

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)  
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



**SAYI: 124**  
**YIL : NİSAN 2017**

DEVLET SU İŞLERİ  
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

# DSİ

# TEKNİK

# BÜLTENİ



# DSİ TEKNİK BÜLTENİ

## Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ  
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
Adına Genel Müdür  
Murat ACU

## Sorumlu Müdür

Tuncer DİNÇERGÖK

## Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU  
Murat ALP  
Dinçer AYDOĞAN  
Oğuzhan BEKTAŞ  
Şenay ÖZKAN  
Ayhan KOÇBAY  
Ali Alper ÇETİN  
Vehbi ÖZAYDIN  
Erkan EMİNOĞLU  
Bekir YAPAN  
Hasan ÇAKIRYILMAZ  
Mehmet KÖSEOĞLU  
Serpil KÖYLÜ DALGIN

## Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ  
Özgür KÜÇÜKALİ

## Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve  
Kalite Kontrol (TAKK)  
Dairesi Başkanlığı 06100  
Yüce-tepe - Ankara

Tel (312) 454 38 00  
Faks (312) 399 27 95  
bulten@dsi.gov.tr

## Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi  
Başkanlığı  
Basım ve Foto-Film Şube  
Müdürlüğü  
Etilik - Ankara

**SAYI** : 124

**YIL** : NİSAN 2017

## Yayın Türü

Yaygın süreli yayın  
Üç ayda bir yayınlanır  
(Ocak, Nisan, Temmuz,  
Ekim)

**ISSN** 1012 - 0726 (Baskı)  
1308 - 2477 (Online)

## İÇİNDEKİLER

SU KALİTESİNİ İZLEMEDE FİBER OPTİK SENSÖR SİSTEMLERİ- YÜZEY PLAZMON REZONANS(SPR) ALGILAMA Hakan SOLAK	1
YABANI OT VE DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMALARININ AYLIK KAVRAMSAL BİR YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ KALİBRASYONU ÜZERİNDEN PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ Umut OKKAN, Oğuz KÖSE, Muhammet ÖZSOY, Halil UYSAL	20
DAİRESEL KESİTLİ DÜŞÜLÜ BACALARDA HAVA-SU KARIŞIMININ DENEYSEL ÇALIŞMA VE CFD MODELLEME İLE ANALİZİ Şerife Yurdagül KUMCU, Muhammed UÇAR	34

DSİ Teknik Bülteni uluslararası veritabanı EBSCO tarafından taranmaktadır.

# DSI TECHNICAL BULLETIN

## **Publisher**

On behalf of GENERAL  
DIRECTORATE OF  
STATE HYDRAULIC  
WORKS  
Murat ACU  
General Director

## **Director in charge**

Tuncer DİNÇERGÖK

## **Editorial Board (DSI)**

Murat Ali HATİPOĞLU  
Murat ALP  
Dinçer AYDOĞAN  
Oğuzhan BEKTAŞ  
Şenay ÖZKAN  
Ayhan KOÇBAY  
Ali Alper ÇETİN  
Vehbi ÖZAYDIN  
Erkan EMİNOĞLU  
Bekir YAPAN  
Hasan ÇAKIRYILMAZ  
Mehmet KÖSEOĞLU  
Serpil KÖYLÜ DALGIN

## **Editors**

Figen ÖZYURT KUŞ  
Özgür KÜÇÜKALİ

## **Contact Address**

DSİ Teknik Araştırma ve  
Kalite Kontrol (TAKK)  
Dairesi Başkanlığı 06100  
Yücetepe – Ankara /  
TURKEY

Tel (312) 454 38 00  
Faks (312) 399 27 95  
bulten@dsi.gov.tr

## **Place of Publication**

Destek Hizmetleri Dairesi  
Başkanlığı  
Basım ve Foto-Film Şube  
Müdürlüğü  
Etilik – Ankara / TURKEY

**ISSUE:** 124

**YEAR :** APRIL 2017

## **Publication Type**

Widely distributed  
periodical  
Published quarterly  
(January, April, July,  
October)

## **ISSN**

1012 - 0726 (Press)  
1308 - 2477 (Online)

## **CONTENTS**

WATER QUALITY MONITORING WITH FIBER OPTIC SENSOR SYSTEMS- SURFACE PLASMON RESONANCE (SPR) SENSING Hakan SOLAK	23
INVESTIGATING PERFORMANCES OF INVASIVE WEED AND DIFFERENTIAL EVALUTION ALGORITHMS OVER A MONTHLY CONCEPTUAL RAINFALL-RUNOFF MODEL CALIBRATION Umut OKKAN, Oğuz KÖSE, Muhammet ÖZSOY, Halil UYSAL	20
EXPERIMENTAL AND CFD ANALYSIS OF AIR-WATER FLOW STRUCTURE IN A CIRCULAR DROP SHAFT Şerife Yurdagül KUMCU, Muhammed UÇAR	34

*DSI Technical Bulletin is indexed by international database EBSCO.*

## DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayınlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO tarafından taranmaya başlamıştır.

## DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildirim üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildirimler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildirimler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütun olarak yazılmalı ve sütun aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirim tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirim tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve Kuruluşlarınınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiriyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

### Yasal Uyarı

Bu Teknik Bülten yalnızca genel bilgilendirme amacıyla yayımlanmaktadır ve içeriğinde yer alan malzemelerin, prosedürlerin veya yöntemlerin tek mevcut ve uygun malzeme, prosedür veya yöntem olduğunu ima etmemektedir. Malzemeler, prosedürler veya yöntemler özel koşullara, yerel imar kanunlarına, tasarım şartlarına veya tüzel ve yasal şartlara göre değişebilir. Bu Teknik Bülten'deki bilgilerin doğru ve güvenilir olduğuna inanılmakla beraber, yayımlayıcı olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bu Teknik Bülten'in içeriğinde bulunan yöntemlerin, malzemelerin, talimatların veya fikirlerin herhangi bir şekilde kullanılması kaynaklı mal veya can kaybından veya oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir.

### DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>



## SU KALİTESİNİ İZLEMEDE FİBER OPTİK SENSÖR SİSTEMLERİ-YÜZEY PLAZMON REZONANS(SPR) ALGILAMA

Hakan SOLAK  
DSİ Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı 06100 Yücepete ANKARA  
[hakansolak@dsi.gov.tr](mailto:hakansolak@dsi.gov.tr)

(Makalenin geliş tarihi: 13.03.2017, Makalenin kabul tarihi: 05.05.2017)

### ÖZ

Etkili bir su kalitesi kaynak yönetimi oluşturabilmek için gerek içme suyu gerekse atık su kalitesinin çok iyi bir şekilde izlenmesi gerekir. Çevresel düzenleme ve sağlıklı su için iyi bir izleme sistemi, çevrimiçi ve gerçek zamanlı ölçüm teknikleri kullanılarak yapılabilir. Belirlenmiş örnekleme ve kimyasal analiz gerektiren geleneksel teknikler, pahalı ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle geleneksel metotlara alternatif olarak, içme suyu ve atık su karakteristiklerini izlemek için daha ucuz ve daha hızlı metotlar gereklidir. Fiber optik sensörler, içme ve atık su parametrelerini çevrimiçi ve gerçek zamanlı olarak izlemede büyük bir potansiyele sahiptir. Geleneksel tekniklere göre fiber optik sensörlerle daha çok parametre izlemek mümkündür. Çevrimiçi daha çok parametrenin izlenmesi yüksek ölçüm doğruluğu için önemlidir. Bu makalede, içme suyu ve atık su kalitesini belirlemede etkili olan bazı parametrelerin fiber optik sensörlerle ölçümü ele alınmıştır. İçme suyu için ele alınan parametreler, pH, kalsiyum iyonları konsantrasyonu ve ağır metal iyonları konsantrasyonudur. Atık su için ise renk, kimyasal oksijen talebi(COD) ve biyolojik oksijen talebi(BOD) parametreleri incelenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada yağlı atık suların izlenmesinde etkili olan yüzey plazmon rezonans (SPR) temelli fiber optik sensörler tanıtılmıştır. SPR sensör sistemiyle yapılan, farklı konsantrasyonlardaki yağlı atık su testlerine ait örnekler incelenmiştir. SPR temelli biyosensörler, biyomoleküllerin etkileşimlerini ayırıştırma ve arıtma olmaksızın yüksek doğrulukta, gerçek zamanlı ve çevrimiçi ölçülebilmektedirler. Ayrıca SPR temelli biyosensörlere, çevresel kirleticilerin tespitinde de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teknoloji temassız sezme teknolojisidir ve uzaktan izleme uygulaması kolaydır. Bu sensörler yaşam bilimleri, gıda güvenliği, çevre ve farmasötik çalışmalarda kullanılır. Netice itibarıyla mevcut sistemlere göre atık sudaki yağlı daha hızlı ve yüksek doğrulukta ölçebildiği için daha iyidir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Kalitesi İzleme, Su Kalitesi Algılama, Optik Fiber Kimyasal Sensörler, Optik Fiber Biyolojik Sensörler, Otomatik Ölçüm Sistemleri, Atık Su Analizleri, Çevresel İzleme, Yüzeysel Plazmon Rezonans, Algılama Sistemleri, Algılama Performansı, Çevrimiçi İzleme, Fiber Optik, Kimyasal Oksijen İhtiyacı, Biyolojik Oksijen İhtiyacı, Renk, Çevresel Algılama, Optik Sensör

### WATER QUALITY MONITORING WITH FIBER OPTIC SENSOR SYSTEMS- SURFACE PLASMON RESONANCE (SPR) SENSING

#### ABSTRACT

In order to create effective water quality resource management, both drinking water and wastewater quality must be monitored very well. A good monitoring system for environmental regulation and healthy water can be done by using online and real-time measurement techniques. Conventional techniques that require specified sampling and chemical analysis are expensive and time consuming. As a result, cheaper and faster methods are needed to monitor the characteristics of drinking water and wastewater as an alternative to conventional methods. Fiber optic sensors have a great potential for monitoring drinking and wastewater parameters online and in real time. Therefore, it is possible to monitor more parameters with fiber optic sensors than conventional techniques. Monitoring more parameters online is essential to have high measurement accuracy. Some parameters are effective in determining the quality

of drinking and wastewater. In this article, measurement of these parameters with fiber optic sensors are discussed. Parameters which is discussed for drinking water are pH, concentration of Calcium ions and concentration of heavy metal ions. On the other hand, color, chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD) were examined as parameters of wastewater.

In addition, Surface Plasmon Resonance (SPR)-based fiber optic sensors that are effective in monitoring oily wastewater have been introduced in this study. Samples of oily wastewater tests with different concentrations which are done by SPR sensor system have been examined. SPR-based biosensors can measure biomolecule interactions without separation and purification online and in real time with high accuracy. SPR-based biosensors are also needed in the detection of environmental pollutants. This technology is contactless sensing technology and remote monitoring application is effortless. These sensors are used in life sciences, food safety, environment and pharmaceutical studies. As a result it is better than existing systems because it can measure the quantity of oil in wastewater faster and more accurately.

**Keywords:** Water Quality Monitoring, Water quality sensing, Optical Fiber Chemical Sensors, Optical Fiber Biological Sensors, Automatic Measuring Systems, Wastewater Analysis, Environmental Monitoring, Surface Plasmon Resonance, Sensing Systems, Perception Performance, Online Monitoring, Fiber Optics, Chemical Oxygen Demand, Biological Oxygen Demand, Color, Environmental Sensing, Optical Sensor

## 1 GİRİŞ

Fiber optik teknolojisi ve iletişim teknolojisinin gelişimiyle 1970' ler den bu yana, fiber optik algılama teknolojisi, yeni nesil sensörlerin gelişim eğilimini temsil eden yeni bir tip sensör teknolojisi haline gelmiştir. Bu teknoloji günümüzde birçok alanda kullanıma girmiştir. Bu kullanım alanlarından biriside çevresel izlemedir. Fiber optik sensörlerle çevresel izlemede en etkin faktör su kalitesidir. Su kalitesini izlemek su kaynak yönetimi için bir temel teşkil eder. Günümüzde kullanılan sezme metotları çevrimiçi ve yerinde incelemeye elverişli değildir [1].

İçme suyunun kalitesini değerlendirmek için bir düzen dâhilinde fiziksel ve kimyasal parametreler ölçülmelidir. En önemli parametreler optik ve kimyasal sensörlerle ölçülebilmektedir [2].

Sanayileşmeden kaynaklanan atık sular çevre üzerinde en etkili faktördür. İyi bir çevresel izleme için atık suların gözlenmesi şarttır. Bu bakımdan su kalitesi testi hakkında günümüze kadar birçok biyolojik sensör araştırılmıştır. Ancak bu biyolojik sensörlerin çoğu pahalı ve kararsızdır. Bunun sebebi ise biyolojik sinyallerin dönüşümündeki zorluktur. Atık su içerisinde bol miktarda boya gibi kimyasallar ve ağır metaller mevcuttur. Arıtma tesisi performans hata durumuna göre atık su kalitesi hızla değişebilir. Kanalizasyon sistemindeki sınırlı alanlardan dolayı ve numunelerin ancak laboratuvarında ayrıştırılması nedeniyle sürekli su kalitesinin izlenmesi zordur. Tehlikeli çevre etkilerinin hafifletilmesi için arıtma tesislerinin

performansları düzenli bir şekilde izlenmelidir. 1990' lı yıllardan beri en zorlayıcı spektrum analiz teknikleri spektroskopik teknikler olarak kabul edilir. Nispeten ucuz ve kısa test sürelerinin olması ve örnek hazırlamaya ihtiyaç duymamaları bu yöntemin avantajlarıdır. Buna ek olarak doğrudan ölçme kabiliyeti onları yerinde belirlemede uygun kılmaktadır. Fiber optik sensörlerin doğruluğu, güvenilirliği, taşınabilirliği ve maliyet etkinliğinin geleneksel sensörlere göre avantajlı olduğunu göstermektedir [3].

Son yıllarda, SPR tabanlı sensörler, optik bileşenler ve cihazlar çeşitli uygulamalar için birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Yüksek hassasiyet ve duyarlılıkta olmasından dolayı SPR' nin, algılama aletlerinde kullanımı oldukça iyi bir performans sağlamaktadır [4].

Bu makalede içme suyu için pH, suyun sertliğine etki eden kalsiyum iyonlarının konsantrasyonu, kadmiyum, çinko, kurşun ve civa gibi ağır metal katyonları, atık su için renk, COD ve BOD parametrelerinin izlenmesi sistemleri ele alınmıştır. Suyun çevrimiçi izlenmesi için çok parametrelili bir fiber optik ölçüm sisteminin nasıl tasarlandığı ve nasıl yapıldığı ele alınmıştır. Ölçüm sistemine ilişkin sonuçlar sunulmuştur. Su kalitesi sezme sisteminin gerçek çalışma uygulaması zordur. SPR temeline dayanan fiber optik algılama sinyali mekanik yapı, ışık dalgalanmaları ve benzeri dış faktörlere çok az duyarlıdır. Yüksek seçicilik, yüksek hız, güvenilirlik ve daha düşük örnek tüketimi, bu metot için bazı avantajlardandır. Kısaca bu



teknoloji çevre kirliliğine yol açan maddeleri sezmede önemli bir yere sahiptir [1].

## 2 İÇME SUYUNA YÖNELİK ÇALIŞMA

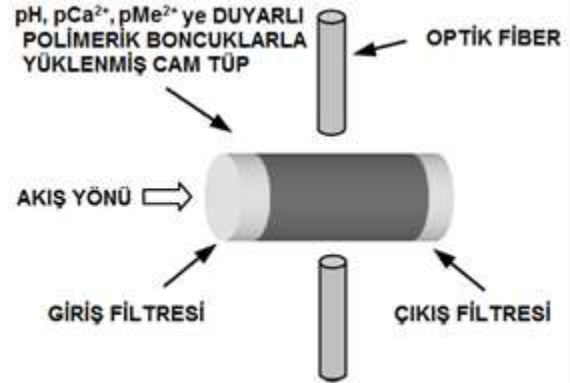
Su, elde edildiği kaynağa ve çevreye bağlı olarak metal ve kimyasal maddeler içerebilir. Bu kimyasallar, suda sağlığı tehdit edecek kadar fazla miktarda bulduklarında, çoğunlukla renk, tat, koku değişimine neden olmaz. Zararlı etkileri, vücuda alındıktan hemen sonra veya yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bu kimyasalları belirlemenin tek yolu suyu analiz etmektir. Sularda, bu metal ve kimyasal maddelerden, bir kısmı belirli limit değerlere kadar bulunabilir. Bazılarının hiç olmaması istenir. Bu değerler ve özellikler, ulusal ve uluslararası su standartlarıyla belirlenmiştir. Örnek olarak, kurşun Avrupa Birliği standartlarına göre içme veya kullanma sularında 1 litrede 0.01 miligramdan (0.01 ppm 'den) fazla bulunmamalıdır. Suya, içerdiği kimyasallar açısından bakıldığında, suda olması istenmeyen kimyasallar, zehirli kimyasallar ve estetik açıdan önemli olan parametreler olarak ayırabiliriz. Su sertliği, suyun içerdiği metallerin bir göstergesidir. Su sertliğine neden olan metallerin büyük çoğunluğu kalsiyum, magnezyum, gibi metallerdir. Bir suyun sert olması veya olmaması onun içilebilir veya içilemez olduğu anlamına gelmez. Suyun, içme-kullanma suyu olarak kullanılabilmesi için tam analizinin yapılması içerdiği arsenik, krom, kurşun, siyanür, civa, baryum, selenyum, mangan, bakır, antimon, berilyum, florür, alüminyum, tarım ilaçları, böcek ilaçları, amonyak, fenoller, nitrit gibi kimyasallar, mikroorganizmalar ve radyoaktif bileşenler yönünden değerlendirilmesi gerekir[4-5]. Bu çalışmanın bu kısmında su izleme için yapılmış bir ölçüm sistemine ilişkin elde edilen sonuçlar ele alınmıştır.

### 2.1 Deney

#### 2.2.1 Ayıraçların Sabitlemesi

Ayıraçların sabitlemesi sensörün nihai özelliklerini düzenleyen kilit bir konudur. Optik sensörlerden faydalanan birçok çeşit kromiyonifer sabitleme yöntemi vardır. En iyi neticeyi almada bir kimyasal işlem uygulaması etkin rol alır. Kromiyonifer molekülleri kimyasal olarak fiber optiğe ya da polimerik desteğe bağlanmıştır. Ayıraç sabitlemesinden sonra yüzey ve kütle olarak adlandırılan iki tip optomembran elde edilir[2].

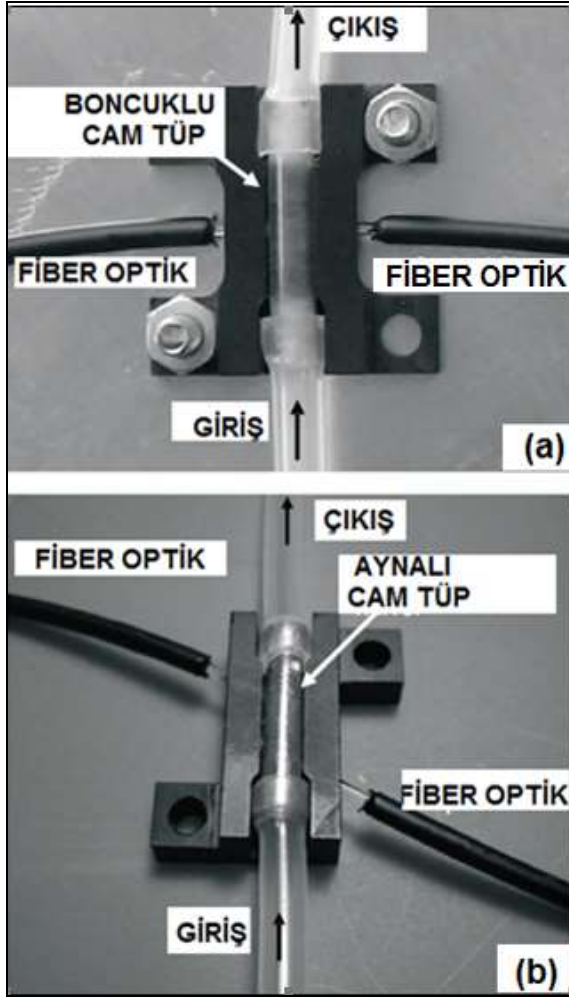
Bu çalışmada bir yüzey sabitlemesi uygulaması incelenmiştir. Kromiyoniferler için polimerik destek olması adına bir iyon değiştirme reçinesi seçilmiştir. Uygulamayı yapan araştırmacı çeşitli reçineleri test etmiştir. Amberlit reçineleri için çok güzel sonuçlar elde edilmiştir (pH sensörü için XAD4, kalsiyum sensörü için IRA 400, ağır metal iyon sensörleri için XAD 4 kullanılmıştır). Sabitleme prosedürü art arda dizilmiş polimerik boncukların eklendiği bir gösterge çözeltisiyle başlar. Elde edilen karışım 30 dakika karıştırılır ve daha sonra dikkatle boşaltılır. Boncuklar tamamen arındırılıncaya kadar damıtılmış su ile yıkanır. Sabitlenmiş göstergeli polimerik boncuklar sensörlerin aktif fazını oluşturmaktadır. Boncuklar cam tüpten yapılmış bir akış hücresinin içerisine yerleştirilir. Bu hücre sızdırmaz olup bir pompaya bağlıdır. Akış hücresinin şematik yapısı Şekil 1' de gösterilmiştir. Şekil 2' de ise yapılan bu çalışmada geliştirilmiş olan akış sensörünün fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 1- Akışkan Konfigürasyonunda Bir Kimyasal Sensörün Şematik Yapısı [2]

Tüm sistem monte edildikten sonra akış hücresi uzun bir süre yıkanır. Sabitlenmemiş gösterge bölümünü çıkarmak için bu yıkama gerçekleştirilmiştir. Bir tutucuya monteli fiber optikli cam hücre içerisinden ışık geçirilerek muayeneye tabi tutulur. Kalsiyum ve ağır metal iyon sensörlerinin çok düşük sinyaller ürettiği gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı onların yapıları değiştirilmiştir. Sensörlerin optik yol uzunluklarını artırarak ölçümlerin duyarlılığını artırmak mümkündür. Bunu başarmak için bir cam tüp, çok ince bir gümüş katmanla kaplanmıştır ve bir çeşit ayna oluşturmak için bir polimerik kapakla koruma yapılmıştır. Fiber optikler sensör içerisinde optik yolu artırmak için

bir takım açılarla yerleştirilmek zorundadır. Böylelikle ölçümlerin hassasiyeti önemli derecede artırılmış olur.



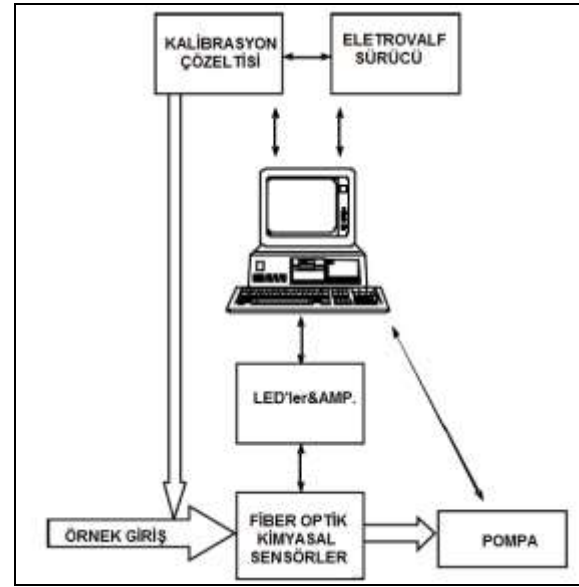
**Şekil 2 -** Fiber Optik Kimyasal Sensörleri, a) pH ve Kalsiyum İyon Ölçümleri İçin, b) Ağır Metal İyonlarını Ayırmak İçin [2]

### 2.2.2 Kurulum Ölçümü

Çeşitli kimyasal sensörlerin testleri, sensörleri monte edebilen bir sistem yapısına gereksinim duyar. Bu sistem yapısında sensörlerin özel gereklilikleri yerine getirilir, veri edinmeye imkân tanınır, görselleştirme ve saklama için uygun sinyal düzenleyici ünitelerle donatılır. Dahası, peristaltik pompa karıştırıcı gibi kimyasal aletlerin çalışmasını kontrol etmelidir.

Çoklu kaynak birimi, kromiyonoforlerin analitik dalga boylarına uyan üç LED' den bağımsız bir çalışmayla yapılandırılmıştır (pH sensör için 590nm-630nm, kullanılan göstergeye bağlı olarak, kalsiyum sensör için 680nm, ağır metal

iyonları sensörü için 510nm). LED' lerin her biri seçici sinyal algılamasına izin veren kare dalgayla modüle edilmiştir. Modülasyonu, LED açıldığında optik gücü foto diyot geri beslemesiyle sabit tutulan bir yol olarak tarif etmek mümkündür. Göstergelye etkileşen ışık konsantrasyonu hakkında bilgi sahibi olunur ve sonra bir transepedans amplifikatörü (OPT 301, Burr-Brown) ve birleştirilmiş foto diyotla elektriksel sinyal haline dönüştürülür ve güçlendirilir. Ağır metal iyonları için sensör durumunda bu ölçümlere adanmış özel bir kilitleme amplifikatörü tasarlamak gerekir. Tüm ölçme sistemi Şekil 3' de verilmiştir.



**Şekil 3 -** Kurulum Ölçümü [2]

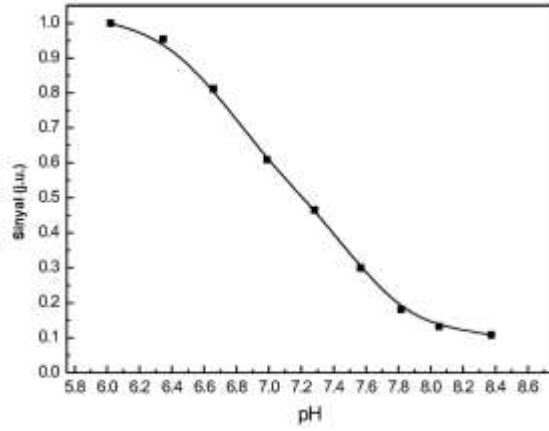
Bir sensörün kalibrasyon eğrisi ölçümler esnasında yapılmış birincil testtir. Ölçümler sırasında gerekli olan temel işlem analit konsantrasyonunun değiştirilmesidir. Bu, uygun bir çözüm eklenerek manuel olarak yapılabilir, ancak bu durum zaman alıcıdır ve operatörün ciddi hata yapmaları ölçüm hataları olarak karşımıza çıkar. Bu yüzden kalibrasyon prosedürü otomatik olarak yapılır. Bir bilgisayar elektrovalf bir takımla iletişim kurar ve bunların bir kombinasyonu, kalibrasyon çözeltisini sensöre iletmeye izin verir. Kalibrasyonu tamamladıktan sonra bilgisayar kalibrasyon eğrisini hazırlar ve daha sonra gerçek bir numune ölçümüne geçmek mümkün olur.

Veri toplama için 12 bit analog dijital dönüştürücülü bilgi edinme kartı (PCI 6025E) kullanılmıştır. Bu kart bir bilgisayara monte edilir.

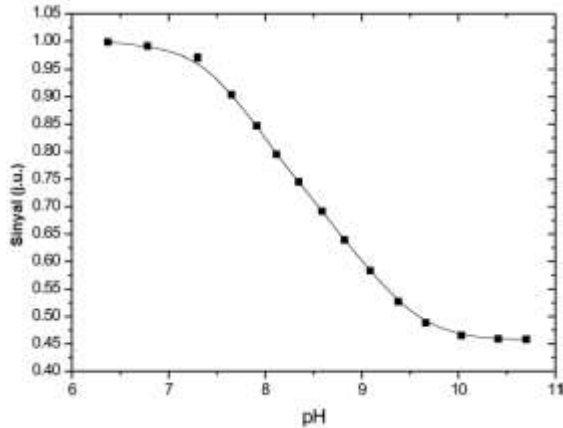
Kartın dijital çıkışları elektrovalf i kontrol etmek için kullanılır. Pompa, cihazın tüm kontrolünü sağlayan bir RS 232C arabirimi aracılığıyla sisteme bağlanır.

### 2.2.3 Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan sistem laboratuvarında hazırlanan çözeltiyle test edilmiştir. Her üç sensörde akış durumundan bağımsız olarak çalışır. Ölçüm prosedüründe her sensörün kullanımdan önce kalibre edildiği ve kalibrasyon prosedüründen sonra örneğin ölçüldüğü farz edilir. Çözeltinin sensöre doğru pompalanmasıyla tüm dizi sonlandırılır. Üç sensöre ait kalibrasyon eğrileri aşağıda verilmiştir [2].

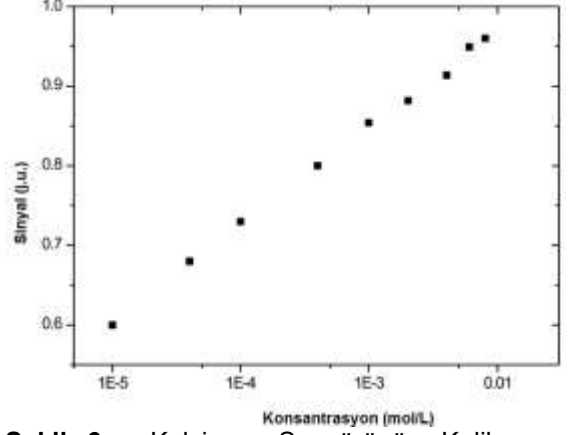


Şekil 4 - pH Sensörünün Kalibrasyon Eğrisi [2]

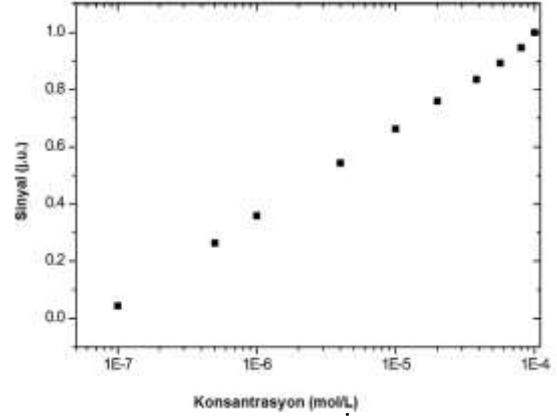


Şekil 5 - İlave pH Sensörünün Kalibrasyon Eğrisi [2]

pH sensörü 0.04, kalsiyum sensörü 0.1pCa ve ağır metal iyon sensörü 0.1pMa doğruluğunda ölçümleri gerçekleştirebilmiştir (p uygun iyon konstrasyonunun gücü anlamına gelmektedir).



Şekil 6 - Kalsiyum Sensörünün Kalibrasyon Eğrisi [2]



Şekil 7 - Ağır Metal İyon Sensörünün Kalibrasyon Eğrisi [2]

### 3 ATIK SUYA YÖNELİK ÇALIŞMA

Su, önemli bir taşıyıcı sıvıdır. Sular, insanların doğayı kirletmesi sonucu zararlı maddeleri yüzlerce kilometre uzaklıktaki bölgelere taşır. İnsanların yaşam alanı olan evlerden de atık sular kanalizasyon yoluyla bu sularla birleşir. Kirlenen bu suların toplanarak yeniden doğaya verilmesi ve çeşitli amaçlar için kullanılabilir hâle gelmesi, suyun giderek azalmaya başladığı dünyamızın geleceği için oldukça önem taşır. Bir yerleşim alanında oluşan evsel nitelikli atık suyun miktarı, yerleşim alanının nüfusuna ve kişi başına düşen su kullanım miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen ya da tamamen değişmiş sulara atık su denilmektedir. Atık sular gelişi güzel doğaya bırakılamaz. Evsel atık sular; evler, siteler, konutlar, motel ve oteller gibi yerleşim birimlerindeki kullanım sonucu oluşan kirlenmiş kanalizasyon sularıdır. Bu sulardaki en

büyük kirlilik yüklerini deterjanlar, organik maddeler ve yağlar oluşturmaktadır. Endüstri kuruluşlarından, imalathanelerden, atölyelerden, tamirhanelerden, küçük sanayi sitelerinden ve organize sanayi bölgelerinden kaynaklanan her türlü işlem ve yıkama artığı olarak oluşan sular endüstriyel nitelikli atık su olarak adlandırılmaktadır [6].

Endüstri kuruluşlarının atıkları arıtılmadan akarsulara verilecek olursa bu akarsularda canlı üremesi imkânsız hâle gelir. Kimi zaman da bu atık suların toprağa gömülmesi, yağmur suları ve sızıntılarla birlikte yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu yüzden endüstriyel nitelikli atık suların arıtılması amacıyla çeşitli tesisler kurulmaktadır. Endüstriyel atık sular, üretilen ürüne bağlı olarak gerek miktar gerekse nitelik bakımından hayli değişkenlik gösterir. Üretim işlemi sırasında pek az su tüketildiğinden büyük miktarlarda su, çoğu zaman atık su olarak geri dönmektedir. Bu atık sular; toksik metaller, organik maddeler, inorganik maddeler ve biyolojik kirleticileri içerebilir. Dolayısıyla bu tür atık suların alıcı ortama verilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir [6].

### 3.1 Renk

Diğer su kalite parametrelerinde olduğu gibi renk parametresinin de içme ve kullanma sularında belli standart değerlerde olması gerekmektedir. Bataklik ve orman alanlarından kaynaklanan doğal maddeleri içeren sular suya kahverengimsarı bir renk verirler[8]. Bu tür suların hem estetik hem de psikolojik nedenlerden ötürü içme suyu olarak kullanılması istenmez. Halk sağlığı ile ilgili kuruluşlar, kullanma suyu temin edilecek kaynaklara estetik nedenlerden dolayı, renk parametresine 15 birim (Hazen Metodu) sınır değerini getirmişlerdir[9]. Suyun rengi, doğal metal iyonları (demir ve manganez gibi), humus ve turba maddeleri, plankton, bitkiler ve endüstriyel atıklardan dolayı oluşabilmektedir. Herhangi bir kaynaktan temin edilecek suyun, kullanım amacına bağlı olarak (içme suyu olarak, sanayi proseslerinde kullanım vb.) renk giderimi (arıtımı) işlemi gerekebilmektedir. İki tür renk kavramı vardır:

**Gerçek renk:** Atık su numunesi içindeki bulanıklık oluşturucu partiküllerin doğurduğu rengin önüne geçilmesi için santrifüj ve filtrasyon tatbik edilmiş numunedeki renktir.

**Zahiri renk:** Santrifüj veya filtrasyon yapılmaksızın doğrudan ölçülen renktir. Bazı sanayi atıklarında bulunan koloidal ve askıda

maddeler o atık suyun rengine önemli derecede katkıda bulunurlar, bu durumdaki atık su numunelerinde her iki renk türü ölçülebilmektedir. Atık sularda renk oluşumunun kaynağı olan en önemli sanayi kollarından birisi tekstil endüstrisidir. Tekstil endüstrisi atık suları, üretim birimlerinde kullanılan değişik özellikte boyalar, yüzey aktif maddeler ve tekstil yardımcı maddelerden kaynaklanan yüksek organik madde içerikleri nedeniyle COD ve renk olmak üzere değişken kirlilik parametrelerini içermektedir [9].

Renk, atık su deşarjında mevcut standartlara göre sınırlayıcı bir parametre olmamakla birlikte estetik açıdan bir problem yarattığı gibi suyun yeniden kullanım imkânını da kısıtlamaktadır. Oluşan atık su miktarı ve kirlilik parametreleri dikkate alındığında tekstil endüstrisi atık suları diğer endüstrilerden kaynaklanan atık sulara nazaran daha fazla kirletici özellik taşımaktadırlar[4]. Aynı zamanda kullanılan hammaddeler, işletmenin üretim tipi, üretimde kullanılan teknoloji ve kullanılan kimyasal madde farklılıkları da kirleticilerin tür ve konsantrasyonlarında çeşitli değişikliklere neden olabilmektedir [11].

İşletme suyu kullanımı amaçlı geri dönüşüm veya boya içeren atık suların kontrolü konusunda giderek artan düzenlemeler nedeniyle ayırma ve arıtım temaları konularında artan ilgi, yüksek boya içerikli atık suların arıtımını daha da önemli hale getirmektedir. Boyalı atık sular çok düşük konsantrasyonlarda bile alıcı ortamlarda ciddi estetik ve ekolojik problemlere yol açmaktadırlar. Boyalar yalnızca estetik problemlere değil, aynı zamanda biyolojik girişimlere, ışığa, sıcaklığa ve oksidasyona da direnç gösterirler. Renkleri, biyolojik olarak parçalanmamaları ve canlılar üzerinde potansiyel toksisite oluşturmaları nedeni ile atık su arıtımında problemler yaratmaktadırlar. Renk hariç tüm kirleticiler genel olarak fiziksel ve kimyasal metotlarla azaltılabilir. Atık suyun rengi tek bir yöntemle etkili olarak kontrol edilememektedir. Bu nedenle boyalı atık suların temel problemi boyama işlemleri esnasında oluşan renktir. Boyama ve tekstil işlemlerinden kaynaklanan atık suyun kompozisyonu, boyar maddenin özelliğine, tipine ve ilave edilen bileşenlerin konsantrasyonuna bağlı olarak günden güne ve her saat önemli ölçüde değişmektedir [11].

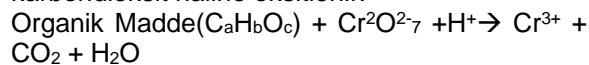
Boyarmadde içeren atık suların konvansiyonel arıtımı; biyolojik arıtma, kimyasal pıhtılaşma ve yüzeyde tutunma sistemlerini içerir. Ancak

boyalı atık sular aktif çamur işlemleri gibi konvansiyonel biyolojik işlemlerle kolayca ayrıştırılmamaktadır. Atık sularda boyar madde ve renk; yaş oksidasyon, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, O<sub>3</sub> gibi ileri oksidasyon teknikleri, aktif karbon adsorpsiyonu ve Al veya Fe çözülmüş elektrotları kullanılarak yapılan elektrokoagülasyon yöntemleri ile etkili bir şekilde yok edilebilmektedir; ancak bu yöntemlerin maliyetleri diğerlerine kıyasla daha yüksektir.

### 3.2 Kimyasal Oksijen Talebi

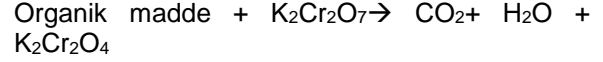
COD sudaki yükseltgenbilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarıdır. Evsel ve endüstriyel atık suların (özellikle endüstriyel) kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri kimyasal oksijen talebidir. BOD' dan farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlarla değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Oksidasyon ortamında karbonlu organik maddeler karbondioksit ve su; azotlu organik maddeler ise amonyak haline dönüşür. Elektron transferinin olmadığı reaksiyonlara giren maddelerin COD' den söz edilemez. COD' nin BOD' e en önemli üstünlüğü kısa sürede yürütülüp, sonuçlandırılmasıdır. BOD' nin en az 5 gün sürmesine karşın COD' nı 3 saatte belirleyip değerlendirmek mümkündür. Bir suya ait COD tayini sonucu, BOD' dan farklı olarak biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri de içerdiğinden, COD her zaman BOD' den büyük elde edilir. COD, nehir ve endüstriyel atıkların incelenmesi çalışmalarında önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir [9].

Atıkların toksik madde içermemesi ve sadece kolaylıkla ayrışabilecek organik maddeleri içermesi halinde bulunan COD değeri, yaklaşık olarak nihai BOD (karbonlu) değerine eşit çıkar. BOD' den farklı olarak deneyde harcanan oksijen kimyasal reaksiyonlar tarafından ortaya çıkarılır. Reaksiyon kuvvetli, yükseltgen bileşiklerin, asit ortamda, organikleri karbondioksit ve su gibi son ürünlere kadar oksitleyebilme özelliklerine dayandırılır. Genellikle kullanılan yükseltgen madde, potasyum di kromattır. Potasyum di kromattaki +6 değerli krom, +3 değerli krom haline indirgenirken organik maddedeki karbon, karbondioksit haline oksitlenir.



Bu deney, biyolojik hayat için zehirli maddeleri içeren ev ve endüstri orijinli atık suların organik

madde konsantrasyonunun ölçülmesi için uygundur. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan bir atık maddenin COD' si, BOD' sinden genel olarak daha büyüktür. Birçok kullanılmış su numunelerinde BOD ve COD arasında korelasyon kurmak mümkündür. Atık su numunesi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve standardize edilmiş K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>'in fazlası ile geri döngülü olarak 2-3 saat kaynatılır. Atık suda bulunan çoğu organik maddeler K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ile aşağıdaki reaksiyona girerler.



Bu esnada stokiyometrik olarak numune içindeki yükseltgenbilir maddeye eşdeğer miktarda K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> kullanılır ve geriye kalan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, standard demir-2-amonyum sülfat ile titre edilerek bulunur. Harcanan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> oksitlenen organik madde miktarını gösterir. Oksitlenme derecesi organik maddelerin türüne ve konsantrasyonuna, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'in konsantrasyonuna, reaksiyon sıcaklığına ve zamanına bağlıdır. Bu nedenle şartların tam olarak sağlanması gerekir. COD testi özetle, sulardaki karbonlu maddelerin karbondioksit dönüşüne kadar ilave edilecek oksijeni ifade etmektedir. Testte oksijen yerine yüksek oksitleyici özellikte oksidant kimyasal kullanılır. Oksidasyonun hızlandırılması ve tamamlanması için kuvvetli asidik ve yükseltmiş sıcaklık şartlarında, katalizörlerin de mevcudiyetinde reaksiyon gerçekleştirilir. Testte elde edilen bilgi ise, sudaki kirlenici maddedeki karbonu gidermek için harcanan oksidant miktarıdır. Harcanan oksidant miktarı, oksijen ihtiyacı yani oksijen olarak ifade edilir. Sonuçta testle elde edilen oksijen ihtiyacı atık suyun içindeki karbon miktarının (konsantrasyon) dolaylı bir ölçüsü olur [9].

### 3.3 Biyokimyasal Oksijen Talebi

Atık sular organik maddeler içerdiğinden, bunların konsantrasyonları, yani sudaki miktarları, kirlilik derecesinin ölçüsü olarak kabul edilir. Organik maddenin ölçüsü olarak, biyokimyasal oksidasyon (karbonlu maddelerin oksitlenmesi) sırasında harcanan oksijen miktarı esas alınabilir ve bu değer de BOD olarak adlandırılır. İçerisinde bakteri bulunan kanalizasyon veya endüstri atık sularına oksijen verildiği takdirde, bakteriler aracılığı ile kararsız (çürüeyebilen) maddeler aerobik parçalanmaya uğrar. Bu ayrışma sırasında bir miktar oksijen sarf edilir. Çürüeyebilen maddeler kararlı hale

dönüşürler. Organik maddelerin aerobik şartlarda kararsız halden kararlı hale gelmeleri için bakteriler tarafından kullanılan oksijen miktarına, "biyokimyasal oksijen talebi" denir. BOD parametresi, kanalizasyon ve içinde toksik maddeler bulunmayan endüstri atıklarının kirletebilme derecesini, gerekli oksijen miktarı cinsinden tayinde kullanılır. Ayrıca artıma sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi, alıcı ortama atık su deşarj limitlerine uygunluğunun kontrol edilmesi ve biyolojik artıma sistemlerinin performansının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Yerleşim alanlarından kaynaklanan evsel atık suların BOD değeri ortalama 200mg/lt değerindedir. BOD deneylerinde meydana gelen reaksiyonlar, biyolojik faaliyetlerin sonucudur. Reaksiyon hızı, sıcaklık ve suyun kirliliğine bağlıdır. Deneyde, yaşayan organizmalar, organik maddelerin su ve karbon dioksit oksidasyonu için görev yaparlar. Deney sırasında oksijen miktarının tükenmemesi gereklidir. 20 °C de oksijen sudaki çözünebilir miktarı 9,0 mg/L'dir. Bu nedenle, kirli suların istenen düzeye kadar seyreltilmesi gereklidir. Ortamın bu süre esnasında bakterilerin faaliyetini engellemeyecek şekilde uygun olması gereklidir. Ortamda zehirli maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca gerekli yiyecek maddesi ve bakterilerin büyümesi için azot, fosfor gibi belirli elementlerin bulunması gereklidir. Teorik olarak tam bir biyolojik oksidasyon için çok uzun zaman gerekir. Pratikte reaksiyonun 20 günde tamamlandığı kabul edilir. Ancak tecrübeler, biyolojik oksijen ihtiyacının büyük bir kısmının ilk 5 günde sarf edildiğini göstermiştir. Kullanma suları ve birçok endüstri artık sularında 5 günlük BOD nin toplam BOD nin %70'i veya %80'i oranında olduğu bulunmuştur. Bu durum ortamdaki organik madde miktarı ve asının (ayrışmayı sağlayacak mikroorganizmalar) kalitesi ile ilgilidir [10].

### 3.4 Çevrimiçi Ölçümler

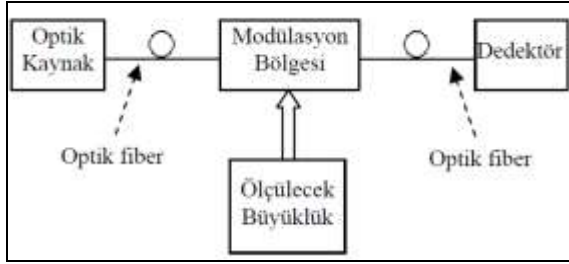
Atık suda çözülmüş organik bileşikler UV (morötesi) bölgesinde emilim tepe noktaları olan aromatik yapılar içerir. Bu özelliklerinden dolayı bu yapılar arasında bazı doğrusal ilişkiler kurulmuştur. Bu yapılar; sudaki toplam organik karbon(TOC), nitrat, asılı katılar (SS), COD, BOD ve çözülmüş organik karbon(DOC)' dir. Su kirliliğinin derecesine, bir su numunesinin 254nm UV ışığı ile aydınlatılmasından sonra emilim değeri üzerinden doğrudan hüküm verilebilir. Araştırmalara göre bir su numunesinin toplam organik içeriğini doğrudan tahmin edebilmek için

254nm UV ışığının emilimi gerekmektedir. Spektroskopi ve ışınım ölçümleri gibi optik teknikler kullanarak hızlı ve çok yönlü renk, BOD ve COD izleme yapılabileceği bazı araştırmacılar tarafından önerilmektedir[3]. Emilim, saçılım, tekrar emisyon ve yansıma gibi optik özellikler atık su karakteristiklerinin hızlı bir şekilde tanımlanmasında kullanılabilir.

### 3.5 Fiber Optik Sensörler

Elektronik sistemlerin çoğunda sensörler, kilit rol oynamaktadır. Optik fiber sensörler, patlayıcı ve elektromagnetik girişimden etkilenen olumsuz çevre koşullarında kullanılmaya elverişlidir. Optik fiber sensörlerin temeli, fiber boyunca hareket eden optik sinyalde meydana gelen değişimleri gözlemlemeye dayanır. Optik fiber sensörler, modülasyon ve demodülasyon işlem türüne göre, yoğunluk temelli, polarizasyon temelli, faz temelli ve frekans temelli optik fiber sensörler olarak dört gruba ayrılır. Optik disiplininde, faz ya da frekans algılaması, interferometrik teknik olarak adlandırılır. Algılama mekanizması faz değişimi olan optik fiber interferometrik sensörler, çoğu sensör yapısına göre karmaşık yapıdadır ve yüksek çözünürlük gerektiren uygulamalar için iyi bir performans sunmaktadır. Optik interferometrik sensörlerin duyarlılığı ve çözünürlüğü, yoğunluk ve polarizasyon temelli sensörlerden daha iyidir. Optik fiber sensörler, uygulama alanlarına göre, sıcaklık ve basınç ölçümünde kullanılan fiziksel sensörler, gaz analizi ve pH ölçümünde yer alan kimyasal sensörler ve biyolojik işaretlerin gözlenmesinde yararlanılan biyomedikal sensörler olarak sınıflandırılır. Optik fiber sensörler, modülasyon bölgesine göre ise, içte etkileşimli (intrinsic) ve dışta etkileşimli (extrinsic) sensörler olmak üzere iki grupta incelenir. Dışta etkileşimli sensörlerde, algılama fiberin dışında gerçekleşir. Burada fiberin asıl görevi, ışığı verimli bir şekilde istenen formda algılama bölgesine ulaştırmaktır. İçte etkileşimli optik fiber sensörler ise, çevresel etkiyle ışığın modülasyonunu fiber içinde ölçerler. Bu tür sensörlerde, algılamayı gerçekleştirmek için optik fiberin çekirdek bölgesinin yapıldığı camın kimyasından yararlanır. Burada kullanılan temel mekanizmalar, soğurma, saçılma, fluor ışımaya, yansıma katsayısındaki değişim ve polarizasyondur. Şekil 8' de de görüldüğü gibi, bir optik fiber sensör, ışığı modülasyon bölgesine taşıyan optik fiberi uyaran ışık kaynağı, optik sinyal ile ölçülecek büyüklük arasında etkileşimin meydana geldiği

modülasyon bölgesi ve modüle edilmiş olan ışık sinyalinin elektriksel sinyale dönüştüğü dedektör olmak üzere üç ana kısımdan meydana gelir.

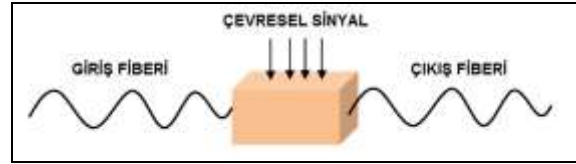


**Şekil 8 - Bir Fiber Optik Sensör Yapısının Genel Gösterimi**

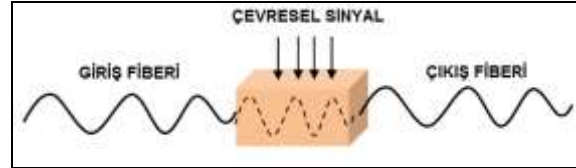
Işık kaynağının temel görevi, elektriksel enerjiyi ışık enerjisine dönüştürmektir. Başka bir deyişle, bu kaynaklar, optik fiber sensörlere ışık sağlamak için kullanılır. Yarı iletken optik fiber sensörler boyut, maliyet, güç tüketimi ve güvenilirlik açısından en iyi avantajı sağlar. Bu yüzden LED (Light Emitting diode, ışık yayan diyot) ve LD (Laser diode, uyarılmış ışığı salınım ile çoğaltan diyot) tipi yarı iletken ışık kaynakları, optik fiber sensör uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. LD'lar, interferometrik sensörler için gerekli olan yüksek yoğunluklu ışık yayma, ışığı iyi bir şekilde odaklayabilme, yüksek modülasyon genişliğine sahip olma ve eş fazlı radyasyon yayma gibi özelliklere sahiptir. Buna karşın, LD'lara göre LED'ler daha uzun ömürlüdür, daha ucuzdur ve ısıya karşı daha az duyarlıdır. Yüksek performanslı Mach Zehnder ve Fabry-Perot tipi optik fiber sensörler tek modlu LD'larla kullanılır. Optik modülatörler, optik fiber sistemlerde faz, genlik, frekans ve polarizasyon modülasyonu gibi değişik fonksiyonları yerine getiren elamanlardır ve katı hal elamanı olarak görev yaparlar. Işık, elektriksel kontrol sinyali tarafından aletin yapıldığı maddenin optik özelliklerinin değiştirilmesi ile modüle edilir. Kontrol sinyali, elektrooptik, akustooptik ve magnetooptik mekanizmaları aracılığıyla maddenin özellikleri ile ilişkilendirilir.

Bulk, entegre optik ve fiber modülatörler olmak üzere üç tip temel katı hal optik modülatörü vardır. Optik dedektörler, yer aldıkları optik haberleşme sisteminin performansını yönlendiren elemanlardan birisidir; görevleri, alınan optik sinyali elektriksel sinyale dönüştürmektir. Sistem içindeki önemli yerinden dolayı dedektörler, çalıştığı dalga boyunda yüksek duyarlılık, alınan optik sinyale büyük

elektriksel cevap verme, kısa cevap zamanı, minimum gürültü, durağan performans karakteristiği, küçük boyut, düşük fiyat ve yüksek güvenilirlik gibi özelliklere sahip olmalıdır. Optik dedeksiyon için bu özellikleri en iyi şekilde karşılayanlar, yarı iletken fotodiyotlardır. Optik haberleşmede yaygın olarak kullanılan yarı iletken fotodiyotlar, PIN (Positive-Intrinsic-Negative) diyotlar ve APD (Avalanche photodiode, çığ etkili foto diyotlar) dir. Şekil 9 ve Şekil 10' da dışta etkileşimli ve içte etkileşimli fiber optik sensörler gösterilmiştir.



**Şekil 9 - Dışta Etkileşimli FOS [3]**



**Şekil 10 - İçte Etkileşimli FOS [3]**

Aşağıda da basit bir sistem konfigürasyonu gösterilen fiber optik sensörlerle akustik, gerilim, pH, sıcaklık, ağır metal gibi birçok harici parametreler çok hassas ve hızlı bir şekilde ölçülebilmektedir.

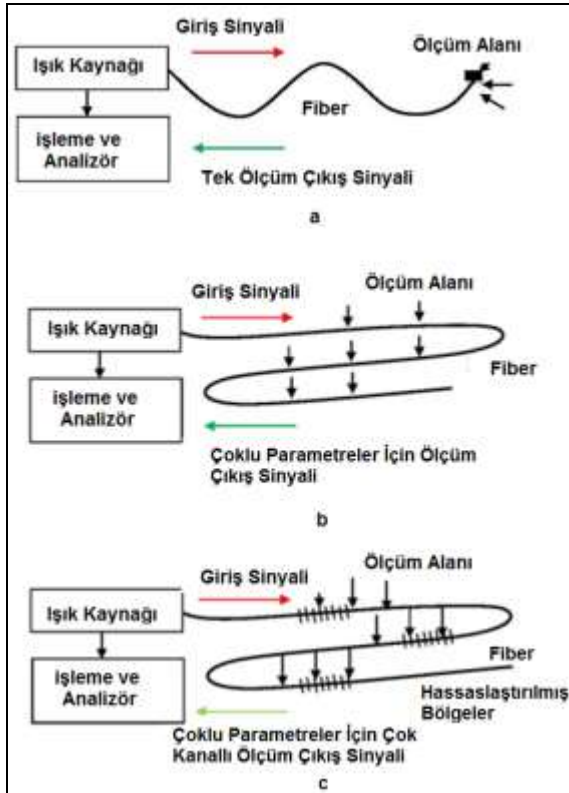
### 3.6 UYGULAMALAR

Atık suyun yerinde ölçümü ve işlem analizi için fiber optik sensör uygulamaları önemli neticeler vermektedir. Aşağıda renk, COD ve BOD algılama ele alınmıştır.

#### 3.6.1 Renk Tespiti

Doğal ve sentetik boyalar gıda işleme, ilaç ve tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek düzeyde boya içeren tekstil atıklarını içeren atık su ortak bir çevre problemini oluşturmaktadır. Tipik olarak bu tür atık sular yüksek çözünürlüklü ve kolay hidrolize olan kompleks yapılu organik bileşikler içerir. Emilim spektrum analizi için görünür ışık kaynağı kullanarak renk karakterize edilebilir. Güçlü emilim bandı dairesel yer değiştirmeye uygun hale getirilir. Aslında azo gruplar ışık emildikten sonra geometrik değişiklikler meydana getirir. Renk, emilim analizi veya fiber

optik spektroskopik iletim spektrumuyla tamamen karakterize edilebilir. Geniş bir dalga boyu aralığına sahip spektrofotometri yöntemi, alt tabakada boya toplanmasıyla yüksek oranda ilişkisi olan renk emilim bandı nedeniyle seçilir. Üzerinde çalışılan boya renklerin senkronize ve hızlı bir şekilde belirlenmesini sağlar. Boya banyosunu izlemek için tek bir spektral değer(635nm) incelenmiş kot ipliklerinin sürekli izlenmesi için kullanılmıştır. Bu nedenle belirtilen uygulama için uygun optik kaynağın seçilmesi çok önemlidir. Emilim spektrumuna dayanan birinci aşamalı bilgi optik spektral analiz kullanılarak ileri sınıflandırma yapılabilir. Örneğin parazitleri analiz etmek için kısmi en küçük kareler algoritması kullanarak ana bileşen analizi gibi matematiksel yöntemlerle gerçekleştirilen optik spektral analiz genellikle boya karışımlarında örtüşen spektrumlar sergilemektedir. Veya bu çalışmada boya örnekleri için yüksek hassasiyet değerleri elde etmek için boya renklerin geçirgenlik ve emilim spektrumlarını değerlendirmek için çoklu doğrusal dönüş modeli kullanarak optik spektrum analizi otomatik düzeltme uygulanmıştır [8].



Şekil 11 - Temel Fiber Sensör Sistem Biçimi [3]

### 3.6.2 COD Tespiti

Oksijen talebi organik madde konsantrasyonunun değerlendirilmesinde önemli bir endekstir. Organik bileşiklerin konsantrasyonu organik maddenin tamamen bozulması için kullanılan oksijen miktarına dayanarak tahmin edilebilir. Gerçek COD nedeniyle COD tahmini oksitlenebilir mineralleriyle ilgilidir. Bu mineraller karbonhidratlar, bakterilerle ayrışabilen organik maddeler ve humik maddelerdir. Aromatik maddelerin karakteristikleri ve onların molekül yapılarında bulunan çift bağ nedeniyle çoğu organik maddeler emilim özellikle UV bölgesinde ve 254-280nm' deki soğurmada emilim tepelerine sahiptir [3].

Atık su optik sinyallerin geçişini güçlü bir şekilde etkileyen bulanıklık ve asılı katı(SS) madde içerir. Ölçüm doğrulamaları aynı anda farklı dalga boyları kullanarak yapılmalıdır. Araştırmalara göre iki farklı ışık kaynağı dalga boylarını kullanarak (254nm ve 350nm), atık suda biyolojik arıtma tesisleri bulanıklık ve asılı katılardan ışık emiliminin etkilerini azaltabilir. Araştırmalara göre 250nm organik kirleticilerin analizinde emilim ölçümleri için yararlı bir dalga boyudur. Buna ilave olarak soğurma değeri olarak 280nm dalga boyu kullanarak oksijen ihtiyacı değerlendirilebilir. Çalışmalar atık sudaki UV emilim ve organik madde arasında yüksek bir korelasyon olduğunu göstermiştir. 200-720nm arasında geniş bir optik aralıkta daha geniş bir COD konsantrasyonu örtülebilir. Böylece COD konsantrasyonu 5 dakikalık bir aralıkta UV soğurmayla 30mg/L ile 1000mg/L arasında hesaplanabilir. Bu araştırmanın ana rolü COD sürekli izleme yeteneğini ve onun yüzey suları için çevrim içi izlemedeki potansiyel kullanımını belirlemektir[3].

Başka araştırmacılar yakın kızılötesi(IR) iletimi eklemesiyle benzer bir sensör üzerinde çalışmışlardır. Sonra UV emilimiyle karşılaştırmışlardır. Sudaki hidrokarbonlar kızılötesi bölgede emilim spektroskopisiyle belirlenebilmektedir. Ultraviyole ve görünür bölgede belirli organik kirleticiler nicelik olarak ölçülebilirler ancak nitelik olarak bilgi sağlamazlar. Yakın kızılötesi (NIR) spektrumları nicel bilgi sağlayabildiği gibi bazı nitel bilgileri de sağlayabilir. Bu esnada kızılötesi(IR) spektrumları analitin belirgin bir tanımlanması için yeterli bilgi verebilir. NIR metodu kısa yollar için uygundur çünkü ışık saçılım katsayısı sudaki UV metodundan daha büyüktür. NIR iletimi, hızlıdır, yüksek



duyarlıdır ve yerinde izlemeye müsaittir. BOD algılama için bir ışınım yaklaşımı bir grup araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Çalışmalarında kanalizasyon numunelerinin COD konsantrasyonunu tahmin etmek için senkron ışınım spektrumunu incelemişlerdir. Daha duyarlı COD sensörü elde etmek için 220nm ve 254nm optik kaynakları kullanarak kentsel nehir sularının gerçek zamanlı BOD, COD ve toplam azot konsantrasyonunu değerlendirmesi için UV emilim endeksi ile kombine edilmiş PARAFAC ile floresan uyarılma emilim matrisi kullanılmıştır. Fiber optik kullanılarak optik teknikler geliştirilebilir. Bu gelişmiş teknik atık suyun COD değerini tahmin etmek için araştırmacılar tarafından sunulmuştur. Sadece 62 saniyede yanıt almak mümkün olmuştur. 0-350mn/L arasındaki algılama aralığı kapatılmıştır [3].

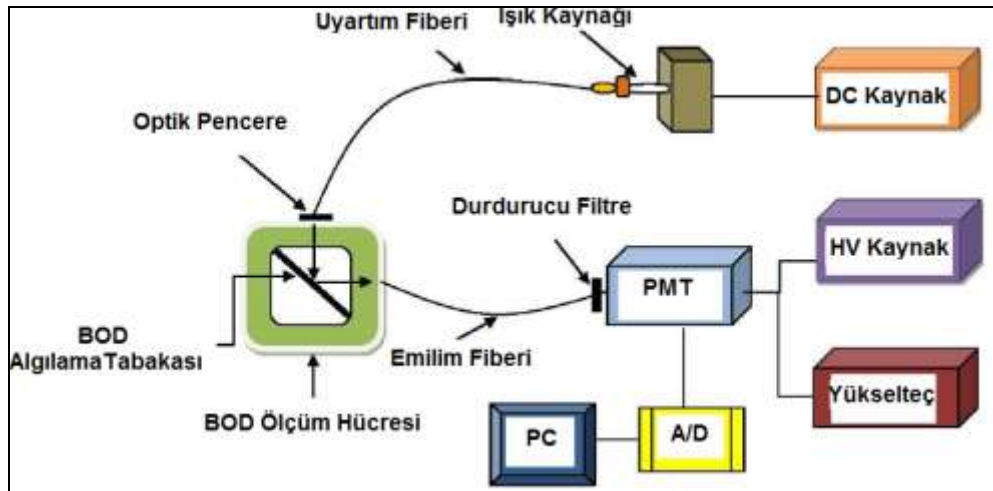
### 3.6.3 BOD Tespiti

Çağdaş çalışma incelemeleri BOD fiber sensör uygulamaları için emilim temelli ve ışınım esaslı teknikler üzerine yoğunlaşmıştır. Bir numune tarafından uyarılmış ve yayılmış dalga boyu emilimi iç filtreleme etkisi olarak bilinen bir ışınım yoğunluğu zayıflamasına neden olabilir. İç filtreleme etkileri su numuneleriyle aynı dalga boyunu absorbe eden çözeltideki diğer kromoforların varlığı nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Etkinin asgariye indirilmesi için ortak bir çözüm, bir düzeltme faktörüyle çoğunlukla örnek ölçüm emilimi veya ışınım yoğunluğunu çoğullayarak sulandırılmış örnekler için hesaplamalar sırasında matematik düzeltme uygulanmaktadır [3].

Bu konuda bazı araştırmacılar gelen uyarma radyasyonunun zayıflamasının telafi etmek için Raman dağılım tepe noktalarının kullanmayı önermiştir. Bazı araştırmacılar doğrusal olmayan bir etkiyi dalga boyuyla ilişkilendirmek için konsantrasyon ışınım yoğunluğu arasındaki ilişkiyi kullanmışlar ve verileri düzeltmemiş olarak bırakmışlardır. Özel itina ve düzeltme ışınım spektrumu yönünde yapılmalıdır. Orijinal numunenin pH' nın değiştirilmesi önerilmez. Işınım yoğunlukları ham atık su örnekleri için 10' a kadar pH ile artar. Humik maddeler çevresine duyarlı olduğu için çevredeki değişikliklerle değişir. 10' a yükselen ışınım yoğunluğu burada da etkili olur. Birçok problem yoğun kirletici örnek konsantrasyonlarında ortaya çıkar ve bu durumda iç filtre etkisi için filtre, seyreltme ve emilim testleri önerilir.

Eş zamanlı ışınım, uyarım dalga boyunun tüm bölümünün bir taramasından spektrumları elde etmek için uyarım ve emilim dalga boyu düzgün bir şekilde sabitleyerek kullanılabilir. Bu ışınım spektrumu daha iyi bir çözünürlük elde etmek için gelişmiş bir yoldur. Bunun nedeni numunelerde bulunan tüm floroforları yakalayabilmesidir.

Biyosensörlü ışınım teknikleri iki genel türe ayrılmaktadır. Karma denemeler ve doğrudan yöntemlerdir. Karma tahlil yöntemi için birincil bir hareketsizleştirilmiş hücre fiber optik yüzeyine bağlanmıştır. Hareketsiz hale getirilmiş hücre ile bağlanan hedef biyo molekülün varlığı gelen ışığı ve emilim ışınımı ile uyarılabilir. Şekil 12 BOD biyosensörünün bir planını göstermektedir [3].



Şekil 12- BOD Ölçümü için Fiber Optik Sistemi [3]

Bir BOD optik biyo sensör respirometrik ve mikrobik tipte bir proba tasarlanmıştır. Clark tipi oksijen temelli elektrokimyasal sensörler BOD sensörlerin dönüştürücüsü olarak geliştirilmiştir. Oksijen ölçümü için kullanılan elektrot bir optik sensörle değiştirilebilir. BOD ölçümlerinde elektrotlara fiber optiğin en büyük yararı ölçüm sırasında oksijen tüketiminin bulunmamasıdır. Bu yüzden oksijen tükenmesine neden olmaz ve aynı zamanda elektrotların sık değiştirilmesi gerekmez [3].

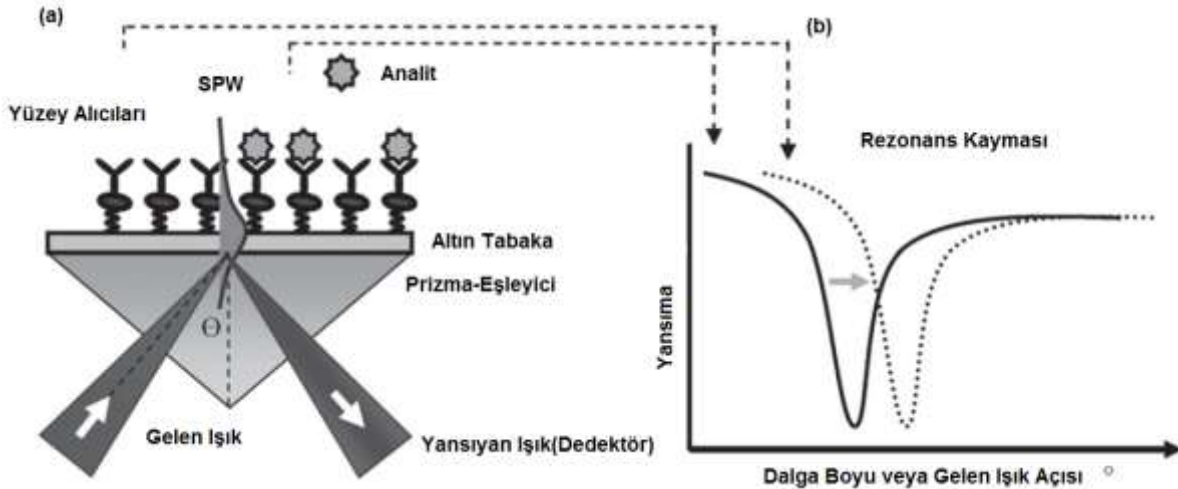
#### 4 YÜZEY PLAZMON REZONANS(SPR) ALGILAMA

Temel biyolojik araştırmalarda, sağlık bilimleri araştırmalarında, ilaç keşfinde, klinik tanılarda, çevresel ve tarımsal izlemlerde SPR biyosensörlerinin kullanımı büyük bir popülariteye sahiptir. SPR, etiketleme prosedürü gerektirmeden, gerçek zamanlı olarak biyomoleküler etkileşimlerin nitel ve nicel ölçümlerinin yapılmasına imkân tanır. Kompak, düşük maliyetli ve hassas biyosensörler tasarlanabilmektedir. Mikro imalat teknolojilerinin gelişimi SPR' ye uyumlu opto elektronik bileşenlerin üretilmesini de sağlamaktadır. Yüzey plazmon dalgasının varlığı tipik altın veya gümüş metalin elektromanyetik(EM) özellikleri

ve dielektrik arabirim ile belirlenir. Rezonans eşleşme ışık spektrumunun yansımalarındaki azalmalarda görülür. Dalga boyu, gelen ışığın açısı veya yansıyan ışığın yoğunluğu ölçülmek suretiyle geleneksel olarak izlenerek ışık spektrum analizi yapılır [5-7].

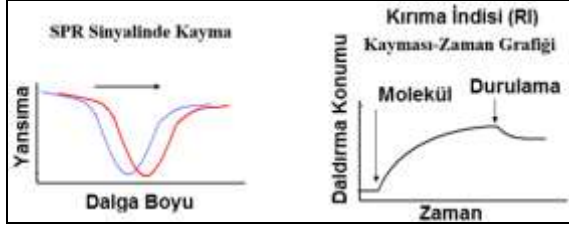
Polarize ışık, yüzeyi altın kaplı bir prizmaya gönderildiğinde ışığın bir kısmı emilir ve bir kısmı da yansır. Geliş açısı değiştirilip yansıyan ışığın şiddeti izlendiğinde yansıyan ışık şiddetinde azalma görülür (ışık şiddeti minimuma kayar). Yansıyan ışığın şiddetinde maksimum kaybın gerçekleştiği açıda rezonans açısı yada SPR açısı adı verilir [5-7].

Bu geliş açısında ışık, yüzey plazmonlarını (elektron paketçikleri) harekete geçirecek, yüzey plazmon rezonans olayı gerçekleşecek ve yansıyan ışığın şiddetinde bir minimuma ulaşılabacaktır. Yüzey plazmon rezonansı iki optik ortamın ara yüzeyine ince iletken bir film yerleştirildiğinde meydana gelir. Spesifik bir geliş açısında metal yüzeyindeki elektron frekanslarının eşleşmeleri nedeniyle gelen ışık ile rezonans durumuna gelecektir. Bu rezonans durumunda enerji emilimi olacağı için yansıyan ışığın yoğunluğunda bir azalma meydana gelmektedir [5-7].



Şekil 13 - SPR ile Yüzey Emilim İzlenmesi, a) Prizmayla Birleştirilmiş Konfigürasyon, b)Yansıyan Işık Spektrumundaki Rezonans [12]

Metal yüzeyiyle temas halinde, ortamın özelliklerinin değişmesi veya yüzeyde birikim sağlanması durumunda rezonans açısı değişmektedir. Yüzeydeki birikimin kontrollü olarak sağlanması durumunda biriken maddelerin derişimiyle ilgili kantitatif sensör çalışmaları yapılabilir. Bu amaçla zamana karşı SPR açısını takip eden ticari sistemler geliştirilmiştir [5]. Şekil 14' de SPR sinyalindeki kayma farklı bir şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 14 - SPR Sinyalinde Kayma [5]**

Yüzey plazmonları, bir metal-dielektrik arayüzünde bir elektromanyetik dalgaya eşlenmiş iletken elektronlarının yük yoğunluk osilasyonlarıdır. Bunlar ara yüz boyunca hareket eden temel olarak enine manyetik (TM) polarize yüzey dalgalarıdır ve bunlarla ilişkili alan hem metal hem de dielektrik ortamda üssel olarak azalır. SPR cihazlarında soy metallerin kullanımı, kimyasal ve biyokimyasal algılama uygulamalarında önemli bir gelişime yol açmıştır. Yüzey plazmonları TM dalgaları olduğundan bir p polarize ışık tarafından uyarılarak rezonansa gelebilir. P-polarize ışık dalga vektörü ve frekansının, metal-dielektrik ara yüzü tarafından desteklenen yüzey plazmon modunun dalga vektörüyle tamamen eşit olduğunda yüzey plazmonları uyarılır. Bu durum yukarıda da bahsedildiği üzere yüzey plazmon rezonansı diye adlandırılır ve bunun sonucu olarak transmisyon spektrumunda keskin bir düşüş gözlenir [6].

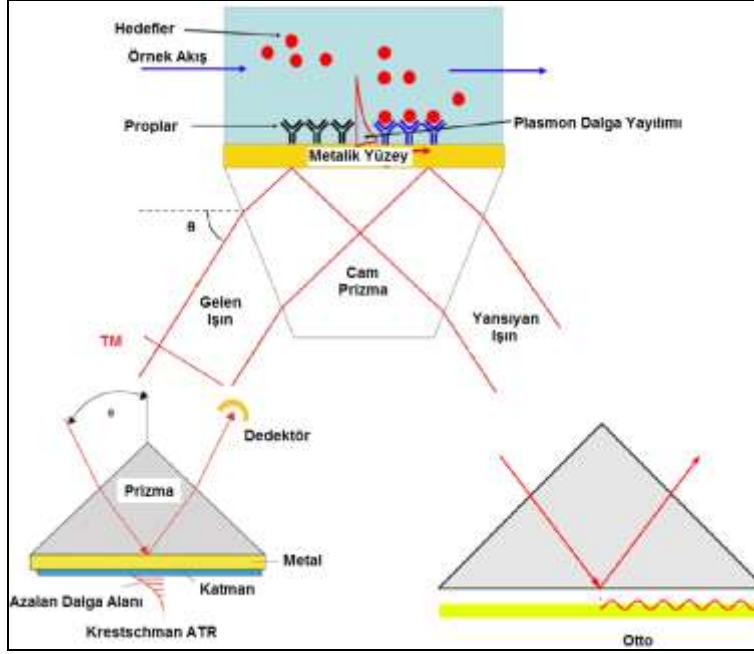
Belirli şartlar altında ışık fotonları tarafından taşınan enerji, metal yüzeyinde bulunan ve plazmon adı verilen elektron paketçiklerine transfer edilir. Enerji transferi ışığın spesifik bir dalga boyunda meydana gelir. Bu rezonans dalga boyu, fotonlar tarafından kuantlaşmış enerji seviyesine eşit olduğu dalga boyudur. Yüzey plazmonlarının titreşimi sonucu elektromanyetik dalgalar oluşur. P-polarize ışığın fotonları metal yüzeyindeki serbest elektronlarla etkileşime girerek serbest elektronların dalga benzeri salınımlarına neden olur ve böylece yansıyan ışığın şiddeti azalır.

Yüzey plazmon rezonansı iki optik ortamın ara yüzüne ince iletken bir film yerleştirildiğinde meydana gelir. Spesifik bir geliş açısında metal yüzeyindeki elektronlar (yüzey plazmonları) frekanslarının eşleşmeleri nedeniyle gelen ışık ile rezonans durumuna gelecektir. Bu rezonans durumunda enerji emileceği için yansıyan ışının (I) yoğunluğunda bir azalma meydana gelir (Şekil 13). Gerçek zamanlı biyoetkileşim analizlerinde metal filmin özellikleri, dalga boyu ve yoğun ortamın (cam) refraktif indeksleri sabit tutulur. SPR, altın metal yüzeye bitişik sıvı tabakadaki refraktif indeksi ölçer [7].

Rezonans durumu, metal filmle temas halinde dielektrik ortamın kırılma indisindeki değişimlere karşı oldukça duyarlıdır. Transmisyon spektrumunun en dip kısmının pozisyonundaki ortalama değişiklikleri saran kırılma indisindeki hafif bir değişim algılama amacı için kullanılabilir. Doğrudan havadan gelen bir ışık dalgasıyla yüzey plazmonların uyarılması mümkün değildir. Çünkü yüzey plazmonlarını uyardırma gereken dalga vektörü havadan doğrudan gelenden daha azdır. Otto ve Kretschmann diye adlandırılan özel teknikler onları uyararak için kullanılır (Şekil 15). Kretschmann yapılandırılmasında yüksek kırılma indisli bir prizmanın tabanı bir ince metal film ile kaplanır. Metal film ayrıca bir dielektrik malzemeyle çevrelenmiştir. Prizma içerisinden geçen ışık hüzmesi prizma metal arayüzü tarafından içten yansımaya başlar ve onun azalan dalga alanı metal dielektrik ara yüzünde yüzey plazmon uyarılma için kullanılır. Prizmanın tabanından yansıyan ışık hüzmesi daha sonra dedektör tarafından toplanır. SPR sezme için iki metot önerilmiştir. Birincisi, açılal sorgulamadır, monokromatik ışık hüzmesiyle vuku bulur ve yansıyan hüzmenin yoğunluğu açısı ve oranın çeşitli değerleri için bir güç metre tarafından sezelebilmektedir. İkinci metot dalga boyu sorgulamadır, polikromatik kaynaktan gelen ışığın belirli bir açıyla vuku bulması ve yansıyan hüzme spektrumunun spektrometreyle kaydedilmesidir. Prizma kullanarak yüzey plazmonlarının uyarılması çok komplike ve hacimli deneysel kurulumlar gerektirir. Bu nedenle birçok araştırmacı yüzey plazmonlarının uyarılması için bir prizma yerine bir fiber optik çekirdeği kullanır. Fiber optiklerin kullanılması uzaktan algılama, kompakt olma ve ucuz olması nedeniyle yaygındır. Son zamanlarda yüzey plazmon rezonans tabanlı fiber optik sensörler üzerinde araştırmalar büyük artış gösterdi. Bu sensörler kompakt boyutları, yüksek doğruluk,

biyo uyumluluk ve daha iyi hassasiyet nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesine ve ticari kullanıma sahiptir. Bir fiber optiğin çıplak çekirdeğinde kaplanmış yığın metal katmanı kullanan çeşitli teorik ve deneysel algılama problemleri bildirilmiştir. Bir fiber optik SPR

sensöründe fiber optik orta bölümünden kılıflanmaz ve ince metal bir filmle kaplanır, algılama ortamıyla daha da çevrelenmiştir. Çok renkli bir kaynaktan gelen ışık fiberin bir ucundan başlatılırken SPR spektrumu fiberin diğer ucundan kayıt yapar [6].



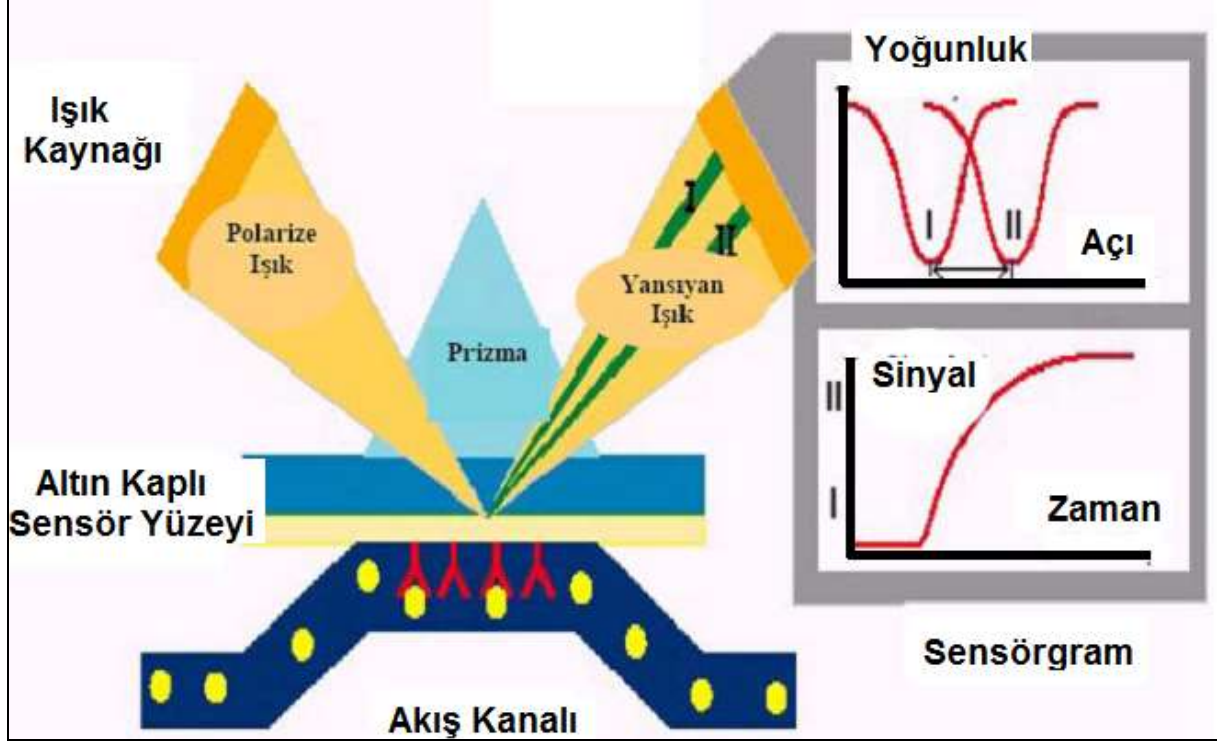
Şekil 15 - Kretschmann ve Otto Teknikleri [5]

#### 4.1 Yüzey Plazmon Rezonans Sensörler

Biyosensörler; doku, mikroorganizma, organel, hücre reseptörü, enzim, antikor gibi biyolojik bir element ve fizikokimyasal bir dönüştürücüden oluşan analitik cihazlardır. Hedef analit ve biyolojik materyal arasında oluşan spesifik etkileşim fizikokimyasal bir değişim oluşturur ve bu da dönüştürücü (transducer) tarafından dedekte edilir. Transducer daha sonra spesifik analitin konsantrasyonuyla doğru orantılı olarak analog bir elektrik sinyali oluşturur. Yüzey plazmon rezonans ise dönüştürücü yüzeyine çok yakın kısımlarda oluşan, ışık ile metal yüzeyinin etkileşiminden meydana gelen biyomoleküler etkileşimlerin izlenmesinde kullanılan yüzey duyarlı optik bir tekniktir. Başka bir deyişle SPR sensörler prensipte yüzey plazmonu oluşturan metal filmin yüzeyinde kırılma indisinde meydana gelen değişimleri ölçen ince film refraktometrelerdir. Dönüştürücü yüzeyine immobilize edilmiş biyomolekül ile bu moleküle spesifik analit arasındaki etkileşimi, ara yüzeydeki kırılma indisi değişimlerinden yararlanarak gerçek zamanlı veren,

biyomolekülün işaretlenmesine gereksinim göstermeyen bir sistemdir. Bir SPR sisteminde genel olarak lazer ışık kaynağı, dedektör, cam prizma, altın yüzey, biyomolekül ve akış sistemi bulunmaktadır (Şekil16).

SPR sensörler metal yüzeyindeki sınırlı bir alanı ya da sabit bir hacmi dedekte edebilirler ve direkt olarak refraktif indeksi ölçerler. Sinyalin alınabildiği elektromanyetik alanın (kayıbolan, sönmülenen alan) penetrasyon derinliği genellikle birkaç yüz nanometreyi aşmaz ve sensör yüzeyindeki metalden uzaklaştıkça üstel olarak azalır. Sönmülenen alanın penetrasyon derinliği gelen ışığın dalga boyunun bir fonksiyonudur. Sönmülenen alandaki bütün refraktif indeks değişimleri sinyal değişimi olarak yansır. Bu değişimler, ortamların farklı refraktif indekse sahip olmasından kaynaklanabilir. SPR sensör yüzeyinin seçici bir tanıma için hedef molekülü seçici olarak yakalayabilmesi buna karşılık örnekteki diğer bileşenlere bağlanma eğilimi olmayan bir ligand ile modifiye edilmesi gerekir [6].



Şekil 16 - Yüze Plazmon Rezonans Sistemi [6]

SPR sensörler, uygun biyolojik tanımlayıcı elementlerle birlikte afinite biyosensörleri olarak kullanılabilirler ve analit molekülünün sensör yüzeyine immobilize edilmiş biyolojik tanımlayıcı elementler tarafından yakalanmasıyla dedeksiyon yaparlar. SPR sensörlerinin performans özelliklerinden en önemlileri duyarlılık, ayırım, doğruluk, tekrarlanabilirlik ve tayin limitidir [7].

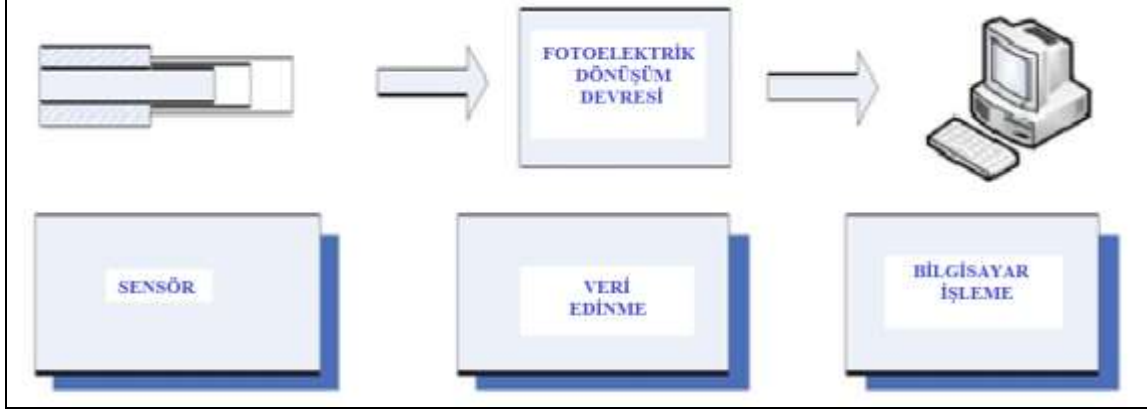
#### 4.2 Algılama Sisteminin Yapısı

SPR'ye dayalı su kalitesi izleme sistemi, yüze plazma rezonans etkisinin fiziksel optik teorisi üzerine kurulmuştur. Orta kırılma indisi ve rezonans dalga boyu arasındaki ilişkiyi kullanır, ışık yoğunluğu ve rezonans dalga boyu ölçümüyle kırılma indisinin tespitinin yapılmasına imkan sağlar. Su kalitesini test etmek için SPR sezme teknolojisi uygulaması çok taraflı bir

araştırmadır. Bir fiber optik yüze plazmon algılayıcı sistemi, rezonans ışık yoğunluğu modülasyonu teknolojisine dayalı olarak dizayn edilir. Bu konuda yapılmış bir çalışmada gerekli performans göstergeleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir [1].

- Sıcaklık aralığı: 0-100°C,
- Kırılma indisi algılama aralığı: 1,2-1,7,
- Kırılma indisinin test hassasiyeti: <10-5,
- SNR: 250dB,
- Tekrarlanabilirlik ve kararlılık hatası:<0,1%.

Sistem çoğunlukla üç bölümden oluşur. Bu bölümler; algılama bölümü, veri edinme bölümü ve bilgisayar işleme bölümüdür. Genel yapı Şekil 17' de gösterilmiştir.



Şekil 17 - Algılama Sisteminin Bütünleşik Yapısı [1]

Algılama bölümü, SPR yoğunluk modülasyonu prensibine göre çalışmakta olup sezme sisteminin tasarımında çok önemli bir bölümü teşkil eder. Sensör performansını etkileyen faktörleri aşağıda verildiği üzere dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

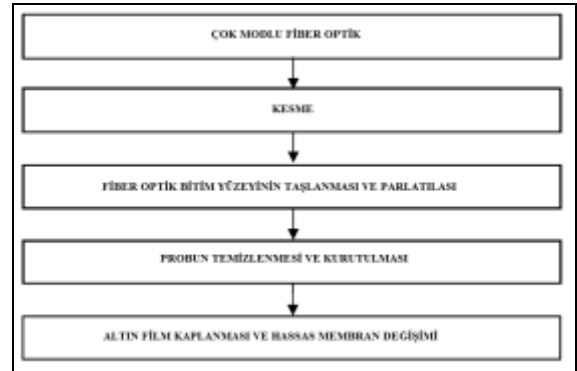
- Optik ve SPR prensibinin bir araya getirilmesi ve kublaj elemanı olarak fiber optiğin kullanılması; burada geleneksel emilim sezme metotlarına ait kusurların üstesinden gelmek için SPR ile ışık dalgası birleştirilmektedir.
- İki katmanlı fiber optik ve kublajlı Y tipi optik sistemli SPR sensör probu kullanarak sensör tepki karalılığını ve duyarlılığını geliştirmek mümkündür.
- Yüksek kararlılığa sahip beyaz ışık kaynağı, işaret ve ayırmadan bağımsız sensör yapmak için kullanılır.
- Fiber optik sensörün karakteristiğini analiz etmek mümkündür. Gürültü azaltma metotları ve yapı, sezme doğruluğunu, zamanlamayı ve kullanım kolaylığını geliştirmek için optimize edilebilir.

Veri edinme bölümü bir koaksiyel prob (YSPD618) ve filtre yükseltici devreden oluşmaktadır. Veri edinme kartı (DAQCard6024E), bilgisayarda görülebilen bilgileri toplar. Bilgisayar işleme bölümü toplanan verileri analiz etmek ve işlemek, ölçüm sonuçlarını görüntülemek ve kaydetmek için Labview programını kullanır. SPR sensörler, uygun biyolojik tanımlayıcı elementlerle birlikte afinite biyosensörleri olarak kullanılabilirler ve analit molekülünün sensör yüzeyine immobilize edilmiş biyolojik tanımlayıcı elementler tarafından yakalanmasıyla dedeksiyon yaparlar. SPR

sensörlerinin performans özelliklerinden en önemlileri duyarlılık, ayırım, doğruluk, tekrarlanabilirlik ve tayin limitidir [1].

#### 4.3 Algılama Sisteminin İmalatı

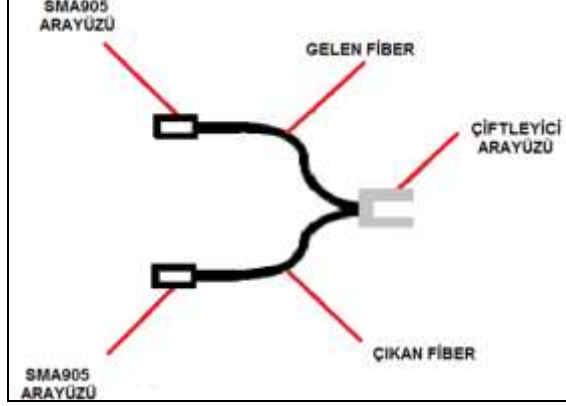
Fiber optik SPR sensörünün imalatı birçok teknoloji (kesme, parlatma, temizleme, kaplama vb.) gerektirir. Bu durum Şekil 18' de gösterilmiştir.



Şekil 18 - Fiber Optik SPR Sensörünün Hazırlanma Süreci [1]

Bu örnek çalışmada, çekirdek çapı 600µm ve kırılma indisi 1,458RIU olan çok modlu basamak indisli silika fiber kullanılmıştır. Fiber optik kıyıcı, fiber optik yüzey kesme ve taşlama işleri için kullanılır. Böylece fiber optiğin sonunda ışık ileri geri hareket ettiğinde yansıma açılarının eşit ve fiber meridyonal düzlemine dik olması sağlanır. Aşındırma yöntemi çekirdek yüzeyinin kaplama bölümünü kaldırabilir, sonra ultrasonik metod yüzeyde kalan kalıntı ve kirleri temizleyerek çıkarabilir. Aynı zamanda alt katmanı yapmak





**Şekil 21** - Fiber Optik SPR Sensörünün Fiziki Fotoğrafı [1]



**Şekil 22** - Y Tipi Fiber Optik Çiftleyicinin Fiziki Fotoğrafı [1]

#### 4.6 Algılama Sisteminin Performans Testi

Fiber optik SPR sensörü bu çalışmada farklı çözünürlükteki gliserin solüsyonunu test etmek için kullanılmıştır. Spektrum analizörü CX-9800(T) ile aynı sulu solüsyon sonuçlarını karşılaştırmak mümkündür. Bu çalışmada kırılma indisinin duyarlılığı, sinyalin gürültüye oranı, tekrarlanabilirlik ve kararlılık testleri yapılmıştır. Elde edilen algılama sonuçları sistem performansının tasarım gereksinimlerini karşılayacağını göstermektedir.

- Kırılma indisinin duyarlılığı, fiber optik SPR sensör probu farklı çözünürlüğe sahip gliserin solüsyonlarına konularak çalışma gerçekleştirilir. Fiber optik SPR sensörünün kırılma indisi ölçülür. Örnek çalışmada  $9,467 \times 10^{-6}$  duyarlılıkta kırılma indisi aralığı 1,3-1,7 olarak bulunmuştur.
- Sinyal gürültü oranı, test verilerine göre fiber optik SPR sensörünün sinyal gürültü oranı 249-252dB ölçülmüştür.

- Tekrarlanabilirlik ve kararlılık, spektrum analizörü ile iletilen spektrumları test etmek için kullanılır. Sistem birçok kez test edildiğinde kararlılık hatasının 0,09%' den daha az çıktığı görülmüştür. Buda göstermektedir ki tasarım kriterleri rahatlıkla karşılanabilmektedir.

#### 5 SONUÇLAR

Su, içerisinde metal ve kimyasal maddeler içerebilir. Bu kimyasallar, suda sağlıklı tehdit edecek kadar fazla miktarda bulduklarında, çoğunlukla renk, tat, koku değişimine neden olmaz. Bu yüzden ölçümler yapılmadan durumun farkına varılamaz. Etkin ve en doğru sonuçları ise fiber optik sensör ölçümleriyle almak mümkündür.

Aynı şekilde atık sularında izlenmesi ve ölçülmesi şarttır. Atık suyun yerinde ölçümü ve işlem analizi için fiber optik sensör uygulamaları önemli neticeler vermektedir. Bunların belli başlıları renk, COD ve BOD algılamadır. Fiber optik sensörlerle bu işlemler yüksek güvenilirlikte yapılabilmektedir. Atık suların incelenmesinde diğer etkin metot SPR tabanlı ölçümlerdir. Atık sudaki yağı ölçmek için bir fiber optik SPR sensörünün tasarlanması ve gerçekleştirilmesi ilkeleri bu çalışmada anlatılmıştır. Yüzey plasmon rezonans teorisi analizi temeline göre fiber optik ve SPR prensibi bir araya getirilmiştir. Bu yöntemle çevrimiçi izleme, gerçek zamanlı test geliştirme ve çalışma kolaylığı sağlanır. Algılama performansını artırmak için gelişime açık bir yapı söz konusudur.

Fiber optik sensörlerin elektromanyetik alandan bağımsızlık, temassız algılama, yüksek tepki hızı gibi pek çok avantajı vardır. Girişim engelleme performansı çok iyidir ve duyarlılığı artırılabilir, yüksek doğruluk, hız ve iyi kararlılık anlamında da ileri seviyededir. Tasarlanmış olan bu örnek fiber optik sensör küçük boyutludur ve uzaktan izleme için uygundur. Sistem, su kirliliği konsantrasyonunu, su sıcaklığını, bulanıklığı ve benzeri birçok göstergeyi aynı anda test edebilir. Çevresel izleme ve koruma, endüstriyel güvenlik alanlarında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca çok ekonomiktir.

#### 6 KAYNAKLAR

- [1] Xuehua Jiang<sup>1,a</sup> and Qingmin Meng<sup>1,b</sup>, 2015, "Design of Optical Fiber SPR Sensing System for Water Quality Monitoring" International Conference on Computational Science and Engineering (ICCSE 2015), <sup>1</sup> School of Automobile,



- Linyi University, Shandong, 276000, China,  
a [jxhyx@163.com](mailto:jxhyx@163.com), b  
[mengqingmin@lyu.edu.cn](mailto:mengqingmin@lyu.edu.cn)
- [2] A. DYBKO\*, 2008, "Optoelectronic system for water quality monitoring", BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES Vol. 56, No. 2, 2008. \*Department of Analytical Chemistry, Warsaw University of Technology, 3 Noakowskiego St., 00-664 Warsaw, Poland. E mail: [dybko@ch.pw.edu.pl](mailto:dybko@ch.pw.edu.pl)
- [3] Su Sin Chong <sup>1</sup>, A. R. Abdul Aziz <sup>1,\*</sup> and Sulaiman W. Harun <sup>2</sup>, 2013, "Fibre Optic Sensors for Selected Wastewater Characteristics", sensors, ISSN 1424-8220 [www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors), Sensors 2013, 13, 8640-8668; doi:10.3390/s130708640, <sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia; E-Mail: [susin\\_2117@yahoo.com](mailto:susin_2117@yahoo.com), <sup>2</sup> Department of Electrical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia; E-Mail: [swharun@um.edu.my](mailto:swharun@um.edu.my). \* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: [azizraman@um.edu.my](mailto:azizraman@um.edu.my); Tel.: +603-7967-5300; Fax: +603-7967-5319
- [4] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Çevre Sağlığı, Suların Analiz Parametreleri, Ankara 2011
- [5] Prof. Dr. İsmail Hakkı BOYACI, "Yüzey plazmon rezonans sistemi ve mikroorganizma tayinine yönelik biyosensör hazırlanması", <http://slideplayer.biz.tr/slide/2860048/>. Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Beytepe Ankara, [ihb@hacettepe.edu.tr](mailto:ihb@hacettepe.edu.tr)
- [6] Sachin K. Srivastava, Roli Verma, Banshi D. Gupta\*, 2010, "Surface plasmon resonance based fiber optic sensor for the detection of low water content in ethanol", Sensors and Actuators B: Chemical, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/snb](http://www.elsevier.com/locate/snb), Department of Physics, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi 110016, India
- [7] Meryem KARA, Sevgi KOLAYLI, "Kloramfenikolün Gıda Güvenliği Amaçlı Tayininde Yüzey Plazmon Rezonans ve Moleküler Baskılama Tekniklerinin Kullanımı", Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5, No: 2, 2010 (35-47)
- Electronic Journal of Food Technologies Vol: 5, No:2, 2010 (35-47)
- [8] Paul Duffy, [paul.duffy@dit.ie](mailto:paul.duffy@dit.ie). Gerry Woods, [gerry.woods@dit.ie](mailto:gerry.woods@dit.ie). James Walsh, [James.Walsh@dit.ie](mailto:James.Walsh@dit.ie) Michael Kane Purdue University, USA, 2010-04-01, "Online Real-Time Water Quality Monitoring and Control System", Dublin Institute of Technology ARROW@DIT
- [9] Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası-I ve II Laboratuvarı, Bulanıklık ve Renk Tayini
- [10] YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası 2 Laboratuvarı, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini
- [11] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ail eve Tüketici Hizmetleri, Atık Sular, Ankara 2011
- [12] X.D. Hoa, A.G. Kirk , M. Tabrizian "Towards integrated and sensitive surface plasmon resonance biosensors: A review of recent progress", Biosensors and Bioelectronics 23 (2007) 151–160

## YABANI OT VE DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMALARININ AYLIK KAVRAMSAL BİR YAĞIŞ-AKIŞ MODELİ KALİBRASYONU ÜZERİNDEN PERFORMANSLARININ İRDELENMESİ

Umut OKKAN  
Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Merkez-BALIKESİR  
umutokkan@balikesir.edu.tr

Oğuz KÖSE  
Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Merkez-BALIKESİR  
oguzkose@balikesir.edu.tr

Muhammet ÖZSOY  
Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145, Merkez BALIKESİR mozsoy@balikesir.edu.tr

Halil UYSAL  
Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 10145, Merkez-BALIKESİR  
haliluyisal@balikesir.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 14.06.2017, Makalenin kabul tarihi: 03.07.2017)

### ÖZ

Kavramsal hidrolojik modeller genelde deterministik ve ortalanmış yapıda olup bu modellerde su bütçesi denklemleri esas alınarak hidrolojik çevrim unsurlarının farklı parametreler vasıtasıyla tanımlanması sağlanmaktadır. Söz konusu modellerin, su kaynakları mühendisliğindeki kullanımı önem taşımaktadır. Bu modeller havzanın yağış-akış ilişkilerinin açıklanması, eksik akım verilerinin tamamlanması, iklim değişikliğinin akımlar üzerindeki olası etkilerinin analizi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kavramsal modellerin bir havzanın yağış-akış ilişkisini temsil etmedeki yetkinliği havza çıkışındaki akımın doğru tahmin edilmesine bağlıdır. Bu da hidrolojik modeli kontrol eden parametrelerin kalibrasyonu ile sağlanmaktadır. Bu süreç, model akışları ile gözlenen akışlar arasındaki hataları minimum yapan parametrelerin belirlenmesine dayanan bir optimizasyon problemine dönüşmektedir. Bu nedenle, bazı optimizasyon algoritmalarının kullanılması tahmin edilen parametrelerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Hazırlanan bu çalışmada, meta-sezgisel optimizasyon tekniklerinden olan yabancı ot algoritması (YOA) ve diferansiyel evrim algoritması (DEA) seçilmiş ve bunların üç parametrelili hidrolojik bir modelin kalibrasyonunda değerlendirilmeleri sağlanmıştır. İki algoritmanın yakınsama performansları değerlendirilmiş ve algoritma yapılarının hidrolojik model kalibrasyonunda ne ölçüde kullanılabileceği sorgulanmıştır. Bulgulara göre, DEA algoritmasının hem kodlanabilirlik bakımından pratik hem de optimum çözümü bulmadaki yakınsama performansı açısından daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

**AnahtarKelimeler:** Kavramsal yağış-akış modeli, YOA, DEA

### INVESTIGATING PERFORMANCES OF INVASIVE WEED AND DIFFERENTIAL EVALUTION ALGORITHMS OVER A MONTHLY CONCEPTUAL RAINFALL-RUNOFF MODEL CALIBRATION

#### ABSTRACT

The conceptual hydrological models are generally deterministic and lumped, and in these models, considering the water budget equations, it is provided that the hydrologic cycle elements are defined by means of several parameters. The usage of these models in water resources engineering field is such an important issue. These models are utilized in a variety of areas such as explaining the rainfall-runoff

relations of a basin, filling the missing flow data and analyzing the possible impacts of climate change on flows. The ability of conceptual models in representing the rainfall-runoff relationship of a basin depends upon the accurate prediction of the total runoff in the basin outlet. This is achieved by calibrating the parameters controlling hydrological model. So, this procedure becomes an optimization problem based on determining parameters that minimize errors between modeled flows and observed flows. Thus, the use of some optimization algorithms will increase the reliability of the parameters to be calibrated. In the study presented, the invasive weed algorithm (IWA) and differential evolution algorithm (DEA), which are meta-heuristic based optimization techniques, were chosen and their evaluation in the calibration of a three parameter hydrological model example were provided. Convergence performances of these two algorithms were assessed and it was discussed how the algorithm constructions can be used in the hydrological model calibration. According to results, it has been found that the DEA algorithm is both more practical in terms of coding and more effective in terms of convergence performance in finding the optimum solution.

**Keywords:** Conceptual rainfall-runoff model, IWA, DEA

## 1 GİRİŞ

İnsanların yaşamları boyunca karşılaştıkları sorunları çözümlene istekleri bu problemlerin modellenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Sözü edilen bu problemlerin çözümlenmesinde kullanılan modelleme tekniklerine öncelikle doğrusal ve az sayıda değişkenin kullanılmasıyla başlanmıştır. Zamanla doğrusallık varsayımının her problem için geçerli olmadığı anlaşılmış ve doğrusal olmayan model yaklaşımları da kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak bu doğrusal olmayan modellerin çözümlenmesi kimi durumlarda imkânsız görülmüş ve geliştirilen teknikler de probleme göre yetersiz kalmıştır. Fakat günümüzde teknolojiye paralel olarak geliştirilen yöntemlerle, doğrusal olmayan bu modellerin çözümü de başarıyla gerçekleştirilmiş ve "optimizasyon" adı verilen kavramın önemi giderek artmıştır. Optimizasyon kavramında, amaç belli bir hedef fonksiyonunu, eldeki değişkenleri veya parametreleri ayarlayarak "minimize" ya da "maksimize" etmektir. Tüm bunlar gerçekleştirilirken çeşitli kısıtlamalar, sınır şartları söz konusu olabilmektedir. Yani mevcut birtakım algoritmalar yardımıyla hedef fonksiyonun en iyilenmesi ve hedefe belli kısıtlar altında ulaşılması işlemi amaçlanmaktadır. Optimizasyon başlığı altında geliştirilen Gradyan İniş ve Quasi-Newton gibi klasik algoritmalar bunlardan en sık başvurulanlarıdır. Ancak son zamanlarda, biyolojik süreçleri veya doğa bilimlerindeki işleyiş mekanizmalarını taklit etme amacıyla geliştirilmiş meta-sezgisel algoritmalar da popülerlik kazanmış durumdadır. Bu tekniklerin birçok mühendislik probleminde klasik algoritmalara nazaran popüler hale geldiği görülmektedir (Ravindran vd. 2006).

Söz konusu optimizasyon yaklaşımı hidrolojik modellerin kalibrasyonunda da gerekli olmaktadır. Hidrolojik model kalibrasyonu ile ilgili çalışmalar klasik olarak kısmi türev işlemlerine dayanan Newton yaklaşımı ile gerçekleştirilebilmektedir. Newton teğetler yöntemi esas alınarak Okkan (2013) tarafından gerçekleştirilen örnek bir çalışma bu kapsamda incelenebilir. Ancak kalibrasyon safhasında kullanılan bu tarz algoritmalar başlangıç çözüm kümesine bağlı olarak sonuç ürettiklerinden hidrolojik modelin lokal minimum noktalarına takılabilme ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle farklı başlangıç çözümleri ile kalibrasyon işlemlerinin yinelenmesi gerekmektedir.

Meta-sezgisel yöntemler kapsamında ise ilk olarak genetik algoritma (GA) ile hidrolojik model kalibrasyonu çalışmaları yapılmıştır. Wang (1991) yedi parametrelili bir hidrolojik modeli GA ile kalibre etmiş ve oldukça tutarlı sonuçlar elde etmiştir. Cheng vd. (2006) GA algoritmasını parametre bakımından yoğun bir model olan Xinanjiang modelinin kalibrasyonunda kullanmış ve oldukça makul sonuçlar elde etmişlerdir. Cooper vd.(1997) TANK isimli hidrolojik modeli GA ve Tavlama Benzetimi (SA) algoritmalarını kullanarak kalibre etmişler ve algoritmaların global sonuç vermedeki kabiliyetlerini sınamışlardır. Bunların yanı sıra, parçacık sürü optimizasyonu algoritması (Okkan ve Kırdemir, 2016), diferansiyel evrim algoritması (Okkan ve Gedik, 2017), av arama, yapay arı kolonisi ve ateş böceği algoritmaları (Turan ve Doğan, 2015) hidroloji konseptinde kullanılan algoritmalarındandır.

Hazırlanan çalışmada, farklı optimizasyon teknikleri içinden yabancı ot algoritması ve diferansiyel evrim algoritması seçilmiş ve bunların üç parametrelili *simple water balance*

(SWB) hidrolojik modelinin kalibrasyonunda performansları irdelenmiştir. Kullanılan bu algoritmalar içeriğinde herhangi bir türevsel işlem barındırmamakta ve meta-sezgisel karaktere sahip olduğundan stokastik arama ile optimum çözüme daha iyi ulaşabilmektedirler. Bu nedenle de Newton tabanlı algoritmalara kıyasla daha güvenilir yaklaşımlar haline gelmişlerdir. Sunulan çalışmada algoritmaların test edilmesi ülkemiz havzalarından biri üzerinden sağlanmıştır. Uygulama bölgesi olarak Gediz Havzası'ndaki Acısu alt havzası değerlendirilmiştir. Kullanılan verilere ve yöntemlere ait detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

## 2 SWB KAVRAMSAL MODELİ

Bu çalışmada Giakoumakis vd. (2015) tarafından Acheloos nehir havzası için geliştirilen üç parametrelilik pratik bir su bütçesi modeli kullanılmıştır. Şekil 1'de şematik olarak gösterimi verilen bu modelde,  $S_i$  i.ayın mevcut zemin nemini,  $SC$  ise zeminin maksimum su depolama kapasitesini ifade etmektedir. Tüm nehir havzası için aylık zemin neminin ortalama eksikliği ( $SC-S_i$ ) olarak ifade edilmektedir. Zemindeki Sıdepolama miktarı aylık toplam yağış ( $P_i$ ) ile artarken, potansiyel evapotranspirasyon ( $E_i$ ) ve derine sızma ( $D_i$ ) ile azalmaktadır. Kullanılan modelde öncelikle mevcut zemin nemi Denklem 1 ile belirlenir.

$$S'_i = S_{i-1} + P_i - E_i \quad (1)$$

Burada;

$S_{i-1}$ : i-1 ayına ait zemin nemi (mm)

$P_i$ : i'ninci aya ait toplam yağış (mm)

$E_i$ : i'ninci aydaki potansiyel evapotranspirasyon miktarı (mm)

Aylık dolaysız akış ve derine sızma Denklem 1 ile hesaplanan  $S'_i$ 'nin  $SC$ 'den büyük veya küçük olma durumlarına göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

Eğer  $S'_i > SC$  ise;

$$R_i = (S'_i - SC) \cdot K' \quad (2)$$

$$D_i = (S'_i - SC) \cdot K \quad (3)$$

$$S_i = SC \quad (4)$$

Eğer  $0 < S'_i < SC$  ise;

$$R_i = 0 \quad (5)$$

$$D_i = 0 \quad (6)$$

$$S_i = S'_i \quad (7)$$

Eğer  $S'_i < 0$  ise;

$$R_i = 0 \quad (8)$$

$$D_i = 0 \quad (9)$$

$$S_i = 0 \quad (10)$$

Burada;

$K$ : Doğrusal derine sızma katsayısı ( $0 < K < 1$ )

$K'$ :  $1-K$

$D_i$ : i'ninci ayda derine sızmadan meydana gelen kayıp (mm)

Sadece bu işleyiş ile yeraltısuyu depolamasının gecikme ile akışa geçme mekanizması hesaba katılmadığından Giakoumakis vd. (2015) tarafından aşağıdaki ifade önerilmiştir.

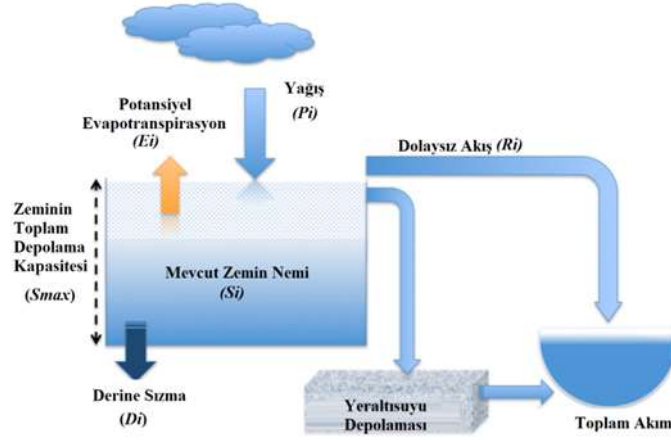
$$Q_i = a \cdot R_i + (1-a) \cdot Q_{i-1} \quad (11)$$

Burada  $a$  parametresi 0 ile 1 arasında değişim gösteren geciktirme katsayısını temsil etmektedir.  $a$  parametresinin sıfıra yakın olması uzun bir gecikmenin var olduğunu, 1'e yakın olması ise yağışın büyük çoğunluğunun yüzey akışına dönüştüğünü ifade etmektedir.

Kurulan modelin başarısının sayısal olarak değerlendirilmesi, o modelin performansını ölçme açısından önemli bir konudur. Çalışmada hidrolojik modelin kalibrasyonu aşamasında kullanılan performans fonksiyonu (uygunluk, amaç fonksiyonu) olarak *hata kareler ortalaması* (MSE) seçilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_i)^2 \quad (12)$$

Burada  $Q_{g,i}$  gözlenen,  $Q_i$  ise hesaplanan toplam akımı ifade etmektedir.



Şekil 1- SWB modelinin şematik gösterimi (Giakoumakis vd.2015)

### 3 HİDROLOJİK MODEL KALİBRASYONU İÇİN KULLANILAN OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

#### 3.1 Yabani Ot Algoritması

Son zamanlarda mühendislik problemin çözümü konusunda doğa olaylarını ilham alınan optimizasyon algoritmalarının kullanımına büyük ilgi duyulmaktadır. İlk kez Mehrabian ve Lucas (2006) tarafından önerilen Yabani Ot Optimizasyon Algoritması (YOA) bunlardan biridir. YOA ot biyolojisi ve ekolojisi temel alınarak yabani otların doğadaki işgalci ve güçlü kolonileşmesinden ilham alınarak geliştirilmiştir. Günümüzde YOA yeni bir optimizasyon metodu olarak kullanıcı profili temelli öneri sistemi (Rad ve Lucas, 2007), anten konfigürasyonları için optimizasyon (Mallahzadeh, 2008), İHA'ların kooperatif birden fazla göreve atanması (Ghalenoei vd, 2009), DNA için kodlama dizilerinin tasarımı (Zhang vd, 2009), kömürle çalışan kazanlarda yanmanın kısıtlı optimizasyonu (Zhao vd, 2009), MC-CDMA için çoklu kullanıcı algılaması (County vd, 2010), ileri beslemeli sinir ağları (Giri vd, 2010), elektromanyetik alanında anten düzenlemeleri (Karimkashi ve Kishk, 2010), çok amaçlı optimizasyon uygulamaları (Kundu vd, 2011), düzensiz dairesel anten dizilerinin tasarımı (Roy vd., 2011), enerji verimli yörünge planlaması (Sengupta vd., 2011), kaotik sistemlerin parametre tahminleri (Ahmadi ve Mojallali, 2012), kişiselleştirilmiş çok kriterli kentsel yol optimizasyonu (Pahlavani vd, 2012), lineer olmayan denklem sistemlerinin çözümü (Pourjafari ve Mojallali, 2012), enerji üretiminde

ünite yüklenme problemi (Saravanan vd, 2014), akış tipi çizelgeleme problemleri (Zhou vd, 2014), permütasyon akış dükkân çizelgeleme problemi (Zhou vd, 2015) ve bir çok farklı alandaki konularda kullanılmıştır. Hidroloji alanında ise kullanımı yaygın değildir.

Yabani otlar, rastgele dağılıma yoluyla bir tarlayı istila eder ve mahsuller arasında bulunan kullanılmayan alanları kaplarlar. Her işgalci ot, bu alanlardaki kullanılmayan kaynakları alır, çiçeklenerek tohumlar yetiştir ve bağımsız olarak yeni yabani otlar üretir. Her çiçeklenen ot tarafından üretilen yeni tohumların sayısı, koloni içindeki çiçeklenen otun uygunluğuna bağlıdır. Çevreye daha iyi adapte olan ve daha fazla kullanılmayan kaynak alanına sahip olan yabani otlar daha hızlı büyür ve daha fazla tohum elde eder. Yeni üretilen tohumlar rastgele tarlaya yayılır ve çiçeklenen yabani otlara dönüşür. Bu işlem, tarladaki sınırlı kaynaklardan dolayı arazide azami yabani ot sayısına ulaşılan kadar devam eder. Azami yabani ot sayısına ulaşıldıktan sonra yalnızca daha iyi uygunluk gösteren yabani otlar hayatta kalabilir ve yeni yabani otlar üretebilir. Yabani otlar arasındaki bu rekabetçi çekişme, zamanla kendilerini iyi adapte etmelerine ve gelişmelerine neden olur.

#### 3.1.1 YOA Algoritmasındaki Değişkenler

Algoritma işleyişinden önce bu algoritmada kullanılan bazı terimler tanımlanmıştır (Çizelge 1). Her bir birey veya temsilciye yani her bir optimizasyon değişkeninin bir değerini içeren gruba tohum denir. Her tohum, kolonideki bir bitkiye dönüşür. Bir bitkinin anlamı uygunluğunu değerlendirilmiş bir birey veya temsilcidir. Bu

nedenle, bir otun tohum yetiştirilmesi, otun ve tohumun uygunluğunu değerlendirmeye karşılık gelir. Yabani otların kolonileştirici davranışını taklit etmek için Şekil 2'de gösterilen adımlar dikkate alınır.

**Çizelge 1- YOA'da kullanılan terimler**

Tohum	Bir optimizasyon değişkeninin değerini içeren kolonideki bir birey
Uygunluk	Her bir tohum için çözümün yerindeliğini temsil eden bir değer
Ot	Uygunluğu değerlendirilmiş her bir tohum
Koloni	Tüm ot ve tohumlar
Popülasyon	Kolonideki ot sayısı
Maksimum Popülasyon	Kolonide yeni tohum üretmesine izin verilen azami ot sayısı

### 3.1.2 Popülasyon Oluşturulması

İlk olarak optimize edilmesi gereken parametreler seçilmelidir. Daha sonra, bu değişkenlerin her biri için  $N$  boyutlu çözüm uzayında, çözüm uzayını tanımlayacak olan bir maksimum ve minimum değer atanmalıdır. Tanımlanmış çözüm alanına sonlu sayıda tohum başlangıç popülasyon sayısına bağlı olarak rastgele dağıtılır. Çözümün iyiliğini temsil etmek üzere tanımlanan uygunluk fonksiyonu, her bir tohum için bir uygunluk değeri döndürür.

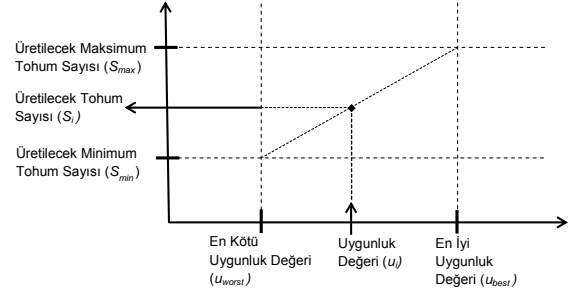
### 3.1.3 Tohum Üretimi

Yabani otlar yeni tohumlar üretmeden önce atanmış olan uygunluk değerlerine göre sıralanırlar. Sonra, her yabancı otun koloni sıralamasına bağlı olarak tohumlar üretmesine izin verilir (Şekil 2). Başka bir deyişle, her otun ürettiği tohum sayısı, uygunluk değerine veya sıralamasına bağlıdır ve mümkün olan en az tohum üretiminden ( $S_{min}$ ) maksimumuna ( $S_{max}$ ) kadar artar. Sorunu daha iyi çözen bu tohumlar koloni için daha uygun olan ve dolayısıyla daha fazla tohum üreten bitkilere karşılık gelir. Bu adım, tüm bitkilerin üreme yarışmasına katılmasına izin vererek algoritmaya önemli bir özellik katar.

$$S = \left[ S_{min} + (S_{max} - S_{min}) \left( \frac{u_i - u_{worst}}{u_{best} - u_{worst}} \right) \right] \quad (13)$$

Denklem 13'de  $S_{max}$  üretilecek maksimum tohum sayısını,  $S_{min}$  üretilecek minimum tohum sayısını,  $u_{worst}$  en kötü uygunluk değerini,  $u_{best}$  en iyi uygunluk değerini,  $u_i$  bireyin uygunluk

değerini belirtmektedir. Denklem 13'te hesaplanan  $S$  değeri en yakın üst tam sayı değerine yuvarlanır.



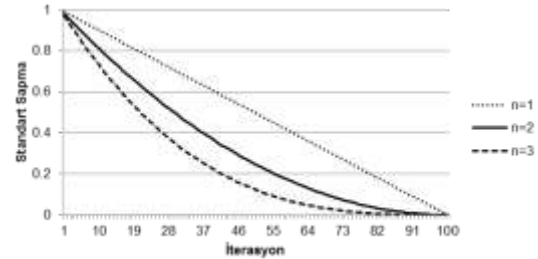
**Şekil 2 - Üretilen tohum sayısı ve uygunluk değeri ilişkisi**

### 3.1.5 Yayılma

Bu aşamada üretilen tohumlar ortalamaları üredikleri otun konumuna eşit olacak şekilde değişen standart sapmalar ile arama alanının üzerine normal rastgele dağıtılır. İterasyona bağlı standart sapma aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{(iter_{max})^n} (\sigma_{ilk} - \sigma_{son}) + \sigma_{son} \quad (14)$$

Eşitlikte  $iter_{max}$  maksimum iterasyon sayısını,  $iter$  ilgili adımdaki iterasyon sayısını,  $\sigma_{ilk}$  ve  $\sigma_{son}$  sırasıyla başlangıç ve bitiş standart sapma değerlerini,  $n$  doğrusal olmayan modülasyon indisini ifade etmektedir. Şekil 3'de farklı modülasyon indislerinin,  $\sigma_{ilk}=1$  ve  $\sigma_{son}=0$  sınırları için 100 iterasyonlu bir çalışma boyunca verdiği standart sapma değerlerinin değişimi görülmektedir.



**Şekil 3 - İterasyona bağlı  $\sigma_{iter}$  (standart sapma) değerinin değişimi**

Herbir iterasyonda adımında,  $D$  adet parametre için herhangi bir bitkiden  $S$  adet tohum Denklem 15 ifadesi ile türetilir.

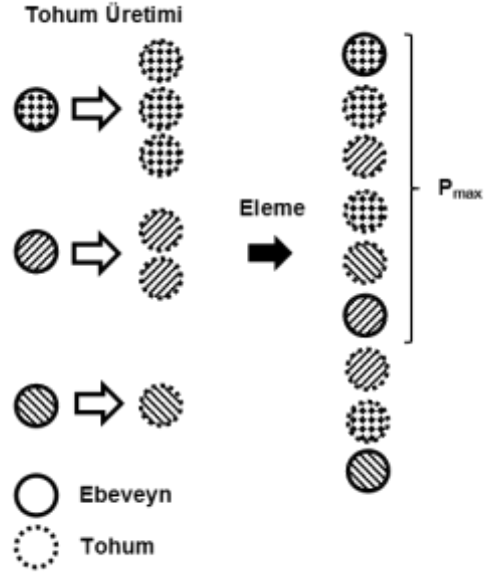
$$x_{i,j}^{yeni} = x_{i,j}^{eski} + \sigma_{iter} \cdot unifrnd_j[-1,1] \quad (15)$$

$$i = 1, 2, \dots, S, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

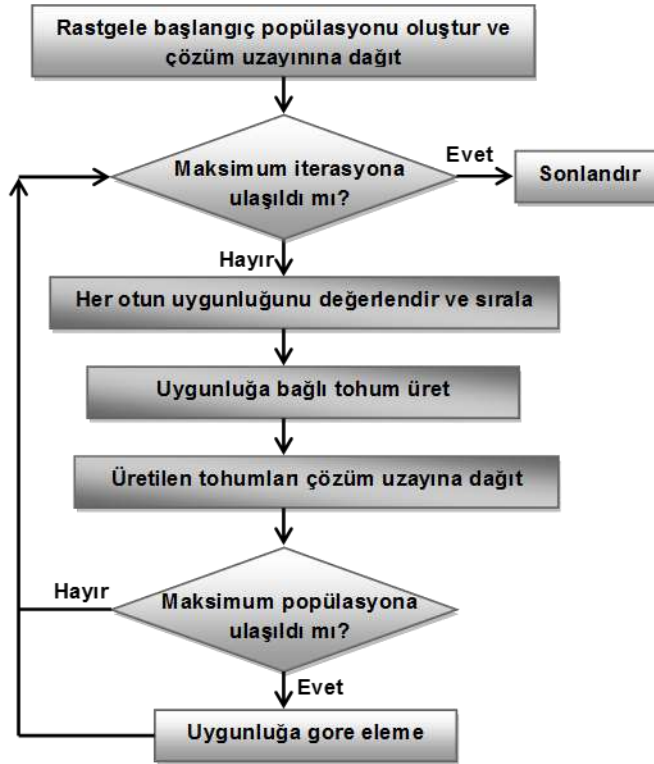
Burada, *unifrnd* ilgili tanım aralığında uniform rastgele üretilen sayıyı temsil etmektedir.  $x$  ise kalibre edilen parametreleri göstermektedir.

### 3.1.4 Rekabetçi Eleme

Tüm tohumlar arama alanındaki pozisyonlarını bulduktan sonra, yeni tohumlar büyüyerek ebeveynleri ile birlikte uygun değerlerine göre sıralanırlar. Kolonideki sıralamaları daha düşük olan otlar koloni içindeki azami sayıdaki bitki sayısına ( $P_{max}$ ) erişmek için elenir. Uygunluk değerlendirmelerinin sayısının ve popülasyon büyüklüğünün koloni içindeki azami bitki sayısından daha fazla olduğu açıktır. Hayatta kalan bitkiler koloni sıralamasına göre yeni tohumlar üretebilir. İşlemler maksimum iterasyon miktarına ulaşılan kadar tekrarlanır (Şekil 4).



Şekil 4 - Uygunluk sırasına bağlı tohum üretimi ve rekabetçi eleme



Şekil 5 - Yabani ot optimizasyon algoritmasının akış şeması

### 3.2 Diferansiyel Evrim Algoritması(DEA)

Diferansiyel evrim algoritması (DEA) birçok bilimsel ve mühendislik alanında yaygın olarak uygulanan nüfusa dayalı stokastik bir arama tekniğidir. DEA, Storn ve Price (1996) tarafından ortaya atılmış, işleyiş ve içerdiği operatörleri (çaprazlama, mutasyon, seçim operatörleri) açısından genetik algoritmaya benzerlik taşımaktadır (Okkan ve Gedik, 2017).

#### 3.2.1 Başlangıç Popülasyonu

DEA'da optimize edilmesi istenen parametre sayısı, her bir kromozoma ait gen sayısı,  $D$  sayısına eşit alınmaktadır. DEA'da yeni bireyler elde etmek için üç adet kromozom gerekmektedir bu nedenle üçten büyük sayıda kromozom sayısı ( $N_p$ ) tanımlanmalıdır. Başlangıç popülasyonu aşağıdaki gibi üretilmektedir (Keskintürk 2006, Karaboğa 2004).

$$x_{j,i,G=0} = x_j^{alt} + rand_j [0,1] (x_j^{üst} - x_j^{alt}) \quad (16)$$
$$i = 1, 2, \dots, N_p, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

Burada;  
 $x_{j,i,G}$  :  $G$ . jenerasyona ait  $i$  kromozomunun

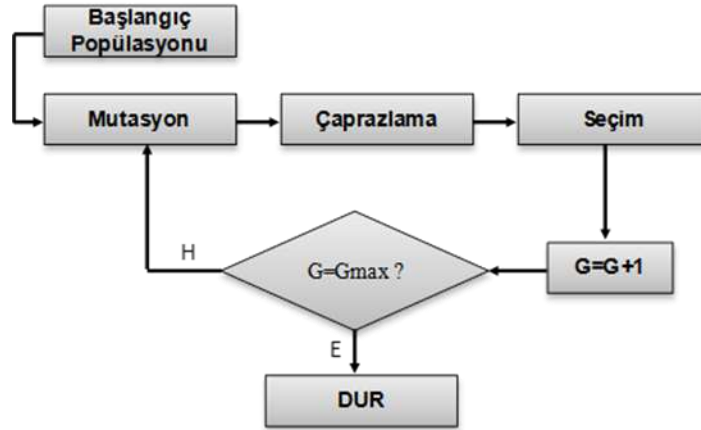
$j$ . parametresini,  
 $x_j^{alt}$  : Parametreye ait alt sınır değerini,  
 $x_j^{üst}$ : Parametreye ait üst sınır değerini,  
 $rand_j$  [0, 1]:  $j$  parametresi için 0-1 arasında rastgele üretilmiş sayıyı göstermektedir.

#### 3.2.2 Mutasyon Operatörü

Mutasyon operatörü sadece çeşitliliği arttırmakla kalmaz çözüm alanında keşif kabiliyetini de artırır (Yıldız, 2013). DEA'da  $i$ . kromozom dışında ve birbirlerinden farklı olan üç adet kromozom 1'den  $N_p$ 'ye kadar mevcut olan kromozomlar içinden seçilir. Seçilenlerin ilk ikisinin ( $x_{j,r_1,G}$  ve  $x_{j,r_2,G}$ ) farkı ile fark vektörü oluşturulur. Hesaplanan fark vektörü ölçekleme faktörü ( $F$ ) ile çarpılarak ağırlıklandırılmış fark vektörü oluşturulur.

Oluşturulan ağırlıklandırılmış fark vektörü ve seçilen üçüncü kromozom ( $x_{j,r_3,G}$ ) toplanarak çaprazlama aşamasında kullanılacak kromozom ( $n_{j,i,G+1}$ ) elde edilir.

$$n_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F (x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (17)$$
$$i = 1, 2, \dots, N_p, \quad j = 1, 2, \dots, D$$



Şekil 6 - DEA'nın akış şeması(Okkan ve Gedik, 2017)

#### 3.2.3 Çaprazlama Operatörü

Bu operatörü uygulamadan önce bir çaprazlama oranı ( $CR$ ) belirlenmektedir. Genler  $CR$  olasılıkla mutasyon sonucu elde edilen kromozomdan, ( $1 -$

$CR$ ) olasılıkla mevcut  $i$ . kromozomdan seçilir. Tanımlı her bir gen için 0-1 arasında rastgele sayı üretimi yapıldıktan sonra bu değerlerin  $CR$ 'den küçük kalanları için gen mutasyona



maruz bırakılan  $n_{j,i,G+1}$ 'den, aksi durumda olanlar için mevcut kromozomdan seçilmektedir (Keskinürk, 2006).

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} n_{j,i,G+1} & \text{rand}[0,1] \leq CR \text{ için} \\ x_{i,j,G} & \text{aksi durumlar için} \end{cases} \quad (18)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_p, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

Burada  $u_{j,i}$ , G+1 çaprazlama işlemi sonrası elde edilen genleri temsil etmektedir.

### 3.2.4 Seçim İşlemi ve Durdurma

Yeni jenerasyona geçecek kromozomun tespitinde uygunluk değerlerine bakılır. DEA uygulamasında uygunluk değeri olarak ortalama karesel hata (MSE) seçilmiştir. Karşılaştırılan kromozomlardan MSE değeri daha düşük olan kromozom yeni jenerasyon elemanı olarak atanmaktadır (Denklem 19).

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} u_{i,G+1} & \text{MSE}(u_{i,G+1}) < \text{MSE}(x_{i,G}) \text{ için} \\ x_{i,G} & \text{aksi durumlar için} \end{cases} \quad (19)$$

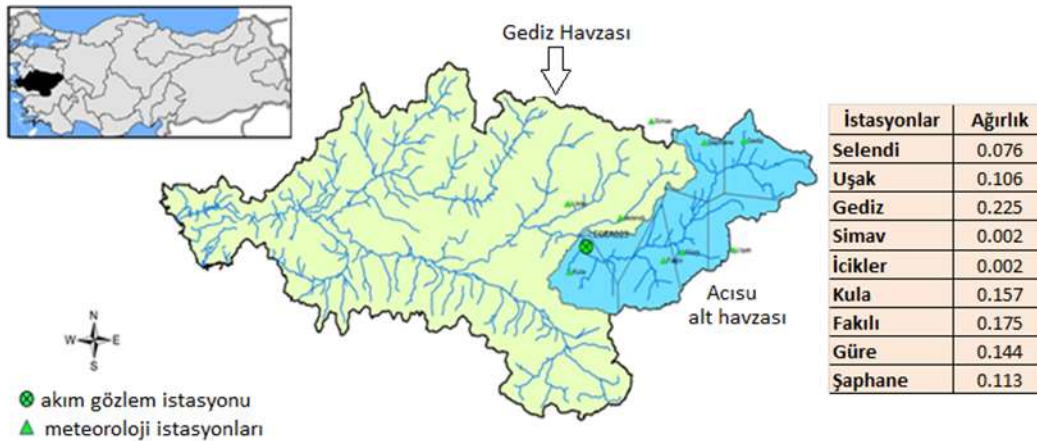
$$i = 1, 2, \dots, D$$

Yukarıda anlatılan işleyiş çalışmada  $G=G_{max}$  olana kadar yani maksimum iterasyon adedine erişene kadar sürdürülmüştür. İterasyon sayısı arttıkça i. popülasyondaki en büyük MSE ve en küçük MSE değerleri arasındaki farkın ( $\epsilon$ ) oldukça küçük bir mertebeye ( $\epsilon \leq 0.01$ ) erişmesi de esas alınabilmektedir.

## 4. UYGULAMA

### 4.1. Uygulama Bölgesi

Sunulan çalışmada, yöntemler Gediz Havzası'nda yer alan yaklaşık 3272.4 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip Acısu Akım Gözlem İstasyonuna uygulanmıştır (Şekil 7). İstasyon 28° 43' D - 38° 38' K koordinatlarında Kula - Selendi karayolu üzerindeki Gediz Köprüsü'nün 2 km mansabında Acısu yakınlarındadır. DSİ tarafından işletilen E05A023 numaralı akım gözlem istasyonunda gözlenen akımların 01.10.1975-01.09.2010 dönemine (1976-2010 su yılları) ait verileri kullanılmıştır. Uygulama havzasını temsil eden yağış ve sıcaklık verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve DSİ tarafından işletilen 9 istasyonda ölçülmektedir. Bu istasyonlar Selendi, Uşak, Gediz, Simav, İcikler, Kula, Fakılı, Güre ve Şaphane istasyonlarıdır. Çalışmada bölge için Thiessen poligonu ile hesaplanan alansal ortalama yağışlar modelde girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 7 - E05A023 numaralı akım gözlem istasyonu ve çevresindeki meteoroloji istasyonları

Elde edilen yağış istasyonu ağırlıkları Şekil 7'de ayrıca belirtilmiştir. Tahmini potansiyel evapotranspirasyon (EPOT) değerleri ise Thornthwaite ampirik denkleminde hesaplanmıştır. Şaphane, İçikler ve Fakılı istasyonlarında sıcaklık gözlemi bulunmadığından bu istasyonlara ait EPOT hesaplanmamış kalan 6 istasyona ait EPOT'ların aritmetik ortalaması modelde girdi olarak kullanılmıştır. Modellemede E05A023 numaralı akım gözlem istasyonunda gözlenen akımlar havza alanına oranlanarak mm biriminde akış yükseklikleri cinsinden kullanılmıştır. 01.10.1975-01.09.2010 su dönemine ait yıllık ortalamalar ise yağış, potansiyel evapotranspirasyon ve akış için sırasıyla 515 mm/yıl, 741 mm/yıl ve 90.5 mm/yıl olarak belirlenmiştir.

#### 4.2 YOA ve DEA ile Kalibrasyon

YOA ve DEA ile kalibrasyonda, gözlemi yapılan 01.10.1975-01.09.2010 yılları arasındaki 35 yıllık (420 aylık) toplam verinin ilk 18 yılı (1976-1993) kalibrasyon aşamasında, diğer 17 yıllık kısmı (1994-2010) verifikasyon (doğrulama) aşamasında kullanılmıştır. MATLAB programı yardımıyla kodlanan YOA ve DEA ile SWB modelinin kalibrasyonunda amaç fonksiyonu olarak MSE kullanılmıştır. YOA kapsamında, literatürde yer alan çeşitli test fonksiyonları için gerçekleştirilen çalışmalarda YOA'da kullanılan değişkenlerin farklı değerler alabildiği görülmüştür (örneğin Mahrabian ve Lucas, 2006; Ahmadi ve Mojallali, 2012). Hatta en hassas YOA değişkenlerinin  $\sigma_{ilk}$  ve  $\sigma_{son}$  olduğu görülmektedir.

Çizelge 2-Çeşitli YOA değişkenleri altında üretilen sonuçların özeti

Deneme No	$\sigma_{son}$	$\sigma_{ilk}$	Kalibre edilen SWB parametreleri			MSE Kalibrasyon	NS Kalibrasyon	R <sup>2</sup> Kalibrasyon	MSE Verifikasyon	NS Verifikasyon	R <sup>2</sup> Verifikasyon
			SC	K	a						
1	0.1	10	95.9500	0.4961	0.4997	27.4414	0.7729	0.7815	20.9780	0.7006	0.8299
2	0.02	10	62.4872	0.5370	0.4575	27.6369	0.7713	0.7716	21.6118	0.6915	0.8105
3	0.05	300	88.8321	0.5023	0.4909	27.3003	0.7740	0.7800	21.2538	0.6966	0.8283
4	0.001	3	81.2231	0.5132	0.4791	27.1270	0.7755	0.7788	20.8668	0.7022	0.8251
5	0.000001	75	110.0692	0.4712	0.5135	28.1043	0.7674	0.7818	21.5121	0.6930	0.8354
6	0.001	7.5	92.8565	0.4975	0.4917	27.3577	0.7736	0.7805	21.0401	0.6997	0.8291
7	0.0001	0.75	63.1177	0.5366	0.4603	27.5923	0.7716	0.7721	21.6559	0.6909	0.8109
8	0.01	0.5	81.9478	0.5122	0.4804	27.1291	0.7755	0.7790	20.8837	0.7019	0.8256
9	0.01	0.1	89.2692	0.5022	0.4865	27.3048	0.7740	0.7796	20.8564	0.7023	0.8284
10	0.01	2	97.9258	0.4902	0.4977	27.5019	0.7724	0.7813	21.1791	0.6977	0.8305
11	0.08	1	88.3741	0.5030	0.4851	27.2821	0.7742	0.7795	20.8579	0.7023	0.8283
12	0.00005	0.015	44.6494	0.5580	0.4387	29.3121	0.7574	0.7576	22.6188	0.6772	0.7940
13	0.0005	0.25	137.5584	0.3412	0.4767	27.2585	0.7744	0.7795	20.7865	0.7033	0.8281
14	0.001	0.6	188.8596	0.4139	0.6435	30.3075	0.7491	0.7500	23.2766	0.6678	0.7850
15	0.001	0.8	141.3141	0.4186	0.5642	32.1804	0.7336	0.7723	24.4779	0.6506	0.8323
16	0.1	0.9	71.1313	0.5259	0.4696	27.2018	0.7749	0.7763	21.3867	0.6947	0.8179
17	0.00001	0.01	213.5161	0.2717	0.6817	59.4696	0.5078	0.6561	37.5851	0.4635	0.7139
18	0.00001	0.025	15.7662	0.5886	0.4103	33.0525	0.7264	0.7307	25.2338	0.6398	0.7601
19	0.000001	0.01	191.0611	0.3873	0.3537	49.6624	0.5890	0.6919	31.4014	0.5518	0.7666
20	0.00001	0.001	140.3928	0.6794	0.6905	52.2283	0.5677	0.7798	17.7693	0.7464	0.8196
21	0.001	100	90.2461	0.5011	0.4883	27.3124	0.7739	0.7799	20.9020	0.7017	0.8286
22	0	300	106.7722	0.5678	0.7780	27.9080	0.7690	0.7814	21.2150	0.6972	0.8340

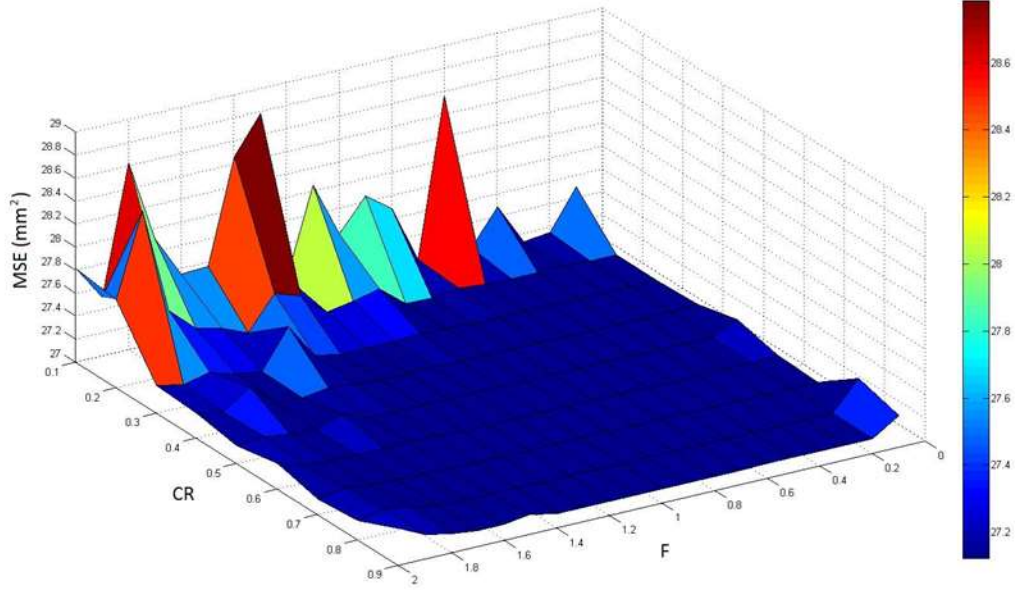
Çalışmada literatürdeki YOA değişkenleri esas alınarak SWB modeli kalibrasyonu özelinde gerçekleştirilen varyasyonlar Çizelge 2'de özetlenmiştir. Bu aşamada YOA ile kalibrasyonda en hassas  $\sigma_{ilk}$  ve  $\sigma_{son}$  değerlerinin araştırması için 150 adet iterasyon için başlangıç popülasyonu 20, maksimum popülasyon 40,  $S_{min}$  0,  $S_{max}$  5 ve modülasyon indisi 3 sabit alınmıştır. Denemeler sonucu en düşük MSE değerini veren  $\sigma_{ilk}$  ve

$\sigma_{son}$  değişkenleri sırasıyla 3 ve 0.001 olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 2, deneme 4).

DEA ile kalibrasyonda mevcut 3 parametrelilik SWB modelinde, ölçekleme faktörü ( $F$ ) ve çaprazlama oranının ( $CR$ ) en uygun değerlerinin araştırılması sırasıyla 0-2 ve 0.1-0.9 değişken aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu SWB modeli için ölçekleme faktörünün 0.4-0.8 ve çaprazlama oranının 0.2-0.9 değerleri için oluşturulan kombinasyonların birbirine oldukça yakın MSE değerleri verdiği

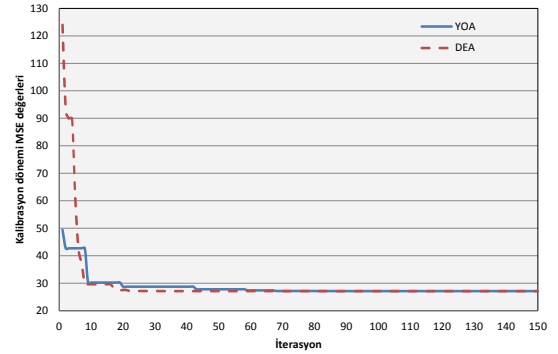
görülebilmektedir. Ancak küçük bir farkla  $F=0.2$  ve  $CR=0.9$  kombinasyonu için diğer kombinasyonlara nazaran en düşük MSE değeri

elde edilmiştir. Bu varyasyon altında elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 3'te özetlenmiştir.



Şekil 8 - DEA'daki F ve CR kombinasyonlarına ait MSE sonuçları

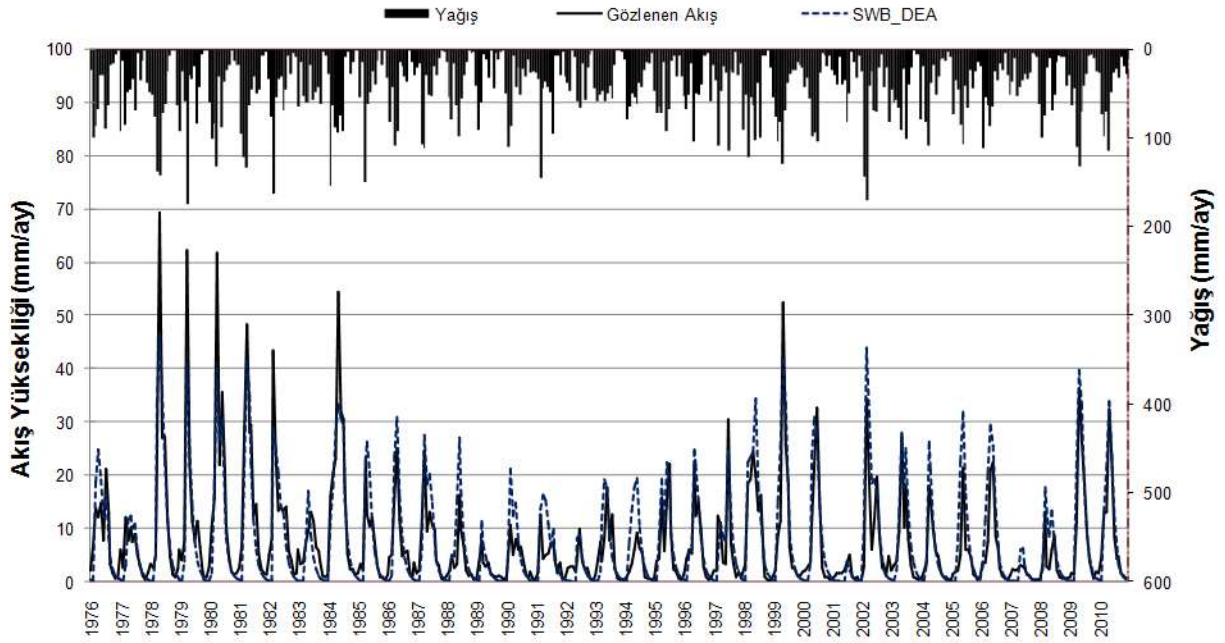
YOA ve DEA ile gerçekleştirilen kalibrasyonlarda en iyi uygunluk için elde edilen üç parametrenin değerleri oldukça benzer olsa da, en iyi uygunluk değerini veren iterasyon adımlarında farklılar gözlenmiştir. Her iki algoritmada başlangıç popülasyonlarının miktarları aynı olarak gerçekleştirilen analizler de DEA'da en uygun değer, rastgele başlayan kötü uygunluk ile 18. iterasyonda elde edilmişken, YOA'da en uygun değer 87. iterasyonda elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, DEA YOA'ya kıyasla kötü bir başlangıç çözümü ile iterasyonlara başlasa dahi daha hızlı yakınsama sergilemiştir (Şekil 9).



Şekil 9 - YOA ve DEA algoritmalarının yakınsama performansları

Çizelge 3 - En uygun DEA değişkenleri ile elde edilen sonuçların özeti

F	CR	Kalibre edilen SWB parametreleri			Kalibrasyon			Verifikasyon		
		SC	K	a	MSE (mm <sup>2</sup> )	NS	R <sup>2</sup>	MSE (mm <sup>2</sup> )	NS	R <sup>2</sup>
0,2	0,9	81,2297	0,5132	0,4791	27,1269	0,78	0,78	20,8524	0,7	0,83



Şekil 10 - DEA ile kalibre edilen SWB modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait tahminleri

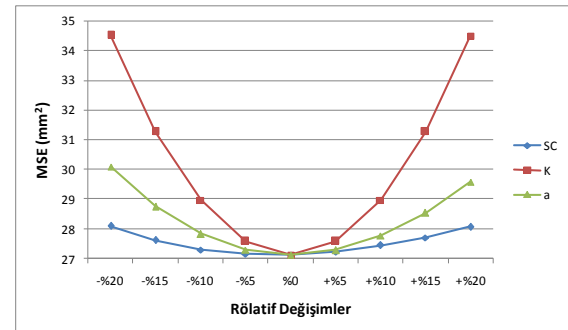
#### 4.3 Kalibre Edilen SWB Modelinin Performansı

Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilen özetlere göre, kalibrasyon döneminde YOA ve DEA algoritmalarının en iyi yapıları hidrolojik açıdan başarılı ve birbirlerine yakın sonuç üretmişlerdir. Bu durum verifikasyon döneminde de benzerdir. Ancak YOA için uygun sonuç elde edilirken algoritmayı kontrol eden parametreler için birçok deneme yapılmıştır. DEA yaklaşımında ise optimum  $F$  ve  $CR$  parametre çiftlerinin belirlenmesi oldukça pratiktir. Ayrıca küçük bir farkla da olsa DEA algoritması gerek kalibrasyonda gerekse verifikasyonda daha iyi sonuç vermiştir. DEA algoritması ile kalibre edilen modelin ürettiği tahminler zaman serisi şeklinde Şekil 10'da paylaşılmıştır. Şekil 10'dan DEA ile kalibre edilen SWB modeli tahminlerinin gözlem istasyonunda ölçülmüş akımlara oldukça yakın sonuç ürettiği göze çarpmaktadır.

SWB modelinin kalibrasyonu ve performansının irdelenmesini takiben modelin mevcut parametrelerinin model çıktıları üzerindeki etkilerini açıklamak amacıyla, modele ait parametrelerin duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada rölatif duyarlılık analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, parametrelerden biri oransal olarak

değiştirilirken, diğerleri sabit tutulmaktadır (Okkan, 2015).

Çalışmada gerçekleştirilen parametre duyarlılık analizinde, kalibre edilmiş modelin parametrelerindeki oransal değişimlere karşılık, MSE değerlerindeki değişimler hesaplanarak, akışlar üzerinde en etkili model parametrelerinin nümerik olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla, SWB modeline ait parametreler  $-20\%$  ile  $+20\%$  değişim aralığında  $5\%$ 'lik artırımlarla değiştirilerek MSE değerleri yeniden hesaplanmış ve Şekil 11'deki parametre duyarlılık eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 11 - SWB modelinin parametre duyarlılık eğrileri

Şekil 11'de görüldüğü üzere, SWB modelinin en hassas parametresi  $K$ , en hassas olmayan parametresi ise  $SC$  şeklindedir. Ayrıca MSE'nin değişim yönüne göre büyük ölçüde simetrik olduğu eğrilerden görülebilmektedir. Örneğin  $K$  parametresindeki  $\pm 20$  değişim MSE'yi  $\%27$  artırırken,  $a$  parametresinde aynı koşullar altında MSE  $\%10$  civarında artış göstermektedir. Bu durum özellikle  $K$  ve  $a$  parametrelerinin kalibrasyonunun iyi yapılması gerektiğini ve dolayısıyla SWB modelinin az parametre muhteva etmesine karşın oldukça hassas bir yapıda olduğunu göstermektedir. Klasik optimizasyon yöntemlerinde özellikle Newton tabanlı algoritmalarda (Okkan, 2013, 2015) kalibrasyon süreci boyunca hidrolojik modelde mevcut olan parametreler için farklı başlangıç değerleri seçilerek algoritmanın lokal minimum noktalara takılması ihtimali en aza indirilmeye çalışılır ve bu işlem için oldukça fazla sayıda yinelemeye ihtiyaç duyulabilir. Çalışmada kalibrasyonda kullanılan DEA ve YOA ise popülasyon tabanlı ve stokastik karakterli olduklarından klasik yöntemlerde rastlanan birtakım dezavantajlara sahip değildir.

## 5 SONUÇLAR

Çalışmada yabancı ot algoritması (YOA) ve diferansiyel evrim algoritmasının (DEA) aylık kavramsal bir yağış-akış modeli olan SWB'nin kalibrasyonu üzerinden performanslarının irdelenmesi sağlanmıştır. Elde edilen bulgular ışığında sonuçlar maddeler halinde sunulmaktadır.

- YOA'da algoritmayı kontrol eden 7 adet değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler içerisinde  $\sigma_{son}$  ve  $\sigma_{ilk}$  için atanan değerler uygunluk fonksiyonunu oldukça etkilemektedir. Bu değişkenler ile beraber diğer 5 değişkenin hangi değerler alacağı ise literatürdeki test fonksiyonları esas alınarak belirlenmiştir. Çalışmada 22 adet deneme neticesinde uygun sonuç alınabilmiş fakat problemde probleme değişen yapısı ve fazla sayıda simülasyona ihtiyaç duymasından ötürü YOA hidrolojik modelleme aşamasında pratik bir araç olarak görülmemiştir.
- DEA algoritması ise içeriğinde yalnızca iki adet algoritmayı kontrol eden değişken ( $F$  ile  $CR$ ) taşıdığından basit bir hassasiyet analiziyle bu değişkenler için uygun değerler belirlenmiştir. Ayrıca  $F$  ile  $CR$  değişkenlerinin

aşırı hassasiyet taşımaması algoritmanın yakınsama durumunu olumlu yönde etkilemektedir. Gerçekten de uygulama örneğinde DEA algoritmasında atanan başlangıç popülasyonunun YOA'ya göre daha kötü bir uygunluk değerine sahip olmasına karşın daha az iterasyonla yakınsama sağlanmıştır.

- Elde edilen parametreler birbirine oldukça yakın olsa da küçük bir farkla DEA ile elde edilen MSE,  $R^2$ , NS gibi performans istatistikleri hem kalibrasyon hem de verifikasyon dönemlerinde daha uygun görülmektedir.
- Kalibrasyon örneği üzerinde durulan SWB modeli değerlendirildiğinde ise modelin yalnızca aylık toplam yağış ve potansiyel evapotranspirasyon girdilerine ihtiyaç duyması bakımından pratik olduğu söylenebilir. Ancak  $K$  ve  $a$  parametrelerinin hassas karakterde olduğu Şekil 11'de görülebilmektedir. Bu nedenle kalibrasyonunun hassas bir biçimde yapılması ve bu aşamada kullanılacak optimizasyon aracının iyi seçilmesi gerekmektedir. Acısu alt havzası üzerinden gerçekleştirilen uygulamada yağış ve evapotranspirasyon girdileri altında çalıştırılan SWB modeli oldukça uygun sonuç vermiştir. Gerek uzun dönem elde edilen istatistikler gerekse debi-gidiş grafiği bunu doğrular niteliktedir.
- Çalışmada kullanılan optimizasyon algoritmaları, uygulama havzası ve kavramsal hidrolojik model özelinde yukarıdaki yargılara varılmıştır. Ancak farklı iklim karakteristiklerinin hüküm sürdüğü havzalarda, daha fazla parametre muhteva eden hidrolojik modellerde genel bir yargıya varabilmek için daha fazla sayıda optimizasyon gerecinin kullanılması önem arz etmektedir. Bu çalışma bundan sonra yapılacak bahsi geçen çalışmalara örnek olabilecek nitelikte olup farklı mühendislik disiplinlerine de faydalı olacaktır.

## 6 KAYNAKLAR

- Ahmadi M. and Mojallali H. (2012), "Chaotic invasive weed optimization algorithm with application to parameter estimation of chaotic systems," *Chaos, Solitons & Fractals*, 45(9–10), 1108–1120.
- Cheng, C. T., Zhao, M. Y., Chau, K. W., and Wu, X. Y. (2006). "Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure." *Journal of Hydrology*, 316(1-4), 129–140.
- Cooper, V. A., Nguyen, V. T. V., and Nicell, J. A. (1997). "Evaluation of global optimization methods for conceptual rainfall-runoff model calibration." *Water Science & Technology*, 36(5), 53–60.
- County C., County Y., and T. County (2010), "Invasive Weed Optimization Method Based Blind Multiuser Detection for MC-CDMA Interference Suppression over Multipath Fading Channel," *IEEE International Conference on Systems, Mans and Cybernetics*, 2145–2150.
- Ghalenoei M. R., Hajimirsadeghi H., and Lucas C. (2009), "Discrete invasive weed optimization algorithm: Application to cooperative multiple task assignment of UAVs," *Proceeding IEEE Conference Decision and Control*, 1665–1670.
- Giakoumakis S., Stamouli P., and Tigkas D., (2015) "Evaluating a modified simple rainfall-runoff model in Mediterranean river basins," *European Water Publications*, 35–42.
- Giri R., Chowdhury A., Ghosh A., Das S., Abraham A., and Snasel V. (2010), "A Modified Invasive Weed Optimization Algorithm for training of feed- forward Neural Networks," *Syst. Man Cybern. (SMC)*, *IEEE International Conferenceon Systems, Mans and Cybernetics*, 3166–3173.
- Karaboğa D. (2004), "Yapay zeka optimizasyon algoritmaları", Nobel yayınevi, İstanbul.
- Karimkashi S. and Kishk A. A. (2010), "Invasive weed optimization and its features in electromagnetics," *IEEE Transaction Antennas Propagation*, 58(4),1269–1278.
- Keskintürk T. (2006), "Diferansiyel evrim algoritması", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Yıl: 5 Sayı: 9, ss. 85-99.
- Kundu D., Suresh K., Ghosh S., Das S., Panigrahi B. K., and Das S. (2011), "Multi-objective optimization with artificial weed colonies," *Information Sciences*,181(12), 2441–2454.
- Mallahzadeh A. R.(2008), "Optimization Technique for Antenna Configurations," *Progress In Electromagnetics Research* 79, 137–150, 2008, 137–150
- Mehrabian A. R. and Lucas C. (2006), "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization,"*Ecological Informatics*, 1(4), 355–366.
- Okkan, U. (2013). "İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi." *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.*
- Okkan, U. (2015) "Dinamik Su Bütçesi Modeli", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 70-82.
- Okkan, U., ve Kirdemir, U. (2016). "Budyko Yaklaşımına Dayanan Bir Su Bütçesi Modeli ve Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Kalibrasyonu." *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(1), 1-10.
- Okkan U., Gedik N. (2017), "Doğrusal Olmayan Bir Taşkın Öteleme Modelinin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Kalibrasyonu", *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*. 7(1), 114-121.
- Pahlavani P., Delavar M. R., and Frank A. U. (2012), "Using a modified invasive weed optimization algorithm for a personalized urban Multi-criteria path optimization problem," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18(1), 313–328.
- Pourjafari E. and Mojallali H. (2012), "Solving nonlinear equations systems with a new approach based on invasive weed optimization algorithm and clustering," *Swarm Evolutionary Computation.*, 4, 33–43.
- Rad C., H.S and Lucas (2007), "A recommender system based on invasive weed optimization algorithm,"*Evolutionary Computation*, 4297–4304.
- Ravindran, A., Ragsdell, K. M., and Reklaitis, G. V. (2006). *Engineering Optimization: Methods and Applications*. Wiley, 2nd Edition, 688
- Roy G. G., Das S., Chakraborty P., and Suganthan P. N. (2011), "Design of non-uniform circular antenna arrays using a modified invasive weed optimization algorithm," *IEEE Transaction Antennas Propagation*, 59(1), 110–118.
- Saravanan B., Vasudevan E. R., and Kothari D. P. (2014), "Unit commitment problem solution using invasive weed optimization algorithm,"

- International Journal Electric Power Energy Systems, 55, 21–28.
- Sengupta A., Chakraborti T., Konar A., and Nagar A. (2011), “Energy efficient trajectory planning by a robot arm using invasive weed optimization technique,” 3rd World Congress National Biology Inspired Computing, 311–316.
- Storn R. ve Price K. V. (1996), “Minimizing the real functions of the ICEC contest by differential evolution,” in Proc. IEEE International Conference Evolutionary Computing, 842–844.
- Turan, M. E., ve Doğan, E. (2015). “Kavramsal Hidrolojik Modellerin Farklı Optimizasyon Algoritmaları İle Kalibrasyonu.” Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 265–277.
- Wang, Q. J. (1991). “The Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models.” Water Resources Research, 27(9), 2467–2471.
- Yıldız A. R. (2013), “Hybrid Taguchi-differential evolution algorithm for optimization of multi-pass turning operations,” Applied Soft Computing, 13, 1433–1439.
- Zhang X., Wang Y., Cui G., Niu Y., and Xu J. (2009), “Application of a novel IWO to the design of encoding sequences for DNA computing,” Computing Mathematics with Applications, 57(11–12), 2001–2008.
- Zhao H., Wang P. H., Peng X., Qian J., and Wang Q. (2009), “Constrained optimization of combustion at a coal-fired utility boiler using hybrid particle swarm optimization with invasive weed,” 2009 Int. Conf. Energy Environ. Technol. ICEET , 1, 564–567.
- Zhou Y., Chen H., and Zhou G. (2014), “Invasive weed optimization algorithm for optimization no-idle flow shop scheduling problem,” Neurocomputing, 137, 285–292.
- Zhou Y., Luo Q., Chen H., He A., and Wu J. (2015), “A discrete invasive weed optimization algorithm for solving traveling salesman problem,” Neurocomputing, 151(3), 1227–1236.

## DAİRESEL KESİTLİ DÜŞÜLÜ BACALARDA HAVA-SU KARIŞIMININ DENEYSEL ÇALIŞMA VE CFD MODELLEME İLE ANALİZİ

Şerife Yurdağül KUMCU  
İnş. Müh. Böl., Müh. Fak. , Necmettin Erbakan Üniversitesi, 42140 Meram, Konya  
yurdagulkumcu@gmail.com

Muhammed UÇAR  
İnş. Müh. Böl., Müh. Fak. , Necmettin Erbakan Üniversitesi, 42140 Meram, Konya  
muhammed.ucar.itulu@gmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 29.06.2017, Makalenin kabul tarihi: 29.09.2017)

### ÖZ

Düşülü bacalar, kanalizasyon ya da yağmur suyu gibi basınçsız akan borulu sistemlerde, hattın yönünü değiştirmek, düşü sağlamak ve enerji kırmak amacı ile kullanılan, genellikle dairesel kesitli imal edilen su yapılarıdır. Çalışma prensiplerinde akımın içinde oluşan hava miktarı önemlidir. Bu çalışma kapsamında, dairesel kesitli düşülü bacaların, farklı akım şartlarında havalanma özelliklerini araştırmak amacı ile fiziksel modelleme ve sayısal modelleme yapılarak, sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Fiziksel modellemeler, yapıların projelendirme zorluklarını aşmak, inşaat aşaması tamamlandıktan sonra geri dönüşü olmayan hataları önceden görerek hesap hatalarını gidermek için çok önemlidir.

Ancak, fiziksel modellemelerde ihtiyaç duyulan; zaman, mekan, işçilik ve maliyet gibi parametrelerden herhangi biri eksik olursa fiziksel model yapmak mümkün olmayabilir. Bu durumda, yüksek performanslı bilgisayarların kullanılması ile hızlı sonuçlar veren, CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) kodlarının yazılması ile de hidrolik yapıların davranışlarını gerçeğe yakın modelleyen matematiksel modellemelere başvurulabilir. Bu çalışma kapsamında, deneysel çalışma ile test edilen akım şartları, matematiksel modellemeyle de incelenmiştir. Sayısal modelleme için, VOF (Akım Hacmi) metodu ve RANS (Reynolds ortalama Navier-Stokes) denklemleri ile çözüm yapan FLOW-3D programı kullanılmıştır.

Laboratuvar ortamında oluşturulan fiziksel modelde akım şekilleri ve akımın havalanma miktarı incelenmiş, bunun için  $d=0,12$  m çapında gelen - giden akım boruları ve  $D=0,358$  m çapında düşülü baca kullanılmıştır. Fiziksel deney gözlemleri, gelen akım derinliğine bağlı olarak düşüm havuzunda, giden akım borusunda ve akımın çarptığı baca duvarında farklı akım rejimlerinin oluştuğunu göstermiştir. Deneysel çalışma aşamasında, çift uçlu fiber optik ölçüm cihazı kullanılarak, gelen-giden akımın arasına yerleştirilen dairesel düşü bacası içerisinde hava-su karışım oranları ölçülmüştür. Farklı akım şartları için, boşluk oranı yüzdesi, kabarcık sıklığı ve kabarcık boyutlarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Düşüm havuzunda yapılan ölçümlerden alınan sonuçlar, akımın havalanma mekanizmasının çok karmaşık bir yapıda olduğunu, akım rejimlerinin tespitinin oldukça zor olduğunu göstermiştir.

Sayısal modellemede bütün test sonuçları Flow3D programında tekrar edilmiş olup CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) modelinin tutarlılığı incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Flow-3D, sayısal modelleme, düşü bacası, havalanma, boşluk yüzdesi

### EXPERIMENTAL AND CFD ANALYSIS OF AIR-WATER FLOW STRUCTURE IN A CIRCULAR DROP SHAFT

#### ABSTRACT

Circular dropshafts, commonly used in urban storm water systems for energy dissipation and flow control, are characterized by significant flow aeration. This study is made mainly for the aeration properties of dropshafts. The investigation is executed both using experimental and numeric modeling



in the study. Experimental modeling studies have been used to achieve designing hardness, however, the studies takes time and frequently may not be economical. With the use of high performance computers and more efficient computational fluid dynamics (CFD) codes, the behavior of hydraulic structures can be investigated numerically in reasonable time and expense. In the study, FLOW-3D, which uses VOF (Volume of Fluid) method and solves RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) equations, is used for numerical modeling. In order to verify numerical modeling results, physical experimental studies were set in the laboratory.

In the laboratory, a series of experiments were performed in a circular dropshaft having two identical horizontal inflow and outflow circular channels having diameters of  $d=0,12$  m and a circular drop chamber having diameter of  $D=0,358$  m for observing flow patterns and measuring air bubble entrainment flow parameters.

Experimental observations showed distinct flow regimes associated with nappe impact in the shaft pool, in the outflow channel, or in the opposite shaft wall. New detailed air-water flow measurements were conducted in a circular dropshaft with using double-tip fiber optical probe. Measurements of void fractions, bubble frequencies and bubble sizes were conducted for different flow conditions of the circular inflow channel. In the shaft pool, the results obtained from measurements demonstrated the complexity of different air entrainment mechanisms.

In the numerical model, all experimental tests were repeated with Flow 3D and experimental measurements are compared with FLOW 3D in order to investigate the ability of the CFD modeling.

**Keywords:** Flow-3D, numerical modeling, dropshaft, flow aeration, void fraction

## 1 GİRİŞ

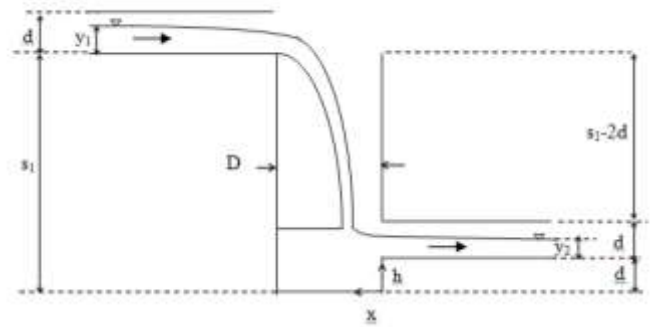
Hidrolik mühendisliği uygulamalarında düşülü bacalar, genellikle kent yağmur suyu ve atık su şebekelerinde enerji kırıcı olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek miktarda enerji kırıcı özelliklerinin olmasıyla birlikte düşüm havuzunda güçlü bir havalanma durumu da meydana gelmektedir. Rajaratnam ve ark. [5], Chanson [1, 2, 3] ve Granata ve ark. [4] düşülü baca hidrolöji üzerine çalışmalar yapmış ve uygun akım şartları altında düşülü bacaların etkili birer enerji kırıcı ve yeniden oksijenlendirme yapısı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, dairesel düşülü bacalarda iki fazlı akım hidrolöjisinin incelenmesidir. Farklı akım koşullarında, akım rejimleri, enerji kırılma oranları ve iki fazlı akım özellikleri değişken akım rejimlerinde analiz edilmiştir.

## 2 DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan model, Şekil 1'de verilmektedir. Deneyler, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Hidrolik Model Laboratuvarında yürütülmüştür. Gelen akım borusu, giden akım borusu ve düşülü baca dairesel plastik cam kullanılarak inşa edilmiştir. Şekil 1' de geometrik özellikleri verilen deney düzeneği Çizelge 1'de tanımlanmıştır. Akımın debisi, gelen akım borusuna yerleştirilen  $\pm 1$  hassasiyetle ölçüm yapabilen, ultrasonic akımölçer (Tokimec-UFP-10) ile ölçülmüştür. Gelen ve giden akım borularındaki akım

derinlikleri ise noktasal ölçüm yapabilen limnometre ile ölçülmüştür.



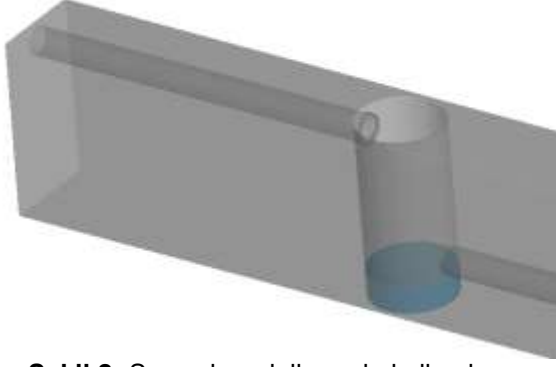
Şekil 1- Deney düzeneği

Çizelge 1- Deneysel çalışmanın geometrik özellikleri

D (m)	d (m)	s <sub>1</sub> (m)
0,358	0,12	0,60

## 3 SAYISAL MODELLEME ve ÖLÇÜM

Sayısal modelleme için CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) yazılımlarından Flow3D programı kullanılarak, bulunan sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal modelleme yapılırken fiziksel çalışma şartları 3 boyutlu çizilerek programa eklenmiştir (Şekil 2).



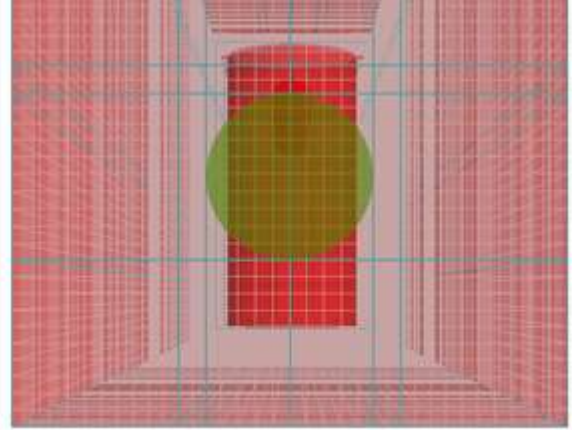
**Şekil 2-** Sayısal modellemede kullanılan geometri

Oluşturulan geometri küçük hücreler tarif edilerek, sanal parçalara bölünmüştür. Bu işlem başlangıçta az sayıda parçacık için başlanmış olup çözüm süresi-hesap doğruluğu önem seviyesi dengesi göz önünde bulundurularak adım adım artırmıştır. Çözüm için kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri Çizelge 2' de kısaca belirtilmiş olup belirtilecek hesap süreleri bu donanım özelliklerine bağlı olarak dikkate alınmalıdır.

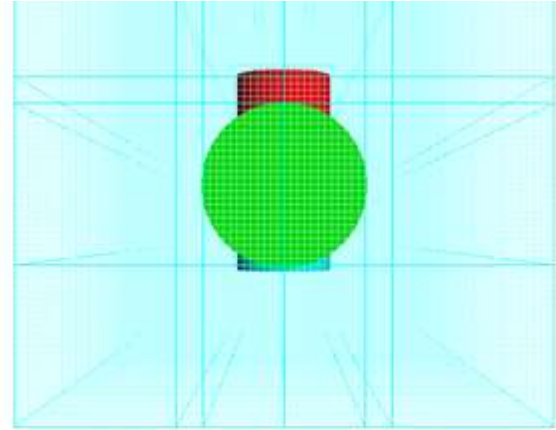
**Çizelge 2-** Kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri

Sistem Türü	Yüklü Bellek (RAM)	İşlemci
64 bit	6,00 GB	i7-4790K CPU @ 4,00 GHz

Hesapların kritik düzeyde olacağı yatay dikey boru birleşimlerinde su jeti çıkışında hesapların doğruluğunu artırmak için ek mesh-ızgara yüzeyleri de eklenmiştir (Şekil 3 ve 4). Ayrıca uyumlu / uyumlu olmayan mesh-ızgaralar yöntemi ile çözüm süresi-hesap doğruluğu incelenmiştir. Bu yöntemde program katı-boşluk sınırları için hassas çözümler yapabilmektedir. Boru içinde boşluğa uyumlu ve parçacık sayısı az olarak başlayan denemelerden elde edilen sonuçlar, mesh-ızgara sıklığının artışı ile daha dengeli hale gelmiş ve dengeye ulaştığı durumda çözüm sürelerini artırmamak için boşluk uyumlu (conforming to open volume) seçeneğinden vazgeçilmiştir. Ayrıca program, ölçümler için istenilen noktadan, kesitten ve hacimden ölçümler yapılabilmesine olanak sağlayan modüller içermektedir. Bu çalışmada veriler, merkez çizgisi üzerinden alınıp incelenmiştir.



**Şekil 3 -** Giden akım borusu için, 0,012 m aralıklarla ve ek sıkılaştırma bölgeleri ile ızgara şeklinin enkesiti (Q1 debisi için boşluk uyumlu çözüm süresi 33 dakika)



**Şekil 4 -** Giden akım borusunda, 0,005 m aralıklarla ve ek sıkılaştırma bölgeleri ile ızgara şekli (Q1 debisi için boşluk uyumlu çözüm süresi 466 dakika)

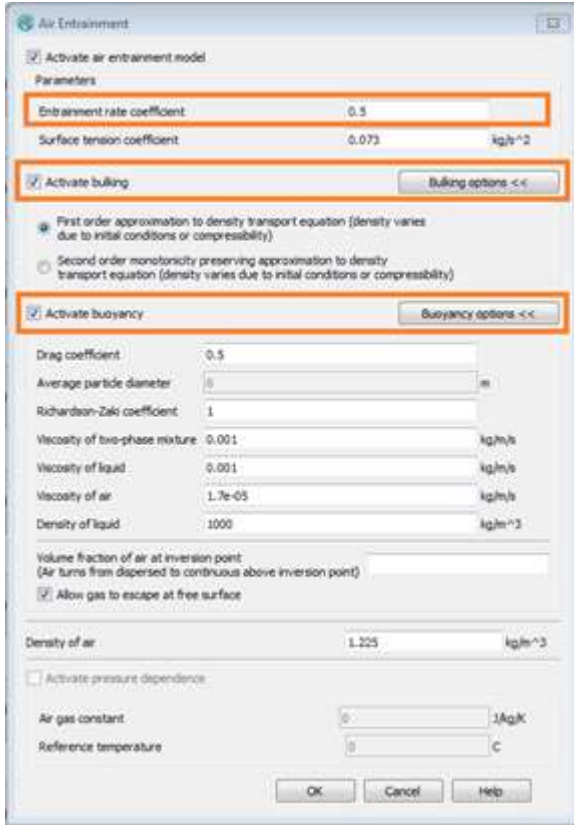
Program içinde yer alan, fiziksel çözüm modüllerinden yalnızca; yer çekimi ivmesi (açık kanal hidrolüğü), viskozite ve türbülans modülü (RNG modülü) ve havalanma modülü (Şekil 5) açılmıştır. Havalanma modülü altında seçilen kabarma ve hava çıkışı seçeneklerinin aktif hale getirilmesi ile drift-flux modülü de aktive olmuş ve mevcut değerler kullanılmıştır [6].

## 4 TARTIŞMA

### 4.1 Akım rejimleri

Chanson [1] dikdörtgenel bir düşülü bacada yaptığı gözlemlere dayandırarak akımı üç (R1, R2 ve R3) temel rejime ayırmıştır. Bu çalışma kapsamında da aynı akım rejimleri tarif edilmiştir. Bütün akım şartlarında gelen ve giden akım serbest yüzeyli akım olarak çalışılmıştır. Gelen akım borusunda akım, nehir rejimi iken giden akım borusunda akım sel rejimindedir. Düşük debilerde serbest düşüm napı düşüm havuzuna çarpmıştır (rejim

R1, Şekil 6a). R1 rejiminde düşüm havuzunda önemli düzeyde hava kabarcıklanması oluşumu gözlemlenmiştir. Giden akım borusunda sel rejimi oluşmuş olup şok dalgaları yayılmıştır. Arada kalan debi değerlerinde ise serbest düşüm napı giden akım borusuna düşmüş olup, rejim R2 olarak tanımlanmıştır (Şekil 6b). Giden akım borusunun girişinde, akım düzensizliği gözlemlenmiş olup havuzda oluşan kabarcıklanma önemli ölçüde azalmıştır. Gelen akım borusunda oluşan yüksek debiler için serbest düşüm napı giden akım borusunun hemen üstünde düşülü bacanın karşı duvarına çarpmaktadır (rejim R3, Şekil 6c). Duvara çarpan akımın bir kısmı duvar yüzeyinden aşağıya inerken diğer bir kısım ise çarpma etkisi ile dağılarak düşüm havuzuna dağılmıştır. Bu şartlar altında R3 rejiminde düşüm havuzunda önemli ölçüde havalanma gözlemlenmiştir.



Şekil 5- Havalanma modülü ve alt seçenekleri

Son zamanlarda, Granata ve ark. [4] tarafından yapılan dairesel düşülü baca hidrolüğü araştırmalarında R2 ve R3 rejimleri, R2 rejiminin üç alt bölüme ve R3 rejiminin iki alt bölüme ayrılması ile genişletilmiştir. Akım rejimlerini boyutsuz bir parameter olan Etki Sayısı (Impact Number), I, ile tanımlamıştır;

$$I=(2s/g)0.5(V_0/D) \quad (1)$$

Bu denklemde, s=düşüm yüksekliği; g=yerçekimi ivmesi; ve  $V_0$ =yaklaşım akım hızı olarak tanımlanmıştır. Granata ve ark. [4] her ne kadar etki sayısını sel rejimi için tanımlasa da, bu parametre güncel analizlerde, nehir rejimi için de uygunluğu sebebiyle, nehir rejimi için de kullanılmıştır. Denklemde verilen "s" düşüm yüksekliği için, kullanılan geometride (Şekil 1) "s1-d" alınmıştır. Yapılan deneysel çalışma göstermektedir ki rejim limitleri R1 için  $I<0,45$ , R2 için  $0,45 \leq I \leq 0,47$  ve R3 için  $I>0,47$  olmaktadır. Bu üç rejime karşılık gelen debi miktarları da R1 rejimi için  $Q \leq 3,0$  lt/s, R2 rejimi için  $3,0$  lt/s <  $Q < 4,2$  lt/s, ve R3 rejimi için  $Q \geq 4,2$  lt/s dir.

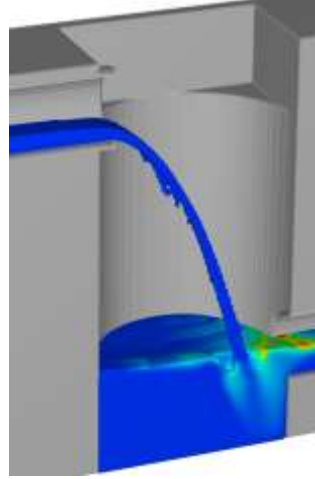
#### 4.2 Enerji kırılması

Enerjinin kırılması, düşülü baca yapısı içinde serbest düşen akımın, düşülü baca duvarına çarpması ve yayılması ile olur. R1 rejiminde enerjinin kırılması, düşüm havuzuna doğrudan çarpan su jeti sebebiyle olur. R2 rejiminde ise, gelen akım borusundan ayrılan su jeti giden akım borusu girişine çarpmaktadır. R2 rejiminde, giden akım borusuna direkt aktarılan su jetinin enerji kırılmasına önemli ölçüde olmadığı gözlemlenmiştir. R3 rejimi için, enerji kırılması su jetinin düşülü baca duvarına çarpıp yayılması ile oluşmuştur. Düşülü bacalarda oluşan enerji kırılması aşağıda verilen denklem ile ifade edilebilir:

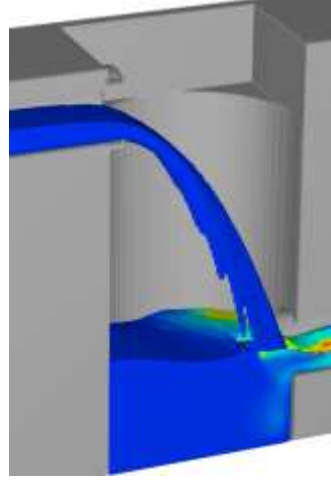
$$\text{Bağıl Enerji Kırılması} = \Delta H/H_1 \quad (2)$$

Bu denklemde,  $\Delta H = H_1 - H_2$  dir. Şekil 1 için  $H_1$  ve  $H_2$  toplam enerji yükü ve  $V_1$  ve  $V_2$  sırasıyla

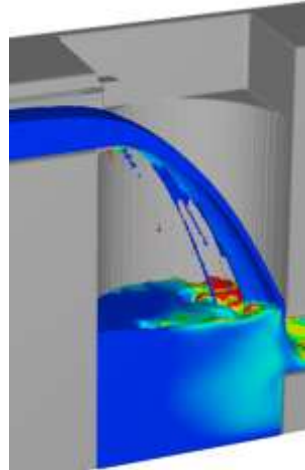
ortalama akım hızları olmak üzere  $H_1 = s_1 + y_1 + (V_1)^2/2g$  ve  $H_2 = d + y_2 + (V_2)^2/2g$  şeklindedir. Şekil 7' ye göre R1 rejimi için,  $\Delta H/H_1$  enerji kırılması yaklaşık 0,75 ile en yüksek düzeyde olmakta ve Etki Sayısı, I, nın artışı ile azalmaktadır. R2 rejimine geçerken,  $\Delta H/H_1$  hızla 0,71'den 0,66' ya düşmekte ve en düşük değerini alarak 0,62 olmaktadır. R3 rejimine geçerken enerji kırılımı tekrar hızla yükselişe geçerek 0,66 değerine ulaşmakta ve kademeli olarak Etki Sayısının artışıyla 0,63'e kadar azalmaktadır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile Granata ve arkadaşlarının [4] sonuçları karşılaştırılmış ve Şekil 8' de gösterilmiştir. Sonuçlar farklı düşülü baca geometrisi koşulları ( $s=0,5$  m ve  $D=1,0$  m) gereği farklı gözükse de enerji kırılması eğilimi ve akım rejimleri açısından oldukça benzerlik göstermiştir.



a) R1 Rejimi

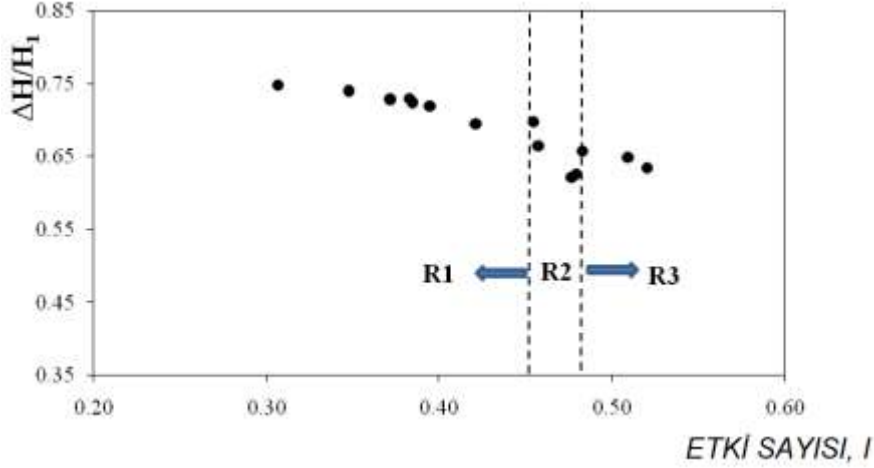


b) R2 Rejimi

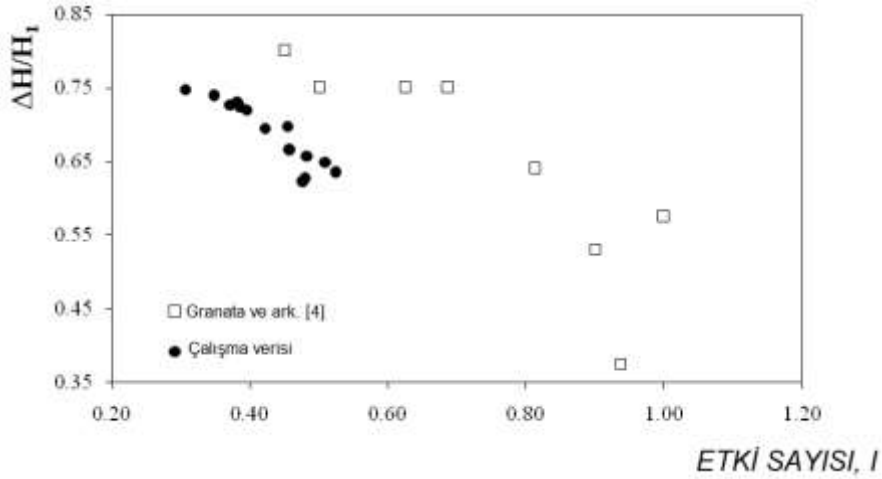


c) R3 Rejimi

**Şekil 6-** Akım rejimleri (R1: düşüm havuzuna düşen serbest düşüm napı, R2: giden akım borusu girişine düşen serbest düşüm napı, R3: karşı düşülü baca duvarına çarparak dağılan serbest düşüm napı)



Şekil 7- Etki Sayısının enerji kırılmasına etkisi



Şekil 8- Deneysel çalışma ile Granata ve arkadaşlarının verilerinin karşılaştırılması

#### 4.3 Boşluk oranı dağılımı

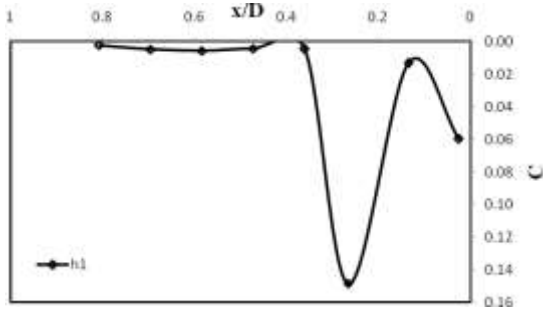
R1, R2 ve R3 rejimlerinde çift uçlu fiber optik ölçüm cihazı kullanılarak boşluk oranı (hava derişimi) ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler,  $h_1=0.1410$  m,  $h_2=0.1625$  m,  $h_3=0.2235$  m, ve  $h_4=0.2845$  m düşü yüksekliklerinde ( $x/D$ ) merkez çizgi üzerinde akım rejimlerine bağlı olarak yapılmıştır. Şekil 9' da R1, R2 ve R3 rejimlerine ait boşluk oranı dağılımları ve bunlara ait fotoğraflar gösterilmiştir. Deneysel veriler yüksek miktarda havalanma olduğunu göstermektedir. Çıkan akım kanalına yakın kısımda, ( $x/D < 0.2$ ), her akım rejimi için yüksek boşluk oranı gözlenmiştir. R1 rejiminde çarpan jet etkisi oluşumunun, çıkan akım kanalından uzak bir yerde maksimum değere ulaştığı görülmektedir (Şekil 9a). R3 rejimine ait ölçümler yüksek boşluk oranının serbest yüzeye yakın yerlerde oluştuğunu göstermiştir (Şekil 9c). Su jeti yayılımı etkisi ile ikinci bir pik noktası  $h_4$  yüksekliğinde tanımlanmıştır. Şekil 10' da en alçak yükseklik olan  $h_1$  yüksekliğinde

farklı rejimlerde boşluk dağılım yüzdeleri gösterilmiştir. R2 rejiminde su jetinin giden akım borusu girişine çarpması ile bu bölgede daha yoğun kabarcıklanma görülmesi Şekil 9'daki gibi tahmin edilmiştir. Batıklık derinliği R1 rejiminde merkez çigisi üzerinde kaymıştır.

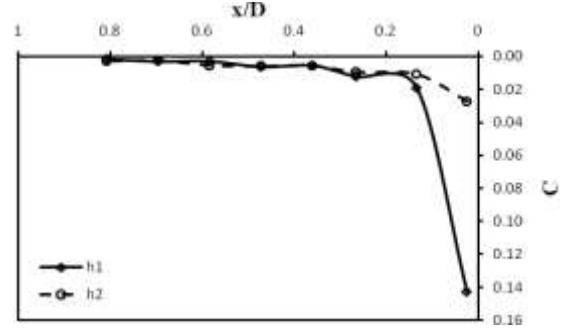
#### 4.4 Deneysel çalışma ile CFD model sonuçlarının karşılaştırılması

Sayısal modellemede yapılan çalışmada, R1, R2 ve R3 rejimlerinde elde edilen su profilleri fiziksel çalışma sonucu elde edilen test sonuçları ile örtüşmektedir (Şekil 6). Sayısal veriler açısından ise doğru havalanma katsayısının bir deney sonucu verisi baz alınarak, bu katsayının diğer deneylerde de doğru sonuçları vermesi beklenirken, aynı katsayı ile yapılan çalışmalarda 3 farklı akım rejiminin farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Havalanma yüzdesi katsayısına (entrainment rate coefficient – Şekil 5) bağlı olarak yapılan değişikliklerde öncelikle  $h_1$  yüksekliği için

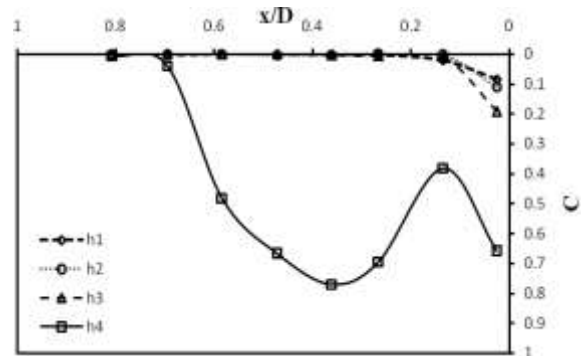
düşülü baca merkez çizgisi üzerinden rejimlerde ikişer adet katsayı denemesi yapılmış ve sonuç tutarlılığına göre iterasyon yöntemi kullanılarak doğru katsayı bulunmaya çalışılmıştır. R2 rejimi 0.50 ve 0.40 havalanma yüzdesi katsayılarında sayısal modelleme ile çözülmüş ve aralarında Şekil 11' de gösterildiği üzere farklılıklar görülmüş ve pik noktası havalanması 0.28' den 0.07' ye (%25'ine) düşmüştür. Aynı şekilde R1 rejimi için 0.45 ve 0.40 katsayıları ile yapılan çözümde ise R2 rejim çözümündekine nazaran çok daha küçük değişiklikler olmuş ve oluşan yüksek türbülans çalkantıları ve akım belirsizliğine rağmen pik noktası yalnızca 0.60' dan 0.55' e (%92'sine) düşmüştür (Şekil 12). R3 rejiminde ise 0.45 ve 0.40 katsayıları ile çözümler yapılmış ve pik noktası için 0.16' dan 0.13' e (%81'ine) düşmüştür.



a)

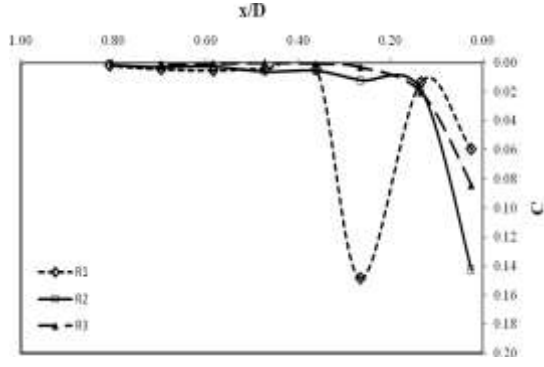


b)



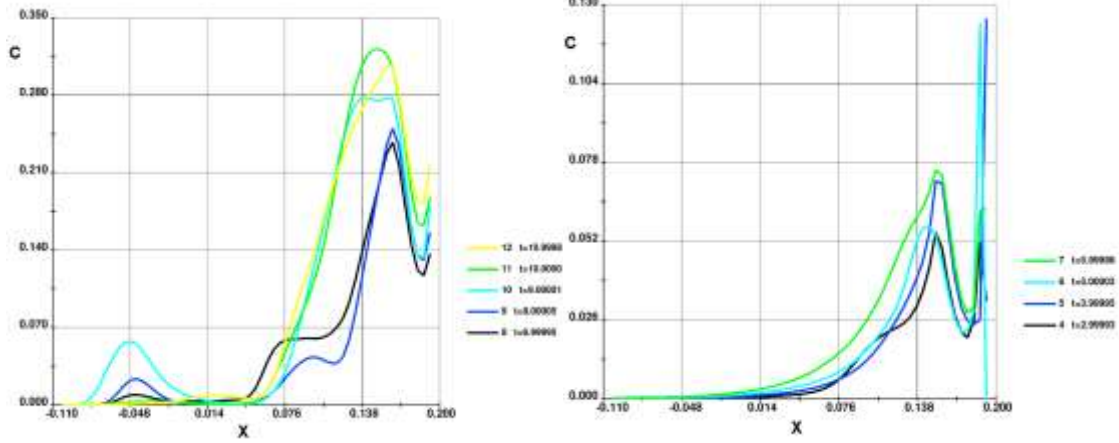
(c)

**Şekil 9.** Farklı akım şartlarında boşluk yüzdesi (C) dağılımı a) Q=1.0 lt/s (R1 rejimi), b) Q= 3.0 lt/s (R2 rejimi), ve c) Q=5.0 lt/s (R3 rejimi)

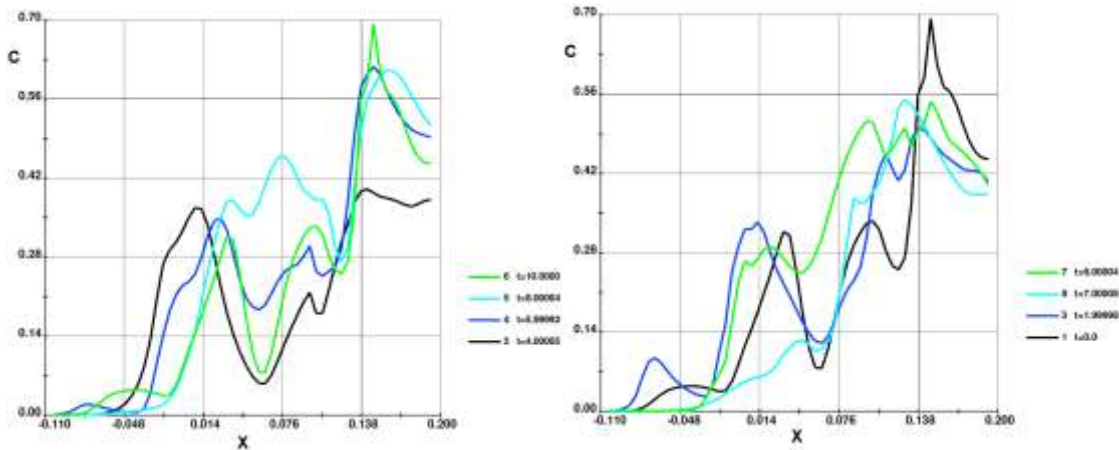


**Şekil 10-** En düşük boşluk oranı ölçüm noktası,  $h_1'$  e ait akım rejimi - boşluk oranı değişimi

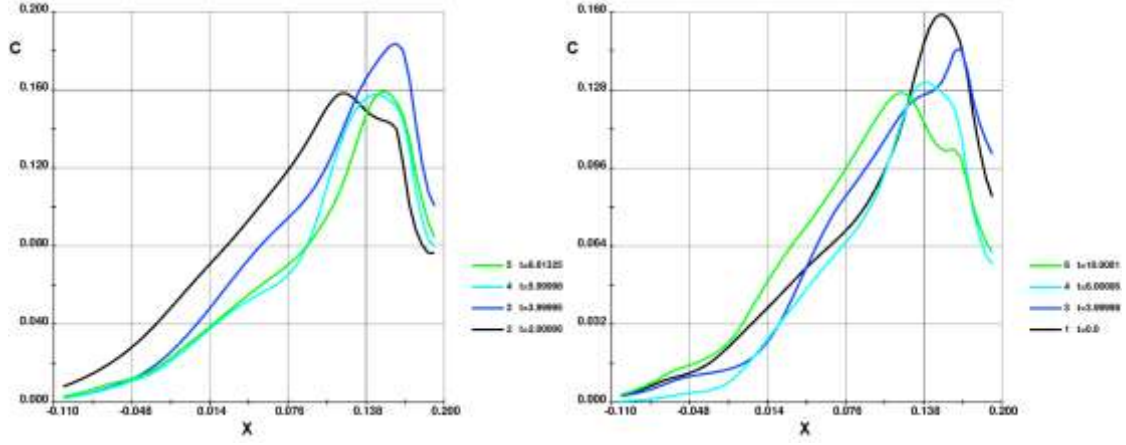
$h_2$  yüksekliği için de aynı şekilde düşülü baca merkez çizgisi üzerinden her bir rejim için ikişer adet katsayı belirlenmiştir. R2 rejimi 0.50 ve 0.40 havalanma yüzdesi katsayılarında sayısal modelleme ile çözülmüş ve aralarında Şekil 14' te görüldüğü gibi, pik noktası havalanması 0.36' dan 0.036' ya (%10'una) düşmüştür. R1 rejiminde su yüksekliği bu noktaya ulaşmadığı için  $h_2$  yüksekliğinde R1 rejimi için çözüm yapılmamıştır. R3 rejiminde ise 0.45 ve 0.40 katsayıları ile çözümler yapılmış ve pik noktası için 0.22' den 0.18' e (%82'sine) düşmüştür (Şekil 15).



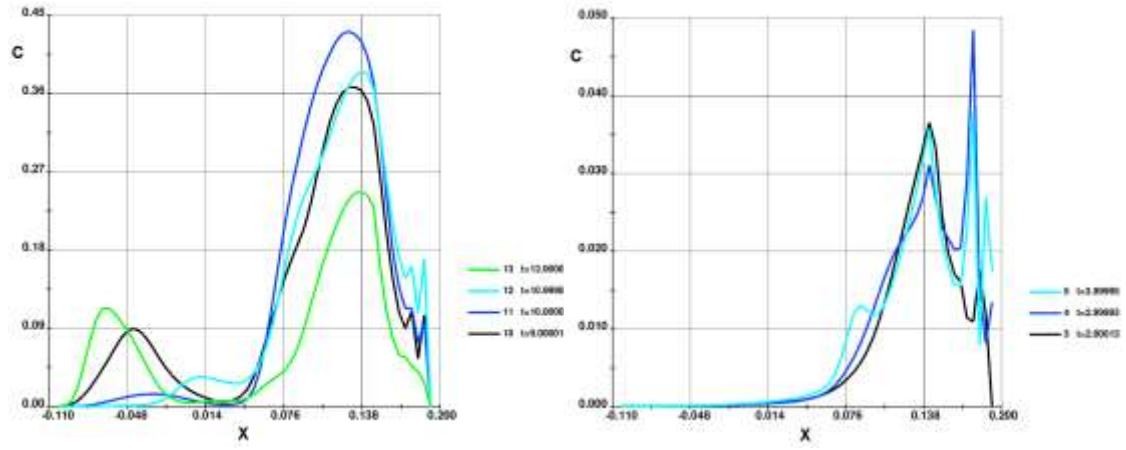
**Şekil 11-** R2 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.50 ve 0.40



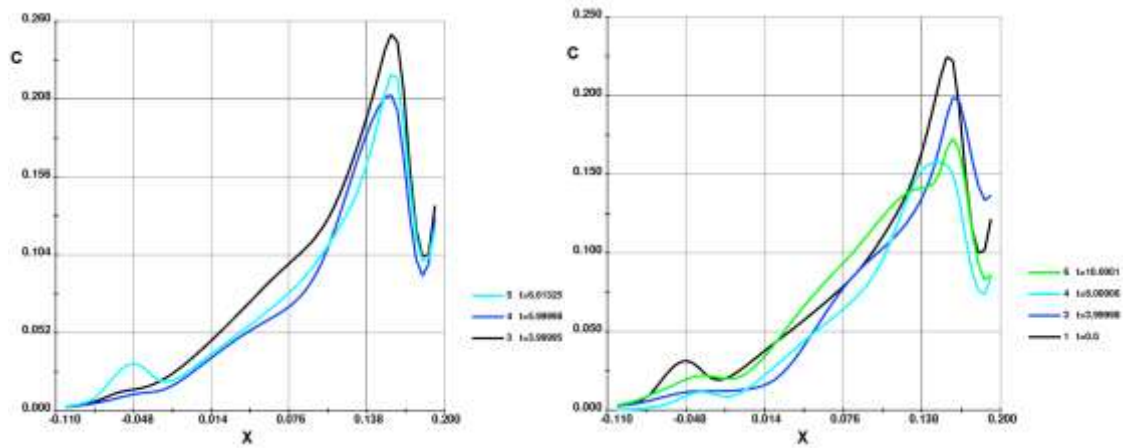
**Şekil 12-** R1 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40



**Şekil 13-** R3 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40



**Şekil 14-** R2 rejimi  $h_2$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.50 ve 0.40



**Şekil 15-** R3 rejimi  $h_2$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40



R2 rejimi h3 ve h4 seviyelerine gelmediği için karşılaştırmalı bir durum söz konusu olmamaktadır.

Bu sonuçlardan yalnız h1 yüksekliğinde R1 rejimi 0.5 katsayısı ile gerçeğe yakın bir veriye yaklaşılmış olup R3 rejimi için katsayının bir miktar, R2 rejimi için ise çok daha düşük noktalara gerilemesi ile fiziksel deney sonuçlarına ulaşılabilecektir. h2 yüksekliğinde ise R2 rejimi 0.4 katsayısı ile gerçek veriye yaklaşılmış olup R3 rejimi için ise katsayının bir miktar daha aşağıda olması gerekmektedir.

Bu durumda iterasyon yöntemi ile global çözüm sağlayacak bir katsayıya ulaşmak mümkün olmayacaktır. Genel olarak CFD yazılımlarının tutarlılıkları üzerinde daha çok çalışma yapılması ve kodların geliştirilmesi gerekmektedir.

## 5 SONUÇ

Dairesel düşülü baca I ve dairesel gelen - giden akım borularından oluşan bir seri deneysel ve matematiksel çalışma yürütülmüştür. Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde R1, R2 ve R3 olmak üzere üç farklı akım rejimi tanımlanmıştır. Bu akım rejimlerinde enerji kırılması ve havalanma miktarı ölçülerek incelenmiştir. Enerji kırılması %75 ile R1 rejiminde çarpan jet etkisi ile maksimuma ulaşmıştır. R2 rejiminde su jetinin düşülü bacaya neredeyse uğramadan giden akım borusunun girişine düşmesi sebebi ile enerji kırılması en az seviyede oluşmuştur. Boşluk oranı ölçümlerinde de su jetinin suya dalış etkisinin en az olduğu R2 rejimi hariç tüm rejimlerde düşüm havuzunda havalanmanın yüksek olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen, en yüksek boşluk oranları da giden akım borusu girişinde R2 rejiminde görülmüştür.

## 6 KAYNAKLAR

- [1] [Chanson, H. (2002). "An experimental study of Roman dropshaft hydraulics," J. of Hydraulic Research, 40(1), 3-12
- [2] Chanson, H. (2003). "Experimental investigation of dropshaft hydraulics: two-phase flow and acoustics," Proc. of 30th IAHR Congress, Thessaloniki, Greece, 353-360
- [3] Chanson, H. (2004). "Hydraulics of rectangular dropshafts," J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 130(6), 523-529

- [4] Granata, F., de Marinis, G., Gargano, R., and, Hager, W.H. (2011) "Hydraulics of circular drop manholes," J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 137(2), 102-111.
- [5] Rajaratnam, N., Mainali, A., and Hsung, C.Y. (1997). "Observations on Flow in Vertical Dropshafts in Urban Drainage Systems." J. of Environmental Engrg., ASCE, 123(5), 486-491
- [6] FLOW-3D, User Manual, Theory Guide, 20