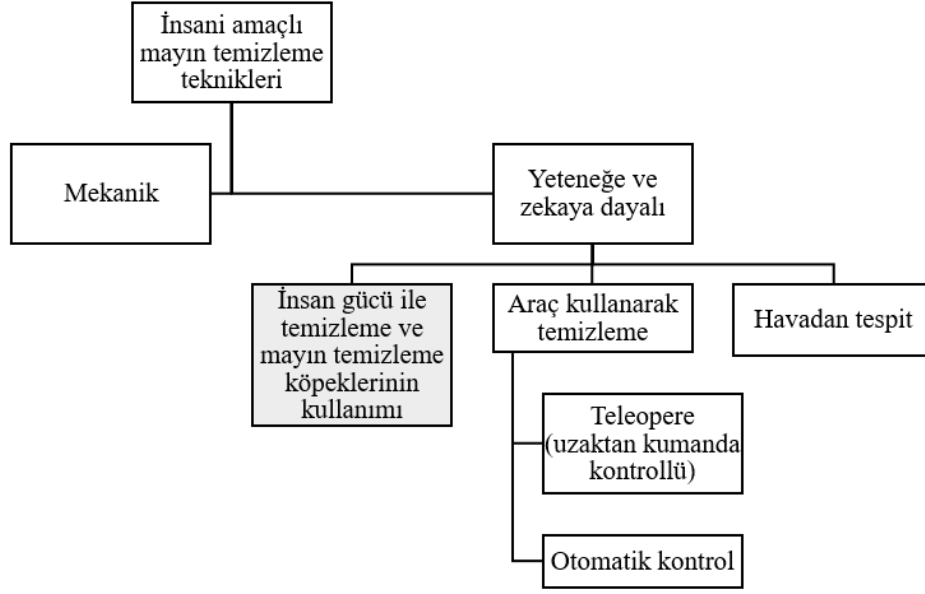
İnsani amaçla mayın temizlemede kullanılan bir diğer robot Gonzalez et al 'un çalışmalarında verilmiştir [15].BSA (Backtracking Spiral Algorithm) adını verdikleri yeni bir çevrimiçi kapsama algoritmasından bahsetmişlerdir. Ayrıca Gonzalez ve Gerlein çalışmalarında BSA algoritmasının geliştirilmiş halini sunmuşlardır [20]. Çok etmenli bir yaklaşımı temel alan ve robotun izleyeceği yolun kapsanmasını sağlayan çoklu robot platformu önermişlerdir. BSA-CM isimli bir robotun izleyeceği yolun kapsamının belirlenmesi üzerine bir algoritma geliştirmişlerdir.



Şekil 4.Finder robotunun son montajlanmış hali [14].

Şekil 4'deki çalışmada bir mayın temizleme robotunun izlediği yolun planlanması üzerine sensör tabanlı bir algoritmadan bahsetmişlerdir. Ayrıca daha hızlı yol planlaması adına yapılmış askeri nitelikli çalışmalar da mevcuttur [16, 17]. Kara mayının tespiti için kartezyen platformu da önerilmiştir. Bu çalışmada robot mayın araması yaparken mayın temizleme sensörlerinin pozisyonunu düzenleyebilmektedir [18, 19].İnsani amaçla yapılan mayın tarama probleminin çözümünde hava kökenli yöntemler de bulunmaktadır [21, 22].

Şekil5'de insani amaçla yapılan mayın temizleme yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemlerden gri renkle belirtilen en çok kullanılan yöntemlerdir.



Şekil 5. İnsani amaçlı mayın temizlemede kullanılan yaklaşımlar [11].

## 2. Patlayıcı algılama metotları

### 2.1. Patlayıcı izi algılama

#### 2.1.1. Kimyasal metotlar

Kütle spektrometresi metodunda, hava numunesi iyonize edilmek amacıyla bir vakum odasına sokulur. İyon hareketliliği spektrometresi metodunda, patlayıcı moleküllerinin bir reaktör içerisinde iyonize edilmesiyle oluşturulur. Daha sonra bu iyonlar hızlandırılır ve kütle/yük oranlarına göre ayrıştırılır. Patlayıcı olmayan maddeler tarafından uyarılıp yanlış alarm verebildiği için hassasiyet derecesi düşük olan bir yöntemdir [23]. Kızılötesi emilim spektroskopisi metodu, moleküler titreşimlerin kızılötesi spektrumunda karakteristik frekanslarının olduğu gerçeğini benimser [23, 24]. Opto akustik spektroskopi metodu, moleküller tarafından emilen optik enerjinin gevşeme işlemleri vasıtasıyla kısmen ısı enerjisine dönüştüğü gerçeğini benimser [24, 25]. Raman saçılması yönteminde, ışığın moleküller veya atomlar tarafından esnek olmayan partiküllerinin saçılması söz konusudur. Bu yöntemin mayın tarama uygulamaları için hassasiyet derecesi düşüktür [24, 26]. Elektronik koku algılayıcılar yönteminde birçok sensörün örüntü tanıma algoritmalarıyla birleştirilmesiyle yapay bir koku alma sistemi oluşturulur [24]. İmmuno-kimyasal sensörler yöntemi, immuno-analizlerin hedef analit ile belirli bir antikor arasındaki reaksiyonunu algılaması üzerine kuruludur [27]. Bu yöntemde türler antijen-antikor reaksiyonuna göre yüksek seçicilikle tanımlanır. Taşınabilir fiberoptik bio sensörler patlayıcı maddeleri tanımlamak için fiber optik problara immünoanaliz uygularlar [28]. Analiz edilmiş bio sensörler TNT ve RDX gibi patlayıcıları belirli bir miktarda tespit edebilmektedirler [29]. Miktar tespiti renk değişimini gözlemleyerek ya da radyoaktivite veya flüoresanı ölçerek yapılmaktadır [55]. Elektronik koku alma yöntemlerinde çapraz reaktif sensör dizileri örüntü tanıma algoritmalarıyla birlikte kullanılarak güçlü bir koku ayırma sistemi oluşturulmaya çalışılmaktadır [30]. Bu yöntemde floresan polimer, optik fiber, polimer filmler, altın nano tanecikler, basınçsal elektrikli materyaller, mikro elektromekanik sistemler gibi sensörlerden yararlanılmıştır [31].



### **2.1.2. Biyolojik metotlar**

Biyolojik metotlarda, bal arıları [32], dev Afrika sıçanları [33], mayından sızan nitrous oxide'e tepki olarak rengi kırmızıya dönen hardal bitkisi [34], TNT'nin bulunduğu ortamlarda ultraviyole ışık altında genetik olarak üretilmiş bioreporter bakterisi [35], gibi hayvanların ve bitkilerin kullanımı söz konusudur [2].

Arılar, gıda ile patlayıcı kokusunu ilişkilendirmek için eğitilmişlerdir. Patlayıcı algılamada, arıların takip edilmesinin zorluğundan dolayı kullanımlarının sınırlı olduğu [36]'deki çalışmada belirtilmiştir.

Koku algılayarak mayın tespit etmede köpeklerden yararlanılmıştır. Mayının içindeki patlayıcının kokusunun bu iş için eğitilmiş köpeklerce algılanmasıyla mayının yeri tespit edilmektedir. Yöntemin etkinliği köpeklerin yorulma ve dikkat faktörlerine bağlıdır. Bu yüzden sistemin güvenilirliği düşüktür [7].

Deyholos ve ark. Arabidopsis Thaliana isimli bir bitkinin patlayıcıdan çıkan azot dioksit ile etkileşime geçtiğinde rengini değiştirdiği belirlenmiştir [37]. Fakat bu bitkiyi kullanarak algılama bazı problemleri de açığa çıkarmaktadır. Çünkü bazı bakteriler de azot dioksiti açığa çıkarmaktadır. Bu da yanlış algılamalar doğurabilmektedir [38].

## **2.2. Toplu patlayıcı algılama**

### **2.2.1. Nötron analiz yöntemleri**

Bu yöntemin termal, hızlı, darbeli hızlı, darbeli hızlı termal nötron analizi şeklinde alt başlıkları bulunmaktadır. Termal nötron analizi yönteminde, nötronlar bir çekirdek tarafından emildiğinde gama ışınları o çekirdeğe özgü bir enerji ile yayılır. Seçiciliği düşük, yanlış alarm oranı fazla hantal bir teknolojidir [39]. Hızlı nötron analizi yöntemi gama radyasyonunu algılamak için geliştirilmiştir. Bu yöntem patlayıcı içindeki tüm elementleri seçebilme özelliğine sahiptir fakat dezavantajlı yani pahalı ve kompleks bir yapıda olmasıdır [40]. Darbeli hızlı nötron analizi yönteminde patlayıcının bileşiminin tanınmasına ayrıca mekânsal bilgisinin ve yoğunluğunun da alınmasına olanak sağlanır. Darbeli hızlı termal nötron analizi yönteminde nötronların uzun ömürlü ışınları uygulanır. Yüksek güvenilirlikli ve mobil yapıya sahip bir yöntem olması avantajlarındandır. Fakat mayınlardaki patlayıcının alt kilogram miktarlarını algılamada yetersiz kalmaktadır [41].

### **2.2.2. Nükleer dört kutuplu rezonans (NQR)**

Bu metotta patlayıcı içindeki azot çekirdeklerini uyaran radyo frekansı darbeleri gönderilir. Her bir patlayıcıdan elde edilen spektrum tek olduğu için algılama çok hassastır ve yanlış alarm oranı düşüktür [24]. Yöntemin eksi tarafı düşük sinyal/gürültü oranıdır (SNR) [42]. Ayrıca radyo frekansı parazitlerinden ve sıcaklıktan etkilenmektedir [43].

## **3. Mayın gövdesi algılama**

### **3.1. Elektromanyetik metotlar**

#### **3.1.1. Yer radarı (GPR)**

Geleneksel metal dedektörlerinin çalışma frekans aralığı 10–100 kHz dir. Bu değer GPR için 1 GHz dir. Bu sayede plastik veya tahta kullanılarak imal edilmiş mayınlar bile algılanabilmektedir. Yöntemin eksi yanı ise toprak yüzeyinde meydana gelen nem

değişimlerinden ve toprak üzerindeki yabancı nesnelere (ağaç, taş gibi) etkilenmesidir [2].

### **3.1.2. Çift sensör teknolojisi**

Çift sensör yönteminde GPR ve metal dedektör teknolojisi tek bir cihazda birleştirilmiştir [2].

### **3.1.3. Metal dedektörleri**

Mayın tarama probleminin çözümünde kullanılan bir diğer yöntem metal dedektörleridir. Bu dedektörlerin çalışma prensibi, dedektörün arama başındaki bobinlerle manyetik alan oluşturulup bu alanın metal cisimlere çarpmasıyla oluşan kaçak akımların sinyal haline dönüştürülerek operatörün kulaklığına ses olarak ulaşması biçimindedir. Yalnız, askeri harekât yapılmış ya da bombalanmış alanlarda toprakta mayın dışında birçok madeni parçanın bulunması ve bunların da yalnızca ses sinyali ile algılanması mayın tespitinde hataya sebep olmaktadır. Çünkü böyle bir arazide arama yapan personele çok sayıda ikaz sinyali gelmektedir ve gerçekte mayın kaynaklı olan ikaz sinyaller bile mayın dışı bir madeni parçadan kaynaklı olarak düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak da o alanda olmadığı kabul edilen mayınların ileriki bir zamanda patlaması kaçınılmazdır [1].

Özellikle tahrip edici anti-personel mayınlarının son zamanlarda tek madeni parçası olan ateşleme iğnesi de sert plastikten yapılmaya başlanmıştır. Mayını tespit için mayın içindeki bu yegane madeni parça da kaldırıldığından mevcut mayın dedektörleri ile bu mayınların tespiti artık tamamıyla imkansız hale gelmiş ve eldeki kısmen güvenilir metal dedektör sistemi de kullanılamaz hale gelmiştir [1].

### **3.1.4. X-Işını geri yansımaları**

Bu yöntem, gömülü basınç levhalarını saptamak için kullanılmaktadır [44]. X-ray üreticinin boyutu ve ağırlığı nedeniyle taşınabilir bir yöntem değildir. Ayrıca toprağa yeterli miktarda nüfuz edebilmek için güç gereksinimi vardır [45].

### **3.1.5. Elektriksel empedans tomografisi yöntemi (EIT)**

Bu yöntemde yeraltının iletkenlik haritasını oluşturmak amacıyla toprağa yerleştirilen 2 boyutlu elektrot dizilerinden faydalanılır. Elde edilen iletkenlik görüntüleri kara mayını gibi anormallikleri tanımlamak için kullanılır. Bu teknoloji özellikle ıslak toprak üzerinde çalışmaya uygundur. Çünkü zeminin ıslak olması iletkenliği arttırmaktadır. EIT sensör başlıkları oldukça az bir maliyete tek kullanımlık olarak yapılmaktadır ve uzaktan toprağa yerleştirilebilmektedir. Bu teknoloji kuru toprak için elverişli değildir ve elektriksel gürültüden etkilenmektedir [46]. Ayrıca bu yöntemin çözünürlüğü GPR yönteminin çözünürlüğüne ulaşmamaktadır [42].

## **3.2. Mekanik metotlar**

### **3.2.1. Sismik-akustik teknikler**

Sesinya da sismik dalgaların bir kara mayınına çarpması sonucu mayından yansıyan dalgaların toprak yüzeyinde titreşimler oluşturmasına dayanmaktadır [24]. Chi et al. 'un çalışmalarında da bu tekniğin yanlış alarm oranının düşük olduğu belirtilmiştir [47].

### **3.2.2. Ses üstü dalga yöntemi**

Bu yöntemde, yayılan ses üstü dalgalar farklı akustik özelliklere sahip materyaller arasında yansıtılmaktadır. Yöntemin, ıslak zeminlerde toprağa iyi nüfuz ettiği

belirtirken aynı zamanda hava ile yer arasındaki yüzeyde sorunlarla karşılaştığı da bildirilmiştir [38].

### **3.2.3. Prodding (çivili sopa) yöntemi**

25 cm uzunluğuna bir sopa ile yer yüzeyinde küçük bir açı oluşturarak toprakta mayın olup olmadığını garantilemek adına uygulanan bir yöntemdir [64]. Oldukça yavaşır ayrıca araştırma esnasında mayınlar sopa tarafından infilak ettirilebileceğinden dolayı tehlikeli bir yöntemdir [45].

## **4. Kızılötesi ve hiperspektral algılama**

Kızılötesi ve hiperspektral algılama, kara mayınından yansıtılan veya mayın tarafından emilen elektromanyetik radyasyonun düzensiz varyasyonlarının tespitine dayanmaktadır [24].

### **4.1. Milimetre dalga radarı (MMWR)**

Bu teknik, milimetrik dalga bandında toprağın yüksek yayılım ve düşük yansıtım yaptığı gerçeğine dayanmaktadır. Metaller ise bunun tam tersi bir yapıya sahiptir [43]. MMWR tekniğinin metal cisimlerin tespiti için iyi bir teknik olduğu fakat plastik içerikli cisimleri bulmada o kadar verimli olmadığı Cardona et al. 'un çalışmalarında belirtilmiştir [24].

### **4.2. Kızılötesi kameralar (IR)**

Termal bir algılama yöntemi olan IR kameralar, mayına yakın alanlardaki günlük sıcaklık değişimleriyle mayını çevreleyen alanlardaki sıcaklık değişiminin birbirinden farklı olduğu gerçeğine dayandırılmaktadır [44]. IR kameraların verimliliği, hava koşulları, kara mayının boyutu ve içeriği gibi farklı faktörler tarafından etkilenmektedir. Derinlerde gömülü cisimleri tespit etmede çok etkili değildir ve bireysel mayınlardan ziyade mayınlı alanların tespiti için daha uygun bir yöntemdir [38].

### **4.3. Lazer kaynaklı arıza spektroskopisi (LIBS)**

LIBS yöntemi, materyali atomlarına ve iyonlarına ayrıştırarak yüksek sıcaklıkta mikro plazma üretmek için yüksek yoğunluklu lazer kullanmaktadır. Elektron iyon çarpışmaları sürekli bir spektrum üretmektedir. Bu spektrumun analizi de element tanımlamayı mümkün kılmaktadır. Bu yöntem anti-personel ve anti-tank mayın gövdelerinin tespitinde kullanılmaktadır [45]. LIBS yönteminin bir probun geliştirilmesine de öncülük ettiği Church et al. 'un çalışmalarında belirtilmiştir [46].

### **4.4. Görünür ışık**

Bu yöntem görüntüleme için optik bir sistem kullanarak görünür dalga aralığında ışığın tutulması prensibine dayanır [47]. Yöntemin dezavantajı, bitki örtüsünün olduğu alanlarda yeşillikler tarafından engellenmesidir. Bu yüzden bitki örtüsünün seyrek olduğu düz alanlarda tercih edilir [38]. Yüzeye yayılmış mayınlara için daha elverişli bir yöntemdir [24].

### **4.5. Optik ışık algılama ve uzaklık ölçümü (LIDAR)**

Bu yöntemde doğrusal polarize bir ışıkla nesne aydınlatıldıktan sonra geri saçılan ışıktaki polarizasyon değişiklikleri ölçülmektedir [24]. Hedef nesnelere saçılan polarizasyon değerine göre bir hesaplama yapılarak nesne ayırımına gidilmektedir. Chi

et al.'un çalışmalarında da lazer polarimetrik görüntülemenin geleneksel yoğunluk görüntüleme yöntemine kıyasla kamufle edilmiş cisimleri tespit etmede daha başarılı sonuçlar verdiğiinden bahsedilmiştir [47].Yöntemin eksik tarafı ise yeraltı görüntüleme yeteneğine sahip olmaması ve bitki örtüsünün olduğu arazilerde istenilen kararlılıkta çalışmamasıdır [24].

## 5. Mayın taramada sensör kullanımı

Sensörler, otomatik mayın temizleme sistemleridir [11]. Sensörlerin mayın temizleme probleminin çözümü alanında kullanımı yaygındır ve bunları kullanılarak yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [48].Otomatik bir mayın temizleme sisteminde görüntüleme sensörleri ve örüntü tanıma teknikleri kullanılmaktadır [49]. Fakat toprağa yerleştirildikten sonra üzerinden uzun zaman geçmiş mayınları yalnızca görüntüleme sensörlerini kullanarak tespit etmek zordur. Çünkü zaman içerisinde toprağın yapısında değişimler olması ve toprağın bitki örtüsüyle kaplanması kaçınılmazdır. Bu yüzden geliştirilen sensörler de yer altını ve tahribat almamış cisimleri algılama özelliğine sahip olmalıdır. Öte yandan her bir mayın tipinin kendine has karakteristiği vardır ve farklı içerikli bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin tümünü tespit edebilen bir sensör sistemi bulunmamaktadır. Onun yerine bir mayını oluşturan bileşenleri birbirinden bağımsız algılamak daha olasıdır [11].

Bir diğer sensör tabanlı teknoloji ise termal radyasyonun ölçülmesine dayanmaktadır. Bu amaç için pasif mikrodalga radyometreleri ve kızılötesi kameralar (IR) kullanılmaktadır. IR kameraları, pasif mikrodalga radyometrelerine göre daha yaygın bir kullanıma sahiptir. Çünkü bu kameralar büyük bir tarama alanında daha çabuk sonuç vermektedirler [11].

Ölçülen radyasyon değerinden bir objenin sıcaklığı çıkarılabilmektedir ve toprağın sıcaklığından farklı bir sıcaklık değeri varsa o objenin mayın olabileceği ile ilgili kısmen bilgi vermektedir. Fakat yalnızca sıcaklık parametresi o cismin mayın olup olmadığını algılamak için yeterli değildir. Bu yüzden termal görüntülerdeki dairesel alanlar bilgisayar aracılığıyla analiz edilmelidir [11]. Messelink et al. ve Cremer et al. çalışmalarında dairelerin analizi için Hough transform ve Tophat filtresi [50, 51], Frigui et al. çalışmalarında ise matematiksel morfoloji kullanılmıştır [52]. Ayrıca bu çalışmalarda kullanılan yaklaşımların biraz değiştirilmiş hali Roughan et al. 'un çalışmalarında verilmiştir [53]. IR sensörler kullanılarak alınan termal görüntülerin analiz edilerek bir cismin mayın olup olmadığına karar verilmesi sırasında ortamda bulunan mayın dışındaki nesnelere (çimen vb.) tarama sonuçlarına olumsuz etki edebilmektedir. Bu nesnelere kara mayınlarından ayırt etmek için sanal görüntüleme bilgileri gereklidir [11]. Jarrad veMcMichael'in çalışmalarında topraktaki mayın dışı nesnelere ayırmakla ilgili ek özelliklerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir [54].

Sensörler kullanılarak yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde genel yargı tüm mayın tiplerini her türlü hava koşulu altında tanıyabilen bir teknolojinin olmadığı yönündendir. Bu yüzden her bir sensörün kendine ait sınırlamalarının önüne geçebilmek için çoklu sensör kullanılması gerekmektedir [42, 55].

Sensör füzyon metodu çoklu sensör teknolojisine bir örnektir. Bu yöntemde GPR ve metal dedektörleri ve bazı durumlarda IR sensörlerinin kullanımı birleştirilmiştir [56].

Diğer bir algılama yöntemi de fizikokimyasal yöntemlerdir. Toprağa sızan patlayıcıyı tanımlayabilmek için kütle spektrometresi ve nükleer kuadropol rezonans gibi spektroskopik analizlere dayandırılmaktadır [57, 58]. Fakat bu teknolojiler pahalı ve yavaştır. O yüzden mayın tarama probleminin çözümünde ek algılama seçeneği olarak görülmektedir [11].

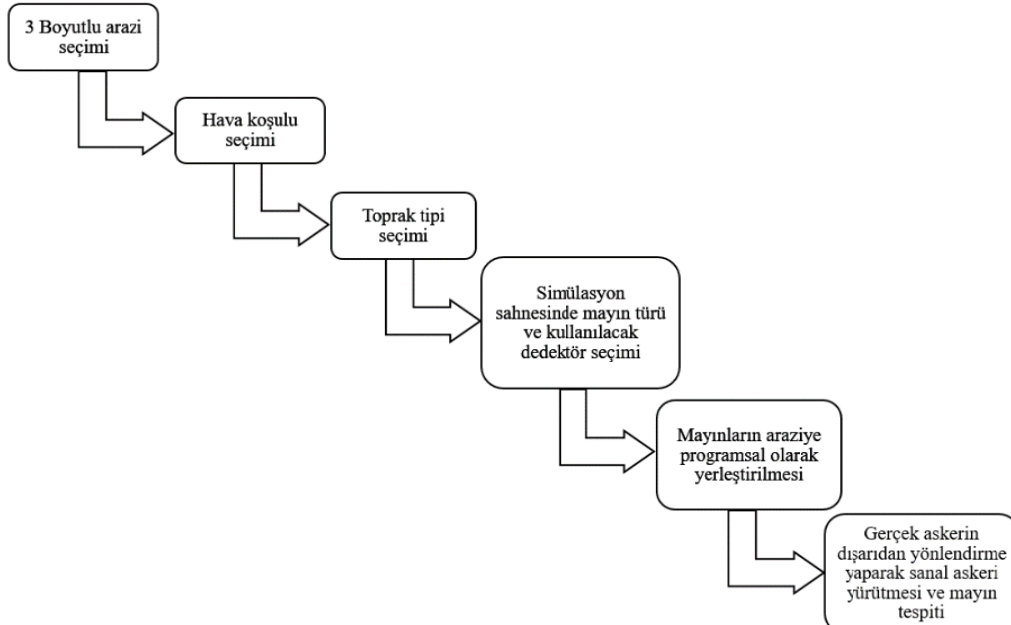
## 6. Sistemin aşamaları

Mayın tarama problemi ile ilgili yapılmış çalışmalar değerlendirildiğinde, bu işin daha çok metal dedektörlerle ya da dümen, parçalayıcı gibi cihazlarla donatılmış zırhlı araçları kullanarak mekanik temizleme şeklinde yapılmakta olduğu görülür [2]. Ayrıca yapılan bazı çalışmaların başarılı olduğu da bildirilmiştir [59]. Ancak bu güne kadar gerçekleştirilen bu çalışmalar mayınları tarama ve imha etmeye odaklanmıştır. Fakat bu tarama sürecinin askerlere eğitilmesi üzerine olan bir çalışma ile karşılaşmamıştır. Bu noktadan hareketle, soruna mayınları hangi yöntemi ve teknolojiyi kullanarak yok edebiliriz sorgulaması yerine mayınların tespit edilme sürecini, eğitim esnasında askerleri araziye taşımadan aynı zamanda yaşanacak kazaları da bertaraf ederek askerlere güvenli bir eğitim deneyimini gerçekmiş gibi yaşatabilmeyi ne şekilde sağlayabiliriz sorusunun cevabı aranmaya çalışılmıştır. Mayın tarama simülatörü sistemine dair içerik Şekil 6'da belirtilmiştir.

Mayın taraması yapılacak olan coğrafi bölgeye gitmeden, Türkiye'deki gerçek arazi görüntüleri alınarak (gerçek arazi modeli için 3 boyutlu dijital yükseklik verileri kullanılacaktır.), oyun motoruna aktarılmış olan bölgeler arasından seçim yapılarak ilgili arazinin 3 boyutlu modeli simülatöre yüklenebilecek, aynı zamanda farklı tipteki mayınlar (antitank, antipersonel) seçilen zorluk kriterine göre modeli oluşturulan saha üzerinde rastgele bir konumda yerleştirilebilecektir. Arazi seçiminin ardından kullanıcı istediği hava koşullarını (kar, yağmur, güneşli) ve toprak türlerini (kayalık, çakıllı, kumlu, sulu) seçerek simülasyon sahnesinde belirlemiş olduğu bu kriterlere göre arama faaliyetini gerçekleştirebilecektir. Simülasyon sahnesinde iken kullanıcıya 2 farklı dedektör tipinden birini seçme imkanı da sunulacaktır. Yazılımda tanımlanan sanal asker dışarıdan yönlendirilerek saha üzerinde mayın tarama işini gerçekleştirebilecektir. Bir mayına yaklaşmaya başladığında ve ya çok yakınına geldiğinde de mayının tipine göre ses çıkarılacaktır ve askerle mayın arasındaki mesafeye bağlı olarak bu sesin şiddetinde değişimler olacaktır. Bu sayede eğitim alan askerler onun hangi özelliklere sahip bir mayın olduğunu anlayabileceklerdir. Ayrıca saha üzerine sırf mayınlar değil toprak içinde bulunması çok muhtemel olan konserve kutusu, bozuk para, çivi gibi metal parçalar da yazılımsal olarak dağıtılacaktır. Bu sayede tıpkı gerçek tarama faaliyetlerinde olduğu gibi, bu cisimlere yaklaşırken, askerin dedektörden kulağına gelen sese bir aşinalık kazanması ve bu sayede mayın dışı nesnelere yaklaşırken duyulan ses ile mayına yaklaşırken çıkan ses arasında bir ayırım yapabilme yetisini kazanması sağlanmış olacaktır. Sıra bir sonraki askerin eğitimine geldiğinde ise çalışılan saha üzerinde mayınlar (tercih edilirse yeni eğitimde başka mayınlar da kullanılabilir) yeni yerlerine rastgele dağıtılacaktır. İstenirse üzerinde çalışılan saha ile hava ve toprak koşulları bir diğer askeri birlik için değiştirilebilecektir. Sanal askerin mayını tespit etmesi durumunda dışarıdaki gerçek askere bir titreşim verdirilerek onun eğitimle daha iyi bütünleşmesinin yolu açılmış olacaktır. Eğitim dinamik bir yapıda olacağı için askerlerin her çevre koşulu ve toprak tipinde ayrıca farklı arazilerde gerçek arama faaliyetlerine uygun yetiştirilmesi sağlanacaktır. Bu

yüzden simülasyon sahnesi dışındaki gerçek sahada yapılan mayın tarama görevlerinde de askerlerin araziye tam bir uyum sağlamaları öngörülmektedir.

Gerçekleştirilecek olan yazılımla, eğitim esnasında yaşanan yaralanmaların ve hatta olası ölümlerin önüne geçilecek hem de güvenli, uygulamalı bir eğitim verilecektir. Yazılımın güvenilirliği, son dönemlerin önemli bir teknolojik gelişmesi olan sanal gerçeklik kullanılarak geliştirilecek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu teknoloji sayesinde kullanıcının eğitim alırken gerçek mayınla karşılaşma riski tamamen ortadan kaldırılacağı için son derece güvenli bir sistem oluşturulmuş olunacaktır aynı zamanda gerçekten arazide tarama yapıyormuş hissini de verdiği için normal saha koşullarına uygun bir eğitim verilmiş olunacaktır. Tüm mayınların temin edilip, onların toprağa yerleştirilmesi ve ardından askerler tarafından bulunmasının sağlanması yerine bunların birkaç seçim işleminin ardından çok daha kısa bir süre içinde yapılabilecek olması hem zamandan hem de maliyetten büyük oranda tasarruf ettirecektir. Yazılımın sağlayacağı en önemlisi fayda ise gerçek arazide iken çok büyük hassasiyet gerektiren mayın tespit görevinin ne şekilde yapılması gerektiği herhangi bir kaza riski taşımadan en güvenli haliyle verilmiş olunacaktır.



Şekil 6. Sistemin aşamaları.

## 7. Sonuç

Bu çalışma, kara mayınlarının türleri ve özellikleri hakkında askerlere bir mayın tarama eğitimi vermek ile ilgili bir ön hazırlık çalışmasıdır. Çalışmanın içeriğinde mayın tarama ve imha etmek ile alakalı bu güne kadar kullanılan metotlardan ve asıl amacı mayın tarama eğitimi vermek üzerine olan bir eğitim yazılımından bahsedilmiştir.

Mayın tarama ve imha ile ilgili yapılan literatür araştırmaları değerlendirildiğinde bu amaç için çoğu kez robotlardan ve çoklu sensör teknolojilerinden faydalandığı görülmüştür. Robot kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların birçoğu uzaktan kontrollü üzerinde sensörler bulunan robot ile mayın taraması yapma şeklindedir. Fakat bu

çalışmalar mayını bulup imha etmekle alakalıdır ve fiziksel olarak da tarama yapılan alanda bulunmayı gerektirmektedir. Çoklu sensör teknolojisinde ise farklı mayın özelliklerini tanımlayabilmek için birçok sensör tek bir cihazda toplanmıştır ki Türk Silahlı Kuvvetleri'nde mayın tarama eğitimi veren ilgili kurum ile yapılan görüşmeler sonucunda da şuan böyle bir sistem ile tarama faaliyetlerine devam edildiği öğrenilmiştir. Vermiş oldukları mayın tarama eğitiminde farklı toprak türlerine sahip küçük ölçekli alanlara mayınlar eğitim öncesinde gömülüp askerler tarafından bunların tespiti istenmektedir. Farklı özelliklere sahip birçok mayını temin edip önce toprağa yerleştirmek ardından bulunmasını sağlamak oldukça zaman ve maliyet gerektiren bir süreçtir. Gerçekleştirilecek olan çalışmada ise hem mayın yerleştirme işlemi kısa bir sürede birkaç seçim işleminin ardından yapılabilecek hem de araziye gidilmeden gerçekten arazi üzerindeymiş hissi yaratılarak mayın tespiti daha güvenli bir hale getirilecektir.

Çalışma sonlandığında mayın tarama işinin çok zahmetli olmasından ötürü bu işlemi gerçeği tam olarak yansıtan sanal ve güvenli bir ortam üzerinde uygulatarak zamandan ve maliyetten tasarruf edilmiş olunacaktır. Çalışmanın en büyük faydası eğitim esnasında yaşanan yaralanmaların önüne geçilebilecek olmasıdır.

## Kaynaklar

- [1] Görüntülü mayın bulma sistemi, <http://www.canlaser.com/tr/Mines.aspx>, (05.01.2017).
- [2] Demining, [http://en.wikipedia.org/wiki/Demining#Military\\_mine\\_clearance](http://en.wikipedia.org/wiki/Demining#Military_mine_clearance), (05.01.2017).
- [3] Clearance of mines and explosive remnants of war, <http://www.mineaction.org/issues/clearance>, (10.07.2017).
- [4] Carpet bombing, [http://en.wikipedia.org/wiki/Carpet\\_bombing](http://en.wikipedia.org/wiki/Carpet_bombing), (31.01.2017).
- [5] Bangalore torpedo, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bangalore\\_torpedo](http://en.wikipedia.org/wiki/Bangalore_torpedo), (25.02.2017).
- [6] Mine-clearing line charge, [http://en.wikipedia.org/wiki/Mine-clearing\\_line\\_charge](http://en.wikipedia.org/wiki/Mine-clearing_line_charge), (16.01.2017).
- [7] Introduction to mine clearing technology, <http://www.dsta.gov.sg/docs/publications-documents/introduction-to-mine-clearingtechnology.pdf?sfvrsn=0>, (16.08.2016).
- [8] Current humanitarian demining methods, [http://en.wikipedia.org/wiki/Demining#Current\\_humanitarian\\_demining\\_methods](http://en.wikipedia.org/wiki/Demining#Current_humanitarian_demining_methods), (19.01.2017).
- [9] Eladin, High Pressure Waterjet Laboratory, Rock Mechanics and Explosive Research Center, University of Missouri – Rolla, <http://eladin.umn.edu/>, (13.02.2007).
- [10] Haight, B., **Cleaning up an explosive problem: project Eladin uses water to detect, expose and neutralize abandoned land mines**, Diesel Progress North American Edition, 12, (2002).
- [11] Larionava, S., Automated landmine detection by means of a mobile robot, PhD Thesis, Faculty of Science and Technology University of Coimbra, Portekiz, (2007).
- [12] Ishikawa, J., Kiyota, M. ve Furuta, K., Evaluation of test results of gpr-based antipersonnel landmine detection systems mounted on robotic vehicles,

- Proceedings of the IARP International Work-shop on Robotics and Mechanical Assistance in Humanitarian Demining**, 39-44, (2005).
- [13] Hirose, S., Yokota, S., Torii, A. ve Ogata, S., Quadruped walking robot centered demining system - development of TITAN-IX and its operation, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 1296-1302, (2005).
- [14] Acar, E. U., Zhang, Y. P., Choset, H., Schervish, M., Costa, A. G., Melamud, R., Lean, D. C. ve Graveline, A., Path planning for robotic demining and development of a test platform, *International Conference on Field and Service Robotics*, 161-168, (2001).
- [15] Gonzalez, E., Alarcon, M., Parra, C. ve Zheng, Y. F., BSA: a coverage algorithm, *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2, 1679-1684, (2003).
- [16] Acar, E. U., Choset, H., Zhang, Y. P. ve Schervish, M., Path planning for robotic demining: robust sensor-based coverage of unstructured environments and probabilistic methods, *The International Journal of Robotics Research*, 441-466, (2003).
- [17] Zhang, Y. P., Schervish, M., Acar, E. U. ve Choset, H., Probabilistic methods for robotic landmine search, *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1525-1532, (2001).
- [18] Rachkov, M. Y., Marques, L. ve de Almeida, A. T., Multisensor demining robot, *Autonomous Robots*, 18, 3, 275-291, (2005).
- [19] Neves, M. A., Gomes, R. R. ve Costa, R. M., Robô com pernas para desminagem humanitária, Diploma Thesis, University of Coimbra, Portekiz, (2003).
- [20] Gonzalez, E. ve Gerlein, E., BSA-CM: a multi-robot coverage algorithm, *Proceeding WI-IAT '09 Proceedings of the 2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, 2, 383-386, (2009).
- [21] Clark, G. A., Sengupta, S. K., Aimonetti, D., Roeske, F. ve Donetti, J. G., Multispectral image feature selection for land mine detection, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 38, 1, 304-311, (2000).
- [22] Kempen, L., Katartzis, A., Pizurica, V., Cornelis, J. ve Sahli, H., Digital signal/image processing for mine detection. part1: airborne approach, In *Euro Conference on Sensor Systems and Signal Processing Techniques Applied to the Detection of Mines and Unexploded Ordnance*, 48-53, (1999).
- [23] Caygill, J.S., Davis, F. ve Higson, S.P.J., Current trends in explosive detection techniques, *Talanta*, 88, 14-29, (2012).
- [24] Cardona, L., Jiménez, J. ve Vanegas, N., Landmine detection technologies to face the demining problem in Antioquia, *DYNA*, 81, 183, 115-125, (2014).
- [25] Chen, X., Guo, D., Choa, F.S., Wang, C.C. ve Trivedi, S., Standoff photoacoustic detection of explosives using quantum cascade laser and an ultrasensitive microphone, *Applied Optics*, 52, 26-32, (2013).
- [26] Piorek, B.D., Lee, S.J., Moskovits, M. ve Meinhart, C. D., Free-surface microfluidics/surface-enhanced Raman spectroscopy for real-time trace vapor detection of explosives, *Analytical Chemistry*, 84, 9700-9705, (2012).
- [27] Van Emon, J. M. ve Lopez-Avila, V., Immunochemical methods for environmental analysis, *Analytical Chemistry*, 64, 2, 78A-88A, (1992).
- [28] Ma, J. ve Bock, W. J., Fiber-optic sensors for explosives detection, *The Open Optics Journal*, 7, 141-158, (2013).



- [29] Bakaltcheva, I. B., Ligler, F. S., Patterson, C. H. ve Shriver-Lake, L. C., Multianalyte explosive detection using a fiber optic biosensor, **Analytica Chimica Acta**, 399, 13-20, (1999).
- [30] Stitzel, S.E., Aernecke, M.J. ve Walt, D.R., Artificial noses, **Annual Review of Biomedical Engineering**, 13, 1-25, (2011).
- [31] Kong, D., Qi, Y., Zhou, L., Lin, B. ve Li, Z., MEMS based sensors for explosive detection: development and discussion, **Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems**, 265-269, (2008).
- [32] Jerry, J., Bees used in area reduction and mine detection, **Journal of Mine Action**, 7, 3, (2003).
- [33] Reuters, Move over sniffer dogs, here come Africa's rats, <http://www.aegis.com/news/re/2004/re040956.html>, (02.01.2014).
- [34] Amerikan İletişim Vakfı, Mine-sniffing plants, [http://acfnsource.org.s60463.gridserver.com/science/mine\\_sniffing\\_plants.html](http://acfnsource.org.s60463.gridserver.com/science/mine_sniffing_plants.html), (02.01.2014).
- [35] Burlage, R. S., Hunt, M., Dibenedetto, J. ve Maston. M., Bioreporter bacteria for the detection of unexploded ordnance excerpt from the demining, Demining Research, <http://school.mech.uwa.edu.au/~jamest/demining/others/ornl/rsb.html>, (03.01.2014).
- [36] Rains, G.C., Tomberlin, J.K. ve Kulasiri, D., Using insect sniffing devices for detection, **Trends in Biotechnology**, 26, 288-294, (2008).
- [37] Deyholos, M., Faust, A.A., Minmin, M., Montoya, R. ve Donahue, D.A., Feasibility of landmine detection using transgenic plants, **Proceedings of SPIE**, 6217, 62172B-1-62172B-12, (2006).
- [38] Kasban, H., Zahran, O., Elaraby, S.M. ve El-Kordy, M., A comparative study of landmine detection techniques, **Sensing and Imaging: An International Journal**, 11, 89-112, (2010).
- [39] Mcfee, J.E., Faust, A.A., Andrews, H.R., Clifford, E.T.H. ve Mosquera, C.M., Performance of an improved thermal neutron activation detector for buried bulk explosives, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, 712, 93-101, (2013).
- [40] Sudac, D., Majetic, S., Kollar, R., Nad, K. ve Obhodas, J., Inspecting minefields and residual explosives by fast neutron activation method, **IEEE Transactions on Nuclear Science**, 59, 1421-1425, (2012).
- [41] Bielecki, Z., Janucki, J., Kawalec, A., Mikolajczyk, J. ve Palka, N., Sensors and systems for the detection of explosive devices - an overview, **Metrology and Measurement Systems**, XIX, 3-28, (2012).
- [42] Macdonald, J., Lockwood, J.R., Mcfee, J., Altshuler, T. ve Broach, T., Alternatives for landmine detection, CA: RAND, Technical report, Santa Monica, ABD, (2003).
- [43] Mikhaltsevitch, V. T., Techniques used for <sup>14</sup>N NQR studies, **Annual Reports on NMR Spectroscopy**, 66, 149-194, (2009).
- [44] Heuvel, J. ve Fiore, F., Simulation study of x-ray backscatter imaging of pressure-plate improvised explosive devices, **Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects and Obscured Targets XVII**, 835716-1-835716-15, (2012).
- [45] King, C., Blagden, P., Rhodes, G., Maresca, L. ve Wheatley, A., Mine action : lessons and challenges, Technical report, Geneva International Centre for Humanitarian Demining, Geneva, İsviçre, (2005).

- [46] Church, P., Mcfee, J.E., Gagnon, S. ve Wort, P., Electrical impedance tomographic imaging of buried landmines, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 44, 2407-2420, (2006).
- [47] Chi, W., Ying-Jie, Y. ve Xing-Fei, L., An acoustic-to-seismic coupling based landmines detection system in lab-scale experimental environment, **Journal of Tianjin University**, 160-166, (2011).
- [48] Bruschini, C. ve Gros, B., A Survey of research on sensor technology for landmine detection, **Journal of Humanitarian Demining**, 2, 1, (1998).
- [49] Coronado-Vergara, J., Avina-Cervantes, G., Devy, M. ve Parra, C., Towards landmine detection using artificial vision, **IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems**, 659-664, (2005).
- [50] Messelink, W., Schutte, K., Vossepoel, A., Cremer, F., Schavemaker, J. ve Breejen, E., Feature-based detection of landmines in infrared images, **Proceedings of SPIE, Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine like Targets VII**, 4742, 108-119, (2002).
- [51] Cremer, F., Jong, W., Schutte, K., Yarovoy, A. G. ve Kovalenko, V., Feature level fusion of polarimetric infrared and gpr data for landmine detection, **International Conference on Requirements and Technologies for the Detection, Removal and Neutralization of Landmines and UXO**, 638-642, (2003).
- [52] Frigui, H., Gader, P. D., Keller, J. M. ve Schutte, K., Fuzzy clustering for land mine detection, **Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS**, 261-265, (1998).
- [53] Roughan, M., McMichael, D. W., Ho, K. C., Yarovoy, A. G. ve Kovalenko, V., A comparison of methods of data fusion for land-mine detection, **International Workshop on Image Analysis and Information Fusion**, (1997).
- [54] Jarrad, G. A. ve McMichael, D. W., Improving multispectral mine detection methods by compensating for clutter, **Australian-American Joint Mine Warfare Conference**, 1-4, (1999).
- [55] Habib, M.K., Humanitarian demining mine detection and sensors, **IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)**, 2237-2242, (2011).
- [56] Kolba, M.P., Torriane, P.A. ve Collins, L.M., Fusion of ground-penetrating radar and electromagnetic induction sensors for landmine detection and discrimination, **Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XV**, 76641S-1-76641S-7, (2010).
- [57] Hibbs, A. D., **Alternatives for Landmine Detection** in Rand, Chapter Nuclear Quadrupole Resonance, 169-189, Rand, Skokie, (1999).
- [58] Wu, C., Digging in the dirt: chemical and biological sensors could aid the search for hidden land mines, **Science News**, 153, 13, 202-204, (1998).
- [59] Achkar, R., Owayjan, M. ve Mrad, C., Landmine detection and classification using MLP, **2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation**, 1-6, (2011).

# Mogan Gölü balık faunası

Ali GÜL<sup>1,\*</sup>, Semra BENZER<sup>2</sup>, Ömer SAYLAR<sup>2</sup>, Göktuğ GÜL<sup>3</sup>, Mehmet YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Gölbaşı, Ankara

Geliş Tarihi (Received Date): 07.03.2017

Kabul Tarihi (Accepted Date): 12.05.2017

## Özet

Bu çalışma, Ankara'nın güneyinde tektonik bir göl olan Mogan Gölü'ndeki balık türlerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilmiştir. Balık örnekleri gölün farklı alanlarından Ocak-Aralık 2014 tarihleri arasında kepçe, olta, elektroşoker ve çeşitli göz açıklığına sahip ağlar kullanılarak yakalanmıştır. Avlanan balık örnekleri %4'lük formaldehit içinde laboratuvara getirilerek metrik ve meristik özellikleri belirlenmiştir. Cyprinidae, Atherinidae ve Esocidae familyalarına ait sırasıyla *Cyprinus carpio*, *Carassius gibelio*, *Tinca tinca*, *Alburnus escherichii*, *Pseudorasbora parva*, *Atherina boyeri* ve *Esox lucius* tespit edilmiştir. Çalışmada, gölde bulunduğu literatürde bildirilen *Silurus glanis*'e rastlanmamıştır. Göle giriş şekli belirlenemeyen istilacı türlerden *Carassius gibelio*, *Pseudorasbora parva* ve *Atherina boyeri*'nin diğer türler üzerindeki olası etkileri ve popülasyonların geleceği için biyo-ekolojik izleme çalışmalarının yapılması yararlı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mogan Gölü, balık, fauna, morfoeristik karakterler

## Fish fauna in Mogan Lake

### Abstract

This study was carried out for a determination of the fish fauna of a tectonic Mogan Lake where was located at the south of Ankara Province. The fish species were captured by use of fishing rods, electroshocker, and nets with various mesh sizes from the different regions of the lake between January and December 2014. The captured

\* Ali GÜL, aligul@gazi.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-5751-4705>

Semra BENZER, sbenzer@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8548-8994>

Ömer SAYLAR, osaylar@gazi.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6837-2981>

Göktuğ GÜL, goktuggul@gazi.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-1925-0803>

Mehmet YILMAZ, myilmaz@gazi.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-6700-6579>

*fish samples were kept in 4% of formaldehyde and brought to the laboratory to determine their meristic and metric features. Cyprinus carpio, Carassius gibelio, Tinca tinca, Alburnus escherichii, Pseudorasbora parva, Atherina boyeri, and Esox lucius belonging to Cyprinidae, Atherinidae and Esocidae, respectively were determined. In this study, the Silurus glanis reported in the literature was not encountered. There are invasive species such as Carassius gibelio, Pseudorasbora parva and Atherina boyeri with unknown introduction in the lake. In order to determine of the possible effects of these species upon the population of other species in the lake further bio-ecologic studies are needed.*

**Keywords:** Mogan Lake, fish, fauna, morphomeristic characters

## 1. Giriş

Balıkların biyolojik özellikleri kapsamında morfometrik ve meristik özelliklerinin farklı su sistemlerinde belirlenmesi, ihtiyofauna açısından önemlidir. Balık populasyonları üzerinde yapılan çalışmalar evrim, ekoloji, davranış, koruma, su kaynakları yönetimi ve stok değerlendirmesi dahil çeşitli bakış açılarından değerlendirilmelidir [1]. Balıklarda yapılan morfometrik ve meristik ölçümler, bir sulak alanın faunasının ve biyolojik çeşitliliğinin belirlenmesinde önemli olup, balık populasyonlarında morfolojik farklılaşmanın olup olmadığını da ortaya koyar.

Türkiye iç suları endemik, egzotik ve ekonomik karakterli çok sayıda balık türü barındırmaktadır. Bir ekosistemdeki balık faunasını belirlemek ve tür içindeki farklılıkları tespit etmek için balık taksonlarının morfometrik ve meristik ölçümlerinin yapılması gerekir [2].

Türkiye’de tatlısu balık faunası ile ilgili ilk çalışmanın Abbolt tarafından 1835 yılında yapıldığı bildirilmektedir [3]. Sonraki yıllarda çeşitli su sistemlerinde balık faunasının tespiti ve biyolojik özelliklerini belirleme çalışmaları devam etmiştir. Türkiye iç sularında 31 familyaya ait 377 balık türü bulunduğu bildirilmektedir [4, 5]. Bu türlerden %51.1’inin (188 tür) Cyprinidae familyasına ait olduğu, %41.58’inin de (157 tür) endemik olduğu belirtilmektedir [5].

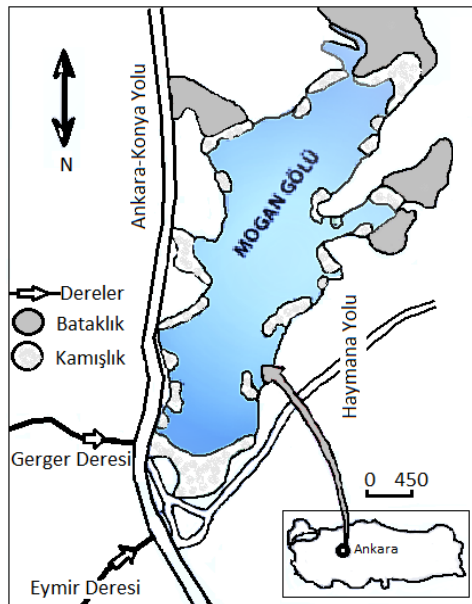
Mogan Gölü Ankara’nın güneyinde bulunan bir tatlı su gölüdür. Çevresinde çok sayıda sosyal mekan, park ve tesis bulunması, gölü Ankara’nın önemli bir rekreasyon alanı haline getirmiştir. Yaz aylarında göl yüzey alanının % 70-80’ini tamamen makrofitler kaplamaktadır. Gölün yakın mesafedeki Eymir Gölü’ne bir bağlantı ile su sirkülasyonu olmaktadır. Gölün kuzeybatı ve güney kıyılarında bazı mevsimlerde batık makrofit hâkimiyeti oluşmaktadır. Bu durumdan balık populasyonları ve stoklarının önemli düzeyde etkilendiği bildirilmektedir. Göl ve çevresi belirli mevsimlerde çok sayıda kuş türüne ev sahipliği yapan önemli bir sulak alan özelliğindedir [6]. Floristik ve faunistik açıdan da zengin bir yapıda olan gölde özellikle balık türlerinin çeşitli biyolojik özellikleri ve çevresel kirleticilerin etkilerine dayalı araştırmaların yapıldığı bilinmektedir [6, 7]. Gölde 2000 yılının ortalarına kadar *Esox lucius*’un baskın olduğu, bu yıllarda *Silurus glanis*’in de bulunduğu, sonraki yıllarda *Cyprinus carpio* ve *Tinca tinca*’nın en bol türler olduğu, *Alburnus escherichii*’nin de avlandığı belirtilmektedir [7].

Son yıllarda istenmeden sucul ortamlara karışan bazı egzotik türler biyolojik kirliliğe ve doğal ekosistemlerde geri dönüşümü olmayan etkilere neden olmaktadır. *Pseudorasbora parva* ve *Atherina boyeri* ülkemizde göl ve akarsulara istenmeden karışarak hızla yayılmaktadır. Öriyök karakterli *Carassius* türleri buldukları ortama kısa sürede uyum göstermekte ve aşırı çoğalma eğilimi ile ortamda baskın tür haline gelmektedirler. Asya kökenli olan *Carassius gibelio* da çeşitli yollarla Avrupa ülkeleri ve Türkiye’de hızla yayılmaktadır. Türkiye iç sularına doğal yollarla girmediği ve doğal balık toplulukları için zararlı bir tür olduğu bilinmektedir [5]. Bu nedenle, yerli türler ile istilacı türlerin birlikte bulunduğu Mogan Gölü balık faunası araştırmaya değer görülmüştür. Mogan Gölü’nde farklı araştırmacılar balık türlerinin çeşitli özelliklerini araştırmış ve gölden farklı tarihlerde balık türlerinin kayıtları verilmiştir [8-15].

Farklı su sistemlerinde balıkların morfometrik ve meristik özelliklerinin belirlenmesi, stokların tespiti açısından önemlidir. Bir sulak alanda ihtiyofaunanın ortaya konulabilmesi için tüm balık türlerinin biyolojik özelliklerinin bilinmesi ve periyodik izleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu nedenle Mogan Gölü’ndeki balık türlerinin saptanarak morfometrik ve meristik özelliklerinin verilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve metot

Mogan Gölü Ankara’nın güneyinde  $39^{\circ} 47' 56''$  N ve  $32^{\circ} 47' 4''$  E boylamları arasında 960 m rakımında tektonik bir göldür. Gölün uzunluğu 6 km, eni 900 m, ortalama derinliği 3.5-4 m, göl alanı  $63 \text{ km}^2$  ve hacmi 13-14 milyon  $\text{m}^3$  tür [6, 7] (Şekil 1). Çalışma Ocak-Aralık 2014 tarihleri arasında göl ve göle dökülen Gerger ve Eymir derelerinde gerçekleştirilmiştir. Balıkların avlanmasında kepçe, olta, elektroşoker ve çeşitli göz açıklığına sahip ağlar kullanılmıştır. Balık örneklerinin teşhislerinde çeşitli çalışmalardan yararlanılmıştır [3, 5, 16-20]. Örneklerin fotoğrafları çekilmiş ve metrik özelliklerden standart boy (SB), vücut yüksekliği (VY), baş boyu (BB), göz çapı (GÇ) ve interorbital mesafe (İM) mm olarak ölçülmüştür. Meristik özelliklerden, dorsal yüzgeç (D), anal yüzgeç (A), pektoral yüzgeç (P), ventral yüzgeç (V) ışın sayıları, Line lateral pul sayısı (L. lat.) ve omur sayıları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Mogan Gölü haritası

### 3. Bulgular

#### 3.1. Çalışma alanından belirlenen balık türleri

Bu çalışmada Cyprinidae familyasından *Cyprinus carpio* L. 1758, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), *Tinca tinca* (L. 1758), *Alburnus escherichii* Steindachner, 1897, *Pseudorasbora parva* (Temminck ve Schlegel, 1846); Atherinidae familyasından *Atherina boyeri* Risso, 1810 ve Esocidae familyasından, *Esox lucius* L. 1758 olmak üzere 3 familyaya ait 7 tür tespit edilmiş ve türlere ait bazı diyagnostik özellikler saptanmıştır.

**Phylum: Chordata**

**Subphylum: Vertebrata**

**Class: Osteichthyes**

**Order: Cypriniformes**

**Family: Cyprinidae**

#### 3.1.1. *Cyprinus carpio* L. 1758 (Şekil 2)



Şekil 2. *Cyprinus carpio*

N: 43, SB: 330.77±78.59 mm (245-440), SB/VY: 2.72 (2.21-3.54), SB/BB: 4.47 (3.64-6.47), BB/GÇ: 6.53 (4.56-8.50), BB/İM: 1.89 (1.48-2.43), İM/GÇ: 3.49 (2.69-5.00), D: III-IV 15-21, A: II-III 5-7, P: I 14-18, V: I-II 7-8, L. lat.: 33-39, Omur sayısı: 36-37

#### 3.1.2. *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Şekil 3)



Şekil 3. *Carassius gibelio*

N: 42, SB: 260.12±79.83 mm (165-343), SB/VY: 2.42 (2.32-2.68), SB/BB: 3.83 (3.53-4.02), BB/GÇ: 4.79 (3.73-5.76), BB/İM: 2.02 (1.86-2.16), İM/GÇ: 2.37 (2.00-2.78), L. lat.: 31-33, D: IV 17-19, A: II-III 5-7, P: I 15-16, V: II 8, Omur sayısı: 30-31

**3.1.3. *Tinca tinca* (L. 1758) (Şekil 4)**



Şekil 4. *Tinca tinca*

N: 31, SB: 246.16±26.54 mm (200-325), SB/VY: 3.12 (2.50-3.56), SB/BB: 4.20 (3.57-7.71), BB/GÇ: 6.30 (3.50-8.42), BB/İM: 2.05 (1.17-2.50), İM/GÇ: 3.09 (2.30-4.28), L. lat.: 91-109, D: III-IV 8-10, A: III 7-9, P: I 15-18, V: I-II 8-10, Omur sayısı: 39-41

**3.1.4. *Alburnus escherichii* Steindachner, 1897 (Şekil 5)**



Şekil 5. *Alburnus escherichii*

N: 42, SB: 87.01±0.87 mm (70-101), SB/VY: 4.54227 (3.50-6.21), SB/BB: 4.03 (1.87-4.59), BB/GÇ: 3.67 (2.50-6.84), BB/İM: 3.61 (3.32-4.29), İM/GÇ: 0.67 (0.59-0.83), L. lat.: 46-54, D: II 7-9, A: II-III 9-13, P: I 11-14, V: I 6-8, Omur sayısı: 35-37

3.1.5. *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) (Şekil 6)



Şekil 6. *Pseudorasbora parva*

N: 74, SB: 51.28±5.11 mm (44-67), SB/VY: 4.35 (3.31-5.56), SB/BB: 4.06 (2.88-4.89), BB/GÇ: 4.27 (3.25-5.87), BB/İM: 2.48 (1.71-3.50), İM/GÇ: 1.76 (1.04-2.92), L. lat.: 34- 39, D: I-III 5-7, A: II-III 5-7, P: I 8-11, V: I-II 6-8, Omur sayısı: 33-38

**Order: Atheriniformes**

**Familya: Atherinidae**

3.1.6. *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Şekil 7)



Şekil 7. *Atherina boyeri*

N: 68, SB: 76.03±1.11 mm (53-90), SB/VY: 5.04 (3.53-6.08), SB/BB: 4.02 (2.94-4.82), BB/GÇ: 2.95 (2.28-3.60), BB/İM: 3.83 (3.02-4.61), İM/GÇ: 0.78 (0.71-0.83), L. lat.: 46-50, D1: VI-VIII, D2: II 10-12, A: II 11-13, P: I-II 11-14, V: I-II 5-7, Omur sayısı: 47-49

**Order: Isospondyli**

**Familya: Esocidae**



### 3.1.7. *Esox lucius* L. 1758 (Şekil 8)



Şekil 8. *Esox lucius*

N: 32, SB: 406.25±3.68 mm (355-498), SB/VY: 5.86 (5.07-6.71), SB/BB: 3.51 (3.17-4.09), BB/GÇ: 8.82 (5.79-11.50), BB/İM: 3.96 (3.14-5.37), İM/GÇ: 2.25 (1.57-3.50), L. lat.: 115-130, D: VI-IX 13-16, A: IV-VII 12-15, P: I 13-16, V: I-II 8-10, Omur sayısı: 59.

## 4. Tartışma ve sonuç

Bu araştırma ile Mogan Gölü balık faunasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ekonomik önemi olan *C. carpio*'nun farklı su sistemlerindeki bazı diyagnostik özellikleri ile ilgili yapılan araştırmalarda; Uzunçayır Baraj Gölü'nde D: III-IV 20-21, A: III 5-6, P: I-II 14-18, V: II 8-9 [2]; Apolyont Gölü'nde D: III-IV 18-20, A: II-III 5-6, P: I 14-17, V: I-II 7-8, L. lat.: 35-38 [21]; Çakmak Baraj Gölü'nde D: IV 19-20, V: II 8, A: III 5, P: I 15, L. lat.: 38-39 [22]; Çamlığöze Baraj Gölü'nde D: III 18-20, A: III 5-6, P: I 14-16, V: II 7-8, L. lat.: 34-38 [23]; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde D: III-IV 18-21, A: III 5-6, P: I 15-16, V: II 7, L. lat.: 36-39 [24]; Seyhan Baraj Gölü'nde D: III 17-21, A: III 5, P: I 13-14, V: II 6-8, L. lat.: 30-37 [25]; Büyük Menderes Nehri'nde D: III 18-20, A: II-III 5-6, L. lat.: 36-39, Omur sayısı: 36-37 [26] olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmada bulunan L. lat. pul sayısı ve pektoral yüzgeç ışın sayılarının literatürde bildirilen değerlerden farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılıklarda habitatların fizikokimyasal koşulları ile populasyondaki genetik çeşitliliğin etkisi olduğu düşünülebilir. Diğer diyagnostik özelliklerin ise benzer sonuçlar içerdiği belirlenmiştir.

*C. gibelio*, gerek vücut şekli gerekse dorsal ve anal yüzgeçlerin 3. basit ışınının testere dişi şeklinde olması nedeniyle *C. carpio* ile benzerlik göstermektedir. Ancak, ağızda da bıyık olmaması, farinks dişlerinin tek sıralı olması ile sazandan kolayca ayırt edilir. Dorsal yüzgecin serbest kenarı içbükey-düz, dorsal ve anal yüzgecin son basit ışının kuvvetli bir şekilde tırtıklı olduğu bildirilmiştir [20]. Diyagnostik özellikleri Topçam Baraj Gölü'nde D: III-IV/15-18, A: II-III/6, P: I/16-18, V: II/8-9; L. lat: 30-32 [27]; Batı ve Orta Anadolu, Güney Marmara, Trakya ve Batı Karadeniz bölgesinin bazı iç sularında D: III/16-20, A: II-III/5-7, L. lat: 26-31 [28]; İkizcetepeler Baraj Gölü'nde D: III-IV 15-19 A: II-III 5-6 P: I 12-14 V: I-II 7-8 L. lat.: 27-31 [29] ; Trakya Bölgesi'nin çeşitli tatlı sularında D: III-IV 15-19; A: III-IV 4-5, L. lat.: 29-32 [30]; Miliç Irmağı'nda D: IV-V 16-19, V: II 8-9, A: III 5-6, P: I 13-15, L. lat.: 30-33 [31]; Çakmak Baraj Gölü'nde D: IV-V 15-20, V: II 7-8, A: III 5, P: I 14-19, L. lat.: 30-32 [22]; Gaga Gölü'nde D: III-IV 18-21, V: II 7-9, A: II III 5-6, P: I 15-20, L. lat.: 29-31 [32]; Suat Uğurlu Baraj Gölü'nde D: III 17-18, A: III 5, P: I 15-18, V: II 8, L. lat.: 30-31 [33] olarak bildirmektedirler. Mogan Gölü populasyonu ile diğer çalışmalarda bildirilen

meristik ve metrik karakterlerin, lokalitelerin ekolojik özelliklerine bağlı olarak varyasyonlar gösterdiği belirlenmiştir.

Türkiye içsularında çok geniş bir dağılıma sahip olan *T. tinca*'nın farklı su sistemlerinde diyagnostik özellikleri verilmektedir. Seyhan Baraj Gölü'nden D: III 8, A: III 6-7, P: I 11-15, V: II 9, L. lat.: 95-98 [25]; İznik Gölü'nden D: III-IV 8-9, A: III-IV 6-7, L. lat.: 101-111 [34]; Bafra Balık Gölleri, Karaboğaz Lagünü, Liman Lagünü, Simenit-Akgöl Lagünü'nden D: IV 9, A: III-IV 7-8, P: I 17-18, V: II 9, L. lat.: 98-102 [35]; Eğirdir, Gölcük ve Beyşehir Gölleri'nden D: III-IV 8-9, A: III 6-8, P: I 15-16, V: I 8-9, L. lat.: 88-99 [36]; Batı Karadeniz Bölgesi tatlı sularından D: III 8, A: III 7, P: I 15, V: I 9 L. lat.: 97 [37] olarak bildirmektedirler. Bu çalışmada tespit edilen yanal çizgideki pul sayısı, dorsal yüzgeç ve anal yüzgeç ışın sayıları dışında diğer özelliklerin ise literatür ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

*A. escherichii* Anadolu iç sularından Sakarya ve Kızılırmak havzalarında dağılım gösteren bir türdür [5]. Morfometrik ve meristik özellikleri Porsuk Çayı'ndan (Sakarya), D: III 8, A: III 12-14, P: I 16, V: I 8-9, L. lat.: 48-50 olarak belirtilmiştir [38]. Bu sonuçlar ile Mogan Gölü populasyonundaki değerler benzerlik göstermektedir.

Biyçeşitliliği ve sucul yaşamı olumsuz etkileyen istilacı bir tür olarak bilinen *P. parva*'nın Anadolu'daki hızlı yayılışı, Türkiye'nin zengin tatlısu balık faunası için bir tehdit olarak kabul edilebilir [39]. Bu türün diyagnostik özellikleri; Dipsiz-Çine Çayı'nda D: II-III 7-8, A: III 6, P: I 8-12, V: I 7-8, L. lat.: 35-38 [40]; Samsun ili içsu kaynaklarında D: III 7, V: II 7, A: III 6, P: I 12-13 L. lat.: 36-38 [41]; Gölcük Gölü'nden D: III 7-8, A: III 6-7, P: I 12-14, V: 7-8 L. lat.: 34-36 [36]; Antalya Körfezi'ne dökülen akarsulardan D: III 7-8, A: III 6-7, L. lat.: 34-37, Omur sayısı: 30-31 değerlerini [42] bildirilmektedirler. Farklı lokaliteler ile Mogan Gölü populasyonu arasında özellikle L. lat. ve pektoral yüzgeçteki ışın sayıları arasında farklılıklar belirlenmiştir.

Mogan Gölü'ne nasıl girdiği belli olmayan *A. boyeri* geniş adaptasyon yeteneğine sahip bir tür olup morfolojik ve biyolojik karakterleri açısından bölgesel çeşitlilik gösterir [43]. *A. boyeri* ile ilgili farklı su sistemlerinde yapılan araştırma sonuçlarında; İznik Gölü'nde D1: VI-X, D2: II 10-13, A: I 12-16, P: 13-16, L. lat.: 43-49 [44]; Fırat ve Asi nehir havzasından D1: VI-VII, D2: II 12-13, A: II 13-15, P: II 12-13, V: I 5 [45]; Fethiye Körfezi'nden D1: VI-IX, D2: I 9-15, A: I 12-18, L. lat.: 39-49 [46] olarak bildirilmektedir. Mogan Gölü *A. boyeri* populasyonunda elde edilen değerler İznik Gölü, Fırat ve Asi nehir havzasındaki sonuçlarla benzerlik gösterdiği, Fethiye Körfezi'ndeki populasyonun L. lat. pul sayısı aralığı ile farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu farkların habitatların biyotik ve abiyotik koşullarındaki değişimlerden ve türün ekolojik hoşgörüsünün geniş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

*E. lucius*'un farklı çalışmalarda diyagnostik özellikleri verilmektedir. Ladik Gölü'nden D: VI-VIII 15-16, A: VI-VII 13-14, L. lat.: 120-134 [47]; Büyükçekmece Baraj Gölü'nden D: VI-X 14-15, P: I 14-15, V: II 9-11, A: VI-VIII 11-14, L. lat.: 120-122 [48]; Büyük Menderes Nehri'nden D: V 14, A: IV 15, L. lat.: 128 [26] şeklinde rapor edilmiştir. Bu çalışmada saptanan diyagnostik özellikler ile farklı araştırmacıların tespitleri arasında çoğunlukla benzerlik olduğu gözlenmiştir.

Balık türleri farklı habitatlardaki popülasyonlarında çevresel faktörlerin etkisi altında kaldığından diyagnostik özelliklerinde değişimler gösterebilmektedir. Bu popülasyonlar arasındaki farklılıkları saptamada morfometrik ve meristik özelliklerden yararlanılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda balık türlerinin morfometrik ve meristik özellikleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmakta olsa da, çevresel faktörler bu canlılar üzerinde önemli etkilere sebep olduğundan farklı habitatlardaki değişimler sürekli olarak izlenmelidir.

Bu amaçla yerli, egzotik ve istilacı türlerin bir arada bulunduğu Mogan Gölü'nde balık faunası araştırılmıştır.

Tip lokalitesi Avrupa olan *C. carpio* Türkiye'de çok geniş dağılım gösteren bir türdür. Daha çok doğal gölleri, havuzları ve dibi çamurlu suları severler. Omnivor olduklarından çok geniş bir beslenme rejimine sahiptirler [3]. Türkiye'de doğal sulara aşıl原因 olarak kültür balıkçılığında kullanılmaktadır. *Carassius* türlerinin ise tatlı, acı, tuzlu, oksijen seviyesi düşük kirli sularda yaşayabildikleri [49], aşırı çoğalma eğilimi ile ortamda baskın tür haline gelebildikleri belirtilmektedir [28]. Asya kökenli olan *C. gibelio*, çeşitli yollarla Avrupa ülkeleri ve Türkiye'de hızla yayılan bir türdür. Farklı ve baskın bir üreme aktivitesi gösterdikleri için, doğal balık popülasyonları için zararlı bir tür olarak bilinmektedir [50].

Yakın Doğu ve Sibiry kökenli olan *T. tinca* Avrupa, Batı Asya ve Hazar Denizi'nde yayılmış ve Türkiye'ye kuzeyden girmiştir. 19. yüzyıldan beri, Orta Avrupa'da havuz balığı olarak yetiştirilmektedir. Zemin materyalini sürekli olarak karıştırdıklarından mineralizasyonda önemli rol oynarlar. Özellikle bu balıkların, sazan yetiştirme havuzları ile bahçe havuzlarının temizlenmesinde kullanıldığı bildirilmektedir [51].

1970'li yıllardan itibaren bazı doğal göl ve baraj göllerimize aşıl原因 *A. escherichii*'nin yayılış alanı gün geçtikçe artmakta olup, özellikle Anadolu iç sularında etkin bir sivrisinek larva-pupa predatörü olduğu belirtilmektedir [52]. Araştırmalar sırasındaki gözlemlerimize göre *A. escherichii*'nin amatör balıkçılar tarafından canlı yem olarak kullanıldığı için pek çok sulak alana bu yolla taşınmış olabileceği de düşünülmektedir.

Biyçeşitliliği ve sucul yaşamı olumsuz etkileyen istilacı bir tür olarak bilinen *P. parva*'nın Anadolu'daki hızlı yayılışı, Türkiye'nin zengin tatlı su balık faunası için bir tehdit olarak kabul edilebilir [39]. Bu türün yayılmasının kontrol altına alınabilmesi için hayat döngüsüne, doğal ortamlarında ve laboratuvar koşullarındaki verilerinin elde edilmesi ve incelenmesi gerekmektedir.

Mogan Gölü'ne giriş şekli belli olmayan *A. boyeri* geniş adaptasyon yeteneğine sahip bir tür olup, morfolojik ve biyolojik karakterleri açısından bölgesel çeşitlilik gösterir [43]. *A. boyeri*, öyrihalin bir tür olup, kıyı habitatlarda, estuarin sularda, lagünlerde, tuzlu bataklıklarda, sığ acı sularda ve iç sularda yaşamakta ve diğer balık türlerine göre fırsatçı beslenme özelliği göstermektedir [44]. *A. boyeri* ülkemiz iç sularında hızla yayılarak biyolojik kirliliğe ve doğal ekosistemlerde geri dönüşümü olmayan etkilere neden olmaktadır. Yayıldığı habitatlardaki adaptasyon özelliği ve diğer türler ile rekabetinde başarılı olabilecek özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. İstilacı olan bu türle mücadele etmek için farklı su sistemlerindeki biyo-ekolojik özelliklerinin çok iyi bilinmesi büyük önem taşımaktadır.

*E. lucius* ise Avrupa’da çok bilinen bir tatlı su balığı olup, ülkemiz sularında da yaygın olarak bulunmakta ve ticari değeri olduğu için üzerinde av baskısı yoğun türlerden biridir. Çeşitli sucul habitatlarda yaşayan balık populasyonlarının kontrol altına alınmasında kullanılmaktadır. Balık türlerinin sistematik, biyolojik ve ekolojik yönden değerlendirilebilmeleri için bulunduğu lokalitelerdeki bilimsel çalışmalardan elde edilen verilere gereksinim bulunmaktadır. Ayrıca türün bulunduğu habitatta doğal yollardan mı, yoksa farklı yollardan mı sucul alana yerleştiği bilgileri, hem filogenetik ilişkilerinin tespitinde hem de türün yayılışının belirlenmesinde katkı sağlayacaktır [53].

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Mogan Gölü’nde 3 familyaya ait 7 balık türü bulunduğu belirlenmiştir. Çalışmada, literatürde kaydı bildirilen *Silurus glanis*’e rastlanmamış olması [7] ve balıkçılık faaliyeti ile uğraşan şahısların da bu yöndeki gözlemleri bu türün gölde tamamen tükenmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Mogan Gölü balık faunasını oluşturan türlerin ve stoklarının geleceği için biyo-ekolojik izleme çalışmalarının yapılması yörenin biyoçeşitliliği açısından yararlı olacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Vatandoust, S., Abdoli, A., Anvarifar, H. ve Mousavi-Sabet, H., Morphometric and meristic characteristics and morphological fario (Pisces: Salmonidae) along the southern Caspian Sea basin, **European Journal of Zoological Research**, 3, 2, 56-65, (2014).
- [2] Çoban, M. Z., Gündüz, F., Yüksel, F., Demiroglu, F., Yıldırım, T. ve Kurtoğlu, M., Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) balık faunası, **Yunus Araştırma Bülteni**, 2, 35-44, (2013).
- [3] Geldiay, R. ve Balık, S., **Türkiye Tatlısu Balıkları**, 644, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, No: 46, Ders Kitabı Dizini No: 16, V. Baskı, İzmir, (2007).
- [4] Çiçek, E., Birecikligil Sungur, S. ve Fricke, R., Addenda and errata of: Freshwater fishes of Turkey: a revised and updated annotated checklist, **Fish Taxa**, 1, 2, 116-117, (2016).
- [5] Çiçek, E., Birecikligil, S.S. ve Fricke, R., Freshwater fishes of Turkey: A revised and updated annotated checklist, **Biharean Biologist**, 9, 2, 141-157, (2015).
- [6] Sandsten, H., Beklioglu, M. ve İnce, Ö., Effects of waterfowl, large fish and periphyton on the spring growth of *Potamogeton pectinatus* L. in Lake Mogan Turkey, **Hydrobiologia**, 537, 1-3, 239-248, (2005).
- [7] Anonim, Mogan Gölü Havzası biyolojik zenginlikleri ve ekolojik yönetim planı, Çevre Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, 167, Ankara, (2002).
- [8] Hamalosmanoğlu, M. ve Kuru, M., Mogan Gölü'nde (Ankara) yaşayan kadife balığının (*Tinca tinca* L., 1758) karyotip analizi ve idiogramı, **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, 28, 1, 143-147, (2004).
- [9] Ergönül, M. B. ve Altındağ, A., The occurrence and dynamics of *Ligula intestinalis* in its cyprinid fish host, tench, *Tinca tinca*, in Mogan Lake (Ankara, Turkey), **Veterinarni Medicina Praha**, 50, 12, 537-542, (2005).
- [10] Benzer, S., Arslan, H., Uzel, N., Gül, A., Yılmaz, M., Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey), **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, 12, 1, 45-55, (2013).

- [11] Gül, G., Benli, A. Ç. K. ve Erkoç, F., Mogan Gölü'ndeki bazı balık türlerinde vitellogenin proteininin elektroforetik karşılaştırılması, **Electrophoretic comparison of vitellogenin protein in some fish species in Mogan Lake**, **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 33, 2, 151-156, (2016).
- [12] Yılmaz, M., Gül, A., Şahin, N. ve Benzer, S., Mogan Gölü'nde yaşayan turna balığı (*Esox lucius* (L. 1758))'nın beslenme biyolojisi, **Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi**, 30, 1, 203-218, (2010).
- [13] Benzer, S. ve Gül, A., Growth properties of *Alburnus orontis* Sauvage, 1882 in Mogan Lake, **Proceedings of International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences FABA**, 371, 3-5 November, Antalya, (2016).
- [14] Benzer, S., Saylar, Ö., Düzel, S., Gül, G., Yılmaz, M. ve Gül, A., Some biochemical blood parameters in Mogan Lake economic fish species, **Proceedings of ICOCEE-Cappadocia**, 421, May 20-23, Nevşehir, (2015).
- [15] Gül, A., Yılmaz, M., Benzer, S., Saylar, Ö. ve Uzel, N., Mogan Gölü egzotik balık türlerinden *Atherina boyeri* Risso 1810' nin morfometrik ve meristik özellikleri. **II Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyum özetleri**, 193, 20-22 Mayıs Eğirdir, Isparta, (2015).
- [16] Kuru, M., **Türkiye Tatlısu Balıkları Kataloğu**, 73, Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Yardımcı Kitaplar Dizisi 1, Ankara, (1980).
- [17] Bogutskaya, N. G., Contribution to the knowledge of leuciscine fishes of Asia Minor. Part 2. An annotated check-list of leuciscine fishes (Leuciscinae, Cyprinidae) of Turkey with descriptions of a new species and two new subspecies, **Mitteilungen aus dem hamburgischen Zoologischen Museum und Institut**, 94, 161-186, (1997).
- [18] Kottelat, M., **Fishes of Laos**, 198, WHT Publications Ltd., Colombo 5, Sri Lanka, (2001).
- [19] Kottelat, M. ve Freyhof, J., 646, **Handbook of European freshwater fishes**, Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin, (2007).
- [20] Yerli, S. V., Mangit, F., Emiroğlu, Ö., Yeğen, V., Uysal, R., Ünlü, E., Alp, A., Buhan, E., Yıldırım, T. ve Zengin, M., Distribution of Invasive *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei: Cyprinidae) in Turkey, **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 14, 2, 581-590, (2014).
- [21] Berber, S., Hüseyin, Şaşı., Topkara, E. T. ve Cengiz, Ö., Apolyont Gölü (Bursa) balık faunasının belirlenmesi, **Turkish Journal of Aquatic Sciences**, 26, 1, 27-55, (2011).
- [22] Uğurlu, S. ve Polat, N., Çakmak Baraj Gölü (Samsun) balık faunası, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 19, 4, 443-448, (2007a).
- [23] Dirican, S. ve Çilek, S., Identification of fish species of Çamlığöze Dam Lake, Sivas, Turkey, **African Journal of Agricultural Research**, 7, 45, 6022-6026, (2012).
- [24] Torcu Koç, H., Türker Çakır, D. ve Ulunehir, G., An investigation in fish fauna İkizcetepeler Dam Lake (Balıkesir) Turkey, **Journal of Applied Biological Sciences**, 2, 2, 63-67, (2008).
- [25] Ergüden, S. A. ve Göksu, M. Z. L., The fish fauna of the Seyhan Dam Lake (Adana), **Journal of FisheriesSciences.com**, 6, 1, 39-52, (2012).
- [26] Güçlü, S. S., Küçük, F., Ertan, Ö. O. ve Güçlü, Z., The fish fauna of the Büyük Menderes River (Turkey): Taxonomic and zoogeographic features, **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 13, 4, 685-698, (2013).

- [27] Şaşı, H. ve Balık, S., The investigation of fish species in Topçam Dam Lake (Çine-Aydın), **Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi**, 9, 46-50, (2003).
- [28] İlhan, A., Balık, S., Sarı, H. M. ve Ustaoglu, M. R., Batı ve Orta Anadolu, Güney Marmara, Trakya ve Batı Karadeniz Bölgeleri iç sularındaki *Carassius* (Cyprinidae, Pisces) türleri ve dağılımları, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi**, 22, 3-4, 343-346, (2005).
- [29] Erdoğan, Z., Torcu Koç, H., Güngör, S. ve Ulunehir, G., Age, growth and reproductive properties of an invasive species *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Cyprinidae) in the İkizcetepeler Dam Lake (Balıkesir), Turkey, **Periodicum Biologorum**, 116, 3, 285-291, (2014).
- [30] Özuluğ, M., Meriç, N. ve Freyhof, J., The distribution of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei: Cyprinidae) in Thrace (Turkey), **Zoology in the Middle East**, 31, 1, 63-66, (2004).
- [31] Uğurlu, S. ve Polat, N., Miliç Irmağı (Terme, Samsun) balık faunası, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi**, 23, 3-4, 441-444, (2006).
- [32] Dönel, K. E. ve Yılmaz, E., The fish fauna of Gaga Lake (Ordu-Turkey) and identification of four species by morphometric characteristics, **Journal of Maritime and Marine Sciences**, 2, 2, 8-19, (2016).
- [33] Uğurlu, S. ve Polat, N., Suat Uğurlu Baraj Gölü ile Terice ve Göksu Deresi balıkları (Ayvacık-Samsun), **Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi**, 1, 2, 27-37, (2005).
- [34] Özuluğ, M., Altun, Ö. ve Meriç, N., On the fish fauna of Lake İznik (Turkey), **Turkish Journal of Zoology**, 29, 4, 371-375, (2005).
- [35] Uğurlu, S., Polat, N. ve Kandemir, Ş., Kızılırmak ve Yeşilirmak deltalarındaki (Samsun) lagün göllerinin balık faunası, **Journal of Fisheries Sciences.com**, 2, 3, 475-483, (2008).
- [36] Yeğen, V., Balık, S., Bostan, H., Uysal, R. ve Bilçen, E., Göller bölgesindeki bazı göl ve baraj göllerinin balık faunalarının son durumu, **1. Ulusal Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu**, 129-139, 7-9 Şubat, Antalya, (2006).
- [37] İlhan, A., Batı Karadeniz bölgesi tatlısu balıklarının taksonomik ve ekolojik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2006).
- [38] Anonim, Anadolu incibalıği (*Alburnus nasreddini*) tür eylem planı, 101, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, V. Bölge Müdürlüğü, Afyonkarahisar Şube Müdürlüğü, (2015).
- [39] Ekmekçi, F. G. ve Kırankaya, Ş. G., Distribution of an invasive fish species, *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) in Turkey, **Turkish Journal of Zoology**, 30, 3, 329-334, (2006).
- [40] Barlas, M. ve Dirican, S., The fish fauna of the Dipsiz-Çine (Muğla-Aydın) Stream, **Gazi University Journal of Science**, 17, 3, 35-48, (2004).
- [41] Uğurlu, S. ve Polat, N., Samsun ili tatlı su kaynaklarında yaşayan egzotik balık türleri, **Journal of Fisheries Sciences.com**, 1, 3, 139-151, (2007b).
- [42] Küçük, F. ve İkiz, R., Antalya Körfezi'ne dökülen akarsuların balık faunası, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi**, 21, 3-4, 287-294, (2004).
- [43] Çetinkaya, S., Uysal, R., Yeğen, V., Cesur, M. ve Bostan, H., The growth characteristics of sand smelt (*Atherina boyeri*, Risso 1810) in Lake İznik (Türkiye), **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 11, 4, 641-648, (2011).

- [44] Altun, Ö., Gümüşbalığı (*Atherina boyeri* Risso, 1810) populasyonlarında gözlemlenen morfolojik varyasyonlar, **Turkish Journal of Zoology**, 23, 3, 911-918, (1999).
- [45] Birecikligil, S. ve Çiçek, E., Gaziantep ili sınırları içindeki Fırat ve Asi Havzası akarsuları balık faunası, **Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi**, 4, 2, 29-34, (2011).
- [46] Doğan, T., Fethiye Körfezi (Muğla, Türkiye)'nin balık faunası, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [47] Uğurlu, S., Polat, N. ve Kandemir, Ş., Changes in the Lake Ladik fish community (1972-2004) and ichthyofauna of its inlet and outlet streams (Samsun, Turkey), **Turkish Journal of Zoology**, 33, 4, 393-401, (2009).
- [48] Özuluğ, M., A taxonomic study on the fish in the basin of Büyükçekmece Dam Lake, **Turkish Journal of Zoology**, 23, 439-451, (1999).
- [49] Kesici, E., Bafa Gölü Tabiat Parkı'nda belirlenen istilacı balık türü *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) (Gümüşi Havuz Balığı), **Tabiat ve İnsan**, 46, 11-16, (2012).
- [50] İnnal, D. ve Erk'akan, F., Effects of exotic and translocated fish species in the inland waters of Turkey, **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, 16, 1, 39-50, (2006).
- [51] Michaels, V. K., Carp Farming, 200, The Dorset Press, Dorchester, (1988).
- [52] Ege, M. ve Boşgelmez, A., *Alburnus orontis*'in *Anopheles maculipennis* ve *Culex pipiens* üzerindeki predatörlük etkinliği, Ulusal Su Günleri, 105-114, 6-8 Ekim, İzmir, (2004).
- [53] Yılmaz, E., Elekçi Irmağı (Fatsa/Ordu) Balık Faunası, **Süleyman Demirel Üniversitesi Journal of Science (e-Journal)**, 11, 2, 1-12, (2016).

# Nano ölçekli plakların serbest titreşimi ve tek katmanlı grafen uygulaması

Kadir MERCAN, Çiğdem DEMİR, Ömer CİVALEK \*

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Antalya-TÜRKİYE

Geliş Tarihi (Received Date): 26.10.2016

Kabul Tarihi (Accepted Date): 25.01.2017

## Özet

Malzeme bilimindeki son gelişmelere paralel olarak nano ölçekli cihazlar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece nanoteknoloji günümüzde pek çok bilim dalını ilgilendiren bir araştırma alanı olmuştur. Bu çalışmada, grafen tabakaların sürekli mekanik model ile serbest titreşim hesabı yapılmıştır. Kullanılan mekanik model ince elastik plaktır. Plak için hareket denklemleri elde edilmiş ve hem analitik hem de sayısal olarak çözülmüştür. Analitik çözümde değişkenlere ayırma metodu kullanılmıştır. Sayısal çözüm ise ayrık tekil konvolüsyon yöntemiyle yapılmıştır. Tek katmanlı grafen tabakaların serbest titreşim hesabı plak model için yapılarak sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mod sayısı arttıkça doğal ve açısal frekansın büyüdüğü, modellenen plağın kenar uzunlukları arttıkça da doğal ve açısal frekansın küçüldüğü gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nano-ölçekli modelleme, grafen, plak modeli, titreşim.

## Free vibration of nano-scaled plates and application to single-layer graphene

### Abstract

As parallel to the recent developments in material sciences, nano-scaled devices have widely used in many area. Thus, nanotechnology is being a popular research area which interested many disciplines nowadays. In this study free vibration analysis of graphene sheets has been made via continuous mechanical model. Thin elastic plate

---

Kadir MERCAN, mercankadir@akdeniz.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-3657-6274>

Çiğdem DEMİR, cigdemdemir@akdeniz.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-1890-7220>.

\* Ömer CİVALEK, civalek@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1907-9479>



*model is used in order to make analysis. Equations of motion are obtained for plate model and solved both analytically and numerically. Separation of variables has been used for analytical solution. The numerical solution, however, is obtained via discrete singular convolution method. Free vibration analysis of single-layered graphene sheets is made for plate and results are given in tables. As it can be seen from obtained results, the higher mod number gives higher natural and angular frequencies; on the other hand longer plate dimension gives lower natural and angular frequencies.*

**Keywords:** Nano-scaled modeling, graphene, plate model, vibration.

## 1. Giriş

Günümüzde teknolojik imkânların artmasıyla mikro ve nano boyutlardaki çalışmalara hız verilmiştir. Nanoteknoloji, ülkeler için stratejik bir önem taşımaya başlamış durumdadır. Gelişmiş ülkeler öncelikli alanlarını belirleyip çalışma ve eğitim programlarını geliştirirken, ülkemizde nanoteknoloji araştırmalarının çoğu kuramsal ve bireysel düzeyde kalmıştır. Avrupa Birliğinin 6. Çerçeve Programı sayesinde nanoteknoloji araştırmaları yeniden yapılanma ve ivme kazanmıştır. Aynı zamanda nanoteknoloji, TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programında öncelikli alanlardan biri olarak yer almıştır.

Grafen, son zamanlarda oldukça ilgi uyandıran bir malzemedir [1-11]. Grafenler  $sp^2$  bağ yapısına sahip olan tek tabakalı düzlemsel karbon yapılarıdır ve üç boyutlu grafitlerin iki boyutlu kopyalarıdır. Mükemmel yapıdaki grafenler, hegzagonal hücrelerden oluşur. Tek duvarlı karbon nanotüpler ise, grafenin silindire yuvarlanmış hali olarak düşünülebilirler. Grafenin gösterdiği önemli özelliklerden biri sıcaklıktan bağımsız  $104 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1}\text{s}^{-1}$  değerine ulaşan mobilitesi olup, diğer önemli bir özelliği de *Kesirli Kuantum Hall* [12] etkisidir.

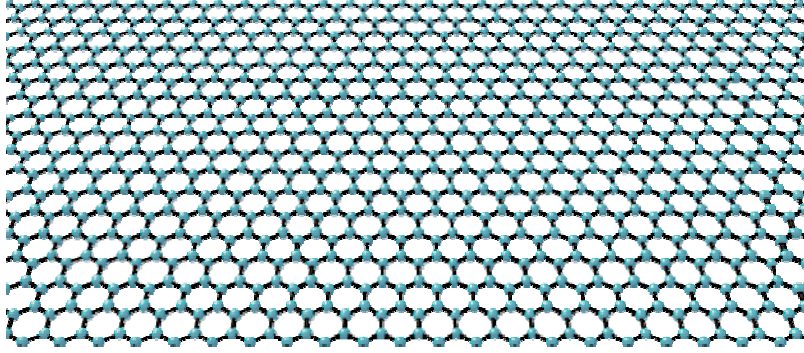
Membran modeli burkulmaya karşı rijitliği olmayan ince plak modelidir ve yanal güçleri aksenal ve merkezi kesme kuvvetleri ile taşır. Bu nedenle, membran taşıyıcı sistemleri, aşırı incelikleri ve moment taşıma güçlerinin ihmal edilebilir olması nedeniyle gergin kablo ağlarına benzetilebilirler [13-21]. Plak modelinde ise burkulmaya karşı rijitlik vardır ve modellenen tabaka belli bir  $h$  kalınlığına sahiptir [12].

Bu çalışmada, grafen bir tabaka sürekli bir model şeklinde çözümlenmiş ve dikdörtgen plak olarak modellenmiştir. Atomik modeller ve deneysel çalışmalar hem pahalı hem de yüksek kapasitede bilgisayar kapasitesi gerektirdiğinden sürekli modeller nanoteknoloji için iyi bir alternatif olmaktadır.

## 2. Grafen tabakalar

Olağanüstü özelliklere sahip bir madde olan ve endüstriyel anlamda alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülen grafen, ince, esnek ve çelikten 100 kat daha güçlü bir maddedir. Grafenin iletkenliği bakırdan daha fazladır ve plastikten %1 oranında karıştırıldığında plastiği elektrik iletken hale getirebilmektedir. Bunun sonucunda, grafenin elektronik alanındaki silikonun yerine geçebileceği düşünülmektedir [8]. Ayrıca, su ıslahı, petrol sızıntısı temizliği ve hatta çok daha ince

kondom üretebilmek konusunda da faydası dokunabileceği düşünülmektedir [8]. Grafit aslında gündelik hayatta kullanılan çok basit bir eşyada bulunmaktadır. Buna en güzel örneklerin birisi kurşun kalemdir. Kurşun kalemlerdeki kurşunu üretmek için kille karıştırılan grafit, grafen tabakalarının üst üste binmesinden oluşmaktadır. Şekil 1’de tipik bir grafenin bal peteğine benzer dokusu gösterilmiştir. Burada mavi olarak gösterilen küreler karbon atomlarıdır [11-23].



Şekil 1. Tipik bir grafen tabakasının yapısı.

Grafenin rulo haline gelmiş formu olan karbon nanotüpler, günümüzde elektronikten sağlığa birçok alanda kullanılmaktadır [13-21]. Benzer şekilde, grafenin de karbon nanotüpler için öngörülen alanlarda kullanılması mümkündür. Nanotüpler için edinilmiş deneyimlerden yararlanılarak, grafen teknolojisinin önümüzdeki yıllarda geliştirilerek farklı mühendislik alanlarında kullanılması beklenmektedir. Grafenin nanotüplere oranla daha basit olan elde edilmiş teknikleri ve bu tekniklerin nanotüplere göre daha kontrol edilebilir olması, grafenin nanotüp teknolojisi üzerine hâkimiyet kurmasını da beraberinde getirebilir [16-23]. Nano ve mikro sistemlerin analizinde atomik benzetim ve moleküler dinamik yaklaşımlar pahalı ve kapsamlı hesaplayıcılar gerektirdiğinden, ayrıca, her durum için deneysel araştırma mümkün olamayacağından sürekli mekanik modeller [13, 24] yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modellerin etkinliği pek çok çalışmada ortaya konulmuştur [25-36].

### 3. Ayrık tekil konvolüsyon (ATK) yöntemi

Bu çalışmada, çözüm için analitik yöntemin yanı sıra sayısal bir yöntemde kullanılmıştır. Bunun için seçilen ayrık tekil konvolüsyon (ATK) yöntemi, ilk olarak Wei[37] tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemde, çeşitli fen bilimleri ve mühendislik problemlerinde görülen tekil konvolüsyonlar (TK), Hilbert, Abelve Radon gibi, matematik dönüşümlerinin özel bir sınıfını oluşturmaktadır [38]. Son bir kaç yılda gelişme gösteren matematiğin yeni dalı *Wavelet (dalgacık)* bu metodun esasını teşkil etmektedir[39]. Ayrık tekil konvolüsyon yöntemi, birçok sayısal yöntemde olduğu gibi, sürekli sisteme ait türev denklemini kerneller kullanarak yaklaşım veya test fonksiyonu olarak ayrıştırır [40-44]. Kernel olarak *Shannon kernel*, *Shannon delta kernel*, *Dirichlet kernel*, *de la Vallee kernel* vb. kullanılabilir. Eşitlikteki  $T$  ve  $\eta(t)$  test fonksiyonundaki eleman değerleridir. Tekil konvolüsyon;

$$F(t) = (T * \eta)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} T(t-x)\eta(x)dx \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir [37]. Tekil kernel ise;

$$T(x) = \delta^{(n)}(x); \quad (n=0,1,2,\dots). \quad (2)$$

Buradaki ayırık kernel, delta türündedir. Kernel eşitliği yüzeysel ve eğrisel interpolasyon için önemlidir ve  $n>1$  için türevsel eşitliklerin sayısal çözümünde gereklidir. Yeterli düzgün yaklaşımla, ayırık tekil konvolüsyon yönteminin dikkate alınması son derece etkili olur [39];

$$F_\alpha(t) = \sum_k T_\alpha(t - x_k) f(x_k) \quad (3)$$

Yakın geçmişte, bazı yeni kernellerin kullanımı mekanik ve uygulamalı matematik problemlerinin çözümünde önerilmiştir [37-44]. Shannon kernel:

$$\delta_{\Delta,\sigma}(x - x_k) = \frac{\sin[(\pi/\Delta)(x - x_k)]}{(\pi/\Delta)(x - x_k)} \exp\left[-\frac{(x - x_k)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

şeklinde düzenlenmiştir. Burada  $\Delta = \pi/(N-1)$  her bir düğüm arası aralık ve  $N$  düğüm nokta sayısı,  $\sigma$  parametresi Gauss zarfı (Gaussian envelope) genişliğidir ve  $\sigma = rh$  şeklinde hesaplanır,  $r$  hesaplamanın başında seçilecek bir parametredir. Denklem (4) tekil konvolüsyon kernellerinin (delta türünde) ayırık yaklaşımlar sağlaması için kullanılabilir. Örneğin bir fonksiyon için herhangi bir mertebeden türev şöyle gösterilebilir;

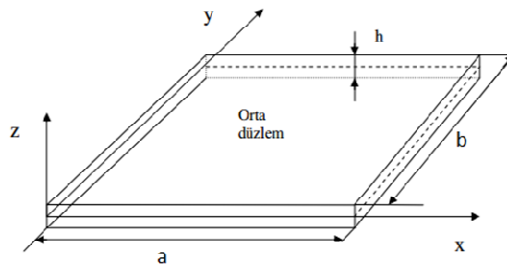
$$f^{(n)}(x) \approx \sum_{k=-M}^M \delta_{\Delta}(x - x_k) f(x_k) \quad (5)$$

olarak seçilmiştir ve (n) türevin mertebesini göstermektedir.

#### 4. Grafen tabakanın serbest titreşimleri

##### 4.1. Plak teorisi

Serbest titreşim denklemi, Şekil 2'de verilen uzunluğu  $a$ , genişliği  $b$  ve kalınlığı  $h$  olan, homojen ve izotropik dikdörtgen plak için yazılacaktır [12].



Şekil 2. Dikdörtgen plak

Plaktaki birim şekil Denklem (6)'da gösterildiği gibi eğrilikler cinsinden hesaplanabilir.

$$\varepsilon_x = zK_x, \quad \varepsilon_y = zK_y, \quad \gamma_{xy} = 2zK_{xy} \quad (6)$$

Burada  $z$ , plağın tarafsız eksenenden olan uzaklığını,  $K_x$ ,  $K_y$  ve  $K_{xy}$  ise tarafsız eksen eğriliklerini göstermektedir ve aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$K_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad K_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad K_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (7)$$

Doğrusal elastik malzeme için, plağa ait gerilme bileşenleri eğrilikler cinsinden aşağıdaki şekildedir

$$\sigma_x = \frac{Ez}{1-\nu^2}(K_x + \nu K_y), \quad \sigma_y = \frac{Ez}{1-\nu^2}(K_y + \nu K_x), \quad \tau_{xy} = \frac{Ez}{1+\nu}K_{xy} \quad (8)$$

Moment-gerilme ilişkisi şu şekilde gösterilebilir;

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz, \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz, \quad M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz \quad (9)$$

Denklem (8), denklem (9)'da yerine yazılırsa moment ile eğrilik arasındaki ilişki aşağıdaki forma dönüşür

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{pmatrix} \quad (10)$$

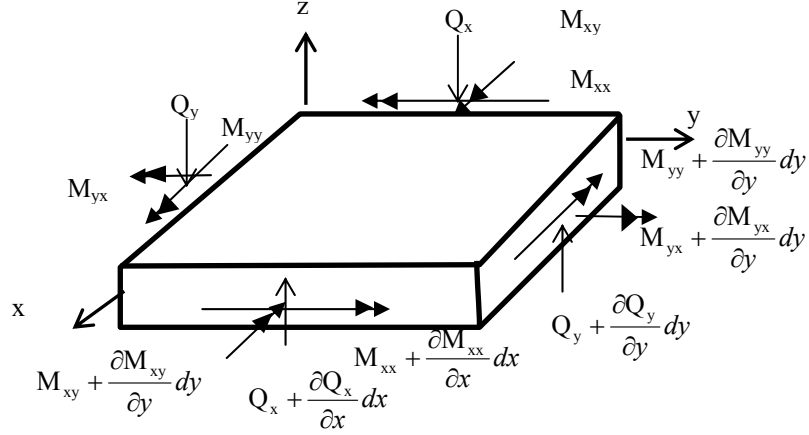
Denklem (10)'a denklem (7)'deki ifadeler yazılırsa, moment ifadeleri deplasman cinsinden elde edilmiş olur

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{pmatrix} = -D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Burada,  $E$  elastisite modülünü,  $\nu$  poisson oranını,  $\rho$  plağın kütle yoğunluğunu (birim alandaki kütle) ifade etmek üzere,  $D$  plak eğilme rijitliğini  $\left( \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \right)$  göstermektedir.

Plak üzerinden, kenarları sırasıyla  $x$  ve  $y$  eksenlerine paralel olan küçük bir dikdörtgen parçası alınacak olursa, plak üzerinde oluşacak iç kuvvetler, eğilme momentleri  $M_x$  ve

$M_y$ , burulma momentleri  $M_{xy}$  ve  $M_{yx}$ , kesme kuvvetleri ise  $Q_x$  ve  $Q_y$  şeklindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Plak elemanında oluşan iç kuvvetler

Şekil 3'e göre denge denklemleri yazılacak olursa,

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial x} = \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (12a)$$

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} \quad (12b)$$

$$Q_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \quad (12c)$$

Şeklinde üç adet denklemler elde edilmiş olur. Bu durumda denklem (11)'in denklem (12b-c)'de yerlerine yazılmasıyla kesme kuvvetleri şu şekilde yazılabilir;

$$Q_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (13a)$$

$$Q_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (13b)$$

son olarak denklem 13(a-b) denklem 12(a)'da yerlerine yazılırsa hareket denklemleri deplasmanlara bağlı olarak elde edilmiş olur

$$D \nabla^4 w + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (14)$$

Burada  $\nabla^4$  biharmonik operatör olarak isimlendirilir ve aşağıdaki şekilde tanımlanabilir

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \quad (15)$$

Problem çözümünden öncelikle olası sınır koşulları belirtilecek olursa,

x doğrultusuna paralel sınır koşulları;

$$w = 0 \text{ ya da } V_y = 0$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = 0 \text{ ya da } M_y = 0 \quad (16)$$

y doğrultusuna paralel sınır koşulları;

$$w = 0 \text{ ya da } V_x = 0$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 0 \text{ ya da } M_x = 0 \quad (17)$$

x'in sabit bir değeri için denklem (16)'nın farklı mesnet koşulları için ifadesi,

ankastre mesnet;

$$w = \frac{\partial w}{\partial y} = 0$$

basit mesnet;

$$w = M_y = 0$$

serbest uç;

$$M_y = V_y = 0 \quad (18)$$

şeklindedir. Burada  $V_x$  ve  $V_y$  Kelvin-Kirchhoff sınır reaksiyonlarıdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanabilirler

$$V_x = Q_x + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \text{ ve } V_y = Q_y + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \quad (19)$$

Denklem (11) ve denklemler 13(a-b), denklem (19)'daki yerlerine yazılırsa son hali,

$$V_x = -D \left[ \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right] \text{ ve } V_y = -D \left[ \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right] \quad (20)$$

olur.

#### 4.2. Öz değer problemi

Plakların serbest titreşim analizindeki temel sorun uygun sınır koşullarına tabi olan diferansiyel eşitliği çözmektir. Bir plağın titreşim problemini çözmek için denklem (21) 'den yararlanılabilir;

$$w(x, y, t) = W(x, y) \cos(\omega t + \theta) \quad (21)$$

Burada,  $\theta$  rastgele seçilmiş bir sabiti,  $W(x, y)$  ise bilinmeyen bir fonksiyonu göstermektedir. Denklem (21), denklem (14)'te yerine konulursa denklem (22) elde edilir.

$$\left( \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right) W(x, y) - \frac{\rho h \omega^2}{D} W(x, y) = 0 \quad (22)$$

#### 4.2.1. Dört kenarı basit mesnetli plak modeli

Navier çözümleri tüm kenarlarından basit mesnetlenmiş bir plak için denklem (23)'de verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir;

$$W(x, y) = A \sin \frac{m \pi x}{a} \sin \frac{n \pi x}{b} \quad (23)$$

Buradaki  $m$  ve  $n$  tamsayıları,  $A$  ise sıfıra eşit olmayan bir sabit değildir. (23) eşitliğindeki ifade otomatik olarak sınır koşulları özelleştirilmiş olan (22) eşitliğini de sağlamaktadır. Denklem (22)'de denklem (23) yerine konulduğunda ise şu karakteristik denklem elde edilir;

$$\pi^4 \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 - \frac{\rho h \omega^2}{D} = 0 \quad (24)$$

Yukarıdaki denklemin kökleri plağın doğal frekanslarıdır ve denklem (25)'deki gibi yazılabilir

$$\omega_{mn} = \pi^2 \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \quad m, n = 1, 2, \dots \quad (25)$$

Bu işlem Navier çözümü olarak bilinmektedir.

#### 4.3. İki kenarı basit mesnetli diğer kenarları ankastre ve serbest plak modeli

Karşılıklı iki kenarı basit mesnetli plaklar için Levy çözümü uygulanmıştır. Plak iki karşılıklı kenardan basit mesnetlenmiş ( $x=0$  ve  $x=a$  kenarları) ve diğer iki kenarda ( $y=0$  ve  $y=b$ ) rastgele seçilmiş sınır koşullarına sahiptir. Bu rastgele seçilmiş mesnetler,  $C$  ve  $F$  harfleriyle sırasıyla ankastre ve serbest kenarları göstermektedir.

$$W(x, y) = Y(y) \sin \frac{m \pi x}{a} \quad (26)$$

Buradaki  $m$  bir tam sayı ve  $Y(y)$  belirlenecek bir bilinmeyen fonksiyondur. Denklem(26)'daki sinüs fonksiyonu otomatik olarak sınır koşullarını  $x=0$  ve  $x=b$ 'de olmasını sağlamaktadır. Levy tipi çözüm olarak bilinen denklem (22)'de yerine yazılırsa,

$$\frac{d^4}{dy^4} Y(y) - 2\alpha_m^2 \frac{d^2}{dy^2} Y(y) + (\alpha_m^4 + \gamma^4) Y(y) = 0 \quad (27)$$

$$\alpha_m = \frac{m\pi}{a} \quad (28)$$

Burada

(i)  $0 < \gamma < a_m$  için,

$$Y(y) = A \cosh \alpha y + B \sinh \alpha y + C \cosh \beta y + D \sinh \beta y$$

$$\alpha = \sqrt{\alpha_m^2 + \gamma^2} \text{ ve } \beta = \sqrt{\alpha_m^2 - \gamma^2} \quad (29)$$

(ii)  $\gamma = \alpha_m$  için,

$$Y(y) = A \cosh \alpha y + B \sinh \alpha y + Cy + D$$

$$\alpha = \sqrt{2} \alpha_m. \quad (30)$$

(iii)  $\gamma > a_m$  için

$$Y(y) = A \cosh \alpha y + B \sinh \alpha y + C \cos \beta y + D \sin \beta y$$

$$\alpha = \sqrt{\alpha_m^2 + \gamma^2} \text{ ve } \beta = \sqrt{\gamma^2 + \alpha_m^2}. \quad (31)$$

Plağın karakteristik eşitliği (29) ile (31) arasındaki eşitlikler sınır koşullarının denklem (22) yerine konularak elde edilir ve plağın doğal frekansları (33) eşitliğinde verildiği gibi elde edilir.

$$\lambda^2 = \omega \sqrt{\frac{\rho h}{D}} = \pi^2 \left[ \left( \frac{m}{a} \right)^2 + \left( \frac{n + (1/2)}{b} \right)^2 \right] \quad (32)$$

Birleşik mod şekli;

$$\omega_{mn} = \pi^2 \left[ \left( \frac{m}{a} \right)^2 + \left( \frac{n + (1/2)}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \quad f: \frac{\omega}{2 * \pi} \quad (33)$$

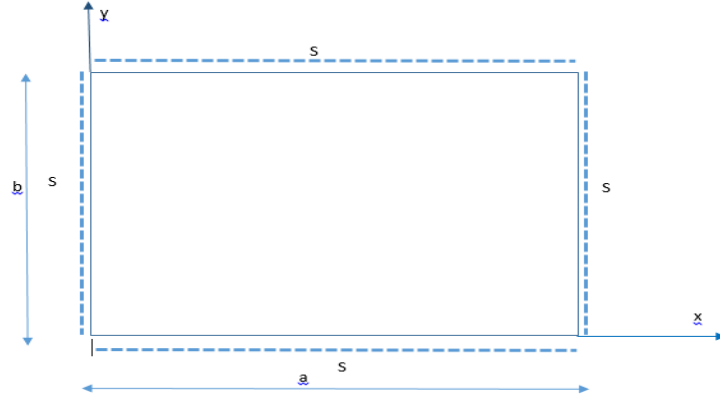
Diğer mesnet koşulları için de benzer şekilde doğal frekans ve birleşik mod denklemleri elde edilebilir.

## 5. Sayısal Sonuçlar

### 5.1. Dört kenarı basit mesnetli plak olarak modellenmiş grafen için sonuçlar

Şekil 4'de, boyutları a ve b olan dikdörtgen plak gösterilmiştir. Plak boyutlarında çeşitli değişikliklere gidilmiş ve farklı boyutlar için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.





Şekil 4. Dört kenarı basit mesnetli plak

Dikdörtgen plağın açılmal frekansı ve açılmal frekansa bağımlı frekansı şu bağıntıdan elde edilir [12]:

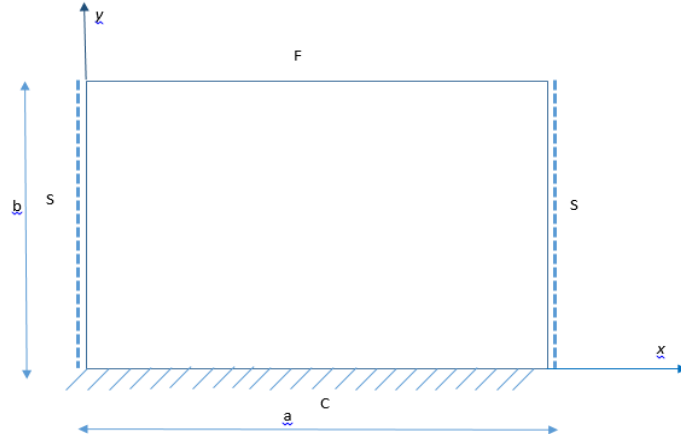
$$\omega_{mn} = \pi^2 \left[ \left( \frac{m}{a} \right)^2 + \left( \frac{n}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad \omega_{mn}(x, y) = A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad f: \frac{\omega}{2 * \pi} \quad (34)$$

Tablo 1. Dört kenarı basit mesnetli dikdörtgen plağın ilk dokuz moddaki açılmal frekans ve frekans değerleri ( $\rho * 10^{-27} = 2250 \text{ kg/nm}^3$ )

D=1 nNs/nm												
a=10, b=10		a=10, b=20		a=10, b=30		a=10, b=10		a=10, b=20		a=10, b=30		
Mod (m,n)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)
(1,1)	1.316	20.9	0.822	13.1	0.731	11.6	1.861	29.6	1.163	18.5	1.034	16.5
(1,2)	3.290	52.4	1.316	20.9	0.950	15.1	4.653	74.0	1.861	29.6	1.344	21.4
(1,3)	6.580	104.7	2.138	34.0	1.316	20.9	9.305	148.1	3.024	48.1	1.861	29.6
(2,1)	3.290	52.4	2.796	44.5	2.705	43.1	4.653	74.0	3.955	62.9	3.825	60.9
(2,2)	5.264	83.8	3.290	52.4	2.924	46.5	7.444	118.5	4.653	74.0	4.136	65.8
(2,3)	8.554	136.1	4.112	65.4	3.290	52.4	12.097	192.5	5.816	92.6	4.653	74.0
(3,1)	6.580	104.7	6.086	96.9	5.995	95.4	9.305	148.1	8.607	137.0	8.478	134.9
(3,2)	8.554	136.1	6.580	104.7	6.214	98.9	12.097	192.5	9.305	148.1	8.788	139.9
(3,3)	11.844	188.5	7.402	117.8	6.580	104.7	16.749	266.6	10.468	166.6	9.305	148.1

## 5.2. İki kenarı basit mesnetli diğer kenarları ankastre ve serbest plak olarak modellenmiş grafen için sonuçlar

Şekil 5'te, boyutları  $a$  ve  $b$  olan dikdörtgen plak gösterilmiştir. Plak boyutlarında çeşitli değişikliklere gidilmiş ve farklı boyutlar için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 5. İki kenarı basit mesnetli diğer kenarları ankastre ve serbest olan plak

Dikdörtgen plağın açısal frekansı ve açısal frekansa bağlı frekansı şu bağıntıdan elde edilir:

$$\omega_{mn} = \pi^2 \left[ \left( \frac{m}{a} \right)^2 + \left( \frac{n + (1/2)}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \quad f = \frac{\omega}{2 * \pi} \quad (35)$$

Tablo 2. İki kenarı basit mesnetli diğer kenarları ankastre ve serbest dikdörtgen plağın ilk dokuz moddaki açısal frekans ve frekans değerleri ( $\rho * 10^{-27} = 2250 \text{ kg/nm}^3$ )

Mod (m,n)	D=1 nNs/nm						D=2 nNs/nm					
	a=10, b=10		a=10, b=20		a=10, b=30		a=10, b=10		a=10, b=20		a=10, b=30	
	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)	$\omega * 10^{11}$ (rad/s)	F (GHz)
(1,1)	2.138	34	1.028	16.4	0.822	13.1	3.024	48.1	1.453	23.1	1.163	18.5
(1,2)	4.770	75.9	1.686	26.8	1.115	17.7	6.746	107.4	2.384	37.9	1.576	25.1
(1,3)	8.718	138.8	2.673	42.5	1.554	24.7	12.329	196.2	3.780	60.2	2.197	35
(2,1)	4.112	65.4	3.002	47.8	2.796	44.5	5.816	92.6	4.245	67.6	3.954	62.9
(2,2)	6.744	107.3	3.659	58.3	3.089	49.2	9.537	151.8	5.175	82.4	4.368	69.5
(2,3)	10.692	170.2	4.646	74	3.527	56.1	15.120	240.7	6.571	104.6	4.988	79.4
(3,1)	7.402	117.8	6.291	100.1	6.086	96.9	3.024	48.1	8.898	141.6	8.607	137
(3,2)	10.034	159.7	6.949	110.6	0.822	13.1	6.746	107.4	9.828	156.4	9.020	143.6
(3,3)	13.982	222.5	1.028	16.4	1.115	17.7	12.329	196.2	1.453	23.1	1.163	18.5

Tablo 1 ve Tablo 2’de sırasıyla dört kenarı basit mesnetli ve iki kenarı basit mesnetli bir kenarı ankastre, bir kenarı serbest dikdörtgen plak için sonuçlar verilmiş olup aralarındaki değişim açıkça gösterilmiştir.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada grafen tabakalar bir plak olarak modellenip titreşim analizleri yapılmıştır. Dikdörtgen plaklara ait hareket denklemleri ince plak teorisi için çıkarılarak iki kenarı basit, bir kenarı ankastre, bir kenarı serbest ve dört kenarı basit mesnetli plak modeller için çözülmüştür. Sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Tablolardan açıkça görüldüğü gibi plak uzunlukları ve mod sayıları doğal ve açısal frekansa etki etmektedir. Kenar

uzunluklarının artması frekansları küçültmeye etki ederken mod sayısının artması ise frekansları büyütme yönünde etki ettiği gösterilmiştir. Sürekli mekanik modellerin nanoteknolojide bir alternatif olabileceği vurgulanmıştır.

## Teşekkür

Katkılarından dolayı Akdeniz Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- [1] Akgöz, B., Yüksek mertebeden elastisite teorileriyle mikro ve nano yapıların lineer ve lineer olmayan analizleri. Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi**, 72 sayfa, (2010).
- [2] Ayhan, A., Düünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri, **Beta Basım Yayım Dağıtım**, İstanbul, (2002).
- [3] Baykara, T., Günay, V. ve Musluoğlu, E., Nanoteknoloji ve nano-malzeme süreçleri. **Tübitak MAM**, (2010).
- [4] Cenger, Y., Nanoteknoloji ve karbon nanoyapılar, Bitirme Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, (2006).
- [5] Çıracı, S., Nanoteknolojide yeni ufuklar, **Bilim ve Teknik Dergisi**, (2006).
- [6] Işık, Ç., Nano ve mikro yapıların lokal olmayan elastisite teorisi ile eğilme ve titreşim hesabı, Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, (2011).
- [7] Erkoç, Ş., Karbon nano yapılar, **Bilim ve Teknik Dergisi**, (2001).
- [8] Erkoç, Ş., Nanobilim ve Nanoteknoloji, **O.D.T.Ü. Bilim ve Toplum Kitapları Dizisi**, (2008).
- [9] Miyazaki, K. ve Islam, N., Nanotechnology Systems of Innovation - An Analysis of Industry and Academia Research Activities, **Technovation**, 661-675, (2007).
- [10] Özer, Y., Nanobilim ve nanoteknoloji: Ülke güvenliği/etkinliği açısından doğru modelin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, **T.C. Kara Harp Okulu**, Ankara, (2008).
- [11] Ramsden, J., Nanoteknolojinin Esasları. **ÖDTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları**, Ankara, (2009).
- [12] Leissa, W.A., Qatu, S.M., Vibration of continuoussystem, **TheMcGraw-Hill**, (2011).
- [13] TÜSİAD, Uluslararası Rekabet Stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye. Rekabet Stratejileri Dizisi No:11, TÜSİAD-T/2008-11/474, (2008).
- [14] Zhang, Y. , Tan, Y. W. , Stormer, H. L. , Kim, P., Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry’s phase in graphene", **Nature**438: 201–204. doi:10.1038/nature04235, (2005).
- [15] Yeğen, F.I., Grafen Şeritler .Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2011).
- [16] Young, A.F., ve Kim, P., Quantum interference and Klein tunnelling in graphene heterojunctions, **NaturePhysics**, 5, 222, (2009).
- [17] Dede, D., ve Bozkurt, L., Nanoteknoloji, uygulamaları, grafen ve grafen plakaya dikdörtgen membran uygulamasının yapılması. Lisans Bitirme Tezi, **Akdeniz Üniversitesi**, Antalya, (2013).

- [18] Portugal R., Golebiowski L., ve Frenkel D., Oscillation of membranes using computer algebra, **American Journal of Physics**, 67, 6, 534-537, (1999).
- [19] Novoselov, K. S., Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene, **Nature**438 (7065): 197–200. doi:10.1038/nature04233. PMID 16281030, (2005).
- [20] Moğulkoç, A., Grafende kütleli dırac fermiyonları gazı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).
- [21] Novoselov, K.S. ve Geim, A.K., “The rise of graphene”, **Nature**, 6, 183-191, (2007).
- [22] Çıracı, S., Nanoteknolojide yeni ufuklar, *Bilim ve Teknik Dergisi*, (2005).
- [23] Leissa, W.A., ve Qatu, S.M., Vibration of continuous systems, **The McGraw-Hill**, (2011).
- [24] Luş, H. ve Yerlici, V. 2007., Yapı Dinamiği’ne Giriş., **Boğaziçi Üniversitesi Yayinevi, İstanbul**, (2007).
- [25] Mercan, K., ve Civalek, Ö., DSC method for buckling analysis of boron nitride nanotube (BNNT) surrounded by an elastic matrix, **Composite Structures**, 143, 300-309, (2016).
- [26] Mercan, K., Demir, C., Akgöz, B., ve Civalek, Ö., Coordinate Transformation for Sector and Annular Sector Shaped Graphene Sheets on Silicone Matrix. **International Journal of Engineering & Applied Sciences**, 7, 2, 56-73, (2015).
- [27] Civalek, Ö., ve Akgöz, B., Static analysis of single walled carbon nanotubes (SWCNT) based on Eringen’s nonlocal elasticity theory, **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, 1, 2, 47-56, (2009).
- [28] Civalek, Ö., ve Akgöz, B., Vibration analysis of micro-scaled sector shaped graphene surrounded by an elastic matrix, **Computational Materials Science**, 77, 295-303, (2013).
- [29] Demir, Ç., ve Civalek, Ö., Torsional and longitudinal frequency and wave response of microtubules based on the nonlocal continuum and nonlocal discrete models, **Applied Mathematical Modelling**, 37, 22, 9355-9367, (2013).
- [30] Civalek, Ö., ve Demir, Ç., A simple mathematical model of microtubules surrounded by an elastic matrix by nonlocal finite element method, **Applied Mathematics and Computations**, 289, 335-352, (2016).
- [31] Demir, Ç., ve Civalek, Ö., Nonlocal deflection of microtubules under point load, **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, 7, 3, 33-39, (2015).
- [32] Civalek, Ö., ve Demir, Ç., Buckling and bending analyses of cantilever carbon nanotubes using the euler-bernoulli beam theory based on non-local continuum model. **Asian Journal of Civil Engineering**, 12, 5, 651-661, (2011).
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene> 2007 (01.05.2016).
- [34] Akgöz, B., Civalek, Ö., Shear deformation beam models for functionally graded microbeams with new shear correction factors, **Composite Structures**, 112, 214-225, (2014).
- [35] Akgöz, B., ve Civalek, Ö., A microstructure-dependent sinusoidal plate model based on the strain gradient elasticity theory, **Acta Mechanica**, 226, 7, 2277-2294, (2015).
- [36] Akgöz, B., ve Civalek, Ö., A new trigonometric beam model for buckling of strain gradient microbeams, **International Journal of Mechanical Sciences**, 81, 88-94, (2014).

- [37] Wei G.W., A new algorithm for solving some mechanical problems, *Comput. Methods, Applied Mechanics and Engineering*, 190, 2017–2030, (2001).
- [38] Wei, G.W., Vibration analysis by discrete singular convolution, *Journal of Sound and Vibration*, 244, 535-553, (2001).
- [39] Wei, G.W., Discrete singular convolution for beam analysis, *Engineering Structures*, 23, 1045-1053, (2001).
- [40] Baltacıoğlu, A.K., Civalek, Ö., Akgöz, B., ve Demir, F., Large deflection analysis of laminated composite plates resting on nonlinear elastic foundations by the method of discrete singular convolution, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 88, 8, 290-300, (2011).
- [41] Civalek, Ö., The determination of frequencies of laminated conical shells via the discrete singular convolution method, *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 1, 1, 163-182, (2006).
- [42] Civalek, Ö., ve Gürses, M., Free vibration analysis of rotating cylindrical shells using discrete singular convolution technique, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 86, 10, 677-683, (2009).
- [43] Civalek, Ö., Fundamental frequency of isotropic and orthotropic rectangular plates with linearly varying thickness by discrete singular convolution method, *Applied Mathematical Modelling*, 33, 10, 3825-3835, (2009).
- [44] Demir, Ç., Mercan, K., ve Civalek, Ö., Determination of critical buckling loads of isotropic, FGM and laminated truncated conical panel, *Composites Part B: Engineering*, 94, 1-10, (2016).

# Experimental study for the hydraulic efficiency of an overtopping type wave energy converter with a circular runup ramp

Mehmet Adil AKGÜL<sup>1,\*</sup>, Mehmet Sedat KABDAŞLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 26 Agustos Campus, Istanbul

<sup>2</sup>Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Civil Engineering Department, Istanbul

Geliş Tarihi (Recived Date): 29.12.2016  
Kabul Tarihi (Accepted Date): 16.06.2017

## Abstract

*In this study, overtopping rates on a circular cylindrical overtopping ramp under regular waves have been measured and hydraulic efficiency of the device as a wave energy converter has been assessed by analyzing the energy budget of the overtopped water mass. The study has been carried out by conducting two-dimensional physical model tests. The variation of overtopping rates with wave parameters has been studied and an empirical formula has been evaluated for the estimation of overtopping rates. The efficiency of the system has been calculated as the ratio of the mean power of the overtopped water mass to the wave energy flux. Results indicate that the hydraulic efficiency based on the kinetical komponent can reach 40% for the case of steep waves and the efficiency is reduced with increasing wavelength.*

**Keywords:** Wave overtopping, wave energy converter, hydraulic efficiency.

## Dairesel yüzeyli aşma tipi bir dalga enerjisi dönüştürücüde hidrolik verimin deneysel incelenmesi

## Özet

*Bu çalışmada, dairesel silindir formundaki bir tırmanma yüzeyi üzerinde düzenli dalgalar etkisinde meydana gelecek aşma debileri ölçülmüş ve aşan su kütlelerinin enerji bütçesinden yola çıkılarak sistemin bir dalga enerjisi dönüştürücü olarak hidrolik verimi incelenmiştir. İki boyutlu fiziksel modelleme teknikleri uygulanarak*

\* Mehmet Adil AKGUL, adil.akgul@yeditepe.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2419-7712>  
Mehmet Sedat KABDAŞLI, kabdaslis@itu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0003-0663-2378>

*gerçekleştirilen çalışmada aşma debilerinin dalga parametreleri ile değişimi incelenmiş ve debilerin tahmini için ampirik bir bağıntı önerilmiştir. Hidrolik verim, aşan su kütlesinin ortalama gücünün dalga enerji akısına oranı cinsinden elde edilmiştir. Çalışma, özellikle kısa periyodlu dalgalarda yapının %40'a yakın bir hidrolik verim sağladığını göstermekte olup verimin artan dalga boyu ile azaldığını ortaya koymuştur.*

*Anahtar kelimeler: Dalga aşması, dalga enerjisi dönüştürücü, hidrolik verim*

## 1. Introduction

The increase in global population and personal energy consumption due to technological advances, coupled with the reducing reserves of fossil-based fuels and their environmental effects boosted the use of renewable energy and hence the research on devices converting renewable energy in developed and developing countries. Main sources of renewable energy are defined as solar energy, wind energy, hydropower and marine based energies such as tidal, current and wave energy. Wave energy has become a challenging field of study in the global scale due to its vast energy containment and availability, and a large number of wave energy converters have been defined, even some of them did reach the operational stage. Fundamental types of wave energy converters are defined as the oscillating water column (OWC), where air compressed due to wave action drives a turbine, oscillating systems driving a mechanical closed-conduit pump system to power a turbine and systems using the water directly at the turbines. The majority of the last group utilize wave overtopping mechanism for the power generation, hence they are names as overtopping type wave energy converters (OWEC).

### 1.1. Overtopping type wave energy converters

In an OWEC, waves reaching the device are forced to run up over an inclined ramp and to spill into a reservoir located behind the ramp, leading to a pressure head between the reservoir and the mean water level. The pressure head is used to drive low head turbines installed at the bottom of the reservoir in order to convert hydraulic energy to electricity at generators attached to the turbines.

During the last three decades, different types of OWECs have been designed and tested [2, 3], some of which even have found prototype scale applications. TapCHAN [3] and SSG Slot Cone Generator [4] are typical onshore OWECs with TapCHAN being the oldest OWEC ever deployed, and SSG Slot Cone Generator is a recent development especially suitable for use on seawalls and breakwaters. Regarding offshore OWECs, the most researched type is the Wave Dragon [5], whereas some other types also have been recommended such as the Wave Pyramid [6] and the Wave Plane [7]. All devices mentioned here except the Wave Plane utilize low head turbines, whereas a hydrokinetical converter is used on the Wave Plane, for which very limited data is available.

### 1.2. Wave overtopping

Wave overtopping has been a topic of vital importance for coastal engineers regarding the stability and functionality of coastal structures. The overtopping discharge  $q$  is defined as the volume of water crossing the crest of a 1m wide cross section of any structure in unit time. Studies related to estimation of overtopping discharges initiated in

1950's [8-10], where some typical structures of well defined cross sections have been tested experimentally. Accordingly, the applications of the results are limited. Attempts to evaluate a general expression for the overtopping process by introducing dimensionless parameters have been done by Paape [11] and Shi-Igai and Kono [12]. Weggel [13] carried out a dimensional analysis and recommended some dimensionless equations by using the data achieved from previous works. Studies following Weggel's work usually did consider a certain type of a coastal structure with deploying test parameters as the structure crest height and wave parameters in order to apply the general overtopping equations to different types of structures. In many of these studies [14-18], the recommended overtopping equation is given as simple exponential expression written as:

$$Q = a \exp(-bF_R) \quad (1)$$

In Eq. 1,  $Q$  is the dimensionless overtopping discharge,  $a$  and  $b$  are coefficients and  $F_R$  is the relative freeboard. The dimensionless discharge has two fundamental definitions; it has been defined as the ratio of the overtopping discharge to the volume of water entrapped between the crest level of the incident wave and mean water level [11], which, according to linear wave theory can be calculated as:

$$Q = \frac{2\pi qT}{HL} \quad (2)$$

A second definition, later having found wider application for coastal structures, adopts the weir equation to wave overtopping. The dimensionless discharge is given as [12]:

$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH^3}} \quad (3)$$

The second parameter in Eq. 1, the dimensionless freeboard  $F_R$  is defined as the ratio of the structure crest level, i. e. freeboard, to the incident wave height. It can be observed that many overtopping studies adopted Eq. 1 for different coastal structures by modifying the coefficients  $a$  and  $b$ , whereas in some studies the overtopping discharge is defined as a direct function of the dimensionless freeboard [19-21].

A study carried out by van der Meer and Janssen [17] introduced further parameters to Eq. 1, such as spectral wave properties, shallow water effect, wave breaking, influence of a berm or a composite slope and oblique wave attack. A fundamental deviation has been made by introducing the Iribarren number into the equations, which actually is a definition of wave runup and wave breaking. The resultant equations are given as:

$$\begin{aligned} \frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} \sqrt{\tan \alpha} &= 0.06 \exp\left(-5.2 \frac{F}{H_s} \frac{\sqrt{s_{op}}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma}\right) ; \xi_{op} < 2 \\ \frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} &= 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{F}{H_s} \frac{1}{\gamma}\right) ; \xi_{op} > 2 \end{aligned} \quad (4)$$



A common point in these studies about wave overtopping is the existence of a continuous structure between the sea bottom and the structure crest. In other words, no wave transmission takes place under the structure. This is mainly due to the fact that wave overtopping has been assessed as a shore protection related topic, and the structures focused are usually conventional seawalls or breakwaters. However, a new era in overtopping studies has started by the development of offshore OWECs, where structure blockage becomes limited for floating systems. Some modifications have been recommended by Kofoed (2002) for the OWEC Wave Dragon [22], where correction factors to Eq. 4 have been recommended, however, the main form of the equation is retained.

Research of wave overtopping is still a crucial topic in research, and while all the studies carried out hold their validity in their tested structure type and range [23], further improvement works are still in progress [24, 25]. A very recent summary of studies carried out has been published [26], but it still does not contain any data about non-continuous structures. For a more comprehensive literature review, the reader is referred to the author's work [27], which is the source study of this paper.

In this study, an overtopping equation has been evaluated for a runup surface of circular profile by carrying out physical modeling tests. In the following, the energy budget of the overtopped water volume has been inspected and the hydraulic efficiency for an OWEC using a circular ramp shall be derived. The power take-off (PTO) unit has been excluded from the study due to limited funding availabilities.

## 2. Experimental Study

### 2.1. Wave flume and model setup

The physical model study has been carried out in the Hydraulics Laboratory of Istanbul Technical University. A wave flume, 24.00 m long, 0.98 m wide and 1.00 m deep has been used during the study. The flume is equipped with a flap-type wavemaker, able to generate both regular and irregular wave series. To minimize reflections from the downstream end of the flume, a 1:7 sloped gravel beach has been constructed. Tests have been carried out at a water depth of 0.70 m. The plan and profile view of the wave flume are given in Fig. 1.

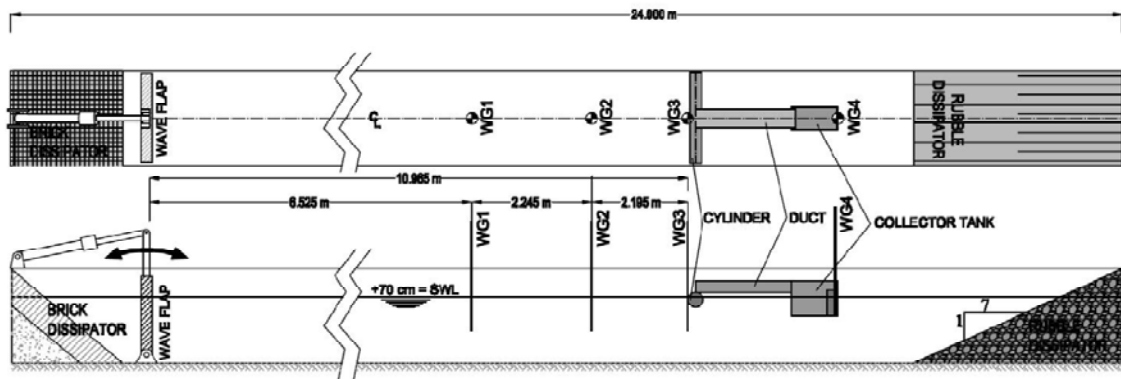


Figure 1. Plan and profile view of the wave flume.

The model used in the study consists of a horizontal circular cylinder followed by a duct, leading to a reservoir at the other end. The system has been mounted on a steel frame suspended from the top of the tank and fixed along the side railing. The 125 mm diameter cylinder is made of PVC whereas the duct and the reservoir are made of plexiglass. The cylinder has been deployed in such a way that 88% of its diameter is submerged and 12% emergent. The duct is rectangular, 200 mm wide and 105 mm deep; starting at the top of the cylinder and extending along 1050 mm shoreward, to be used for inspecting the propagation of the overtopped water volumes. A container with a storage volume of 25 lt has been attached to the end of the duct to measure the overtopping rates. Measurement of overtopping rates has been carried out by a resistance type wave probe deployed into the reservoir in a perforated vertical pipe guide acting as a stilling well.

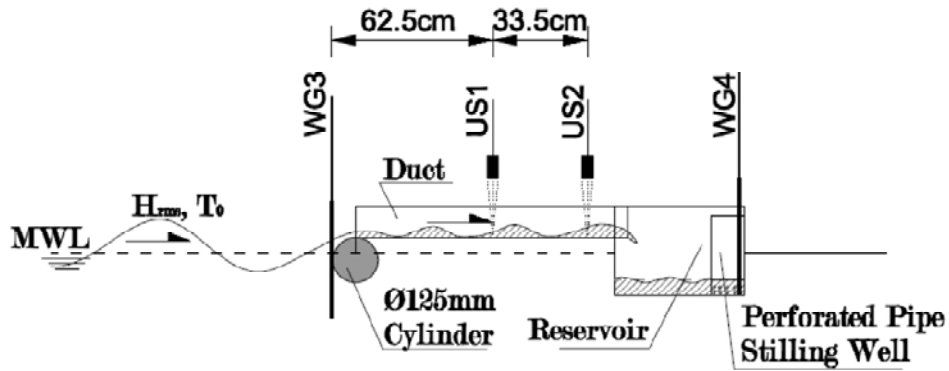


Figure 2. A sketch of the overtopping model and related instrumentation.

Three resistance type wave probes have been deployed in order to measure wave data, these are used at a sampling rate of 25 Hz. In order to inspect the motion of the overtopped water volume, two ultrasonic elevation sensors have been installed along the duct, with spacings of 625 mm and 960 mm from the top edge of the cylinder. The sampling rate for these cylinders has been set to 250 Hz.

## 2.2. Test matrix

Since the wave flume used does not contain an active wave paddle, effective time for each test is limited. Hence only regular wave series have been used during the tests. A total of 30 different regular wave series have been generated and applied to the model, which cover following range of characteristics:

$$\begin{aligned} 5.69\text{cm} \leq H_{\text{rms}} \leq 14.88\text{cm} \\ 1.50\text{s} \leq T_0 \leq 0.86\text{s} \end{aligned} \quad (5)$$

By using dimensionless expressions with respect to the cylinder diameter  $D$ , the test range can be given as:

$$\begin{aligned} 0.46 \leq H_{\text{rms}}/D \leq 1.19 \\ 0.04 \leq D/L_h \leq 0.11 \end{aligned} \quad (6)$$

## 2.3. Data processing

The water surface elevation time series achieved from the wave probes has been processed by zero-crossing method. For each set, "clean" test durations have been calculated in order to avoid re-reflection disturbances from the wave paddle. Though this process significantly reduces the number of waves to be assessed, especially for low frequencies, comparisons with pilot tests carried out in the blank channel did show that the variation in wave height is less than 5% for such cases. Some tests have been repeated to ensure the reliability of the results.

Overtopping discharges have been calculated by using the water surface elevation time series achieved from the wave probe in the reservoir. Cumulative overtopping volume-time curves have been plotted by multiplying the water surface elevation data with the tanks base area and the average overtopping discharges have been calculated as the slope of the cumulative overtopping discharge-time curve:

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

### 3. Evaluation of Test Data

#### 3.1. Variation of overtopping rates with wave parameters

Since water depth and bottom slope have been kept constant during the tests, the effective wave parameters can be given as the wave height and wave period. The effect of wave period can also be introduced by using the wavelength, defined according to the linear theory by:

$$L_h = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_h}\right) \quad (8)$$

Most of the waves used during the tests fall into the transition zone, actual wavelengths have been calculated by solving Eq. 8 iteratively. Two dimensionless parameters have been introduced: The dimensionless wave height has been defined as the ratio of the RMS wave height  $H_{rms}$  to the cylinder diameter  $D$ , and the dimensionless wavelength, formally known as the diffraction parameter in wave hydrodynamics, has been defined as the ratio of the cylinder diameter  $D$  to wavelength  $L_h$ .

In order to inspect the variation of overtopping rates with wave height, tested wave series with the same wave periods have been grouped. Thus, by keeping all other parameters constant, the effect of wave height on overtopping rates has been plotted in Fig. 3.a, indicating that overtopping rates increase with increasing wave height. A similar grouping of the test waves has been made by keeping the wave heights constant in order to see the effect of wavelength on overtopping rates. Plotted in Fig. 3.b, it can be seen that overtopping rates decrease with increasing wavelength. A further parameter, known as the wave steepness  $s_h$  and defined as the ratio of the wave height to the wavelength has also been inspected. In order to comply with the literature, the variation of overtopping discharges with the square root of the wave steepness has been plotted in Fig. 3.c, clearly indicating that overtopping rates increase with increasing wave steepness.

As the second parameter, the variation of overtopping rates with the dimensionless freeboard  $F/D$  has been inspected, shown in Fig. 4. In Fig. 4.a, the freeboard of the cylinder has been taken as its freeboard at the still water level. It has been observed that some setup takes place in front of the cylinder under wave attack, thus, a correction has been introduced by substituting the still level freeboard values ( $F$ ) with the freeboard

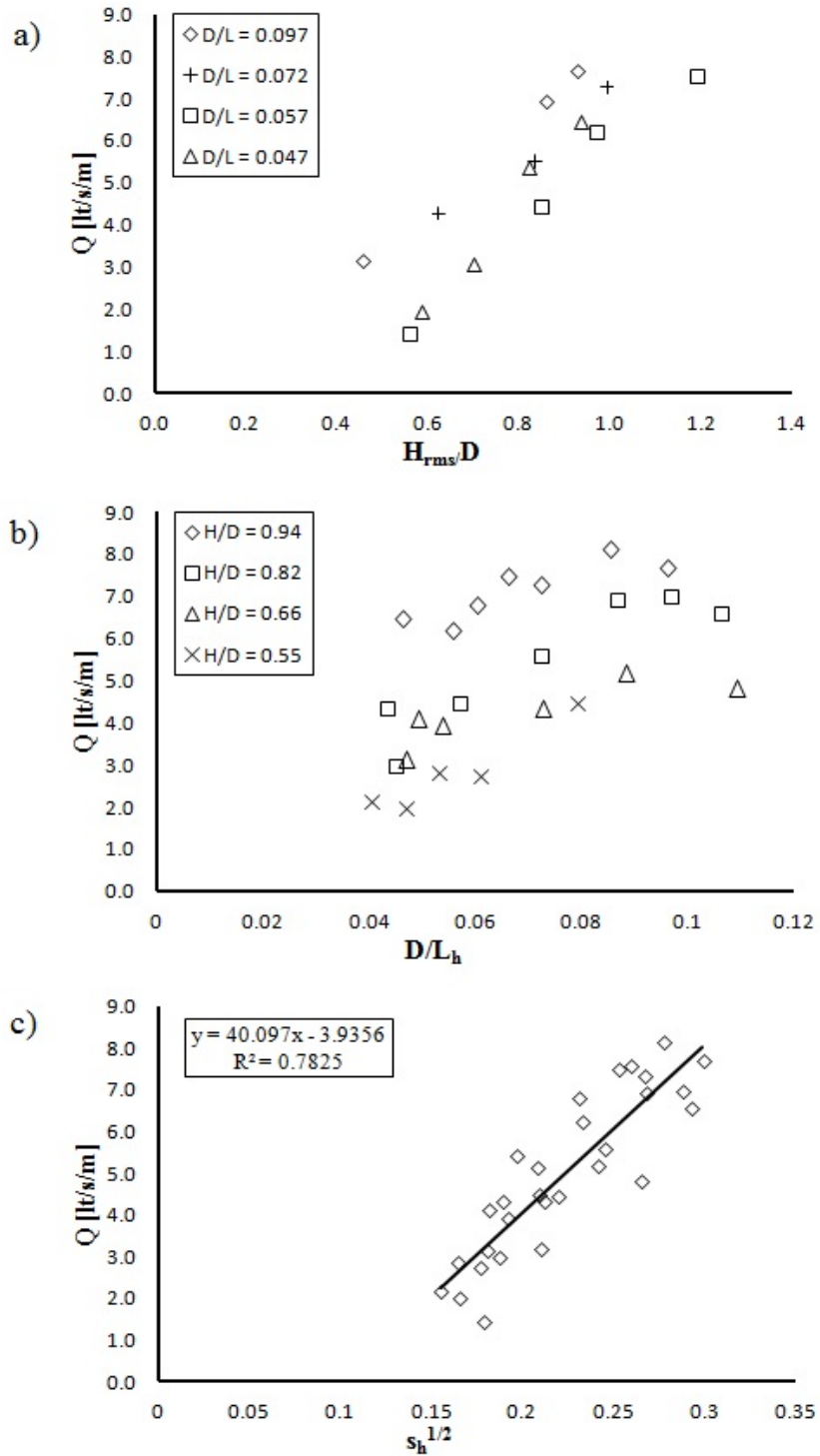


Figure 3. Variation of overtopping rates with (a) dimensionless wave height, (b) diffraction parameter and (c) wave steepness.

values under wave attack  $F_D$ , i.e. the "disturbed" freeboard, calculated from the time series read at the wave probe tangent to the offshore edge of the cylinder. The variation of the overtopping rates with the disturbed freeboard values  $F_D$  has been plotted in Fig. 4.b. As it can be observed from Figs. 4.a and 4.b, the effect of this setup taking place in front of the cylinder on wave overtopping is significant, and an exponential curve may be used to describe the relationship between the overtopping rates and the relative freeboard.

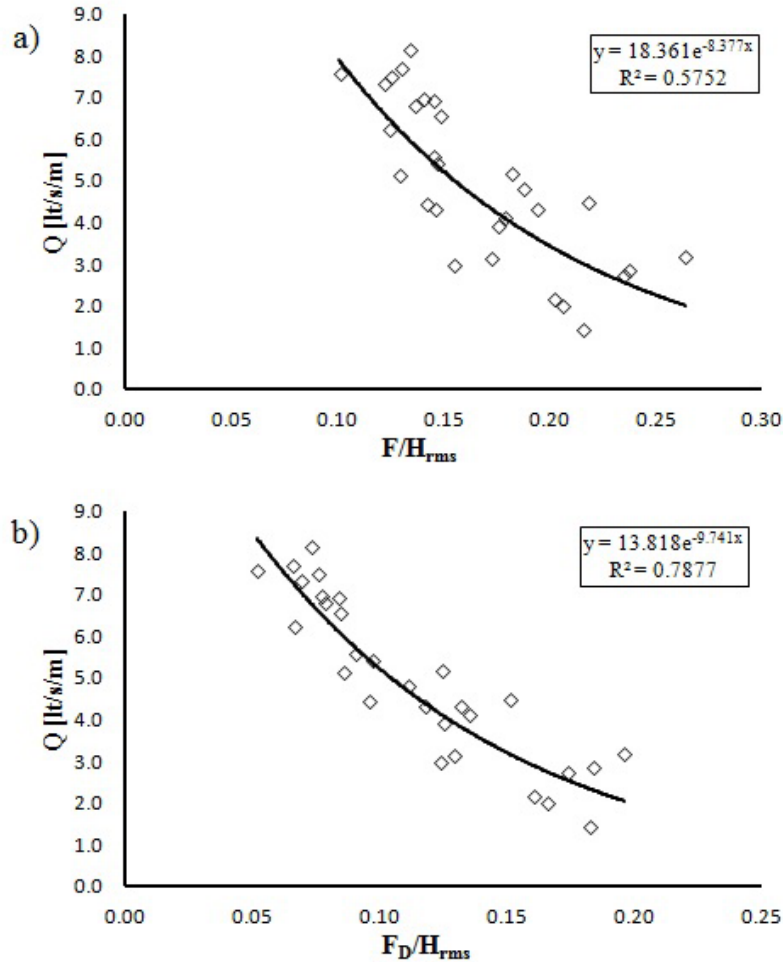


Figure 4. Variation of overtopping rates with (a) dimensionless freeboard and (b) disturbed dimensionless freeboard.

By using the parameters mentioned above, a non-linear regression model has been set up in order to derive an equation for the prediction of overtopping rates. A new parameter for the dimensionless discharge has been introduced, which is physically defined as the ratio of the overtopping volume corresponding to a single wave to the volume of the cylinder, both for unit width. In its physical expression, the new parameter expresses the amount of blockage a wave encounters prior to overtopping, and further development is on the way to introduce the depth of submergence of the obstacle.

Denoted by  $Q'$ , the dimensionless discharge can be expressed as:

$$Q' = \frac{4qT}{\pi D^2} \tag{9}$$

The variation of the dimensionless discharge  $Q'$  with the relative freeboard is given in Fig. 5. As seen, an exponential relationship can be defined between the dimensionless discharge and dimensional freeboard, for which a non-linear regression analysis yields Eq. (10):

$$Q'\sqrt{s_h} = 0.3788 \exp\left(-12.4 \frac{F_D}{H_{rms}}\right) \quad (10)$$

It can be observed from Figure 5 that overtopping discharges can be predicted better in case of small dimensionless freeboard values.

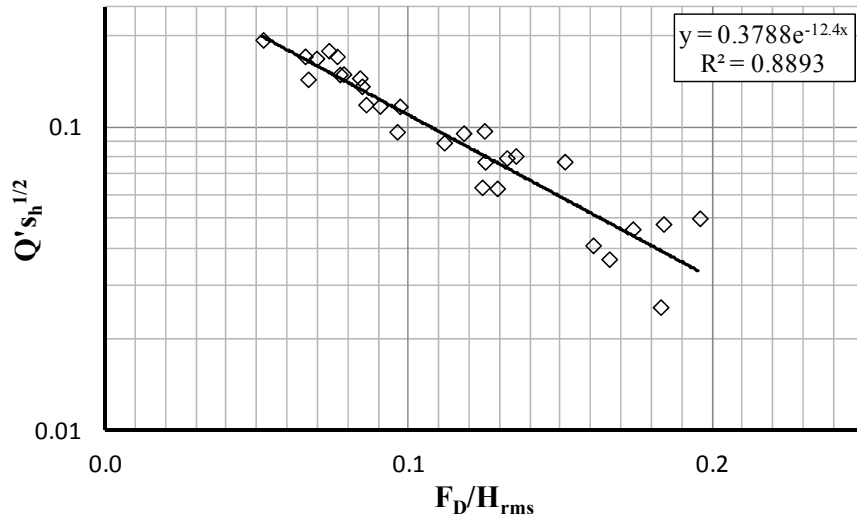


Figure 5. Variation of dimensionless discharge with disturbed freeboard.

### 3.2. Propagation of overtopped water mass

A typical water surface elevation-time curve achieved from sensors US1 and US2 is shown in Fig. 6. As seen, a profile change is taking place in the overtopped water volume while it propagates along the duct. Two parameters, identifying this profile change can be given as the maximum and minimum levels of each individual overtopping volume. The average propagation velocities for these two peak points have been calculated by using the time series and the distance between the sensors, where results show that the propagation velocity of each maxima is less than the propagation velocity of the corresponding minima, indicating clearly a profile change. It has been calculated that the maxima velocities are approximately 15% less than the trough velocities.

### 3.3. Energy and hydraulic efficiency

In order to calculate the energy budget of the overtopping water volume, the propagation velocities should be known. Following assumptions have been made in order to calculate the velocity values:

- i. Water is incompressible.
- ii. The friction loss taking place between sensors US1 and US2 can be omitted. Schüttrumpf's work [18, 28] indicates that the reduction in the velocity of the overtopped water volumes is mainly due to surface friction. Since the plexiglass channel used has a very low friction coefficient ( $f=0.01$ ) and the distance between the sensors is quite small, the effect of friction has been assumed as negligible.

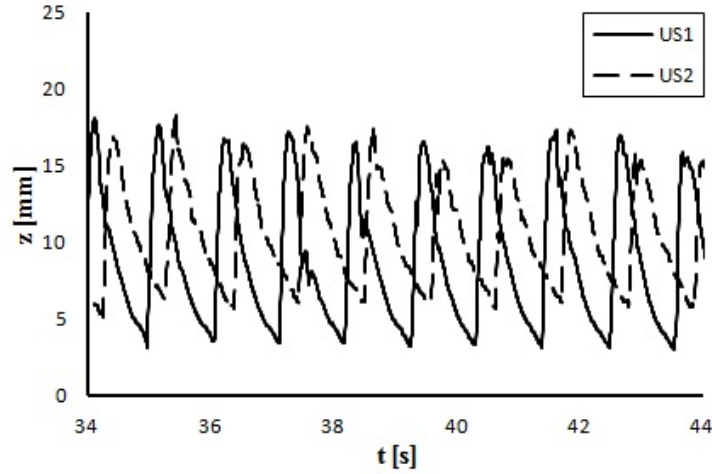


Figure 6. A synchronized water surface elevation-time series record for the water mass progressing in the channel, achieved from the probes US1 and US2.

- iii. The crests and troughs of the overtopped water masses propagate with the same velocity. Consequently, an average propagation velocity can be defined for each particular overtopped water volume.
- iv. Vertical velocity components are omitted.

By using the assumptions made above, the unit discharge can be represented as the product of the velocity and flow depth:

$$q(t) = z(t)u(t) \tag{11}$$

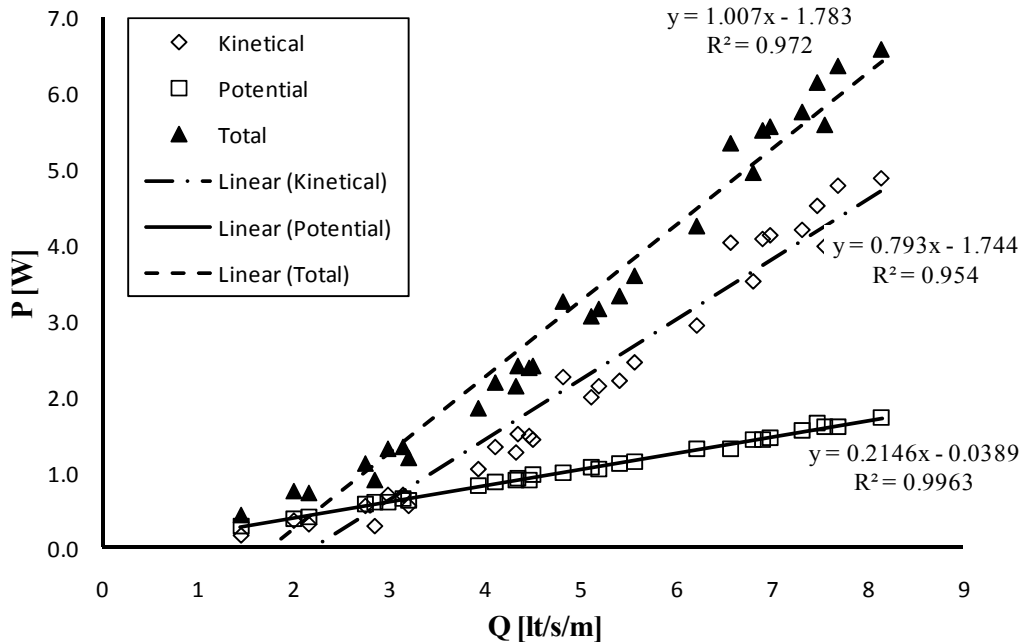


Figure 7. Variation of captured wave power with overtopping rates.

By using assumption (iii) above, Eq. 11 has been applied by using an uniform propagation velocity assumption for each individual overtopped water mass and the time axis of the records has been converted to distance. In order to provide a better

approach considering the change in the profile of the propagating water mass, the centroid of each overtopped flow volume has been calculated at both sensors and the time interval and displacement of the centroid between two sensors has been used to achieve a mean velocity value. Thus, the kinetic energy of the overtopped water volume for each wave can be represented by using the horizontal velocity of the centroid and the mass of water contained within. A similar approach has been used to calculate the potential energy of the overtopped flow volumes by considering the mass and vertical coordinate of the centroid, calculated according to the still water level reference datum.

Calculations of hydraulic power have been carried out for the kinetic, potential and total energy of the overtopped water volumes separately. Hydraulic efficiency, on the other hand, has been calculated as the rate of the energy transferred by the overtopped water volume to the energy flux of the incident waves. The variation of power with respect to overtopping rates has been given in Fig. 7. It has been concluded that the power of the overtopping water volume can be represented by a linear relationship with respect to the unit discharge, and 80% of the captured energy for the mentioned case is kinetical energy.

In addition to the findings mentioned above, the existence of a linear relationship can also enlighten a second point, where the captured wave power can be characterized by a typical "equivalent pumping head" as used in the case of steady flow. This parameter may be useful to compare different OWEC designs.

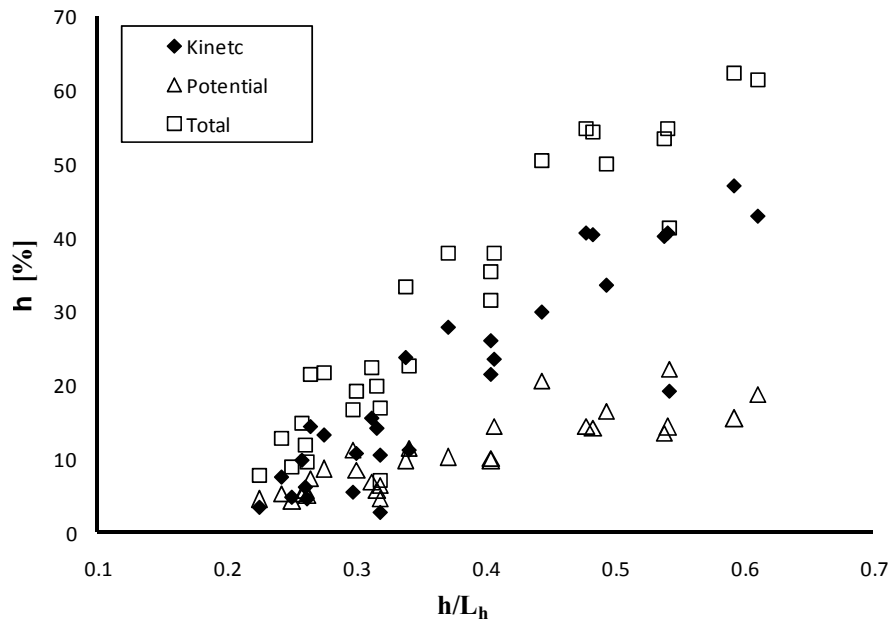


Figure 8. Variation of hydraulic efficiency with the wave parameter.

The variation of the hydraulic efficiency with the wave parameter has been given in Fig. 8. It can be observed that the efficiency is increasing with increasing wave parameter, i.e. waves with higher frequencies yield a higher efficiency. A similar plot can also be achieved if the diffraction parameter instead of the wave parameter is used for the same assessment, which is actually in compliance with the findings based on wave overtopping represented in Figs. 3-5.



#### 4. Conclusion

Overtopping rates over a partially submerged horizontal circular cylinder have been measured by carrying out physical model tests. The variation of overtopping rates with governing parameters has been inspected. By carrying out a nonlinear regression, for a relative freeboard value of  $F/D=0.12$ , an empirical equation (Eq.10) has been evaluated for the prediction of overtopping rates. For the wave range studied (Eq. 5-6), the reliability of Eq. 10 reduces with increasing dimensionless freeboard.

Kinetic and potential energy of the overtopping volumes propagating in a rectangular duct have been calculated by assuming a constant propagation velocity for each overtopping water volume and by using the centre of gravity for each individual overtopping volume per wave. Average captured power values have been calculated, and it has been found out that a linear relationship can be used to predict wave power based on overtopping volumes. The result also indicates that an equivalent "pumping height" can be evaluated for the overtopped water volumes, which may be a useful parameter in comparing different types of OWEC systems.

The hydraulic efficiency has been evaluated by dividing the captured power to the energy flux value of the incident waves. The study indicates that the tested device functions with an acceptable level of efficiency, especially in case of steep waves. It is obvious that more advanced methods such as the deployment of a PIV can be useful in order to inspect the behavior of the overtopped volumes further.

#### List of Symbols

$D$	: Cylinder diameter
$F$	: Freeboard
$F_D$	: Disturbed freeboard
$F_R$	: Dimensionless freeboard
$g$	: Gravitational acceleration
$h$	: Water depth
$H$	: Wave height
$H_{rms}$	: RMS wave height
$H_s$	: Significant wave height
$L$	: Wavelength
$L_h$	: Wavelength at a water depth of $h$ .
$P$	: Power
$q$	: Unit discharge
$Q$	: Dimensionless discharge
$Q'$	: Volumetric dimensionless discharge
$s_h$	: Wave steepness at a water depth of $h$ .
$s_{op}$	: Deepwater wave steepness corresponding to the peak of the wave spectrum.
$t$	: Time
$T$	: Wave period
$T_0$	: Mean wave period
$u$	: Flow velocity
$V$	: Volume

$z$	: Flow depth
$\alpha$	: Structure slope
$\gamma$	: Correction factor
$\eta$	: Efficiency
$\xi_{op}$	: Deepwater Iribarren number corresponding to the peak of the wave spectrum.

## References

- [1] Cruz, J., **Ocean wave energy: Current status and future perspectives**, Springer Verlag, Netherlands, (2008).
- [2] Thorpe, T.W., A brief review of wave energy - A report produced for the UK department of trade and industry, ETSU-R120, UK, (1999).
- [3] Bedard, R. and Hagerman, G. Offshore Wave Energy Conversion Devices E2I EPRI Evaluation Report No. E2I-EPRI-WP-004-USRev. 1, Haziran 2004.
- [4] Margheritini, L., Vicinanza, D. and Frigaard, P., SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device, **Renewable Energy**, 34, 1371-1380, (2009).
- [5] Kofoed, J.P., Frigaard, P., Friis-Madsen, E. and Sørensen, H.C., Prototype testing of the wave energy converter wave dragon, **Renewable Energy**, 31, 181-189, (2006).
- [6] Kofoed, J.P., Hald, T. and Frigaard, P., Experimental study of a multi level overtopping wave power device, **Proceedings of the 10<sup>th</sup> Congress of International Maritime Association of the Mediterranean**, Crete, (2002).
- [7] Brooke, J., **Wave energy conversion**, Elsevier Science Ltd., Oxford, (2003).
- [8] Saville, T. JR., Laboratory data on wave runup and overtopping on shore structures, Technical Memorandum No. 64, US Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, D.C.,(1955).
- [9] Grantham, K.N., Wave run-up on sloping structures, **Transactions of the American Geophysical Union**, 34, 5, 720-724, (1953).
- [10] Sibul, O. Flow over reefs and structures by wave action, **Transactions of the American Geophysical Union**, 36, 1, 61-69, (1955).
- [11] Paape, A., Experimental data on the overtopping of seawalls by waves, **Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 674-681, The Hague,(1960).
- [12] Shi-Igai, K. and Kono, T., Analytical approach on wave overtopping on levees, **Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 563-573, Washington D.C., (1970).
- [13] Weggel, J.R., Wave overtopping equation, **Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 2737-2755, Honolulu, (1976).
- [14] Owen, M.W., Design of sea walls allowing for wave overtopping, Technical Report No.EX 924, HR Wallingford, Oxon, (1980).
- [15] Ahrens, J.P. and Heimbaugh, M.S., Seawall overtopping model, **Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 795-806, Costa de Sol-Malaga, (1988).
- [16] Juhl, J. and Sloth, P., Wave overtopping of breakwaters under oblique waves, **Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 1182-1196, Kobe,(1994).

- [17] van der Meer, J.W. and Janssen, W., **Wave run-up and wave overtopping at dikes**, in Kobayashi and Demirebilek, *Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures*, ASCE Publishing, 1-27, Rosewood, USA, (1995).
- [18] Schüttrumpf, H.F., Wellenüberlaufströmung bei Seedeichen - Experimentelle und theoretische Untersuchungen, Ph.D. Thesis, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Germany,(2001).
- [19] Aminti, P. and Franco, L., Wave overtopping on rubble mound breakwaters, **Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 770-781, Costa de Sol-Malaga,(1988).
- [20] Bradbury, A.P., Allsop, N.W. and Stephens, R.V., Hydraulic performance of breakwater crown walls, Technical Report No. 146, HR Wallingford, Oxon, (1988).
- [21] Pedersen, J. and Burcharth, H.F., Wave forces on crown walls, **Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Conference on Coastal Engineering**, 1489-1502, Venice,(1992).
- [22] Kofoed, J.P., Wave overtopping of marine structures - Utilization of wave energy, Ph.D. Thesis, Aalborg University, Denmark, (2002).
- [23] Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H. and van der Meer, J.W., EuroTOP: Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual, Boyens-Medien GmbH, Holstein, Germany, (2007).
- [24] Victor, L. and Troch, P., Wave overtopping at smooth impermeable steep slopes with low crest freeboards, **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering**, 138, 5, 372-385, (2012).
- [25] van der Meer, J.W. and Bruce, T., New physical insights and design formulae on wave overtopping at sloping and vertical structures, **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering**, ASCE, 140, 6, 1-18,(2014).
- [26] van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., EurOtop 2016: Manual on wave overtopping of sea defences and structures, (2016). [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com) (14.12.2016).
- [27] Akgul, M.A., Design of a floating breakwater - wave energy converter hybrid, Ph.D. Thesis, ITU Institute of Science and Technology, Istanbul, (2014).
- [28] Schüttrumpf, H. and Oumeraci, H., Layer thicknesses and velocities of wave overtopping flow at seadikes, **Coastal Engineering**, 52, 473-495, (2005).

# Tunceli ili merkez ilçesi yapılarındaki ateş bacalarının teknik analizi

Seyhan YARDIMLI<sup>1,\*</sup>, Murat DAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Aydın Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım, Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.*

<sup>2</sup>*Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli.*

*Geliş Tarihi (Received Date): 23.02.2017*

*Kabul Tarihi (Accepted Date): 12.04.2017*

## Özet

*İnsanların sağlıklı yaşayabilmeleri için en temel gereksinimlerinden biri barınmadır. Bu koşulun sağlanabilmesindeki önemli faktörlerden biri de gerekli ısı konforu yerine getirebilmektir. Bunun için yapılarda çeşitli ısıtıcılara yer verilmekle birlikte özellikle kırsal alanlarda soba kullanılmaktadır. Sobadaki yakıtın yanması sırasında oluşan karbonmonoksitin dışarı atılması baca elemanı ile sağlanmaktadır. Baca bu işlevi yerine getiremediğinde ise insan sağlığını tehdit eden bir yapı elemanına dönüşmektedir. Günümüzde gelişen ihtiyaç ve teknik olanaklar çerçevesinde pek çok baca tipi ile karşılaşılma birlikte burada sadece ateş bacaları ele alınmıştır. Çalışmada yapıların sağlıklı ısıtılabilmesi için gerekli ateş bacası düzenlemelerinin neler olabileceğini ortaya koymak ve karşılaşılan uygulama sorunlarına dikkat çekmek amaçlanmıştır. Çalışma İngiliz Baca ve Şömine Üreticileri Derneği, ülkemizde bulunan Baca İmalatçıları ve Uygulayıcıları Derneği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (89/106/EEC) ve bu konuda yapılmış yayınlara değinme, mevcut yapılar üzerinde incelenen bacaların olumlu ya da olumsuz yönlerini irdeleme yöntemleri ile yürütülmüştür. Çalışma sürecinde ateş bacalarının yapımı hakkında göz önünde bulundurulması gereken prensiplere yer verilmiş, kullanılan malzeme ve formlara değinilmiştir. Bacaların binanın neresinde planlanması gerektiği, çatıda yükseklik ve konum olarak nasıl yerleştirileceği, çatı elemanları ile ilgili detaylandırılma özellikleri, suya ve ısıya karşı yalıtım gerekliliği, dumanı çekme açısından diğer binalar ile bulunması gereken mesafeler belirtilerek, kullanımında dikkat edilecek noktalar vurgulanmış ve metin tamamlanmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Baca yapımı, baca yükseklikleri, ateş bacası, baca malzemeleri.

\* Seyhan YARDIMLI, seyhanyardimli@aydin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-7186-9000>  
Murat DAL, muratdal@munzur.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-5330-1868>

## The technical analysis of the fireplace chimneys in Tunceli, central district.

### Abstract

*People need to have shelter, which is one of the basic requirements required in order to maintain healthy lifestyles. We use chimney elements in these habitations in order to ensure thermal comfort. There are various heaters in the buildings, but stoves are used especially in rural areas. Chimneys need to facilitate the outdoor discharge of carbon-monoxide, which is generated during the burning process and which causes poisoning. This structure element can constitute a threat to people's health whenever it doesn't fulfill this function. Several types of chimneys are encountered within the scope of developing needs and technical possibilities. Only fireplace chimneys are covered in this study. The objective of this study is to put forward what features are necessary for chimneys to heat structures in a healthy manner. The study was carried out by means of examining the positive and negative aspects of structure chimneys around us, while touching upon standards and welding scans, considering the regulations of BFCMA British Flue and Chimney Manufacturers Association, Ministry of Environment and Urban Planning Building Materials Regulation and The Chimney Manufacturers and Practitioners Association. The study also covers principles that need to be considered in regards to the construction of fireplace chimneys, as well as touching upon the forms and materials to be utilized. Matters such as where chimneys need to be planned out in buildings, how they should be positioned and their heights on roofs, detailing features regarding the roof elements, the necessity for moisture and heat insulation, indicating the distances that must be maintained with neighboring buildings so that they don't draw in the smoke, then the text was concluded.*

**Keywords:** *Chimney construction, chimney heights, fireplace chimney, chimney materials.*

### 1. Giriş

İnsanların yaşama mekânlarındaki ısı konforu, sağlık açısından oldukça önemlidir. Gerekli ısı konforunun gerçekleştirilebilmesi için ülkemizde kullanılan en yaygın yöntemler doğalgaz ile kömür ve odun gibi katı yakıtın yakılmasıyla elde edilen ısı enerjilerinin kullanılmasıdır. Doğal gaz, kömür, odun vb. yapısında karbon bulunan yakıtların yanması sürecinde karbonmonoksit gazı ortaya çıkmaktadır. Yanma sırasında ortaya çıkan karbonmonoksit gazı renksiz, kokusuz ve akciğerler tarafından kolayca emilen zehirli bir gazdır [1]. Bu zararlı gazı insanların solması ise hastalıklara ve hatta ölümlere neden olmaktadır [2]. Sadece ülkemizde değil dünyada pek çok ülkede bu sorunla karşılaşmaktadır. İngiltere ve Galler'de her yıl 1000 kişi hayatını karbonmonoksit zehirlenmesi nedeniyle kaybetmektedir. Kuzey Amerika'da 1997-1998 kışında kar fırtınasında zayıf havalandırma nedeniyle karbonmonoksit zehirlenmesiyle çok sayıda ölüm olmuştur. Amerika'da 1979-1988 yılları arasında 11 547 karbonmonoksit zehirlenmesi nedeniyle ölüm rapor edilmiş ve bunun % 18'i gaz yakıtlı ısıtıcılardan kaynaklanmıştır [3]. Ülkemizde de özellikle kırsal alanlarda ısınma ihtiyacı katı yakıtın sobalarda yakılması ile karşılanmaktadır. Yanma sürecinde ortaya çıkan bu zararlı gaz baca ile yaşanan ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Binalarda bulunan

baca bu noktada önem kazanmaktadır. Bacalar standartlara uygun yapılmadığında gaz atışı yeterli düzeyde sağlanamaz ise zehirlenme ve ölümler ile karşılaşılabilir.

Günümüzde artan gereksinimler doğrultusunda içinde yaşadığımız binalarda farklı amaçlarla kullanılan ateş, havalandırma, tesisat, çöp bacaları gibi pek çok baca çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışmada ateş bacaları ele alınmıştır. Ateş bacaları ülkemizde yaygın olarak sobaların bağlandığı bacalar olmakla birlikte şömine ya da geleneksel yapılarımızda karşılaştığımız ocak elemanlarını da kapsamaktadır. Ateş bacalarının yapımında bina içindeki planlama, bina dışına çatıdan çıktıkları yer, baca yüksekliği ve uygulanma şartları gibi pek çok faktör bacaların sağlıklı çalışabilmesi açısından önem taşımaktadır. Baca yapımının sağlıklı ısınabilme ve yaşayabilme açısından oldukça önemli olmasına karşın çevremize bakıldığında pek çok bina bacasının gerekli standartlara uymadığı görülebilmektedir. Buna bağlı olarak da ülkemizde yüzlerce zehirlenme ve ölümlerle sonuçlanan olaylara rastlanılmaktadır [4].

Ateş bacaları ile ilgili çalışmalara bakıldığında; Oymanel [5] yapı malzeme ve elemanlarının dayanıma etkisinden söz ederken yangın dayanımı açısından yapı elemanları ele alındığında baca içinde biriken kurumun saf karbon ve yanıcı olduğu dolayısıyla yangın açısından önemi belirtilmiştir. Uludağ [6] baca türlerine yer verilmiş, çekiş sorunlarına ve yapım sürecinde yapılan yanlışlıklara değinilmiş, iyi bir baca üretiminin malzeme açısından nasıl olması gerekliliği ile seramik, metal ve plastik baca elemanlarının örnekleri ele almıştır. Arıoğlu ve Hatipoğlu [7] çok katlı yapılarda şönt baca yapımı ele alınmış, konut ve benzeri binalarda bacaların tasarım ve yapım kurallarına ve TS 11386'daki bacalardan beklenen özelliklere değinilmiştir. Çok katlı yapılarda görülen şönt baca üretim hataları ve çözümlerine yer verilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

Çalışmada, Tunceli merkez ve merkez köylerinde gözlem yapılmış, fotoğrafla durum tespit edilmiş, literatür taraması ile ateş bacaları hakkında yapılmış önceki çalışmalar araştırılmış, elde edilen bilgiler ve tespit edilen ateş bacası sorunları belirlenerek analiz edilmiştir. Gözlem sürecinde kent merkezi ve merkez köylerdeki konutlar, işyeri yapıları ve resmi yapılar üzerinde tespitler yapılmıştır. Çalışmada ele alınan yapıların bulunduğu bölge karasal iklim özelliği taşımakta ve yaygın olarak kiremit, galvaniz sac gibi çatı örtüleri kullanılmaktadır. Bu çatı özelliği de baca yapımında bazı detayların bulunması gerekliliğini getirmektedir. Yapılan çalışma mevcut çatı özelliklerine göre ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

## 3. Baca uygulamalarında önemli noktalar

Ateş bacalarının yapımı pek çok açıdan önem taşımaktadır. Standartlara uygun yapılmış bir baca gerekli duman çekişini iyi bir şekilde sağlamakta ve iyi yanma ile hem iyi kalori elde edilmekte hem de zehirlenme riski ortadan kalkmakta ya da en aza indirilmektedir. Burada baca yapımındaki önemli noktalara sırası ile değinilmektedir.

### 3.1. Baca yapımında kullanılan malzemeler ve formlar

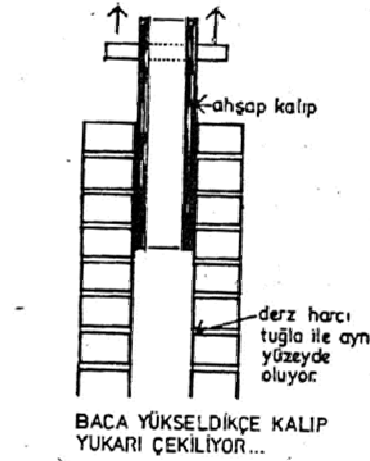
Ülkemizde duman bacası yapımı tuğla ya da kullanılan yapı malzemesinin örülürken boşluk bırakılması şeklinde ya da bu amaçla üretilmiş hazır baca elemanlarının

kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Yaygın olarak içi delikli tuğla kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Baca yapımında kullanılmak üzere üretilmiş tuğla örnekleri.

Tuğlaların baca yapımında örülmeleri sırasında iç bölümlerinde pürüz ya da artık malzeme kalmaması için baca deliğine bir kalıp konması ve tuğla örgüsü devam ettikçe kalıp yukarı çekilerek iç bölümde pürüzsüz yüzey oluşturulması bacanın iyi çekmesini sağlayan bir yöntemdir (Şekil 2) [8].



Şekil 2. Baca iç yüzeyinde düzgün yüzey oluşturmak amaçlı kalıp kullanımı [8].

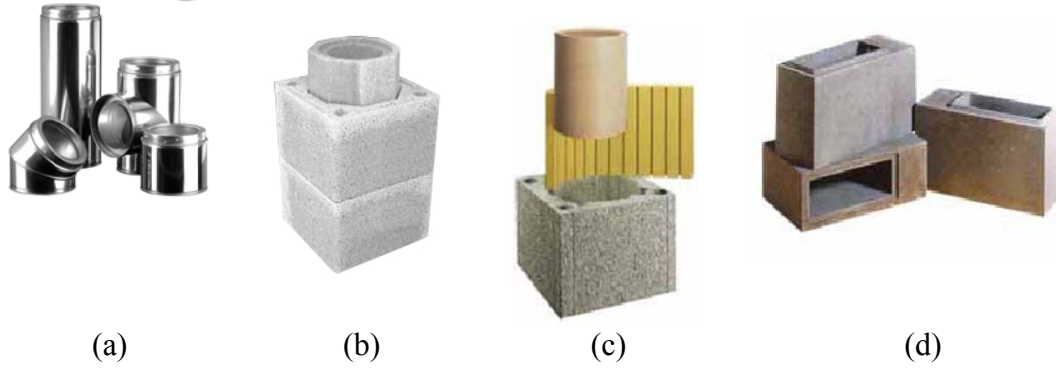


Şekil 3. Ülkemizde üretilen seramik baca elemanı [10].

2007 yılında yürürlüğe giren, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (89/106/EEC)'ne göre duman bacalarında da doğal gaz bacalarında da metal ve seramik baca kullanılması gerekliliği getirilmiş ancak uygulamaya henüz tam

olarak geçirilememiştir. Şekil 3'te bu yönetmeliğe göre üretilmiş baca elemanı görülmektedir [9, 10].

İngiltere ve Avrupa standartlarında kullanılan malzemelere bakılacak olursa kil, pomza ve beton malzemeden yapılan baca elemanları ile çelik baca elemanları kullanılmaktadır (Şekil 4)[11].



Şekil 4. İngiltere’de kullanılan baca elemanları. (a) Paslanmaz çelik baca sistemleri, (b) Pomza baca sistemleri, (c) Seramik baca sistemleri ve (d) Beton – tuğla bloklar [11].

Bacanın dumanı çekmesindeki başka bir etken bacanın formudur. Dairesel form en iyi çekişi sağlamaktadır. Şekil 5’te duman çekişi açısından en iyiden kötüye doğru sıralanmış formlar görülmektedir. Ayrıca baca iç yüzü pürüzsüz olmalı ve hiçbir zaman sıvanmamalıdır. Sıva ısı nedeniyle dökülerek daha büyük sorunlara neden olabilmektedir.



Şekil 5. Baca çekişinde formun iyiden kötüye doğru sıralanışı.

Ateş bacalarında kanal genişliğinin iyi çekiş açısından 13.5 cm olması gerekmektedir. Dikdörtgen kesitli bacalarda kısa kenarın uzun kenara oranının 2/3 olması iyi bir çekişi sağlamaktadır. Ateş bacası duvarlarının 500 °C’ye kadar dayanıklı olması beklenmektedir. İyi bir çekiş için bir baca deliğine birden fazla ateş kaynağının bağlanmaması gerekmektedir [12].

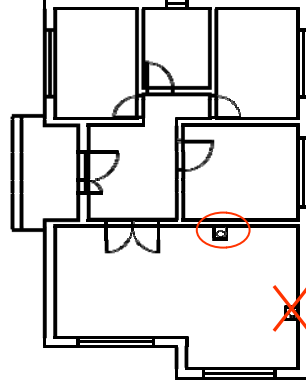
### 3.2. Bina tasarımında baca yerinin belirlenmesi

Bacaların bina içerisinde bulunduğu yer de önem taşımaktadır. Bacanın mümkün olduğunca yapının iç bölümlerine yerleştirilmesi iyi bir çözümdür (Şekil 6). Bacanın dış duvarda yer alması durumunda yanma sürecinde ortaya çıkan sıcak gaz daha kolay bir şekilde soğuk hava ile karşılaşacak ve baca içinde yoğuşma oluşacaktır. Bu da bacanın sağlıklı çekişini engelleyebilecektir. Ayrıca bacanın dış duvar yüzeyinde bulunması ısı kaybına da neden olabilecektir. Başka çözüm bulunamayıp yine de baca dış duvara yerleştirilecekse bu durumda bacanın dış duvara gelen yüzeyinin daha kalın bir duvar ile korunmaya çalışılması ve yalıtım yapılması sorunu biraz daha azaltacaktır (Şekil 7). Bina içinde bacaların tek bir noktaya toplanarak gruplandırılması ısı kaybını azaltacağı

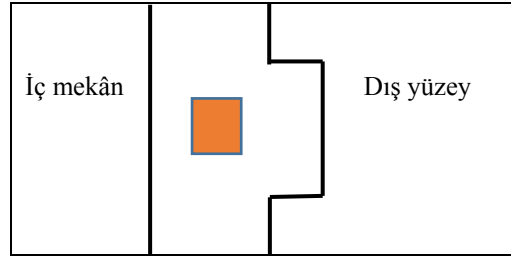


için önerilen bir çözümdür. Bacalar için iyi uygulanmış plan örnekleri Şekil 8’de verilmiştir.

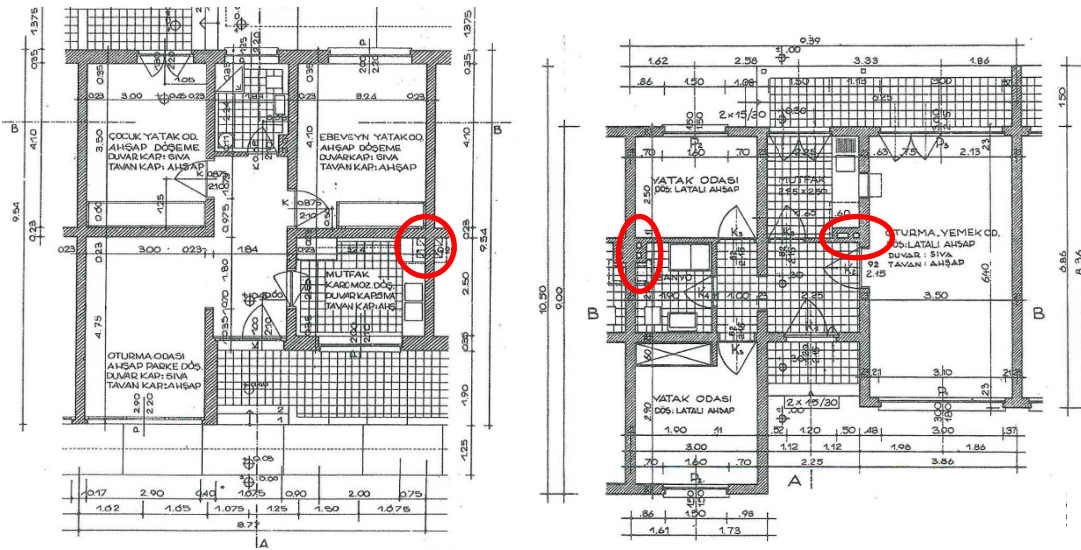
Bacanın çatının üzerinde yükseldiği bölüm için de ısı kaybı ve yoğuşma söz konusu olabilmektedir. Bu durumda gerçekte duman çatı dışına çıkıncaya kadar ısı kaybedecek ve yoğuşma oranı azalacaktır ama yine de bu bölüm için yalıtım sağlayacak önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 6. Bacanın bina içinde planlanmasında iç duvarlara yerleştirilmesinin tercih edilmesi.



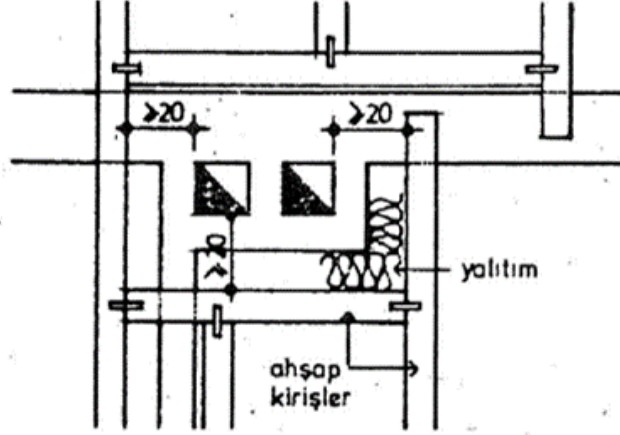
Şekil 7. Bacanın dış duvarda kalması halinde duvarın kalınlaştırılması.



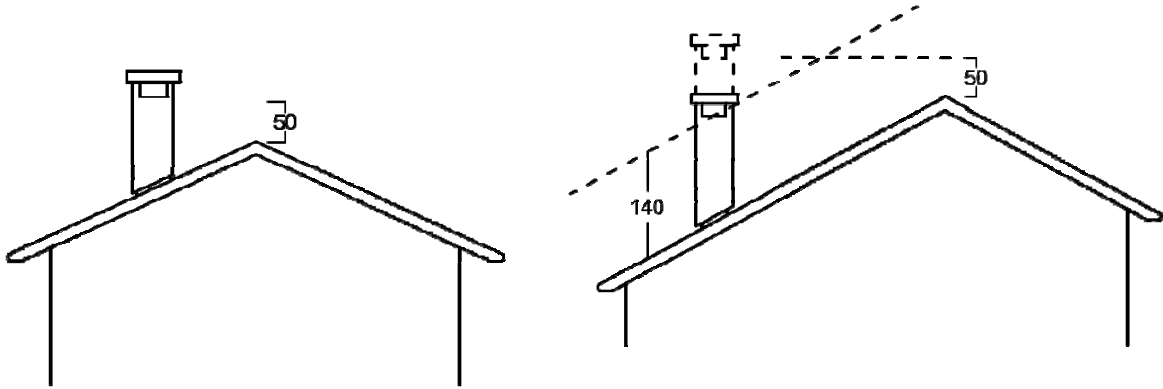
Şekil 8. Yapı içinde doğru planlanmış baca örnekleri [13].



Bacanın iyi bir çekişe sahip olabilmesi için yüksekliğinin mahyadan (çatının en yüksek noktası) en az 50-80 cm daha yüksekte olması gerekmektedir. Çatının çok geniş olması halinde bacanın mahyayı geçecek şekilde yükseltilmesi çok narin ve yüksek bir baca oluşumunu getireceğinden bu durumda bacanın çatı yüzeyinden 120-140 cm yükseltilmesi yeterli olacaktır (Şekil 12).



Şekil 11. Bacanın çatıdaki ahşap elemanlara göre konumlandırılması [8].



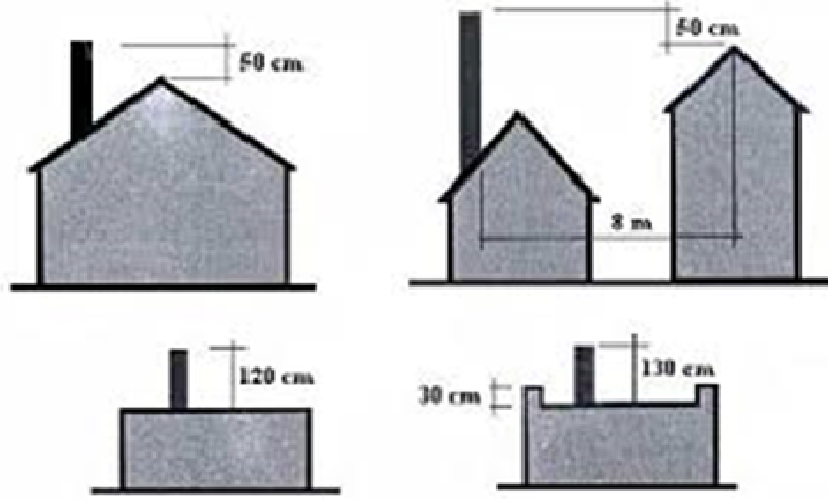
Şekil 12. Bacanın çatıda yükseltme miktarları.

Binanın çevresinde yüksek yapılar ve engeller mevcut ise rüzgârlı havalarda hava akışı yüksekten alçağa doğru olduğu için sürekli baca tepmesi olabilmektedir. Bu durumda baca ile yüksek yapı arasında en az 6 m uzaklık olmalıdır. Aynı zamanda teras çatılarda da baca yüksekliği en az 120 cm olmalıdır (Şekil 13).

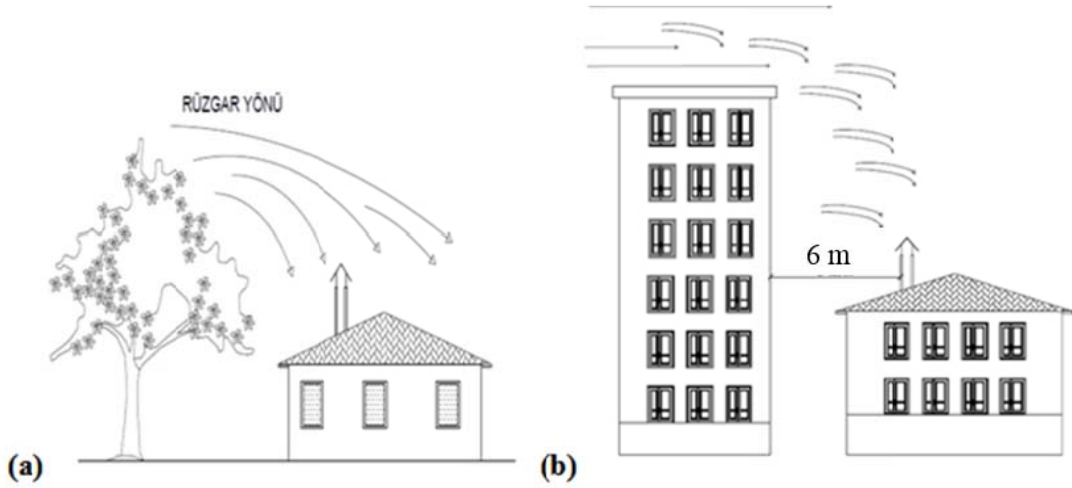
Bir bacaya en fazla 4 soba deliği bağlanabilmektedir. Ancak her soba deliği arasında en az 30 cm aralık bulunmalıdır. Bacaların içlerinin temizlenmesi için de döşemeden 60-90 cm yükseklikte 18-20 cm'lik bir delik bırakılması gereklidir [16]. Bina çevresinde yüksek yapılar veya ağaç gibi engeller mevcutsa rüzgârın hava akışının sağlanabilmesi için bina bacası ile yüksek yapı arasındaki mesafenin yine en az 6 metre olması gerekmektedir (Şekil 14 a, b).

Sobalarda verimli bir yanma için etkili baca yüksekliği yapı içinden itibaren yeterli yükseklikte olmalıdır. Baca yüksekliği yeterli değil ise yanma verimli olamaz. Bu tür sobalarda sık aralıklarla baca gazı tepmesi olabilmektedir. İdeal yanma için etkili baca yüksekliği en az 3,5 metre, en fazla 5 metre olmalıdır (Şekil 15). Uzun bacalı binalarda,

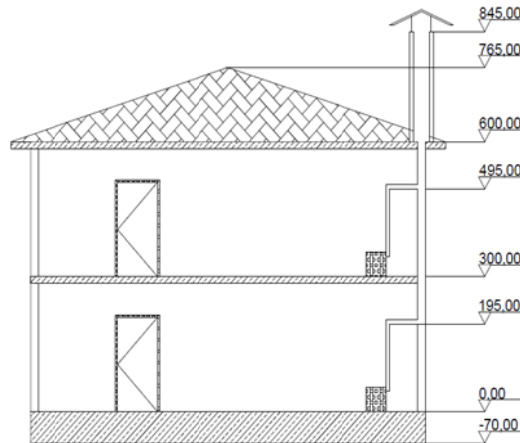
yoğuşmayı önlemek için baca malzemesi olarak taş, tuğla veya paslanmaz çelik kullanılması uygun görülmektedir.



Şekil 13. Doğru baca uygulamasında baca yükseklikleri.

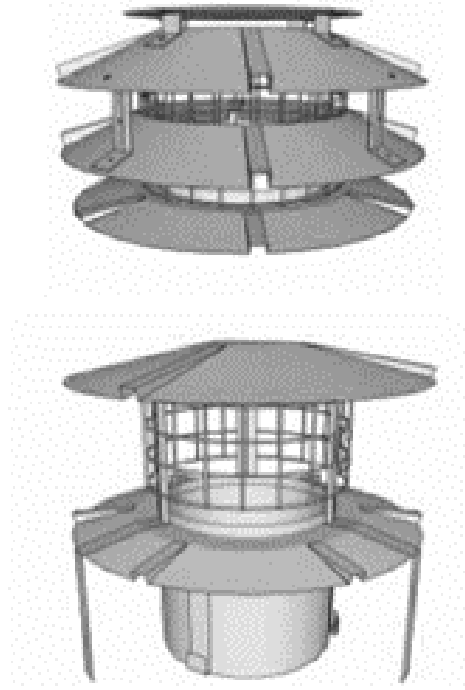


Şekil 14. a,b. Yüksek engellerin baca üzerine etkisi ve baca ile engel arasındaki mesafe.



Şekil 15. Etkili bina yüksekliği ve baca başlığı.

Bacalara, yağmur suları, kuşlar, ağaç yaprakları vb. maddelerin girmesini engellemek için mutlaka başlık kullanılmalıdır. İngiltere baca üreticileri derneği standardına göre verilmiş baca örtü elemanı örneği Şekil 16. da verilmektedir.

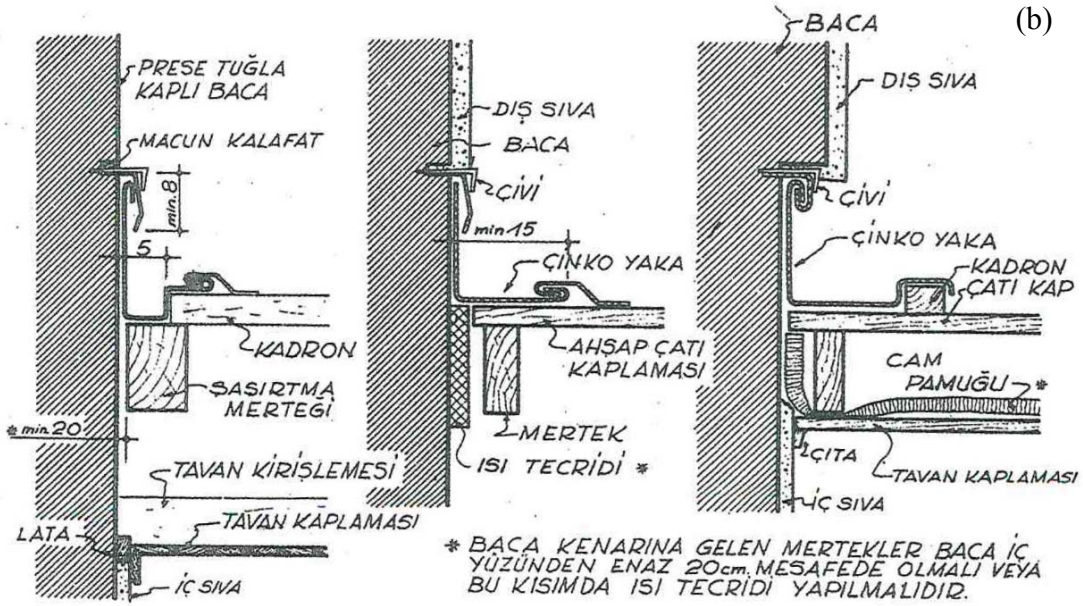
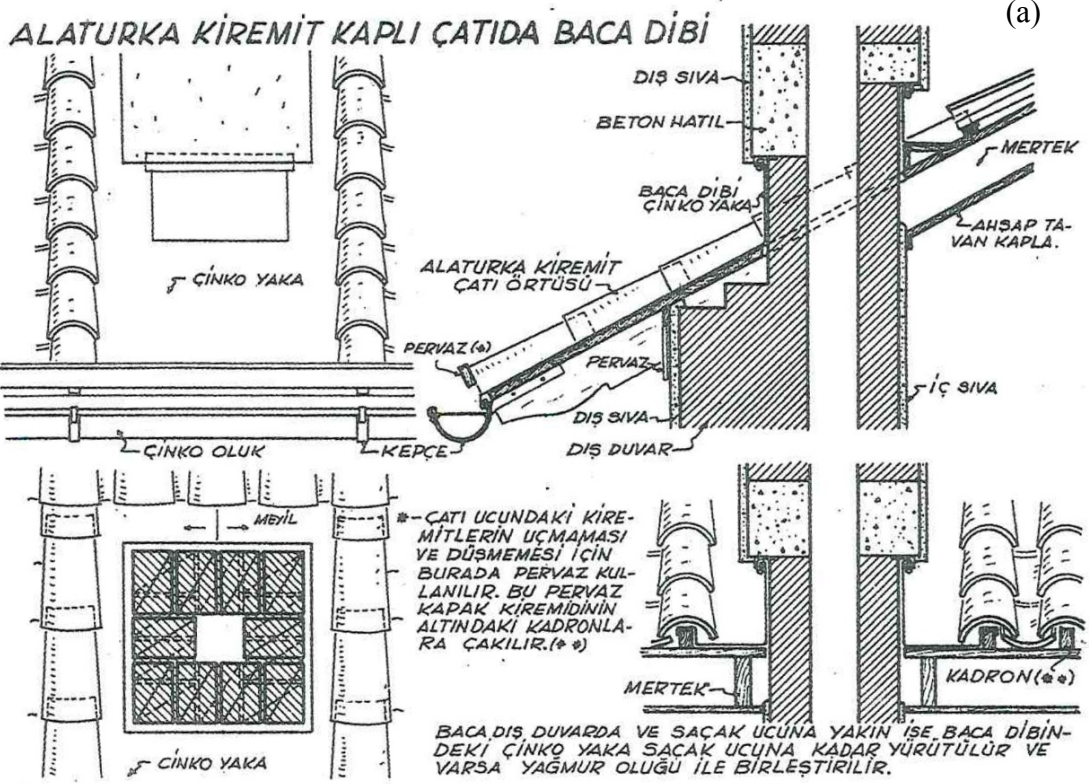


Şekil 16. Çelik baca bitiş elemanı kuş ve artık koruyucu [11].

#### 3.4. Çatı örtüsünde baca dibi detaylandırılması

Bacanın çatı yüzeyi ile birleştiği noktada uygulanacak yalıtım oldukça önemlidir. Bacanın çatı ile arakesitinin iyi detaylandırılması gerekmektedir. Bu nokta hem baca duvarına su sızmaması açısından hem çatının suya karşı korunması açısından dikkat edilmesi gereken bir bölümdür. Şekil 17 a ve b’de baca dibi için detay uygulama örneği görülmektedir. Bu uygulama örneğinde çinko levha kaplama ile baca ve çatı yüzeyindeki arakesit suya karşı yalıtılmıştır. Şekil 17 a’da plan, iki yönde kesit ve görünüş ile uygulama detayı anlatılmaktadır. Şekil 17 b, çinko malzemenin baca duvarı ve çatı düzlemi ile nokta detaylarını göstermekte ve çinko levhanın baca duvarı ile birleşme detayını vermektedir. [17].

Günümüzde yalıtım malzemeleri her geçen gün gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Bu yeni ürünlerin kullanımları ve detaylandırılmaları da daha kolaydır, ancak zaman-zaman bakım yapılması gerekebilmektedir. Baca dibi bandı, bacanın taban dönüşlerinde su izolasyonu sağlaması için kullanılmaktadır. Baca kenarından akan suyu kiremit üzerine aktararak çatı altına geçmeden tahliyesini sağlar (Şekil 18). Arka tarafının tamamen su yalıtımında etkili butil yapışkan bandı ile kaplanmış olması sayesinde uygulama yerlerine kolayca yapıştırılır [18].



Şekil 17.(a) Baca dibinin çatı ile kesişimi (b) Baca dibi nokta detayı [17].



Şekil18. Çatıda su yalıtımı için baca dibi bandı uygulaması. (a) Poliüratan mastik uygulanması [19]. (b) Baca dibi bandı uygulama örneği [20].

#### 4. Bulgular

Günümüzde inşaat teknoloji ve malzemeleri oldukça gelişmiştir. Her gün yeni bir malzeme ve uygulama yöntemi ile karşılaşmaktadır. Bu koşullarda binalarda yapım kaliteleri de yükselmektedir. Bu duruma rağmen hala bilinçli olunmadığı için önemsenmeyen aslında yapımı zor ve pahalı olduğu için değil bilinçli yaklaşılmadığı için ihmal edilmişlikten kaynaklanan sorunlar ile karşılaşmaktadır. Şekil 19’da baca yapım kalite ve şartları oldukça özenli inşa edilmiş bir örnek görülmektedir. Şekil 20’de görülen fotoğraflarda ise yükseklikleri, çevredeki yapılarla ilişkileri gibi açılardan baca yapım kurallarına uygun olmayan örnekler görülmektedir.



Şekil 19. Doğru baca uygulama örneği.

Bu örnekler daha da çoğaltılabilir, ancak önemli olan burada kullanıcı ve uygulayıcıların bina yapım kurallarına uygun davranma bilinçliliğine getirilmeleri, standartların ve yönetmeliklerin uygulanmaları ve kontrollerinin sağlanabilmesidir.



Şekil 20. Standartlara uygun olmayan baca örnekleri



## 6. Sonuç ve Öneriler

Yaşama mekanlarında ateş bacaları günlük hayatın birer parçası gibidirler. Hem enerji tasarrufu hem kaliteli ısınma ve sağlıklı yaşayabilme açılarından oldukça önemli yapı elemanlarıdır. Ancak yapım kaliteleri açısından bakıldığında pek çok sorun içerdikleri ve ölümlerle sonuçlanan olaylara neden olabildikleri görülmektedir. Bu nedenle düzenlenen yasa, yönetmelik ve standartların oluşturulmaları ve uygulanmaları hakkında gerekli hassasiyetin gösterilmesinin önemine dikkat çekilmesi gerekmektedir.

Ateş bacalarının yapımında kullanılan malzemeler ve yapım sürecinde dikkat edilecek noktalar bulunmaktadır. Bacaya verilecek form ve oluşturulacak baca grupları önemlidir. Bacaların binaların nerelerinde planlanmasının uygun olacağı ile ilgili kurallar bulunmaktadır ve planlama sürecinde kesinlikle göz önünde bulundurulmaları ileride olabilecek pek çok sorunu önleyebilecektir. Bacanın planlanmasında çatı yüzeyinde hangi noktalarda bulunacağı önemli görülmektedir. Bacanın, yapının çatısı ile ilgili olarak ısı ve su yalıtım detay ve uygulamaları hakkında uyulması gereken özellikler bulunmaktadır.

Dış ortamda bulunan bacanın üst örtüsünün bulunması gerekmektedir. Yine dış ortamda çevredeki yapılara, rüzgar yönüne ve mahya yüksekliklerine göre uyulması gereken kurallar bulunmaktadır. Bu kural ve özelliklere bilinçli yaklaşılması yaşanan sorunları elbette azaltacaktır.

Ülkemizde çok yaygınlaşmamış olmakla birlikte ölümlerle sonuçlanacak olayların önüne geçilebilmesi için karbonmonoksit sensörlerinin kullanımlarının yaygınlaştırılması da alınabilecek önlemlerden biridir. Bu uygulama en azından dumanın geri tepme olaylarında alarm ile kullanıcıları uyararak ölüm riskini ortadan kaldıracaktır. Ayrıca rüzgar ve hava koşullarının riskli olduğu zamanlarda halkın uyarılması da alınacak önlemler arasında sayılmalıdır.

Çevremizde tanık olduğumuz sorunların çoğunun bilinçsiz yaklaşımlardan kaynaklandığı görülmektedir. Elbette ki tüm yapılarda olduğu gibi binaların bir parçası olan bacaların standartlara uygun tasarlanmaları ve mevcut yasalara uygunluklarının daha özenle kontrollerinin sağlanması gerekmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Meredith T, ve Vale A., Carbon monoxide poisoning, **British Medical Journal**, 296, 6615, 77-79, (1988).
- [2] Tunalı, L., Bilkent Üniversitesi Sağlık Merkezi, Karbonmonoksit zehirlenmeleri <http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2009/karbonmonoksit.htm>, (19.12.2016)
- [3] Ernst A., ve Zıbrak, J. D., Carbon monoxide poisoning, **The New England Journal of Medicine**, 339, 22, 1603-1608 (2017).
- [4] Erturhan Ü., Bacalardan kaynaklanan karbonmonoksit zehirlenmeleri ve önleme çalışmaları, **Tekstil Mühendisliği Dergisi**, 132, 61-65, (2012).
- [5] Oymael, S., Su-rutubet ve yangın etkilerinin dayanım, malzeme seçimi ve bina tasarımı ile ilişkisi, **Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları**

- Kongresi**, 22-23-24 Eylül 2005, Antalya, 312-321.  
<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11150.pdf>, (24.04.2017).
- [6] Uludağ E., Türkiye’de baca sorunu nedir niçin bacayı konuşuyoruz?, **Doğal Gaz Semineri**, 33-111  
[http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/b0b33971890f1f1\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b0b33971890f1f1_ek.pdf)  
(24.04.2017)
- [7] Arioğlu N. ve Hatipoğlu D. D., Çok katlı konut yapılarında şönt baca uygulama sorunları ve deprem etkisi, **Çatı Cephe Fuarı-CNR**, 25 -26 Mart 2005, [http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri\\_10.pdf](http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_10.pdf), (24.04.2017)
- [8] Erten E., **Yapı Elemanları I-II Ders Notları**, KTÜ Basımevi, Trabzon, 51-55,(1992)
- [9] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (89/106/EEC) <https://www.csb.gov.tr/turkce/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=mevzuat&Id=112>  
(25.04.2017)
- [10] Yanlış bacalar ölüm saçıyor, Ertaş-Hart Seramik Baca Sistemleri A.Ş., BACADER <http://www.ertas-hart.com.tr/yanlis-bacalar-olum-saciyor.html>,  
(19.12.2016)
- [11] BFCMA (**British Flueand Chimney Manufacturers Association**), 4-5, 6 <http://www.hetas.co.uk/wp-content/mediauploads/BFCMA-General-Guidance-10-12-12.pdf>, (19.12.2016)
- [12] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP, İnşaat teknolojisi, baca, 4, 2006 <http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/insaat/moduller/Baca.pdf> (19.12.2016)
- [13] Eldem, S. H., **Yapı**, DGSA Yapı Kürsüsü, Birsen Yayınevi, 1973
- [14] Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü Mevzuat Bilgi Sistemi e.mevzuat, Plansız alanlar imar yönetmeliği, bacalar, [www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.4882...0...plansız](http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Asp?MevzuatKod=7.5.4882...0...plansız),  
(25.04.2017)
- [15] İnşaat bölümü yapı dersleri arşivi, Bacaların yapım kuralları ve düzenleme şekilleri, <http://ders.insaatbolumu.com/yapi-elemanlari/bacalarin-yapim-kurallari-ve-duzenleme-sekilleri>, (19.12.2016)
- [16] Avcıoğlu, M., **Yapı Teknolojisi-1**, Birsen Yayınevi, İstanbul (2011)
- [17] S. H. Eldem, SoygenişM., **Yapı 1-2-3-4**, Birsen Yayınevi, (2005)
- [18] Baca dibi ve duvar dibi yalıtım bandı, Bulgu Makine ve Cıvata San. Tic. Ltd. Şti., <http://www.bulgu.com/baca-dibi-ve-duvar-dibi-yalitim-bandi/urunler/46>,  
(25.05.2016)
- [19] Duvar baca dibi çözümü, Persan-Çatı-Cephe-Yalıtım Sistemleri <http://www.persanyapi.com.tr/video.php?video=19>, (19.12.2016)
- [20] Persan - Duvar ve baca dibi çözümleri, **RAF ürün dergisi**, [http://v1.raf.com.tr/urun\\_1908\\_persan---duvar-ve-baca-dibi-cozumleri.html](http://v1.raf.com.tr/urun_1908_persan---duvar-ve-baca-dibi-cozumleri.html),  
(19.12.2016)