

TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ

JOURNAL OF TECHNICAL SCIENCE



DergiPark
AKADEMİK
ev sahipliğinde

E-DERGİ
e-ISSN
2146-2119

Cilt:15 Sayı: 2 Volume:15 Issue:2 e-ISSN: 2146-2119

Temmuz 2 0 2 5
ISPARTA

DergiPark
AKADEMİK

TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ

Cilt:15 Sayı: 2 Yıl: 2025

JOURNAL OF TECHNICAL SCIENCE

Volume:15 Issue: 2 Year: 2025

e-ISSN: 2146-2119

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases

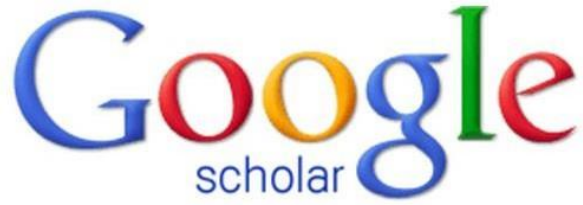
BASE, Google Scholar, ResearchBib, ASOS INDEX

DERGİ HAKKINDA

Teknik Bilimler Dergisi (Tek Bil Der), 2009 yılında kurulmuş hakemli bir e-dergidir. Tek Bil Der, 2011 yılından itibaren düzenli olarak Ocak ve Temmuz ayları olmak üzere yılda iki sayı olarak yayınlanmaktadır. Dergi, teknik ve uygulamalı bilimler alanında özgün araştırma makalelerinin yanı sıra derleme türünde bilimsel çalışmaları da kabul edilebilmektedir. Yayınlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; editörler ve hakemler tarafından değerlendirilir. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara, yazarların isimleri de hakemlere bildirilmez. Dergi, genel olarak Türkçe yazılmış makaleleri kabul etmektedir.

ABOUT THE JOURNAL

‘The Journal of Technical Sciences’ is a refereed electronical journal that has constituted on 2009. The journal has been published regularly as two issues per year since 2010. Collected articles besides specific research articles on technical and practiced sciences are accepted by the journal. The all manuscripts are evaluated by the referees and the editor. The names of the referees are not given to the authors and the names of authors are not given to referees also. The journal accepts manuscripts written in Turkish generally.



A S O S
indeks

Isparta Uygulamalı Bilimler, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Batı Yerleşkesi, ISPARTA Tel :

+90 246 214 69 01 Fax: +90 246 237 17 17

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

TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ

Cilt 15, Sayı 2 (2025)

Editörler ve Kurullar

Yayın Kurulu Başkanı/ Publication Board Manager

Dr. Öğr. Üyesi Hakan YÜKSEL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü,

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Hakan CEYLAN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi TBMYO,
İnşaat Bölümü,

Yardımcı Editör / Editor-in-Chief

Doç. Dr. Murat İNCE, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü

Editörler Kurulu/ Editorial Board

Prof. Dr. Nurten Ayten UYANIK, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Prof. Dr. Bilgehan İlker HARMAN, Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Fak,
Doç. Dr. Serpil KILIÇ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Doç. Dr. Tunahan TURHAN, Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğitim Fakültesi,
Doç. Dr. Murat İNCE, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Doç. Dr. Üyesi Ebru YILMAZ İNCE, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem AKDAĞ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Eşe AKPINAR, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Mahir SOFU, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa SİVRİ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Nükhet SAPÇI, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Ebru Gunister, Khalifa University of Science and Technology
Dr. Öğr. Üyesi Hakan YÜKSEL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Güler ÖNCÜ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Bülent URUL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Selim BACAK, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Tahir ALTUNCI, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Öğr. Üyesi Gürkan BİLGİN, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Müh. Fak,
Doç. Dr. Barış BIDIKLİ, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Müh. Fak,
Doç. Dr. Ahmet ÇAĞLAR, Akdeniz Üniversitesi, Müh. Fak,
Doç. Dr. Aslı Seyhan ÇİĞGIN, Akdeniz Üniversitesi, Müh. Fak,
Prof. Dr. Murat Alper BAŞARAN, Alanya Alaattin Keykubat Üniversitesi, Müh. Fak,
Dr. Ahmet Rıfat GÖRGÜN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,
Dr. Valens Nteziyaremye.,
Dr. Ajab Khan Kasi,
Dr. Şükrü ÖZKAN, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO,

Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof. Dr. Atilla ELÇİ, Aksaray Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet İnel, Pamukkale Üniversitesi
Prof. Dr. Melih Geniş, Bülent Ecevit Üniversitesi
Prof. Dr. Betül Çetin, Amasya Üniversitesi
Prof. Dr. Nuray Ateş, Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Zeynep Aygün, Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ebru Gunister,
Dr. Valens Nteziyaremye,
Dr. Ajab Khan Kasi,

Web Editörleri / Web Editors

Dr. Öğr. Üyesi Hakan YÜKSEL, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, TBMYO, Türkiye

Cilt 15, Sayı 2 (2025)

İçindekiler / Table of Contents	Sayfa / Pages
Araştırma Makalesi / Research Article	
<i>Farklı Ortam Sıcaklıklarında Marangoni Konveksiyonu Gösteren Bir Akışkanın Serbest Yüzeyindeki Hız ve Sıcaklık Profillerinin ANSYS Fluent ile Sayısal İncelenmesi</i>	27-32
Numerical Investigation of Velocity and Temperature Profiles on the Free Surface of a Fluid Exhibiting Marangoni Convection at Different Ambient Temperatures Using ANSYS Fluent	
Ela Katı SUNAY, Ramazan SELVER	
Araştırma Makalesi / Research Article	
<i>Siyanürün Pseudomonas putida ile Biyolojik Gideriminde Besiyeri Ortamının Etkisi</i>	33-39
Effect of Growth Medium on Biological Degradation of Cyanide by Pseudomonas putida	
Hasan ÇİFTÇİ	
Araştırma Makalesi / Research Article	
<i>Orman Alanlarında Madencilikten Kaynaklanan Olumsuz Algının Kaldırılması</i>	40-47
Mitigating Negative Perceptions of Mining Operations in Forested Lands	
Sevinç ENGİN	
Araştırma Makalesi / Research Article	
<i>Doğal Dil İşleme Tabanlı Türkçe Videolarda Küfür Tespiti Ve Otomatik Sansürleme Sistemi</i>	48-53
Natural Language Processing Based Profanity Detection and Automatic Censoring System in Turkish Videos	
Ziya DİRLİK, Turgay AYDOĞAN	

Farklı Ortam Sıcaklıklarında Marangoni Konveksiyonu Gösteren Bir Akışkanın Serbest Yüzeyindeki Hız ve Sıcaklık Profillerinin ANSYS Fluent ile Sayısal İncelenmesi

Ela Katı Sunay^{1*}, Ramazan Selver²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4135-5241),
elakati@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9239-8700),
ramazanselver@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 10.07.2025 ve Kabul Tarihi 16.07.2025)

(DOI: 10.35354/tbed.1739645)

ATIF/REFERENCE: Katı Sunay, E. & Selver, R. (2025). Farklı Ortam Sıcaklıklarında Marangoni Konveksiyonu Gösteren Bir Akışkanın Serbest Yüzeyindeki Hız ve Sıcaklık Profillerinin ANSYS Fluent ile Sayısal İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 15(2), 27-32.

Öz

Yarı iletken malzemelerin üretim kalitesini arttırmak, elektronik cihazların performansını doğrudan etkileyen kritik bir konudur. Bu doğrultuda, Marangoni (Yüzey Gerilimli) konveksiyon hareketlerinin yarı iletken kristal üretim süreçlerine etkisi araştırılmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışmada, ANSYS Fluent programı yardımıyla dikdörtgen kap konfigürasyonu modellenmiş ve akışkan olarak 5 cSt viskoziteye sahip silikon yağı kullanılmıştır. Farklı ortam sıcaklıkları ve farklı yerçekimi koşulları altında toplam dört ayrı sayısal çözümleme gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlemelerde dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisinde Marangoni konveksiyon hareketi oluşturulmuştur. Her bir çözümlemelerde sıvı serbest yüzeyindeki hız ve sıcaklık profilleri detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara, farklı ortam sıcaklıkları kullanılarak gerçekleştirilen çözümlemelerde sıvı serbest yüzeylerinden elde edilen hız ve sıcaklık profillerindeki farklılıkların daha belirgin olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Marangoni konveksiyon, Hız profilleri, Sıcaklık profilleri, Yarı iletken, Silikon yağı.

Numerical Investigation of Velocity and Temperature Profiles on the Free Surface of a Fluid Exhibiting Marangoni Convection at Different Ambient Temperatures Using ANSYS Fluent

Abstract

Improving the production quality of semiconductor materials is a critical issue that directly affects the performance of electronic devices. In this context, the influence of Marangoni (surface tension-driven) convection on semiconductor crystal growth processes is being investigated. In the present study, a rectangular container configuration was modeled using the ANSYS Fluent software, and silicone oil with a viscosity of 5 cSt was used as the working fluid. A total of four numerical simulations were carried out under different ambient temperature and gravity conditions. Marangoni convection was generated within the rectangular container in each case. For each simulation, the velocity and temperature profiles on the liquid free surface were examined in detail, and the obtained results were compared. The findings revealed that the differences in velocity and temperature profiles on the liquid free surface were more pronounced in the simulations conducted with varying ambient temperatures.

Keywords: Marangoni convection, Velocity profiles, Temperature profiles, Semiconductor, Silicone oil.

* Sorumlu Yazar: elakati@sdu.edu.tr

1. Giriş

İnsanlık, yaşam kalitesini artırmak amacıyla sürekli olarak yeni buluşlar ve teknolojik yenilikler geliştirmektedir. Bu yenilikler arasında, günlük yaşantımız üzerinde en büyük etkiye sahip olanlar şüphesiz ki elektronik cihazlardır. Günlük yaşamın hemen her alanında yaygın biçimde kullanılan bu cihazların temelini ise yarı iletken malzemeler oluşturmaktadır. Kullanım alanlarının genişliği, yarı iletken malzemeleri bilimsel araştırmaların odak noktası hâline getirmiştir. Bu doğrultuda, yarı iletken malzemelerin üretim kalitesini artırmaya yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

Yarı iletken üretiminde, Marangoni konveksiyon hareketleriyle elde edilen kristal yapılar, en ideal kristal yapı olarak kabul edilmektedir. Ancak kristalizasyon sürecinde, Marangoni konveksiyon hareketlerine ek olarak yerçekimi vektörü nedeniyle doğal konveksiyon hareketleri de meydana gelmekte ve bu durum kristal kalitesinde bozulmalara yol açmaktadır. Bu nedenle araştırmalar, yerçekimi etkisinden kaynaklanan doğal konveksiyon hareketlerinin olumsuz etkilerini en aza indirerek kristal kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Bu amaçla farklı parametreler altında, çeşitli yerçekimi koşullarında hem deneysel hem de sayısal (nümerik) çalışmalar yürütülmektedir.

Bu konuya ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde; Marangoni konveksiyon hareketleri üzerine yapılan ilk sistematik araştırmalardan bazılarının, Ostrach (1977, 1979, 1982) tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Ostrach, kararlı hâlde meydana gelen yüzey gerilimli akışları analitik yöntemlerle incelemiş ve çalışmalarında farklı fiziksel koşullar altında önemli boyutsuz parametrelerin etkisini analiz etmiştir. Sıcaklık ile viskozite gradyanlarının eşzamanlı olarak bulunduğu senaryolarda, yüzey gerilimiyle yönlendirilen akış alanlarını tanımlayarak, bu boyutsuz parametrelerin gelecekteki araştırmalarda da kullanılmasını önermiştir. Ayrıca düşük yerçekimi ortamlarında yüzey gerilimli akışların davranışlarını inceleyerek, bu tür çalışmaların uzay araştırmaları açısından taşıdığı önemi vurgulamıştır.

Chun ve Wuest (1978) ile Schwabe vd. (1978), yarı-yüzen bölge konfigürasyonunda ortaya çıkan yüzey gerilim etkili akışları deneysel olarak incelemiş; bu süreçte sıcaklık ve hız alanlarını analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, kararlı yüzey gerilimli akış rejiminden periyodik salınımlı akış rejimine geçişi irdelemiş ve bu geçişin gerçekleştiği sıcaklık farkını, kritik sıcaklık farkı (ΔT_{kr}) olarak tanımlamışlardır.

Preisser vd. (1983), farklı parametreler altında osilasyonlu yüzey gerilimli akışların oluşum koşullarını araştırmış; bu bağlamda en belirleyici boyutsuz parametrenin Marangoni sayısı (Ma) olduğunu ortaya koymuşlardır. Ancak Kamotani vd. (1992, 1995), yaptıkları deneysel çalışmalarla yalnızca kritik Marangoni sayısının akışı tanımlamakta yetersiz kaldığını göstermiştir. Onlara göre, yüzey şekil değişimleri de akışın dinamiklerini belirlemede önemli bir etkidir.

Gupta vd. (2006), birbiriyle karışmayan iki farklı akışkan içeren dikdörtgen kap konfigürasyonunda, karşılıklı duvarlar arasında oluşturulan sıcaklık gradyanı sonucunda meydana gelen yüzey gerilim kaynaklı Marangoni konveksiyon hareketlerini, sayısal modelleme teknikleri aracılığıyla detaylı şekilde incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, alttaki akışkanın sıcaklık değişimlerine daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Selver ve Katı (2011), dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisinde kinematik viskozitesi 5 cSt olan silikon yağı kullanılarak, çeşitli yerçekimi vektörü konfigürasyonları altında yüzey gerilimli konveksiyon hareketini sayısal olarak iki boyutlu biçimde analiz etmişlerdir. Ayrıca, farklı soğuk duvar sıcaklıklarında kararlı akıştan osilasyonlu akışa geçişi deneysel olarak da incelemiş; kritik sıcaklık farkının, sıvının serbest yüzeyindeki ısı kayıplarına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır.

Mielniczuk vd. (2018), yüzen bölge konfigürasyonunda kılcal etkileşimleri analitik bir modelle incelemiş ve yerçekiminin sistemde simetri kaybına neden olarak yüzey deformasyonlarına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Bu deformasyonları azaltmak amacıyla mikro-yerçekimi koşullarında da testler gerçekleştirmiş ve normal yerçekimi koşullarına kıyasla daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, Marangoni (yüzey gerilimli) konveksiyonun özellikle mikro-yerçekimi ortamlarında daha iyi anlaşılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda gerçekleştirilen güncel çalışmalar, hem sayısal hem de deneysel yaklaşımlar kullanarak bu akış türünün karmaşık doğasını aydınlatmaya yönelik önemli katkılar sunmuştur.

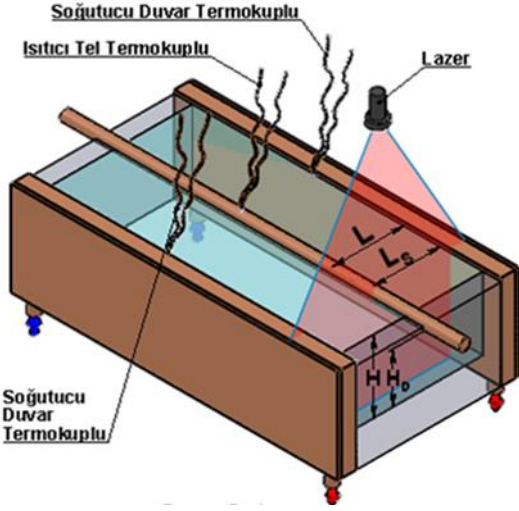
Sequeira vd. (2022) 'nin yapmış oldukları çalışmada NASA'nın STDC-1 deneylerine ait video verileri kullanılarak, akış alanı birden fazla modern görüntü tabanlı hız ölçüm tekniği aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler, COMSOL Multiphysics® v5.6 yazılımı ile gerçekleştirilen sayısal simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, mikrogravite ortamında sıcaklık kaynaklı Marangoni akışlarına dair daha yüksek çözünürlüklü ve güvenilir bilgiler sunmaktadır.

Blanco vd. (2025), mikrogravite ortamında yarı dolu eliptik kaplar içindeki serbest yüzey hareketlerini termokapiler etkiler altında incelemişlerdir. Kap şekli ve uygulanan sıcaklık farkına bağlı olarak yüzeyde simetri bozulmaları ve kararlı konum değişimleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, termal uyarım kesildiğinde yüzeyin dengeye dönüş süreci analiz edilmiştir. Çalışma, uygun kap tasarımıyla termokapiler akışların mikrogravitede akışkan kontrolü için kullanılabileceğini göstermektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada ise ANSYS Fluent programı aracılığıyla, dikdörtgen kap konfigürasyonunun kullanıldığı bir geometrik model oluşturulmuş ve bu modelde akışkan olarak 5 cSt viskoziteli silikon yağı kullanılmıştır. Yerçekimi ivmesi etkisiyle oluşan doğal konveksiyon hareketlerinin, Marangoni konveksiyon üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla, iki ayrı ortam sıcaklığı ve iki ayrı yerçekimi düzeyinde (normal ve mikro yerçekimi) dört farklı sayısal çözümleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sıvının serbest yüzeyinde oluşan hız ve sıcaklık profilleri analiz edilerek karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır (Katı Sunay, 2013).

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda kullanılan dikdörtgen kap konfigürasyonunun şematik görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

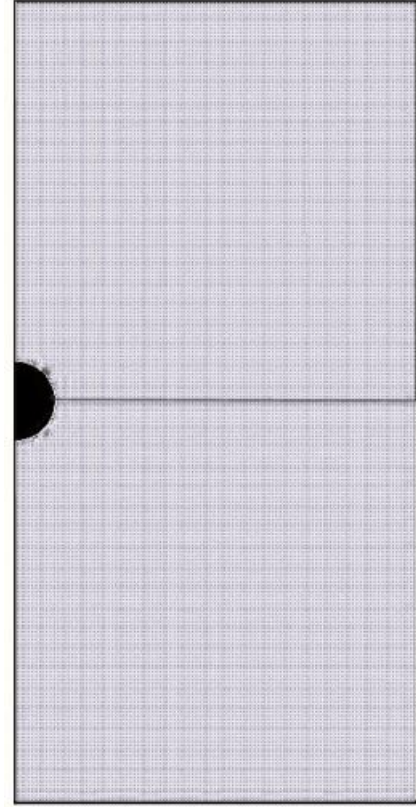


Şekil 1. Dikdörtgen kap konfigürasyonunun şematik görüntüsü

Şekil 1 incelendiğinde, yanlardaki iki dikey bakır duvarın soğutucu, ortadaki dairesel kesitli bakır borunun ise ısıtıcı görevinde olduğu görülmektedir. Silikon yağı, iki yandan soğutulmakta ve sıvı serbest yüzeyinin tam ortasından yarı daldırılmış dairesel ısıtıcı çubuğun yüzey temasıyla ısıtılmaktadır. Bu durum, sıvı serbest yüzeyinde oluşan viskozite farkları nedeniyle yüzey gerilim kaynaklı akışı yani Marangoni konveksiyonu ortaya çıkarmaktadır. Bu durumu sayısal olarak inceleyebilmek için öncelikle; ANSYS Fluent programı kullanılarak Şekil 1’ de görülen dikdörtgen kap konfigürasyonunun, içerisindeki silikon yağının ve silikon yağı üzerindeki ortam havasının 2 boyutlu haldeki geometrik modeli oluşturulmuştur. Geometrik model oluşturulurken ısıtıcı telin tam ortasından geçen ve önden bakıldığında dikdörtgen kap konfigürasyonunu dikey olarak ortadan ikiye bölen bir simetri eksenini kullanılmıştır. Bunun amacı; ısıtıcı telin sağ tarafı ile sol tarafının simetrik olarak tamamen aynı özelliklerde olması ve simetri ekseninin kullanılması ile sayısal çözümlemelerdeki hesaplama yükünün azaltılmasıdır.

Çalışmamızda kullandığımız geometrik model oluşturulurken; farklı ortam sıcaklıkları için çözümlemeler yaptırabilmemiz için silikon yağının serbest yüzeyi ile çevre ortamı arasındaki ısı geçişi de dikkate alınmıştır. Bu nedenle, sıvının serbest yüzeyi üzerinde yer alan hava katmanını da geometrik modele dâhil edilmiştir. Sayısal çözümlemelerimizde kullandığımız geometrik model ve modele ait mesh yapısı Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2 incelenecek olursa, sol dikey çizgi yukarıdan aşağıya kadar simetri eksenini, yarım çember ısıtıcı duvarı, yarım çemberin tam ortasından başlayan ve geometrik modeli yatay olarak ortadan ikiye bölen yatay çizgi silikon yağı serbest yüzeyini, alttaki yatay çizgi kap tabanını (adyabatik duvar), silikon yağı serbest yüzeyinin (ortadaki yatay çizgi) altında kalan sağ dikey çizgi soğutucu duvarı oluşturmaktadır. Geometrik modeli ortadan ikiye bölen yatay çizginin altında kalan kısım silikon yağının, üstünde kalan kısım ise havayı temsil etmektedir. Model, simetrik yapı sayesinde yalnızca yarı bölge üzerinden analiz edilmiştir. Bu sayede çözümlemelerdeki hesap yükü azaltılmıştır. Geometrik modelimizde boyutsal oran $Ar = 1$ ’dir ($Ar = H/L$, H =Silikon yağı yüksekliği, L = simetri ekseninden soğutucu duvara kadar olan mesafe).



Şekil 2. Dikdörtgen kap konfigürasyonunun iki boyutlu geometrik modelinin ağ (mesh) yapısı

Çalışmada deney ortamı gazı olan havaya ait fiziksel özellikler Tablo 1’ de, çalışmada kullanılan deney akışkanına ait fiziksel özellikler ise Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 1. Havaya ait fiziksel özellikler (Incropera vd. 2007)

Özellik	Birim	Değer
Dinamik viskozite (μ)	kg/m.s	$1,789 \times 10^{-5}$
Isıl genleşme sabiti (β)	1/K	$3,43 \times 10^{-3}$
Özgül ısı sığası (c_p)	J/kg.K	1006,43
Isıl iletkenlik katsayısı (k)	W/m.K	0,0242
Yoğunluk (ρ)	kg/m ³	1,225

Tablo 2. Silikon yağına ait (5 cSt) fiziksel özellikler (Selver, 2005)

Özellik	Birimler	Değer
Yoğunluk (ρ)	Kg/m ³	913
Termal Kondüksiyon Katsayısı (k)	W/m.K	0,1088568
Termal Difüzyon Katsayısı (α)	m ² /s	$7,42 \times 10^{-8}$
Dinamik Viskozite (μ)	Ns/ m ²	$4,454 \times 10^{-3}$
Kinematik Viskozite (ν)	m ² /s	$4,88 \times 10^{-6}$
Yüzey Gerilim (σ)	N/m	$19,7 \times 10^{-3}$
Yüzey Gerilim Sıcaklık Katsayısı $ \sigma_T $, $ \partial\sigma/\partial T $	N/m.K	$-0,0587 \times 10^{-3}$
Özgül Isı Kapasitesi (C_p)	J/Kg.K	1716,588
Isısal Genleşme Katsayısı (β)	1/K	0,00105
Prandtl Sayısı (Pr)		67
Akışkanın Kinematik Viskozitesinin Değişimi		
$\nu = 8,185 - 0,2T + 3,74 \times 10^{-3}T^2 - 4,865 \times 10^{-5}T^3 + 3,474 \times 10^{-7}T^4 - 9,76 \times 10^{-10}T^5$		

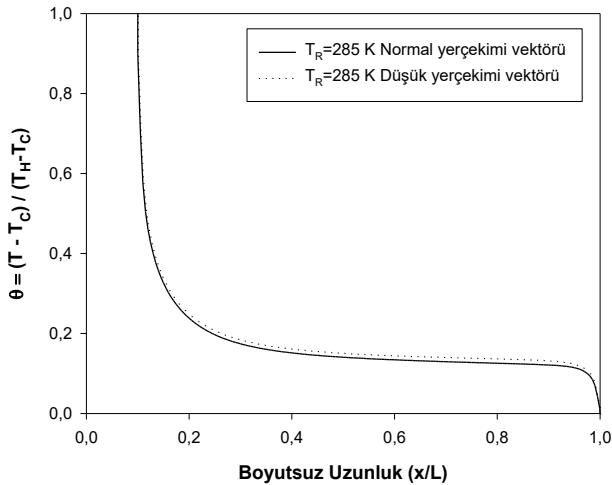
ANSYS Fluent programında yapılan sayısal çözümlemelerde, akış tipi laminar olarak seçilmiş; sıvının serbest yüzeyinin tamamen yatay ve düzgün olduğu, serbest yüzey ile çevre hava arasında ısı transferinin olduğu, ancak sistemde radyasyonla ısı transferinin olmadığı varsayılmıştır. Çalışmada, ilk aşamada normal yerçekimi koşullarında, sıcak yüzey sıcaklığı (T_H) 313 K, soğuk yüzey sıcaklığı (T_C) 288K ve ortam

sıcaklıklarının (T_r) sırasıyla 285 K ve 315 K olduğu iki farklı durumda analizler gerçekleştirilmiştir. Aynı analizler mikro yerçekimi ($1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$) koşulları altında tekrarlanmış ve toplamda dört farklı çözümleme yapılmıştır. Bu çözümlemelerde; dikdörtgen kap konfigürasyonu içerisinde Marangoni konveksiyon hareketi yapan silikon yağı akışkanının sıvı serbest yüzeyinde oluşan hız ve sıcaklık profilleri analiz edilerek karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Katı Sunay, 2013).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmanın temelini, Marangoni konveksiyon hareketi oluşturmaktadır. Bu hareket, akışkanın serbest yüzeyinin bir tarafından ısıtılıp diğer tarafından soğutulmasıyla meydana gelir. Oluşturulan geometrik modelde, akışkanın serbest yüzeyi ortasından geçen bir bakır çubukla ısıtılırken, kenarlardaki soğuk duvarlar yardımıyla soğutulmaktadır. Sıcak bakır çubuk bölgesinde akışkanın viskozitesi azalırken, soğuk duvar bölgelerinde viskozite artar. Serbest yüzey boyunca viskozitedeki değişim nedeniyle akışkan, sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru yönelmekte; bu durum yüzey gerilim kaynaklı bir akış hareketi (Marangoni konveksiyon) oluşumuna neden olmaktadır. Serbest yüzeydeki sıcaklık farkı sürdüğü sürece, bu akış hareketi de devamlılık göstermektedir.

Boyutsal oranı $Ar=1$ ($Ar=H/L$, H =Silikon yağı yüksekliği, L = simetri ekseninden soğutucu duvara kadar olan mesafe) ve ortam sıcaklığı $T_r=285 \text{ K}$ olan modelin sayısal çözümlemelerinde, $9,81 \text{ m/s}^2$ ve $1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ yerçekimi ivmeleri altında elde edilen serbest yüzey sıcaklık profilleri boyutsuzlaştırılarak Şekil 3'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



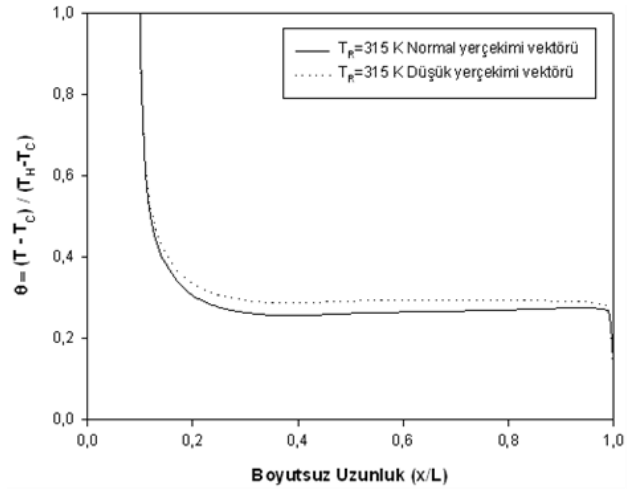
Şekil 3. Marangoni konveksiyon hareketinin gözlemlendiği, $Ar=1$ ve $T_r=285 \text{ K}$ parametrelerine sahip silikon yağının, değişen yerçekimi ivmelerine bağlı serbest yüzey sıcaklık profillerinin karşılaştırılması

Isıtıcı ve soğutucu yüzey bölgelerindeki dar alanlarda, ısısal sınır tabakalar nedeniyle sıcaklıkta ani düşüşler gözlenmektedir. İki yüzey arasında ısı transferinin yalnızca iletim yoluyla gerçekleşmesi, yüzey boyunca düzenli bir sıcaklık dağılımı oluşmasına neden olmuştur. Serbest yüzeyin ortalama sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olduğundan, sıcaklık profili eğimi düşüş yönündedir.

Şekil 3'te farklı yerçekimi ivmelerine göre sıcaklık profillerinde farklılıklar gözlenmektedir. Düşük yerçekimi ivmesiyle yapılan çözümlemede elde edilen sıcaklık profili,

normal yerçekimi ivmesiyle yapılan çözümlemeye göre daha yüksektir. Bu fark, düşük yerçekimi altında serbest yüzeyden havaya yalnızca iletim yoluyla ısı geçişi olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, normal yerçekimi vektörü altında hem iletim hem de taşınım yoluyla ısı geçişi gerçekleştiğinden, havaya olan ısı geçişi daha fazla olmaktadır. Bu durumda sıcaklık profili daha düşük değerler göstermektedir.

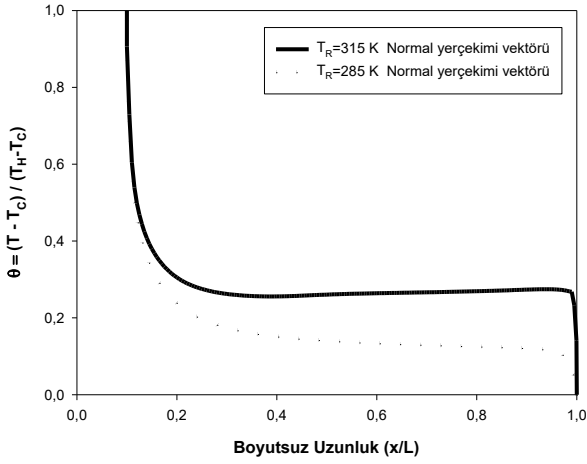
Boyutsal oranı $Ar=1$ ve ortam sıcaklığı $T_r=315 \text{ K}$ olan modelin sayısal çözümlemelerinde, $9,81 \text{ m/s}^2$ ve $1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ yerçekimi ivmeleri altında elde edilen serbest yüzey sıcaklık profilleri boyutsuzlaştırılmış ve karşılaştırmalı biçimde Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Marangoni konveksiyon hareketinin gözlemlendiği, $Ar=1$ ve $T_r=315 \text{ K}$ parametrelerine sahip silikon yağının, değişen yerçekimi ivmelerine bağlı serbest yüzey sıcaklık profillerinin karşılaştırılması

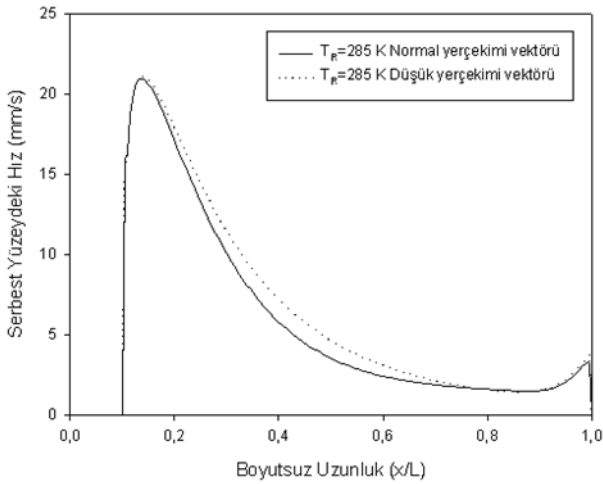
Şekil 3 için yapılan yorumlar, Şekil 4 için de geçerlidir. Ancak serbest yüzeyin sıcaklığı ortamdaki daha düşük olduğunda, bu durum ortamdaki serbest yüzeye yönlü bir ısı geçişini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, Şekil 4'teki sıcaklık profillerinin eğimi sıcaklık artışı yönündedir. Ayrıca, $T_r = 315 \text{ K}$ ortam sıcaklığındaki çözümlemede, yerçekimi ivmesinin etkisiyle oluşan sıcaklık profilleri arasındaki fark, $T_r = 285 \text{ K}$ ortam sıcaklığındaki çözümlemede gözlenen farktan daha büyüktür. Bunun nedeni, yüksek ortam sıcaklığında sıvının taşınım etkisinin artması ve ortamdaki sıvıya doğru ısı geçişinin daha belirgin olmasıdır.

$T_r=315 \text{ K}$ ve $T_r=285 \text{ K}$ ortam sıcaklıklarında, normal yerçekimi koşullarında oluşan serbest yüzey sıcaklık profilleri Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafik, farklı ortam sıcaklıklarının sıcaklık profili üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. $T_r = 315 \text{ K}$ ortam sıcaklığında elde edilen profil, $T_r=285 \text{ K}$ durumundakine göre daha yüksek değerlerdedir. Bu fark, $T_r=285 \text{ K}$ durumunda akışkandan ortama doğru ısı kaybı, $T_r=315 \text{ K}$ durumunda ise ortamdaki akışkana doğru ısı kazancı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Normal yerçekimi koşullarında Marangoni konveksiyon hareketinin gözlemlendiği $Ar=1$ parametresindeki silikon yağı için, $T_r=285$ K ve $T_r=315$ K ortam sıcaklıklarında elde edilen serbest yüzey sıcaklık profillerinin karşılaştırılması.

$T_r=285$ K ve $Ar=1$ parametrelerinde, normal ve mikro yerçekimi koşullarında yapılan çözümlemelerde, serbest yüzeyde oluşan hız profilleri Şekil 6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6. Marangoni Konveksiyon hareketinin gözlemlendiği, $Ar=1$ ve $T_r=285$ K parametrelerine sahip silikon yağının, değişen yerçekimi ivmelerine bağlı serbest yüzey hız profillerinin karşılaştırılması

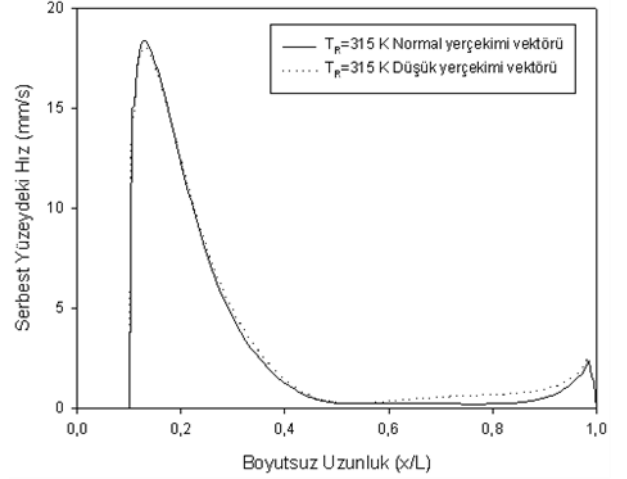
Serbest yüzeydeki sıcaklık profili, Marangoni konveksiyonun oluşumunda belirleyici bir etkidir. Bu bağlamda, ısıtıcı ve soğutucu duvar bölgelerinde bu tür hareketler daha belirgin hâle gelmektedir. Akışkanın serbest yüzeyindeki hız değeri, Denklem (1) ile tanımlandığı üzere, sıcaklık gradyanine bağlı olarak değişmektedir.

$$V_{Ma} = \frac{\sigma_T \Delta T}{\mu} \quad (1)$$

Denklem (1) incelendiğinde, sıcaklık gradyanı ile yüzey hızı arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, sıcaklık gradyanının yüksek olduğu bölgelerde, yüzey hızı da maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu bağlamda, Şekil 6'da gözlenen hız profillerindeki iki belirgin pik noktası, sıcaklık profillerindeki maksimum sıcaklık gradyanlarına karşılık gelmektedir. İki belirgin pik noktası arasında yer alan alanlar, sıcaklık dağılımının daha homojen olduğu bölgeler olarak

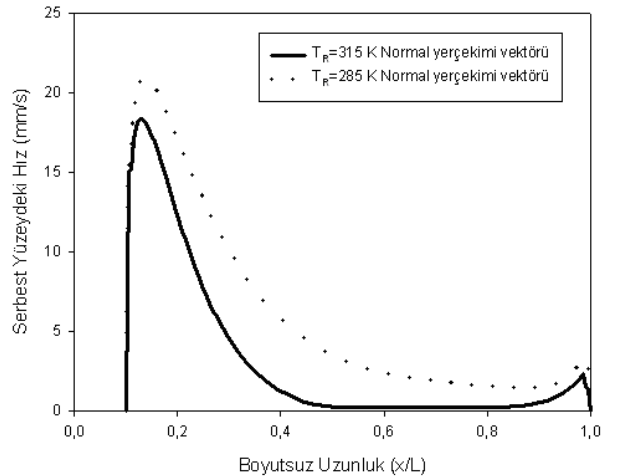
değerlendirilmektedir. Şekil 3'te yerçekimi vektörlerinin sıcaklık profilleri üzerindeki etkiye benzer bir etki Şekil 6'da hız profilleri üzerinde de görülmektedir.

Ortam sıcaklığı $T_r=315$ K ve boyutsal oranı $Ar=1$ olan modelin sayısal çözümlemelerinde, mikro ve normal yerçekimi koşullarında elde edilen serbest yüzey hız profilleri Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 7. Marangoni Konveksiyon hareketinin gözlemlendiği, $Ar=1$ ve $T_r=315$ K parametrelerine sahip silikon yağının, değişen yerçekimi ivmelerine bağlı serbest yüzey hız profillerinin karşılaştırılması

Daha önce de belirtildiği gibi, serbest yüzey hızı Denklem (1)'e bağlıdır ve $T_r = 315$ K gibi yüksek ortam sıcaklığı koşullarında, ortamdaki akışkana net bir ısı akışı gerçekleşmektedir. Bu olay, yüzey gerilim sıcaklık katsayısının (σ_T) azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, Şekil 7'deki pik noktalar dışında kalan bölgelerde serbest yüzey hızları sıfıra yakın değerlere düşmektedir.



Şekil 8. Marangoni konveksiyon hareketinin gözlemlendiği, $Ar=1$, $T_r=315$ K ve $T_r= 285$ K parametreleri için, normal yerçekimindeki silikon yağının serbest yüzey hız profillerinin karşılaştırılması

$T_r=315$ K ve $T_r=285$ K ortam sıcaklık değerleri için, normal yerçekimi koşullarında elde edilen serbest yüzey hız profilleri Şekil 8'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu iki durumda, sıvı ile ortam arasındaki ısı geçiş yönü farklıdır: $T_r = 285$ K durumunda sıvıdan ortama doğru ısı kaybı olurken, $T_r = 315$ K durumunda ortamdaki sıvıya doğru ısı kazancı gerçekleşmektedir.

Bu fark, elde edilen serbest yüzey hız profillerinde belirgin bir farklılık yaratmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Marangoni (yüzey gerilimli) konveksiyon hareketinin akışkanın serbest yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık ve hız dağılımları, farklı ortam sıcaklıkları ve yerçekimi ivmeleri altında ANSYS Fluent programı ile sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Marangoni konveksiyon, akışkanın serbest yüzeyinde sıcaklık gradyanına bağlı olarak gelişmekte ve özellikle ısıtıcı ve soğutucu yüzeylerin yakınında maksimum etki göstermektedir. Bu durum, serbest yüzeydeki sıcaklık dağılımının doğrudan akışkanın hız profiline yansıtıldığını ortaya koymuştur.

Düşük yerçekimi ivmesi ($1,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$) ile yapılan çözümlerlerde, serbest yüzeydeki sıcaklık profilleri, normal yerçekimi koşullarına göre daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Bu durum, düşük yerçekimi ortamında taşınım etkisinin kalkmasına ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı geçişinin baskın hale gelmesine bağlanmıştır.

Normal yerçekimi koşullarında ise sıvı yüzeyinden havaya ısı iletimi ve taşınımı birlikte gerçekleşmiş, bu da serbest yüzeydeki sıcaklık değerlerinin daha düşük olmasına neden olmuştur. Aynı durum, serbest yüzeydeki hız profillerinde de görülmektedir.

Ortam sıcaklığının 285 K'den 315 K'e çıkarılmasıyla birlikte, ısı geçiş yönü tersine dönmüş; bu sefer ortamdan sıvı yüzeyine ısı transferi gerçekleşmiştir. Bu geçiş, hem sıcaklık hem de hız profillerinde gözle görülür değişikliklere neden olmuştur. Özellikle 315 K ortam sıcaklığında, serbest yüzeydeki yüzey gerilimi gradyanı azalmış ve hız profillerinde pik bölgeler dışında kalan alanlarda hızlar sıfıra yaklaşmıştır.

Elde edilen bulgular, Marangoni konveksiyon hareketlerinin hem yerçekimi vektörüne hem de ortam sıcaklığına duyarlı olduğunu, bu parametrelerdeki değişimlerin serbest yüzeydeki sıcaklık ve hız profillerini etkilediğini göstermektedir.

Bu çalışma, yüzey gerilim etkili akışların anlaşılmasına yönelik veriler ortaya koymuştur. Gelecek çalışmalarda, farklı akışkan türleri, daha geniş sıcaklık aralıkları ve farklı boyutsal oranların kullanılmasıyla yapılacak olan analizlerle yüzey gerilimli konveksiyonun daha kapsamlı bir şekilde araştırılması önerilmektedir.

Kaynakça

Ostrach, S. (1977). Motion induced by capillarity. *Physico-Chemical Hydrodynamics*, 2, 571–589.

Ostrach, S. (1979). Convection due to surface tension gradients. *COSPAR Space Research*, 19, 563–570.

Ostrach, S. (1982). Low-gravity fluid flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 14, 313–345.

Chun, C. H., & Wuest, W. (1978). A micro gravity simulation of Marangoni convection. *Acta Astronautica*, 6(8), 681.

Schwabe, D., Scharmann, A., Preisser, F., & Oder, R. (1978). Experiments on surface tension driven flow in floating zone melting. *Journal of Crystal Growth*, 43, 305–312.

Preisser, F., Schwabe, D., & Scharmann, A. (1983). Steady and oscillatory thermocapillary convection in liquid columns with free cylindrical surface. *Journal of Fluid Mechanics*, 126, 545–567.

Kamotani, Y., Lee, J. H., Ostrach, S., & Pline, A. (1992). An experimental study of oscillatory thermocapillary convection in cylindrical containers. *Physics of Fluids A*, 4, 955–962.

Kamotani, Y., Ostrach, S., & Lin, J. (1995). An experimental study of free surface deformation in oscillatory thermocapillary flow. *Acta Astronautica*, 28(9), 23–30.

Gupta, N. R., Haj-Hariri, H., & Borhan, A. (2006). Thermocapillary flow in double-layer fluid structures: An effective single-layer model. *Journal of Colloid and Interface Science*, 293, 158–170.

Selver, R., & Katı, E. (2011). Transition from the steady to the oscillatory thermocapillary convection in a rectangular container under various cold wall temperature effects. *Microgravity Science and Technology*, 23, 277–285.

Mielniczuk, O., Millet, O., Gagneux, G., & El Youssoufi, M. S. (2018). Characterisation of pendular capillary bridges derived from experimental data using inverse problem method. *Granular Matter*, 20, 14–23.

Sequeira, Y., Maitra, A., Pandey, A., & Jung, S. (2022). Revisiting the NASA surface tension driven convection experiments. *npj Microgravity*, 8(5).

Blanco, I. J., Salgado Sánchez, P., Gligor, D., Borshchak Kachalov, A., & Arshadi, A. (2025). Microgravity control of a free surface in elliptical containers via thermocapillary flows. *Microgravity Science and Technology*, 37(10).

Katı Sunay, E. (2013). Farklı parametreler altında kararlı ve osilasyonlu yüzey gerilim konveksiyon hareketlerinin incelenmesi (Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi). S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6th ed.). Wiley.

Selver, R. (2005). Experiments on the transition from the steady to the oscillatory Marangoni convection of a floating-zone under various cold wall temperatures and various ambient air temperature effects. *Microgravity Science and Technology*, 17(4), 25–35.

Siyanürün *Pseudomonas putida* ile Biyolojik Gideriminde Besiyeri Ortamının Etkisi

Hasan Çiftçi

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3306-783X),
hasanciftci@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14.04.2025 ve Kabul Tarihi 14.07.2025)

(DOI: 10.35354/tbed.1675746)

ATIF/REFERENCE: Çiftçi, H. (2025). Siyanürün *Pseudomonas putida* ile Biyolojik Gideriminde Besiyeri Ortamının Etkisi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 15(2), 33-39.

Öz

Pek çok endüstri sektöründe siyanür içeren teknolojik süreçler kullanılmaktadır ve bunun sonucu olarak çeşitli endüstrilerin atığı olarak da çevrede siyanür ve türevlerine rastlanılmaktadır. Dünyada üretilen hidrojen siyanür'ün %13'ü sodyum siyanür (NaCN) şeklinde altın ve gümüş madenciliğinde kullanılırken %87'si diğer endüstri kollarında kullanılmaktadır. Metal temizleme, metal kaplama, metal işleme, otomobil parçaları üretimi, çelik sertleştirme, altın ve gümüş madenciliği, fotoğrafçılık, tarım ilaçları ve plastikler gibi çeşitli endüstriyel alanlarda siyanür içeren atık sular oluşmaktadır. Siyanür, canlılar üzerinde oldukça toksik etkiye sahiptir. Bu bakımdan siyanür ve bileşiklerinin arıtımı ve siyanür ile kirlenmiş alanların iyileştirilmesi gereklidir. Siyanür ve bileşiklerinin arıtımı/bozundurulması için çeşitli kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak biyolojik bozunma yöntemleri, süreç sonunda ortamda herhangi bir toksik madde kalmaması ve ilave bir bozundurmaya gerek duyulmaması açısından avantajlıdır. Bu çalışmada, *Pseudomonas putida* bakterisi kullanılarak siyanürün bozundurulması araştırılmıştır. Bu kapsamda besiyeri ortamının (Luria-Bertani (LB) ve Nutrient Broth (NB)) ve siyanür derişiminin (100–400 mg/L) *Pseudomonas putida* bakterisinin siyanür bozundurmasına etkisi incelenmiştir. Başlangıç siyanür konsantrasyonunun artışıyla siyanür giderim verimi azalmıştır. En yüksek siyanür giderim verimleri 100 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda olup, siyanüre adapte edilmiş bakteriyi içeren 1,25 g/L LB besiyerinde %97,35 siyanür giderimi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siyanür, Biyolojik bozundurma, Bakteri, *Pseudomonas putida*.

Effect of Growth Medium on Biological Degradation of Cyanide by *Pseudomonas putida*

Abstract

In many industrial sectors, technological processes involving cyanide are used. As a result, cyanide and its derivatives are encountered in the environment as wastes of various industries. While 13% of the hydrogen cyanide produced in the world is used in gold and silver mining in the form of sodium cyanide (NaCN), 87% is used in other industries. Wastewater containing cyanide occurs in a variety of industrial sectors, including metal cleaning, metal plating, metalworking, automobile parts manufacturing, steel hardening, gold and silver mining, photography, pesticides and plastics. Cyanide has a highly toxic effect on living organisms. In this regard, treatment of cyanide and its compounds and remediation of cyanide-contaminated environments are necessary. Various chemical and biological methods are used for the treatment/degradation of cyanide and its compounds. However, biological degradation methods are advantageous in that they do not leave any toxic substances in the environment at the end of the process and do not require additional degradation. In this study, the degradation of cyanide by *Pseudomonas putida* was investigated. In this context, the effects of the growth medium (Luria-Bertani (LB) and Nutrient Broth (NB)) and cyanide concentration (100–400 mg/L) on cyanide degradation by *Pseudomonas putida* bacteria were studied. Cyanide degradation efficiency decreased with increasing initial cyanide concentration. The highest cyanide removal efficiencies were obtained at an initial cyanide concentration of 100 mg/L. Under these conditions, 97.35% of cyanide removal was achieved in 1.25 g/L LB growth medium containing *Pseudomonas putida* bacteria adapted to cyanide.

Keywords: Cyanide, Biological degradation, Bacteria, *Pseudomonas putida*.

1. Giriş

Siyanür, 1 C ve 1 N atomunun 3 bağ yaparak oluşturduğu anyonik özellikte ve alkali katyonlarla tuz meydana getiren ve çeşitli metal katyonları ile kompleks iyonlar oluşturabilen zehirli bir kimyasaldır. Sodyum, potasyum ve kalsiyum ile oluşturduğu siyanür tuzları oldukça zehirlidir ve suda kolayca çözünür. Asitlerin etkisiyle hidrojen siyanür (HCN) gazı açığa çıkarılır. Kadmiyum, bakır ve çinko ile oluşturdukları zayıf ya da orta kuvvetli kompleksler zayıf-asitte ayrışabilir siyanür olarak tanımlanır (Boikess vd., 1986; Skoog vd., 1995).

Cevherlerden altın ve gümüşün kazanımında uygulanacak yöntemin seçimini; cevherin mineralojik yapısı, altın tanelerinin boyutu ve gang mineralleri belirlemektedir. Serbest ve iri boyutta altın içeren cevherlerden altın kazanımında gravite yöntemleri ile yüksek verimler elde edilebilmektedir. Ancak bu tür cevherlerin giderek azalması nedeniyle ince boyutta altın içeren cevherlerden altın kazanımında hidrometalurjik yöntemlerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu tür cevherlerden altın ve gümüşün alkali siyanür çözeltiğinde çözündürülerek kazanıldığı siyanür liçi, uzun yıllardan beri yaygın olarak uygulanan bir süreçtir (Marsden ve House, 2006).

Siyanürün altın üretim tesislerinde kullanılmasının oluşturduğu olumsuzlukların bir bölümü, taşınması sırasında ya da tesis içi kazalardan kaynaklanabilmektedir. Tesis içi kazalar ise siyanür içeren akışkanların işlenmesi ya da işletme içinde borularla iletilmesinde boru ya da bağlantılarda ortaya çıkan hasarlar ya da atık barajlarında sızma, taşma ya da yıkılma ile siyanürün ve ağır metal içeren pülpün çevreye yayılmasından kaynaklanmaktadır. Böylece, işletmeye yakın alanlarda içme ve sulama suyu kaynakları olumsuz etkilenmektedir (Belay vd., 2024). Siyanür liçi ile altın kazanımında bir diğer tehlikeli durum da süreç sonunda oluşan atık çamur ve atık suda serbest siyanürün hidrojenle birleşip HCN gazı oluşturması, bunun da havada hızla yayılmasıyla ortama dağılmasıdır. Bu riskler nedeniyle siyanür tuzlarının ambalajlanması, taşınması ve depolanmasında uyulacak kurallara bir düzen getirilmesi için dünyanın her yerinde ulusal ve uluslararası komisyonlar kurularak çalışmalar yapılmakta ve standartlar oluşturulmaya çalışılmaktadır (Çabuk, 2005). Siyanür, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından bilinen en toksik maddelerden biri olarak tanımlanmıştır (Chin ve Calderon, 2000).

Atık suda eğer siyanür bileşikleri bulunuyorsa, atık su çevreye deşarj edilmeden önce mutlaka siyanür konsantrasyonu <1 mg/L düzeyine getirilmelidir (Raybuck, 1992). Atık sulardaki siyanürü bozundurmak için birçok farklı (doğal, kimyasal ve biyolojik) yöntem geliştirilmiştir (Mudder vd., 2001a; Mudder vd., 2001b; Alvillo-Rivera vd., 2021). Uygun yöntemin seçiminde göz önüne alınması gereken en önemli parametreler; atık suda bulunan siyanür bileşikleri ve derişimleri ile bunlar için belirlenen yasal sınırlamalardır (Priyadarshan, 2000).

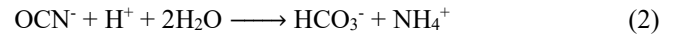
Doğal bozundurma, ekonomik açıdan az maliyetli bir yöntem olmasına karşın bozunma sürecinin çok yavaş olması ve mevsimsel farklılıklardan kolay etkilenmesi sebebiyle istenen oranda bozundurma elde edilememektedir. Bu nedenle kimyasal bozundurma yöntemleri ile desteklenmektedir. Atık sulardan siyanür gideriminde çoğunlukla kimyasal arıtım yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak kimyasal arıtım yöntemlerinde yan ürün olarak toksik bileşikler oluşabilmektedir. Ayrıca kimyasal yöntemlerin yüksek maliyetli olması da bir dezavantajdır. Biyolojik bozundurma yöntemleri ise hem siyanürün hem de

kimyasal arıtımla oluşabilecek diğer toksik yan ürünlerin dönüşümü ve bozundurulmasında alternatif potansiyel bir süreçtir (Çabuk, 2005; Raybuck, 1997; Knowles ve Bunch, 1986; Gurbuz vd., 2009; Botz, 2001).

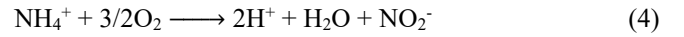
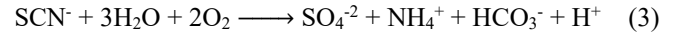
Siyanür içeren maden atık sularında biyolojik bozundurma çeşitli tepkimelerle gerçekleşmektedir. Bu tip tepkimelerde, atık suda bulunan eser metaller biyokütle tarafından sorbsiyon veya çözünemeyen hidroksitler, karbonatlar ve sülfidler formunda çöktürülerek uzaklaştırılırlar (Mudder vd., 2001a; Mudder vd., 2001b; Mudder ve Whitlock, 1984; Mudder, 1998). Mikroorganizmalar aerobik veya anaerobik şartlarda siyanürü bozundurabilirler (Rangel-González vd., 2025). Bazı mikroorganizmalar siyanürü C ve N kaynağı olarak kullanırlar. Ayrıca sahip oldukları metabolik enzimler siyanürü metabolize ederler ve böylece siyanürü bozundururlar. Siyanür, aerobik biyolojik arıtma proseslerinde *Pseudomonas* sp., *Alcaligenes* sp., *Achromobacter* sp. gibi mikroorganizmalar tarafından siyanata dönüştürülür (Eşitlik 1).



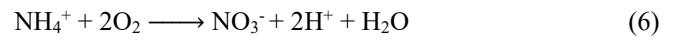
Zayıf-asitte ayrışabilir siyanür, biyokütleyle adsorpsiyonla uzaklaştırılabilir. Demir siyanür gibi güçlü kompleks siyanürler biyolojik olarak arıtmaya uygun değildirler. Ancak çöktürme ve adsorpsiyon ile bir kısmı uzaklaştırılabilir (Mudder vd., 2001a; Mudder vd., 2001b). Siyanat, biyolojik olarak amonyak ve bikarbonata dönüştürülür (Eşitlik 2).



Tiyosiyanat ise aerobik şartlarda amonyak, sülfat ve bikarbonata dönüşür (Eşitlik 3-5).



Nitrifikasyon prosesinin tüm reaksiyon stokiyometrisi ise;



şeklinde.

Biyolojik bozundurma; tasarımının basit ve daha az kontrol gerektirmesi, diğer arıtım süreçlerine göre reaktif maliyetlerinin düşük olması, genel olarak hemen hemen tüm siyanür formlarını gidermesi, ağır metalleri adsorpsiyon ve çöktürme ile uzaklaştırması, süreç sonunda giderim değerlerinin alıcı ortama deşarjı için kabul edilebilir düzeyde olması gibi avantajları olan bir prosestir. Bunların yanı sıra sıcaklığa bağlı olması ve siyanürün geri kazanılamaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Mudder vd., 2001a; Mudder vd., 2001b).

Bu çalışmada, *Pseudomonas putida* ile siyanür giderimine farklı besiyeri ortamlarının ve siyanür etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bakteri ve Gelişme Ortamı

Bu çalışmada kullanılan *Pseudomonas putida* (DSM-291), mikrobiyoloji kültür koleksiyonu DSMZ (Almanya Mikroorganizmalar ve Hücre Kültürü Koleksiyonu)'den temin edilmiştir. Bakterinin geliştirilmesi için Luria-Bertani (LB) besiyeri ortamı kullanılmıştır. Hazırlanan LB sıvı besiyeri, bakteri

ekimi (aşılması) yapılmadan önce otoklavda 121 °C sıcaklık ve 1 atm. basınçta 15 dk sterilize edilmiştir. Daha sonra steril şartlarda ekim yapılmış ve bakteri kültürü çalkalamalı inkübatörde 125 d/dk'da ve 30 °C'de 7 gün süreyle inkübe edilmiştir. Ayrıca çoğalma sağlanan stok kültürden, yeni hazırlanan steril besiyeri ortamlarına ekimler yapılarak bakterinin alt kültürleri oluşturulmuştur.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Siyanür bozundurma deneyleri 250 ml'lik erlenmeyerlerde 150 ml çalışma hacminde yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar, daha başlangıç siyanür derişimi olarak 100 ile 400 mg/L aralığında sentetik siyanür solüsyonu hazırlanarak yapılmıştır. Siyanür solüsyonu hazırlamak için analitik saflıkta NaCN (Merck) ve distile su kullanılmıştır. Siyanür konsantrasyonunun ve bakterinin gelişme ortamlarının (LB ve NB besiyerleri) *Pseudomonas putida*'nın siyanür giderim performansına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar boyunca hidrojen siyanür oluşumunu en aza indirmek için çözeltinin pH'ı, 10 M NaOH kullanılarak 10,5 ile 11 arasında ayarlanmıştır. Çözeltinin pH'ı Eutech marka pH 700 model pH metre ile belirlenmiştir. Besiyeri ve 100-400 mg/L aralığında siyanür derişimlerini içeren ve %10 bakteri aşılama yapılmış erlenmeyerler, 30 °C ve 125 d/dk'ya ayarlanmış çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiştir. Ayrıca bakteri içermeyen kontrol testleri de (100 ve 400 mg/L) gerçekleştirilmiştir.

2.3. Analiz Yöntemleri

Erlenmeyerlerden deneyler boyunca steril şartlarda belirli sürelerde 4 ml numune alınmıştır. Alınan numuneler Nüve marka NF800 model santrifüj cihazında 5 dk boyunca 4.100 d/dk hızda santrifüj edilmiştir. Daha sonrasında numunelerde pH ölçümleri ve WAD siyanür analizleri gerçekleştirilmiştir. Her numune alımında çözeltinin pH'ı, 10 M NaOH kullanılarak 10,5 ile 11 arasında ayarlanmıştır.

Siyanür analizi, pikrik asit ölçüm yöntemi ile yapılmıştır. Serbest siyanür ve zayıf-asitte ayrışabilir siyanür, pikrik asitle reaksiyona girerek UV Spektrofotometre cihazında 520 nm dalga boyunda kolorimetrik olarak ölçülebilen turuncu bir renk vermektedir. Çözünmüş alkali metal pikrat, siyanür ile izo-purpurik asidin renkli tuzuna dönüştürülmekte ve böylece konsantrasyonu ölçülebilmektedir. Tüm kolorimetrik yöntemlerde olduğu gibi, karşılaştırma amacıyla standartlar hazırlanmış ve kalibrasyon eğrileri (belirlilik katsayısı $R^2=0,99$) oluşturulmuştur. Deney tüplerine pikrik asit çözeltisi ve santrifüj edilmiş numuneler alındıktan sonra 30 dk boyunca ısıtıcı manyetik karıştırıcıda yaklaşık 95 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilerek siyanürün pikrik asitle tepkimesi sağlanmıştır. Isıtma işleminden sonra deney tüpleri soğuk su banyosunda bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Numuneler UV Spektrofotometre cihazında ölçüm kuvvetlerine konularak 520 nm'de absorbans değerleri belirlenmiştir.

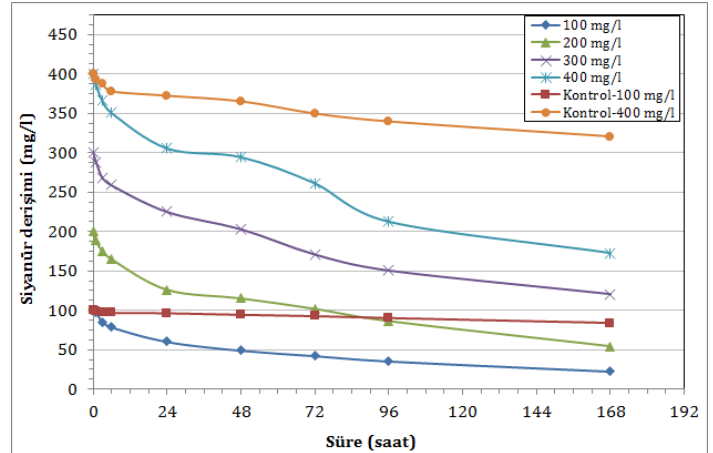
Protein tayininde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan Bradford yöntemi kullanılmıştır. Bradford protein tayin yöntemi, Coomassie Brilliant Blue G-250 boya molekülünün, protein varlığında ve asidik ortamda, absorbans kaymasına dayanır. Bu absorbans kayması daha kırmızı formdaki olan boyanın, protein bağlanmasıyla mavi hale dönüşüne dayanır. Burada boya öncelikle eşlenmemiş elektronlarını proteinin iyonlaşabilen gruplarına vererek proteinin hidrofobik bölgelerini ön plana çıkarır. Bu esnada proteinin hidrofobik bölgeleri, van der Waals kuvvetleriyle boyanın apolar uçlarına bağlanarak, oluşan mavi

kompleksi sağlamlaştırır. Artan protein miktarıyla, oluşan mavi renk artar. Mavi renkli kompleksin maksimum dalgaboyu 595 nm'de elde edilir (Kaygusuz, 2011). Protein tayininde Coomassie (Bradford) protein test kiti kullanılmıştır (Thermo Fisher, 2021).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

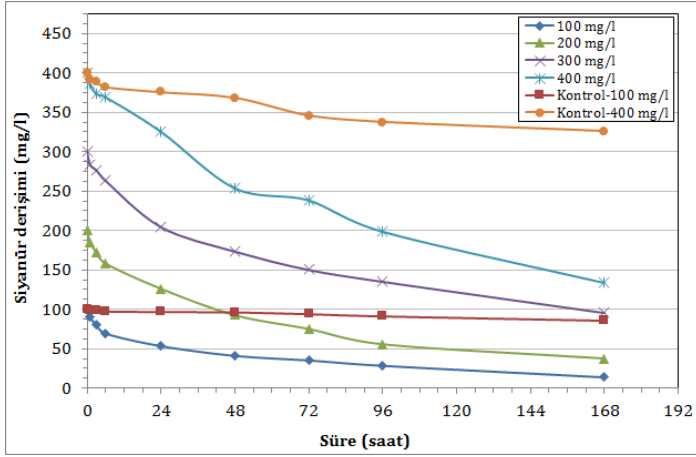
3.1. Luria-Bertani (LB) Besiyeri Ortamının Etkisi

Luria-Bertani (LB) besiyeri gelişme ortamının bakterinin siyanür giderimine etkisini belirlemek için yapılan çalışmalar kapsamında, 25 g/L miktarında LB besiyeri kullanılarak farklı başlangıç siyanür derişimlerinde (100–400 mg/L) *Pseudomonas putida* (DSM-291) kültürünün siyanür giderim sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Başlangıç siyanür konsantrasyonu arttıkça siyanür giderimi azalmıştır. Başlangıç siyanür konsantrasyonu 100 mg/L ile yapılan deneyde en yüksek siyanür giderim verimi (%) elde edilmiş olup, bu deneyde 168 saat sonunda siyanür derişimi 22,7 mg/L olarak ölçülmüştür. Aynı şartlarda bakteri içermeyen kontrol testinde ise 168 saat sonunda siyanür derişimi 83,6 mg/L'dir. Bu testte başlangıçta 100 mg/L siyanür içeren deneyde 168 saat sonunda doğal bozunma sonucu %16,4 siyanür bozunması gerçekleşirken, siyanürün biyolojik bozundurulması ile %77,7 giderim sağlanmıştır. LB ortamında başlangıç siyanür konsantrasyonunun en yüksek olduğu 400 mg/L'de ise deney sonunda siyanür giderim verimi %56,9'dur (Şekil 1). Bu bakımdan ortamda siyanür konsantrasyonunun artışıyla siyanür gideriminin azalmasının nedeni olarak, bakterinin gelişiminin olumsuz etkilenmesi ve buna bağlı olarak bakterinin siyanür bozundurma etkinliğinin ve performansının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



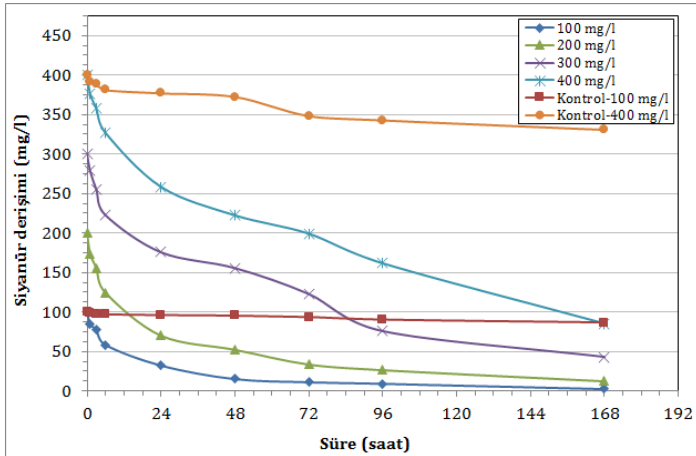
Şekil 1. *P. putida* ile 25 g/L LB besiyeri ortamında bozundurma deneyleri boyunca siyanür konsantrasyonunun değişimi

Literatürde bakterinin gelişmesi için önerilen miktar olan litrede 25 g LB besiyeri ortamı; 10 g/L tripton, 5 g/L maya özü ve 10 g/L NaCl içermektedir. Kültür ortamında bakteri için tripton azot ve amino asit kaynağı iken, maya özü ise hem azot hem de karbon kaynağı olarak yer almaktadır. Siyanür içeren ortamda bakterinin gelişimini desteklemek amacıyla ortama eklenen LB'nin bakteriler tarafından gelişimleri/üremeleri için karbon ve azot kaynağı olarak kullanılırken, ortamdaki siyanürü ise karbon ve azot kaynağı olarak bakterilerin yeterince kullanmadıkları kanaatine varılmıştır. Bu nedenle önerilen miktarın %20'si olarak 5 g/L LB içeren ortamda deneyler yapılmıştır. 5 g/L LB içeren ortamda farklı başlangıç siyanür derişimlerinde (100–400 g/L) siyanür giderim sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. *P. putida* ile 5 g/L LB besiyeri ortamında bozundurma deneyleri boyunca siyanür konsantrasyonunun değişimi

5 g/L miktarında LB içeren ortamda 100 mg/L siyanür derişiminde 168 saat sonunda %86,4 bakteriyel siyanür giderimi sağlanırken, abiyotik şartlarda ise siyanür bozunması %14,5'tir. 5 g/L LB ortamında bakteri içeren tüm deneylerde 25 g/L LB ortamına göre daha yüksek siyanür giderimleri gerçekleşmiş ve deney sonunda siyanür giderimlerinde %8,26-9,72 aralığında artış sağlanmıştır. Ayrıca daha düşük miktarda LB içeren besiyeri ortamında da siyanür bozundurma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler öncesinde *Pseudomonas putida* kültürünün 1,25 g/L LB besiyeri ve kademeli olarak 10 mg/L ve 20 mg/L siyanür derişimlerini içeren ortamlarda geliştirilmesi ile bakterinin siyanüre adaptasyonu (uyum sağlaması) çalışmaları yapılmıştır. Bakterinin adaptasyon çalışmaları sonrasında 1,25 g/L LB besiyeri ortamında 100-400 mg/L başlangıç siyanür derişimlerinde siyanür giderim sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.

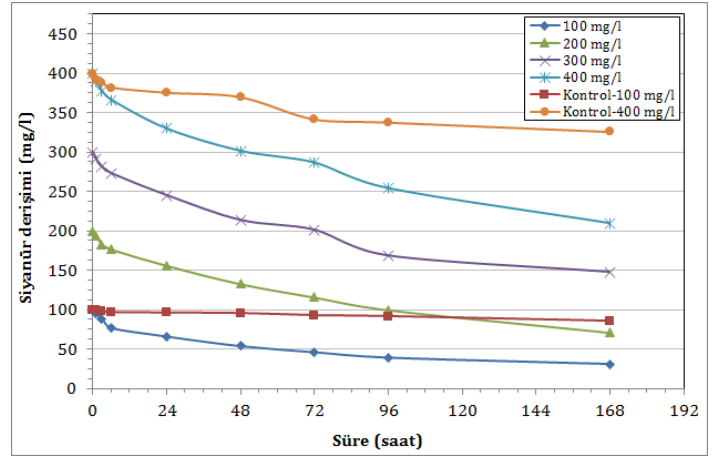


Şekil 3. *P. putida* ile 1,25 g/L LB besiyeri ortamında bozundurma deneyleri boyunca siyanür konsantrasyonunun değişimi

Şekil 3'den de görüldüğü üzere, başlangıç siyanür derişimi 100 mg/L'de bakteri kullanılarak yapılan siyanür bozundurma deneyinde 168. saat sonunda siyanür konsantrasyonu 2,65 mg/L'ye düşerken, aynı şartlarda bakteri içermeyen deneyde ise deney sonunda siyanür derişimi 86,4 mg/L'dir. Bakterinin siyanüre adaptasyonunun ve düşük miktarda (1,25 g/L) LB gelişme ortamının kullanılmasının bakterinin siyanür bozundurma etkinliğini arttırdığı belirlenmiştir. Başlangıç siyanür derişimi 400 mg/L içeren deneyde %78,7 siyanür giderimi elde edilmiştir. Aynı siyanür konsantrasyonunda 25 g/L LB ve 5 g/L LB içeren ortamlarda siyanür giderim verimleri sırasıyla %56,9 ve %66,6'dır (Şekil 1-3).

3.2. Nutrient Broth (NB) Besiyeri Ortamının Etkisi

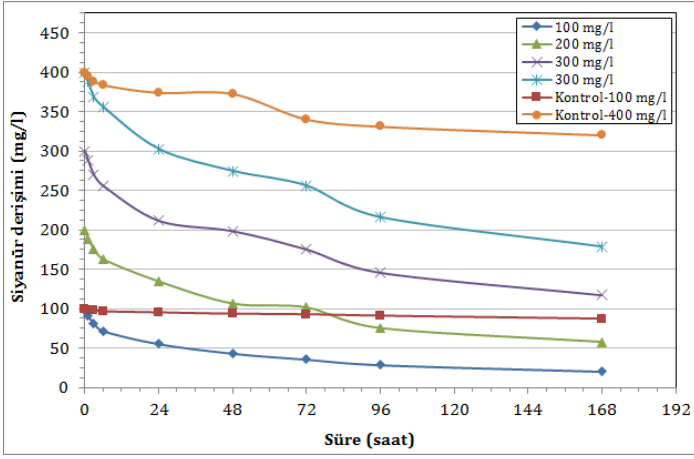
Nutrient Broth (NB) besiyeri; 1 g/L et özü, 2 g/L maya özü, 5 g/L pepton ve 5 g/L NaCl içermektedir ve deneylerde ilk olarak bakterilerin gelişimi için literatürde önerilen miktar olan 13 g/L NB kullanılmıştır. NB besiyeri ortamında 100-400 mg/L başlangıç siyanür derişimlerinde siyanür giderim sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. LB gelişme ortamında yapılan deneylerdekine benzer şekilde siyanür konsantrasyonu artışıyla siyanür giderim verimi azalmıştır. Örneğin 100 mg/L siyanür derişiminde deney sonunda %69 siyanür giderimi sağlanırken, 400 mg/L siyanür derişiminde giderim %47,6'dır. Şekil 1 ve Şekil 4'den görüldüğü üzere, LB gelişme ortamına kıyasla NB ortamında deney boyunca daha yüksek siyanür derişimleri ölçülmüş olup, bu bakımdan NB ortamında siyanür giderimi verimleri daha düşüktür. NB gelişme ortamının LB ortamına göre daha fazla bileşeni içermesi, bakterinin gelişimi/üremesi için gerekli besin ve vitaminleri bu bileşenlerden yeterince sağlaması nedeniyle NB ortamında bakteri tarafından siyanür bozundurmasının/yıkımının düşük olduğu kanaati oluşmuştur.



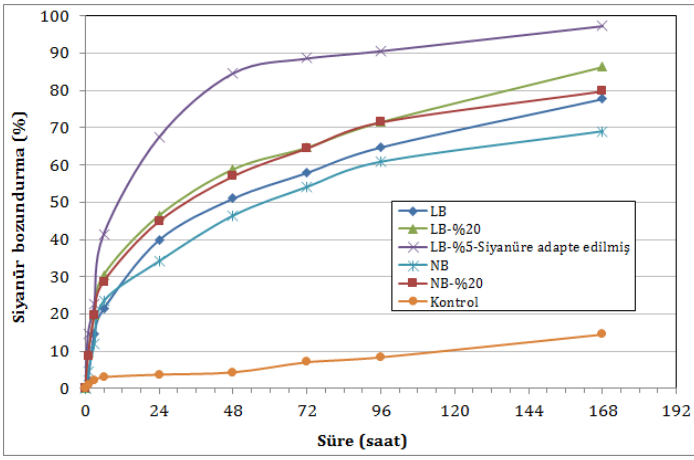
Şekil 4. *P. putida* ile 13 g/L NB besiyeri ortamında bozundurma deneyleri boyunca siyanür konsantrasyonunun değişimi

NB miktarı %20 kullanılarak litrede 2,6 g NB besiyeri ortamında ayrıca deneyler yürütülmüştür. Bu deneysel çalışmalardan elde edilen siyanür bozundurma sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Bu deneylerde 2,6 g/L NB besiyeri ortamında tüm siyanür derişimleri için 13 g/L NB ortamındakine göre daha yüksek siyanür giderimleri elde edilmesine karşın, %20 LB ile yapılan deneyler ile kıyaslandığında ise siyanür giderim verimleri daha düşüktür (Şekil 2 ve 5). 2,6 g/L NB besiyeri ortamında en yüksek siyanür giderim verimi %79,9 ile başlangıç siyanür derişimi 100 mg/L olan deneyde elde edilmiştir. Aynı şartlarda kontrol deneyinde ise siyanür bozunması %12,8 olup, diğer besiyeri ile yapılan deneylerdekine göre siyanürün doğal bozunması daha düşük gerçekleşmiştir.

LB ve NB gelişme ortamlarında yapılan deneyler sonucunda en yüksek siyanür giderimleri 100 mg/L siyanür derişiminde sağlanmıştır. Bu bakımdan 100 mg/L siyanür derişiminde bakteri kültürünün farklı besin ortamları ve miktarlarında bozundurma etkinliğini kıyaslamak üzere Şekil 6'da siyanür giderim verimleri verilmiştir.



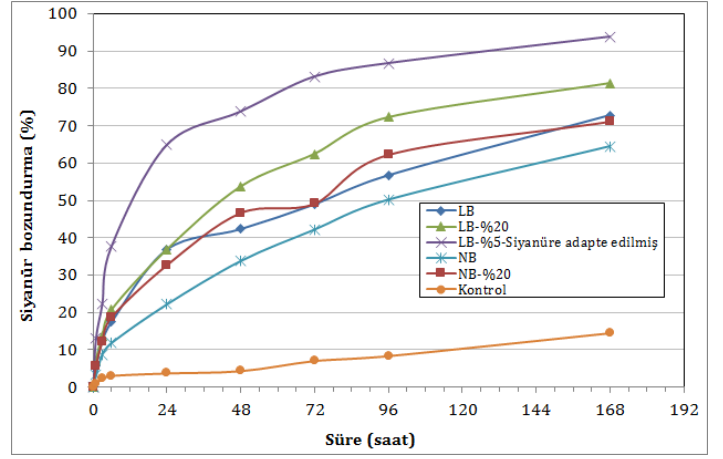
Şekil 5. *P. putida* ile 2,6 g/L NB besiyeri ortamında bozundurma deneyleri boyunca siyanür konsantrasyonunun değişimi



Şekil 6. 100 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda farklı besiyeri ortamları ve miktarlarında siyanür giderim verimleri

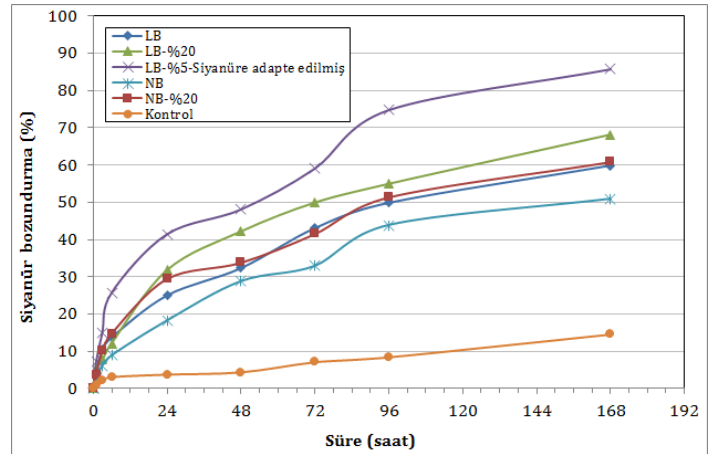
Siyanüre adapte edilmiş bakteri ile 1,25 g/L miktarında (%5 oranında) LB içeren ortamda siyanür gideriminin diğer deneylere göre özellikle 6. saatten sonra oldukça etkin bir şekilde sağlandığı Şekil 6'dan görülmektedir. Ancak bu deneyde 48. saatten sonra siyanür giderim hızı azalmıştır. Ayrıca 1,25 g/L LB içeren gelişme ortamı dışındaki diğer deneylerde birbirine yakın siyanür giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 6).

LB ve NB gelişme ortamlarını içeren diğer siyanür konsantrasyonlarında da (200, 300, 400 mg/L) bakterinin siyanür bozundurma etkinliğini kıyaslamak amacıyla siyanür giderim verimleri Şekil 7-9'da verilmiştir. Bu deneylerde genel olarak LB gelişme ortamında daha yüksek siyanür giderimi sağlanmıştır. Ayrıca LB besiyeri ortamının yanı sıra bakterinin siyanüre adapte edilmesinin de siyanürün biyolojik bozundurulmasında daha etkili olduğu yüksek siyanür derişimi içeren deneylerde de görülmektedir. 200 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda en yüksek siyanür gideriminin sağlandığı siyanüre adapte bakterileri içeren %5 oranında LB içeren ortamda ilk 24 saatte %65'e yakın siyanür giderimi elde edilirken, bakteri içermeyen kontrol deneyinde ise bu sürede sadece %6,54 siyanür bozunması söz konusudur (Şekil 7). Bu süreden sonra bakterinin siyanür bozundurma hızında önemli bir azalma olmuştur. Örneğin %5 LB ortamında 24 saat sonrasında 144 saat sürede sadece %30 siyanür giderimi sağlanabilmiştir.

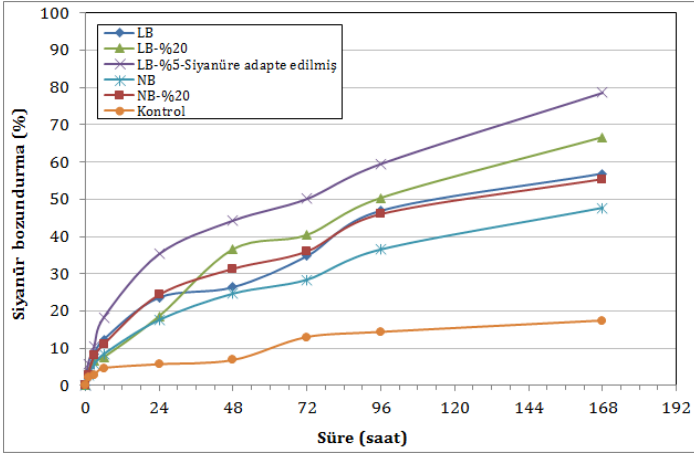


Şekil 7. 200 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda farklı besiyeri ortamları ve miktarlarında siyanür giderim verimleri

Başlangıç siyanür derişiminin 300 mg/L olduğu deneylerde en yüksek siyanür bozundurma verimi 168 saat sonunda %85,7 olarak elde edilmiştir (Şekil 8). Siyanüre adapte bakterilerin kullanıldığı %5 oranında LB içeren ortamda diğer deneylere göre özellikle 72. saatten sonra daha hızlı siyanür giderimi sağlanmıştır. Bakterilerin daha düşük siyanür derişimlerine adapte edilmesinden dolayı özellikle başlangıç siyanür konsantrasyonu 300 mg/L ve 400 mg/L olan deneylerde *Pseudomonas putida* kültürünün yüksek konsantrasyonlardaki siyanürden olumsuz etkilendiği ve bu nedenle siyanür bozundurma etkinliklerinin düştüğü Şekil 8 ve Şekil 9'dan görülmektedir. 400 mg/L siyanür konsantrasyonunda 168 saat sonunda siyanür giderimi %80'lerin altında kalmıştır. Akcil vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, bakterinin gelişimi için %2 peynir altı suyu içeren ortamda 100 ile 400 mg/L aralığındaki siyanür derişimlerinde *Pseudomonas* sp. kültürünün siyanür giderimleri incelenmiştir. Bu çalışmada *Pseudomonas* sp.'nin 100 mg/L siyanür derişimini 45 saat sonunda 1 mg/L'nin altına düşürerek siyanürü etkin şekilde bozundurduğu bildirilmiştir. Ancak 400 mg/L siyanür konsantrasyonun test edilen bakterilerin gelişimini olumsuz etkilediği ve yaklaşık 50 saat sonra bakterisidal etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Akci vd., 2003). Bu çalışmada da buna benzer şekilde özellikle 300 ve 400 mg/L siyanür konsantrasyonlarının farklı gelişme ortamlarında da (LB ve NB) *Pseudomonas putida*'nın siyanür bozundurma performansının olumsuz etkilendiği belirlenmiştir.

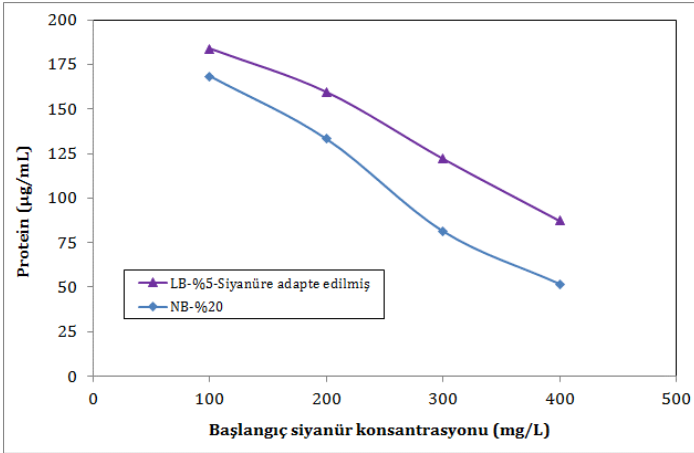


Şekil 8. 300 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda farklı besiyeri ortamları ve miktarlarında siyanür giderim verimleri



Şekil 9. 400 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda farklı besiyeri ortamları ve miktarlarında siyanür giderim verimleri

Siyanürün biyolojik bozundurulmasında *Trametes versicolor* (ATCC 2000801) fungusu kullanılarak yapılan bir çalışmada, 100 mg/L başlangıç siyanür derişiminde 42 saat sonunda yaklaşık %73 siyanür giderimi sağlandığı belirtilmiştir (Çabuk, 2005). Çeşitli mikro algler tarafından siyanürün bozunmasının incelendiği başka bir çalışmada 25 saat boyunca 50 ve 100 mg/L serbest siyanürün biyodetoksifikasyonu gözlenmiştir. *S. obliquus* siyanürü %99 oranında bozundururken, *Chlorella* sp. aynı zaman diliminde siyanürün sadece %86'sını detoksifiye edebildiği bildirilmiştir (Gurbuz vd., 2002; Gurbuz vd., 2004). Literatürde siyanür bozunma hızının *Pseudomonas* sp. türü bakterinin kültür koşullarına ve ortam sıcaklığına bağlı olduğu belirtilmiştir (Akcil vd., 2003). Adams vd. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada dört *Pseudomonas* sp. bakteri kültürü aynı koşullar altında büyütülmüş, ancak bu bakteriler önemli ölçüde farklı siyanür bozundurma hızları sergilemişlerdir ve siyanür bozundurma hızları 1.5-5 mg/L/mg protein/dk arasında değişmiştir. Siyanüre adapte edilmiş bakterileri içeren 1,25 g/L LB ortamında ve 2,6 g/L NB ortamında yapılan deneyler sonunda ölçülen protein değerleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Siyanüre adapte edilmiş bakterileri içeren 1,25 g/L LB ortamında ve 2,6 g/L NB ortamında yapılan deneylerde protein miktarlarının değişimi

Siyanür konsantrasyonunun artışıyla her iki gelişme ortamında da protein miktarlarının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 10). LB ortamında 100 mg/L siyanür konsantrasyonunda yapılan deneyde 183,7 mg/L protein ölçülürken, aynı ortamda başlangıç siyanür konsantrasyonu 400 mg/L'da protein değeri 87,4 mg/L'ye düşmüştür. Bu azalma siyanür artışıyla bakterinin gelişiminin ve

ayrıca enzim üretiminin azaldığını göstermektedir. 1,25 g/L LB ortamında ve 2,6 g/L NB ortamında yapılan deneylerde ortamda protein oluşma hızı 0,31 – 1,09 mg/L/saat aralığında değişmiştir (Şekil 10). Aynı deneylerde siyanür giderim hızları ise 0,48 – 1,87 mg/L/saat aralığında değiştiği gözlenmiştir (Şekil 3 ve 5). *Aerococcus viridans* bakterisi kullanılarak farklı karbon ve azot kaynakları (soya unu, mısır unu, glikoz, gliserol, pepton vb.) içeren besiyeri ortamlarında yapılan deneylerde 200 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda 72 saat sonunda %84,1 ve 150 mg/L başlangıç siyanür konsantrasyonunda 56 saat sonunda %86,7 siyanür giderimi sağlanmıştır. Gelişme ortamındaki azot ve karbon kaynağının *A. viridans*'ın siyanür gideriminde önemli bir etkisinin olduğu gösterilmiştir (Jiang vd., 2022).

4. Sonuç

Bu çalışmada, başlangıç siyanür konsantrasyonunun ve besiyeri ortamının *Pseudomonas putida* bakterisinin siyanür bozundurma performansına etkileri belirlenmiştir.

Farklı besiyeri ortamlarının (LB ve NB) etkisinin incelendiği deneysel çalışmalarda, başlangıç siyanür konsantrasyonu olarak 100 mg/L ile 400 mg/L aralığında çalışılmıştır. Tüm deneylerde başlangıç siyanür konsantrasyonu artışıyla siyanür giderim verimi azalmıştır. LB besiyeri ortamının kullanıldığı deneylerde NB besiyeri ortamına göre daha yüksek siyanür giderimi gerçekleşmiştir. NB besiyeri ortamının LB ortamına göre daha fazla bileşeni içermesi, bakterinin gelişimi/üremesi için gerekli besin ve vitaminleri bu bileşenlerden yeterince sağlaması nedeniyle NB besiyeri ortamında bakteri tarafından siyanür bozundurmasının düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Siyanüre adapte edilmiş *Pseudomonas putida* kültürü ile %5 oranında LB içeren ortamda diğer deneylere göre özellikle 6. saatten sonra daha etkin bir siyanür giderimi sağlanmıştır. En yüksek siyanür giderim verimi; 168 saat sonunda %97,35 ile siyanüre adapte edilmiş bakteriyi içeren 1,25 g/L LB gelişme ortamında elde edilmiştir. Her iki gelişme ortamında besiyeri miktarının azalmasının bakterinin siyanür bozundurmasında olumlu etki yaptığı gözlenmiştir. Siyanür konsantrasyonunun artışıyla her iki besiyeri ortamında da protein miktarlarının azaldığı belirlenmiştir.

Siyanür ve bileşiklerinin biyolojik olarak bozundurulması, ekonomik açıdan ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşük olan bir süreçtir. Yapılan çalışmaların azlığı ve literatür eksikliği bu yöntemin önemini ve uygulamasını yeterince desteklememektedir. Çevre ile etkileşimi açısından düşünüldüğünde ise biyolojik bozundurma yöntemi toksik etkiyi minimum düzeye indirmektedir. Siyanür ve bileşiklerini bozundurmak için çeşitli kimyasal yöntemler kullanılabilir. Ancak bu yöntemlerin birçoğu yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetine ve ayrıca karmaşık yapıya sahiptir. Biyolojik bozundurma, kimyasal ve doğal bozundurmaya alternatif bir süreçtir. Biyolojik siyanür giderim süreçleri düşük maliyetli olmasının yanı sıra ayrıca kimyasal yöntemler kadar da etkili olabilmektedir. Kimyasal bozundurmanın çevreye olan toksik etkisi ve yüksek maliyeti, doğal bozundurmanın ise düşük reaksiyon hızı gibi dezavantajları düşünüldüğünde biyolojik bozundurmanın iyi bir tercih/alternatif olacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı 5088-YL1-17 no'lu proje ile destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na, deneysel çalışmalardaki yardımları için Müh. Nazmiye Yılmaz'a ve analizlerdeki teknik desteklerinden dolayı SDÜ YETEM personeline teşekkür ederim.

Kaynakça

- Boikesss, R., Breslauer, K., Edelson, E. (1986). Elements of chemistry, general, organic, and biological. Prentice-Hall., 768 p.
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. (1995). Fundamentals of analytical chemistry. 7th edition, Brooks Cole, 870 p.
- Marsden, J., House, I. (2006). The chemistry of gold extraction. 2nd edition, The Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc., USA, 318-392.
- Belay, G., Suarez, C., Paul, C.J., Simachew, A. (2024). Biodegradation of cyanide using soda lake-derived alkaliphilic microbial consortia. Water, 16, 2956. <https://doi.org/10.3390/w16202956>
- Çabuk, A. (2005). Beyaz çürükçül funguslarla siyanür biyodegradasyonu. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Chin, R.G., Calderon, Y. (2000). Acute cyanide poisoning: a case report. Journal of Emergency Medicine, 18, 441-445.
- Raybuck, S.A. (1992). Microbes and microbial enzymes for cyanide degradation. Biodegradation, 3(1), 3-18.
- Mudder, T.I., Botz, A.M., Smith, A. (2001a). Chemistry and treatment of cyanidation wastes. Second Edition, Mining Journal Books Ltd., London, 373 p.
- Mudder, T., Botz, M., Smith, A. (2001b). The cyanide compendium. Published by Mining Journal Books, London, England, 1000+ pages on CD.
- Alvillo-Rivera, A., Garrido-Hoyos, S., Buitrón, G., Thangarasu-Sarasvathi, P., Rosano-Ortega, G. (2021). Journal of Materials Research and Technology, 12, 1418-1433.
- Priyadarshan, G. (2000). Removal and stabilization of cyanide from process waters. MSc Thesis, University of Nevada, Reno, 82 p.
- Knowles, C.J., Bunch, A.W., (1986). Microbial cyanide metabolism, Adv. in Microbial Physiology, 27, 73-111.
- Gurbuz, F., Ciftci, H., Akcil, A. (2009). Biodegradation of cyanide containing effluents by *Scenedesmus obliquus*. Journal of Hazardous Materials, 162, 74-79.
- Botz, M.M. (2001) Overview of cyanide treatment methods. Mining Environmental Management. Mining Journal Ltd, London, UK, 28-30.
- Mudder, T.I., Whitlock, J. (1984). Biological treatment of cyanidation waste waters. Mining, Metallurgy and Exploration, 1, 161-165.
- Mudder, T., 1998. The cyanide monograph. Mining Journal Books, London, England.
- Rangel-González, M.G., Solís-Domínguez, F.A., Herrera-Martínez, A., Carrillo-González, R., López-Luna, J., Del Carmen Angeles González-Chávez, M., Rodríguez, M.D. (2025). Cyanide biodegradation: a scoping review. International Journal of Environmental Science and Technology, 22, 2047-2072. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05885-1>
- Kaygusuz, H. (2011). Biyopolimer-kil nano kompozitlerinden kontrollü protein salınımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Thermo Fisher (2021). Pierce™ bradford protein assay kit. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/23200#/23200> (Erişim Tarihi: 02.03.2021).
- Akcil, A., Karahan, A.G., Ciftci, H., Sagdic, O. (2003). Biological treatment of cyanide by natural isolated bacteria (*Pseudomonas* sp.). Minerals Engineering, 16 (7), 643-649. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00101-8)
- Gurbuz, F., Karahan, A., Akcil, A., Ciftci, H. (2002). Degradation of cyanide by natural algae species. In: Extended Abstracts of the Third International Congress 'Environmental, Micropaleontology, Microbiology and Metobentholog' (EMMM'2002), September 1-6, Vienna, Austria.
- Gurbuz, F., Ciftci, H., Akcil, A., Karahan, A.G. (2004). Microbial detoxification of cyanide solutions: a new biotechnological approach using algae. Hydrometallurgy, 72 (1-2), 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2003.10.004>
- Adams, D.J., Komen, J.V., Pickett, T.M. (2001). Biological cyanide degradation. In: Young C, ed. Cyanide: Social, Industrial and Economic Aspects. United States: The Metal Society, pp. 203-213, ISBN 0-87339-479-8.
- Jiang, W., Lu, Y., Feng, Z., Yu, H., Ma, P., Zhu, J., Wang, Y., Sun, J. (2022). Biodegradation of cyanide by a new isolated *Aerococcus viridans* and optimization of degradation conditions by response surface methodology. Sustainability, 14(23), 15560. <https://doi.org/10.3390/su142315560>

Orman Alanlarında Madencilikten Kaynaklanan Olumsuz Algının Kaldırılması

Sevinç ENGİN

Yakın Doğu Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Medya ve İletişim Çalışmaları Bölümü, Lefkoşa, KKTC (ORCID: 0000-0001-9187-9732),
sevincengin067@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 18.12.2024 ve Kabul Tarihi 14.07.2025)

(DOI: 10.35354/tbed.1603925)

ATIF/REFERENCE: Engin, S. (2022). Orman Alanlarında Madencilikten Kaynaklanan Olumsuz Algının Kaldırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 15(2), 40-47.

Öz

Doğal kaynaklar açısından son derece zengin olan Türkiye'de yenilenebilir ve yenilenemez doğal kaynaklar arasında üstünlüklerinden dolayı sıklıkla öncelik çatışmaları yaşanmaktadır. Türkiye yüzölçümünün %28,6'sını oluşturan orman alanına talep olması da kaçınılmazdır. Orman alanlarının madencilik için tahsisi, günümüzün küresel iklim değişikliğini etkileyen arazi kullanımı değişikliğinin önemli bir örneğidir. Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ciddi boyutlarda olup, madencilik yapılmasına izin verilen orman alanları da sel ve erozyona maruz kalmaktadır. Bu şaşırtıcı değildir ancak onay için hukuki alt yapının çok dikkatli oluşturulması ve onay sürecinin çok hassas bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Türkiye'nin ulusal ormanlarında madencilik izinlerinin verilmesi çok detaylı ve kapsamlı yasal düzenlemelere tabidir. Bu faaliyetler orman işlevselliğinin maksimum düzeyde korunmasını gerektirdiğinden, asıl amaç ormanların bu faaliyete tahsis edilerek zararın en aza indirilmesidir. Onay süresinin bitiminden sonra alanın restorasyonu 6831 sayılı Türk Çevre ve Orman Kanunu'nda ayrıntılı olarak düzenlenmiştir. Bu bağlamda, 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 16.maddesi ve ilgili mevzuat uyarınca, maden ruhsatı sahibi, ulusal ormanda madencilik faaliyeti yürüttükten sonra teslim edilen bölgeyi rehabilite etmekle yükümlüdür. Özellikle verimliliği düşük bir orman alanında izin alanı verilmeye çalışılması, süreç boyunca kontrollerin yapılması, izin süresi sonunda iyileştirme koşullarının gözden geçirilmesi, alanın talep edilmesi gibi durumlar, korunan bir madencilik gerekliliğini açıkça göstermektedir.

Makalemiz ise bu bağlamda gerek dünyada gerekse Türkiye'de yürütülen her türlü madencilik çalışmalarının orman alanlarında yarattığı olumsuz algının kaldırılması için neler yapılabileceğine ön ayak olmaktadır. Makalemizde ilk olarak daha önce yapılmış çalışmalar incelemektedir. Bu sayede de orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algının kaldırılması için neler yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, Türkiye'de Madencilik, Olumsuz Algılar, Ormanlar.

Mitigating Negative Perceptions of Mining Operations in Forested Lands

Abstract

In Turkey, which is extremely rich in terms of natural resources, there are often conflicts between renewable and non-renewable resources, particularly due to their differing priorities. It is also inevitable that there will be a demand for forest areas, which constitute 28.6% of Turkey's total area. The allocation of forest areas for mining is a significant example of land use change that affects today's global climate change. The negative effects of global climate change are serious, and forest areas that are allowed to be mined are also exposed to flooding and erosion. This is not surprising, but the legal infrastructure must be carefully created for approval, and the approval process must be followed precisely. The granting of mining permits in Turkey's national forests is subject to very detailed and comprehensive legal regulations. Since these activities require the maximum protection of forest functionality, the main goal is to minimize the damage by allocating forests to this activity. The restoration of the area after the end of the approval period is regulated in detail in the Turkish Environment and Forestry Law No. In this context, in accordance with Article 16 of the Forest Law No. 6831 and the relevant legislation, the holder of a mining license is obliged to rehabilitate the surrendered area after conducting mining activities in the national forest. Situations such as trying to grant a permit area, especially in a forest area with low productivity, conducting controls during the process, reviewing the improvement conditions at the end of the permit period, and requesting an area clearly showing that protected mining is necessary. In this context, our article provides a foundation for addressing the negative perception created by various mining operations carried out worldwide, including those in Turkey, in forest areas. First, our article examines the existing studies. In this way, it reveals what it means to remove the negative perception caused by mining in forest areas and what can be done to address these perceptions.

Keywords: Mining, Mining in Turkey, Negative Perceptions, Forests.

1. Giriş

İnsanlar var oldukları ilk günden bu yana ihtiyaçları doğrultusunda doğada bulunan hammaddelerden yararlanmaya çalışmış, taş, ağaç, boynuz, kemik gibi malzemelerden aletler yaparak avlanıp beslenmeye çalışmışlardır (Kartalkanat, 2008). Böylelikle doğal kaynakları çeşitli amaç ve şekillerde kullanmış ve kullanmaya devam etmiştir. İnsanoğlunun yaşadığı her bölge kendine ait yer altı ve yer üstü doğal kaynaklar ve zenginliklerle doludur (Dereli vd., 2010) ve madenler ve ormanlar günümüzde akla gelen ilk önemli doğal kaynaklar arasında yer almaktadır. Madencilik, insanın öğütme, kesme, bileme veya kendini savunma amacıyla en uygun taşları toplamaya başladığı Paleolitik çağdan bu yana var olan bir insan faaliyetidir (Jesus ve Dardeniz, 2015) ve tarımın yapıldığı temel sektörlerden biri olmuştur. Tarih boyunca da tüm medeniyeti şekillendirmiştir. Madencilik sektörünün ayırt edici özelliği, maden yataklarının ekonomik değer içermesi nedeniyle “doğal sermayeye” sahip olmasıdır (Demirbugan, 2014a).

Özellikle Sanayi Devrimi'nden bu yana geçen iki yüzyıllık insanoğlunun baş döndürücü gelişimi içinde madencilik sektörünün yeri ve önemi inkâr edilmemektedir (MMO, 2011). Madencilik faaliyetleri milli gelir sağlayarak, istihdamı ve ihracat kazançlarını artırarak kalkınma sürecine önemli katkı sağlamaktadır (Demirbugan, 2014a). Ancak madencilik

faaliyetleri aynı zamanda önemli olumsuz çevresel dışsallıklar da yaratmaktadır. Bunlar genellikle hava, su ve toprak kalitesinin bozulması, sera gazı emisyonları (GHG), insan sağlığının, eko sistemlerin ve estetik görünümün bozulmasıyla ilişkilendirilmektedir (Demirbugan, 2014b). Anadolu; Bilim dünyasında madenciliğin beşiği olduğu bilinmektedir Çünkü madencilik ve metal işleme sanatlarının en eski örneklerine Anadolu'da rastlamak mümkündür (Yalçın, 2016).

Osmanlı İmparatorluğu döneminde üretim amaçlı olmaktan ziyade madencilik alanında maden haklarının elde edilmesine yönelik anlaşmalar yaygındı ve gelir elde etmeye yardımcı olduğu düşünülmüyordu. Bu dönemde madencilikle ilgili getirilen düzenlemeler esasen yabancı sermayenin yararınaydı (Tamzok, 2008). Cumhuriyetin ilk yıllarında insanlar madenciliğin ekonomik kalkınma açısından önemini fark etmiş ve bu hedefe ulaşmak için çok önemli yasal ve kurumsal adımlar atmışlardır. 1960'lı yıllardaki planlama geliştirme döneminde madencilik sektörü önemli ve öncelikli bir ekonomik faaliyet alanı olarak görülüyordu (KB, 2015).

Yer altı ve yer üzeri kaynakları açısından zengin olan Türkiye'de bu kaynakları ekonomiye kazandırmak için madencilik sektörü faaliyetlerini devamlı artırmaktadır (Kalaycı ve Uzun, 2017). Türkiye'nin kompleks jeolojik ve tektonik yapısı

oldukça muhtelif maden yataklarının olmasına imkân sağlamıştır. Günümüzde dünyada ortalama 90 çeşit madenin üretimi yapılmaktayken, Türkiye’de 60 civarında maden türünde üretim yapılmaktadır (EB, 2016).

Madencilik dünyayı değiştiren ve insanların hayatlarını etkileyen az sayıdaki sektörden biridir. Madencilik, madencilğin etkilerini analiz etmek için sivil toplum kuruluşları ve bilim insanlarıyla birlikte çalışmaktadır. Bu analizler mevcut çevresel ve sosyoekonomik risk değerlendirmelerini karşılaştırmaktadır. Madencilik yoğun emek ve çaba gerektiren alanlardan biridir. İnsanlar gün içerisinde iş yerinde birçok tehlikeye maruz kalmaktadır (Werrner, Bebbington, Gregory, 2019; Hale ve Booth, 2019). İş sağlığı ve güvenliği, iş kazaları ve işyerindeki sağlık sorunlarından kaynaklanabilecek tehlikeleri en aza indirmeye yönelik risk önleyici kontroldür. En tehlikeli sektörlerden biri de madencilik sektörüdür. Maden ocakları verimli ve etkili bir iş sağlığı ve güvenliği yönetimi gerektirir. Her yıl ortalama olarak milyonlarca iş kazası yaşanıyor ve çeşitli nedenlerden dolayı insan hastalanıyor. Bu kazalar sonucunda çok sayıda insan hayatını kaybediyor. Bu tür kaza ve hastalıkların önlenmesi için güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir (Liu ve Meng, 2019).

Açık ocak madenleri yer altı madenlerine göre daha güvenlidir. Yeraltı madenlerinde güvenlik çalışma koşullarına bağlıdır. Örneğin en tehlikeli yeraltı madencilği sektörü kömür madencilğidir. Kömür madencilği birçok riski bünyesinde barındırmaktadır. Bu tehlikeler başlıca yer altı patlayıcıları, kömür patlamaları ve darbeler, kayma ve düşmeler, vardiya kontrolleri ve yangındır. Dünyanın en büyük kömür üreticisi ve ihracatçıları Avustralya ve Çin’dir. Avustralya ve Çin’de madencilik, Mesleki Sağlık ve Güvenlik Yasası ve Risk Yönetimi İlkesi tarafından yönlendirilmektedir (Löw ve Nygren, 2019; Liu, Li ve Hassall, 2019). Madencilikte insan, çevre ve ekipman faktörleri arasında büyük önem taşımaktadır. Araştırmacılar önce riskleri tanımlar, daha sonra bu riskleri analiz yoluyla değerlendirirler (Liu ve Meng, 2019).

Türkiye madenler açısından zengin bir ülkedir. Aynı zamanda bazı madenler açısından da dünyanın en önemli ülkelerinden biridir. Türkiye’deki madenlerin tamamı henüz tespit edilememiştir. Maden aramaları hızla ilerlemekte ve yeni yataklar keşfedilmektedir. Türkiye’deki mevcut madencilik üretimi sanayi kuruluşlarımızın ihtiyaçlarını tam olarak karşılamamaktadır. Bazıları yurtdışında ham veya yarı işlenmiş olarak satılmaktadır.

3213 sayılı Maden Kanunu’nun 4’üncü maddesinde “Madenler Devletin hüküm ve tasarrufu altında olup, içinde bulundukları arzın mülkiyetine tabi değildir.” hükmü bulunmaktadır.

Jeotermal potansiyelin %0,8’i, metal maden rezervlerinin ise %0,4’ü Türkiye’de bulunmaktadır. Dünyada en çok bulunan mineral: bor mineralidir. Ülke coğrafyasındaki farklı jeolojik dönemler ve farklı coğrafi etkiler nedeniyle çeşitlilik açısından e-ISSN: 2146-2119

zengin olmasına rağmen rezervler nispeten sınırlıdır. Maden rezervleri yeterli ve ihraç edilebilir niteliktedir. Bazı durumlarda farklı madenler yeterlidir. Maden ve madenin rezervleri ve tenörleri ekonomik çıkarım için yeterli değildir. Türkiye madencilik açısından "kısmen kendine yetebilen" ülkelerden biridir. Ülkede ekonomik olarak bulunan madenler: bor, barit, alçıtaşı, sepiyolit, mermer, diatomlu toprak, perlit, manyezit, stronsiyum tuzları, sepiyolit, florit, kireçtaşı, pomza, sodyum sülfat, zeolit, ışık, kuvarsit, linyit, feldispat, halit, olivin, dolomit, silis kumu, bentonit, trona, asbest, kalsit, zımpara taşıdır.

Günümüzde maalesef ki orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algılar gün geçtikçe artmaktadır. Devletin, ormanların korunması ve sahalarının genişletilmesi için gerekli kanunları koyacağı ve tedbirleri alacağı, bütün ormanların gözetiminin Devlete ait olduğu, Devlet ormanlarının mülkiyetinin devrolunamayacağı, Devlet ormanlarının kanuna göre, Devletçe yönetildiği ve işletildiği, bu ormanların zaman aşımı ile mülk edinilemeyeceği ve kamu yararı dışında irtifak hakkına konu olamayacağı, ormanlara zarar verebilecek hiçbir faaliyet ve eyleme müsaade edilemeyeceği, ormanların tahrip edilmesine yol açan siyasi propaganda yapılamayacağı, ormanları yakmak, ormanı yok etmek veya daraltmak amacıyla işlenen suçların genel ve özel af kapsamına alınamayacağı ifade edilmektedir (AY, 1982: m 169). Ormanları yakmanın, ormanı yok etmenin veya daraltmanın, anayasamızda affı olmayan suç olarak tarif edildiği göz önünde bulundurulduğunda, Devletimizin ormanlar hakkında ne kadar hassas olduğu net olarak görülmektedir. Ülkemizde ormanlar, en üst düzeyde bakanlık olarak temsil edilmiş ve Anayasa ile de koruma altına alınmıştır.

Ormanlarda yasak ve suç olan fiiller, 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 14’üncü maddesinde belirtilmiştir. Ormanlara yönelik suç işleyenler hakkındaki yaptırımlar, 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 91’inci, 92’nci, 93’üncü, 94’üncü ve 108’inci maddelerinde belirtilmiştir. Orman Genel Müdürlüğünden izin alınmadan, ormanlarda hiçbir şekilde faaliyette bulunulmamaktadır. İzin alınmadan faaliyette bulunulması veya alınan iznin ihlal edilmesi durumunda para ve hapis cezaları uygulanmaktadır.

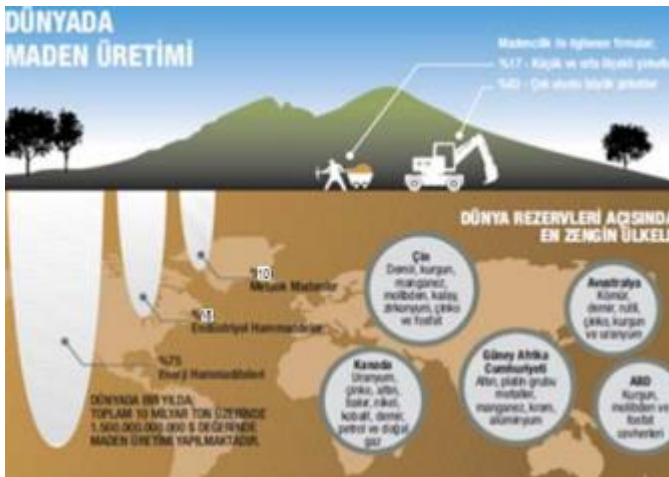
Bu makale ise, orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algının kaldırılması için neler yapılmalı? Sorusunun cevabını aramaktadır. Orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algının azalması için öncelikle vatandaşlarımızın korkmaması lazımdır.

1.1.Madencilik Nedir?

Madencilik faaliyetleri, ekonomik değer yaratmak amacıyla jeolojik hammaddelerin yer kabuğundan verimli ve güvenli bir şekilde çıkarılmasını içermektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009). Bu işlemlerle elde edilen mineraller, temel bileşimlerine ve uygulama alanlarına göre üç gruba ayrılır: metalik cevherler, metalik olmayan cevherler ve enerji hammaddeleri. Bu aynı zamanda daha sonra metalurjik uygulamalar gibi zenginleştirme

işlemlerine tabi tutulan cevher yapılarını da içermektedir (ÇED, 2017) Metalik olmayan cevherler, topraktan çıkarıldıktan hemen sonra veya haşılama gibi işlemlerden sonra kullanılabilen doğal taşlar ve bor, kireçtaşı, kil, mermer ve granit gibi endüstriyel hammaddelerini içerir. Enerji kaynakları, enerji üretmek amacıyla kullanılan petrol, kömür gibi yer altı kaynaklarıdır. Türkiye çeşitli büyük ölçekli maden kaynaklarına ev sahipliği yapmaktadır. Krom, manyezit, feldispat, barit, kil, kömür, altın, gümüş ve bazı endüstriyel hammaddelerin çıkarılması için yaklaşık 50 mineral mevcuttur. Bu madenlerin bir kısmı kamu kurumları (TKİ, Etibank vb.) tarafından işletilirken bir kısmı da özel sektör tarafından işletilmektedir. Ülkemizde en yaygın madencilik türü, çoğunlukla özel sektör tarafından yürütülen doğal taş (mermer, granit, bazalt vb.) madenciliğidir. Madencilik faaliyetleri, madenin türüne ve kullanım alanına bağlı olarak farklı üretim süreçlerini içerse de çoğu üretim adımı tüm faaliyetler içerisinde yer almaktadır(TMMOB, 2011) . Madencilik genel olarak arama faaliyetleriyle başlayıp, cevher üretimi ve zenginleştirme ile devam eden, cevheri tükenen sahanın kapatılmasıyla sona eren proje, maden sahasının doğaya kazandırıldığı bir dizi süreçtir.

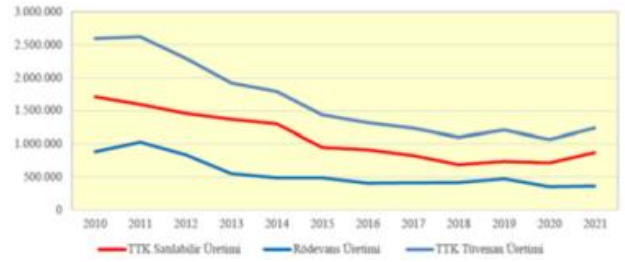
Madencilik sektörü yüzyıllardır ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmasında etkin rol oynamıştır. Madencilik şirketleri sanayi şirketlerinin doğal hammadde ihtiyacını karşılamaktadır. Doğal kaynaklarını aktif olarak kullanan ülkeler, ekonomik kalkınmalarının çoğunu bu sektöre borçludur. (Sunduvaç, 2018). Dünya çapında her yıl 10.000 ton mineral üretiliyor ve bu miktarın değeri yaklaşık 1.500 milyar dolar (\$). %100'ü metal madenleri, 2.000 sanayi şirket ve 2.000 enerji kaynakları şirkettir.



Şekil 1. Küresel maden üretimi ve ekonomik önemi
Kaynak: GFMS, Gold Survey, 2011

Dünya çapında yaklaşık 90 çeşit maden çıkarılmakta olup, Japonya'da 60 çeşit maden çıkarılmakta ve en çok çeşidin ticareti yapılmaktadır. Türkiye; toplam maden üretiminde 22, değerinde (\$) 28.maden çeşitliliğinde ise 168 ülke arasında 8. sırada yer almıştır. Madencilik sektörünün ulusal kalkınmadaki önemi, gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) içindeki payı ile ölçülmektedir. Japonya'nın GSYİH'sın da madencilüğün payı yaklaşık %1,1 olup, *e-ISSN: 2148-2683*

bu oran gelişmiş ülkelerdeki %5,0~8,0'den oldukça düşüktür. Benzer bir durum Türkiye'de 2010 yılından bu yana giderek azalan taşkömürü üretiminde de görülmektedir.(ETKB, 2020).



Şekil 2. Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarları
(ton/yıl)

Kaynak: Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu- 2020

Teknolojik gelişmeler ve küresel talepler etkisiyle, Türkiye’de ve dünyada madencilik sektörünün önemi her geçen gün artmaktadır. Ancak; tüm olumlu koşullara rağmen, madencilik sektörü ülkemiz sosyo-ekonomik kalkınmasına istenen düzeyde katkı sunamamaktadır. Bu maksatla yapılan araştırmada, ülkemizde orman alanlarından kaynaklanan madencilikte olumsuz algının kaldırılması için neler yapılmalı? Açısından yeni fikirler sunmaktadır (Madencilik, 2018).

1.3.Orman Alanlarında Madencilikten Kaynaklanan Olumsuz Algılar

Madencilik sektörü olarak 'önce insan, sonra çevre' ilkesi takip edilmektedir. Şu anda bazı yanlış anlaşılımlar vardır. Mesela ormanların yok edildiği algısı karşımıza çıkmaktadır. Ormanlarımız Türkiye yüzölçümünün yüzde 30'unu kapsamaktadır. Bölgenin yüzde 2,7'sinde madencilik yapılmaktadır. Madenlerin kurallara uygun olarak çıkarılması gerekmektedir. Ormanlarımızın yüzde 60'ının, tarım alanlarımızın yüzde 70'inin madencilik izinleriyle kapatıldığı yalanı maalesef halkımızın aklını bulandırmaktadır (saglisolluhaber.com). En büyük sorunumuz bu olumsuz algıdır. Madenciler olarak tüm kurum ve paydaşlardan iş birliği beklenmektedir. Türkiye'nin bir diğer sorunu da madenlerdir. Bu sorunu ortak akıl çerçevesinde çözmek için hep birlikte çalışmalıdır. Almanya'da kapatılan kömür madenlerinin yeniden açılması AB projesi kapsamında gündemdedir. Çünkü enerji sorunları vardır. İtalya'da mevcut bir köyün taşınması projesi vardır. İngiltere'de kapatılan kömür madenleri yeniden açılmaktadır. Buradaki insanların rahatını ve refahını düşünüyorsak uygun koşullarda madencilik yapılması gerekmektedir. Elbette çevre koşulları ve insan sağlığı dikkate alınarak bunların ortadan kaldırılması gerekmektedir(Suiçmez, 2014)

Madencilik faaliyetleri için alınması zorunlu izinlerle ilgili yapılan müracaatlarda yasa ve yönetmeliklerde belirtilen şartları yerine getiren müracaat sahipleri, bir eksikleri olmadığı halde izinlerini çok uzun süre geçmesine rağmen alamamaktadır.

Türkiye'deki mevcut ve yeni madenlerle ilgili olumlu ve olumsuz dış etkilerin daha doğru bir resmini elde etmek için, daha önce benzer yöntemleri kullanan veya kullanmaya ihtiyaç duyan Türkiye'deki ve dünyadaki benzer yöntemi yakından incelememiz ve gözlemlememiz gerekmektedir. Genel olarak madenlerde ve özel olarak altın madenlerinde, operasyonlardan sonra veya operasyonlarla eş zamanlı olarak çeşitli faaliyetler gerçekleştirilir.

Madencilik sonrası tabiat onarımı ve tekrar kazanımla alakalı hayattaki uygulamalar fazlaca ileri boyuttadır. İşin kötüsü, Türkiye'de tabiat onarımları, madencilik sonrası ortaya çıkan bir gereklilik olarak düşünülürken, gelişmiş ülkelerde madencilik faaliyetinin başlamasıyla beraber ele alınan konulardır. Ülke olarak Türkiye'nin öncelikli olarak bu mantığını değiştirmesi gerekmektedir.

Orman alanlarında Madencilikten kaynaklanan bir diğer olumsuz algı ise, zengin maden yataklarına sahip olan Türkiye'de, madenciler, uzun süren ruhsat izinleri, yatırım güvencesi, kamuoyundaki olumsuz algı, yüksek maliyetler ve istihdamla ilgili sorunlar yaşamaktadır. Bu olumsuz algılar yatırımcıları sektörden uzaklaştırmaktadır. Türkiye'de halen bitmek bilmeyen olumsuz algılar mevcuttur. Türkiye'de psikososyal riskler son yıllarda araştırmacının gündeminde yer almaktadır. Ancak psikososyal riskin iş güvenliği alanında kullanılan yeni bir kavram olduğu söylenebilir. Bu nedenle psikososyal risklerin ne kadar yüksek olduğu ve nasıl değerlendirildiği sorusu hem Türkiye'de hem de dünyada belirsizliğini korumaktadır (Vatansever, 2014, s. 118). Bu belirsizlik nedeniyle Dünya Çalışma Örgütü ruhsal bozuklukları meslek hastalıkları listesine dahil etmiştir (ILO, 2010). Dünya Sağlık Örgütü sağlığı, fiziksel, zihinsel ve sosyal olarak tam bir iyilik hali olarak tanımlamaktadır. Bu tanıma baktığımızda sağlığın yönünü içeren üç şekilde tanımlandığını görebiliriz: fiziksel, zihinsel ve sosyal. Bu bakımdan sağlık, yalnızca bedensel hastalıkların olmayışı değil aynı zamanda psikolojik ve sosyal sorunların da olmaması anlamına gelmektedir (Gülduran, Ergül ve Erkin, 2012, s. 390). Madenlerde toz, gaz, titreşim, makine kaynaklı kazalar ve diğer psikolojik faktörler dikkate alındığında madencilerin sağlığının risk altında olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca ağır ve zorlu çalışma koşulları, aşırı yorgunluk, vardiya değişiklikleri ve uyku bozuklukları nedeniyle işçiler hem fiziksel hem de zihinsel olarak olumsuz etkilenmektedir (Vatansever, 2014, s. 124 -127). Özel araziler, meralar, ormanlık alanlar Ruhsat şartları göz önüne alındığında, arama çok uzun vadeli olabilir. Mahkemelere intikal eden madencilikle ilgili davalarda standart kararların bulunmaması da olumsuz algıya neden olmaktadır.

1.2.Orman Alanlarında Madencilikten Kaynaklanan Olumsuz Algının Kaldırılması İçin Neler Yapılmalı?

Madencilik; ekonomik verimlilik ve çevre koruma ilkelerine uygun olarak, mevcut üretim (sondaç) ve cevher (veya kömür) zenginleştirme yöntemlerini kullanarak, yer kabuğunda doğal

olarak oluşan yataklardan şirkete hammadde sağlayan bir mühendislik faaliyetidir. Madencilikte, kazılan cevher, türüne bağlı olarak belirli fiziksel, kimyasal ve eritme işlemleriyle ekonomik değeri olan ürünlere dönüştürülür. Yönetim açısından bakıldığında, tipik bir metal madenciliği operasyonu şu birimlerden oluşur: “Cevher Madenciliği/Çıkarma”, “Cevher İşleme/Eritme” ve “Su ve Atık Yönetimi”. Bu faaliyetler için cevher zenginleştirme/işleme tekniklerinin seçimidir. Doğal çevre, enerji ve sanayinin yanı sıra gıda, barınma, sosyal altyapı gibi temel ihtiyaçları karşılayan tarım, hayvancılık ve balıkçılık için gerekli olan tüm hammaddelerin kaynağıdır. Tüm bu önemli faaliyetler sadece ekonomik ve sosyal faydalar sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda doğal çevrede gözle görülür değişikliklere de yol açıyor. Bu bağlamda madencilik faaliyetleri, ruhsatlı alanlardaki ağaçların kesilmesinden, açık ocak ve kapalı madenlerdeki atık ve cevherlerin ürün üretimi için yoğunlaştırılmasına ve ortaya çıkan atıkların depolanmasına kadar her şeyi kapsamaktadır. İhtiyaç, arazi kullanımı nedeniyle gezegende gözle görülür değişikliklere yol açmaktadır. Alıcı ortamın kalitesine bakıldığında, madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların depolanması ve işlenmiş cevher atıklarından kaynaklanan ve mineralin türüne bağlı olarak "asidik maden drenajı" nedeniyle oksidasyon olasılığı bulunmaktadır. Kazı işlemleri aynı zamanda gürültü, titreşim ve toz da üretebilir. Mühendislerin görevi (madencilik, jeoloji, çevre, kimya ve diğer mühendislik disiplinleri), tüm canlı organizma türlerinin sosyal ve ekonomik katkısını arttırırken, alıcı çevre üzerindeki yukarıda belirtilen olası çevresel etkileri "en aza indirmektir" (Demir, M. 2010).

Dolayısıyla madencilik faaliyetlerinden beklenen sosyo-ekonomik faydalar sağlanırken, madencilik faaliyetlerinin çevre üzerindeki olası etkileri de faaliyet alanı için belirlenen kabul edilebilir çevresel sınırlar içerisinde ve "kabul edilebilir" düzeydedir. 'Etki Kriterleri'ne göre yönetilmesi ve hukuk sisteminin 'olumlu' olarak değerlendirilmesi halinde mevcut yasal çerçeveye uygulanabilir. Ancak kamuoyunda oluşabilecek olası yanılgıları netleştirmek adına aşağıdaki noktaları vurgulamakta fayda vardır. “ÇED olumlu tespiti” keyfi bir işlem yapılabileceği anlamına gelmemektedir. Elbette olumlu bir ÇED kararına bağlı olarak, projenin çevresel performansı ve çevre izninde belirlenen standartlara uygunluğu, işletme sürecinde çevresel izlemenin uygulanması yoluyla izlenecektir (Suiçmez, 2014).

Madenler, ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamının yanı sıra, az gelişmiş ülkelerde bile ekonomilerine doğrudan değer katan ve topluma en üst düzeyde ekonomik katkı sağlayan doğal kaynaklar sağlayan milli varlıklardır. Bu bağlamda N. Hablemitoğlu'nun “Aldatılıyor muyuz?” adlı kitabı 2008 yılında Ankara Barosu'nun Hukuk Gündemi dergisinin referans listesinde yer almıştır. Her ne kadar bu durum stratejik olarak değerlendirilse de ileri kimyasal türevlerin üretimine henüz ulaşamadığı için bor madenlerinde henüz böyle bir çevreci hareketin olmadığı bilinmektedir. Ülkemizde henüz çevre hareketinin konusu olmayan toryum, tungsten, nadir toprak elementleri ve ileri bor

türevleri ile ilgili mühendislik projeleri hayata geçirildiğinde de benzer sosyopolitik tartışmalar gündeme gelebilir. Kimyasalların AB'ye ihracatında bor cevherlerinin REACH Direktifi kapsamında kayıt zorunluluğu bulunmamakla birlikte, işlenmiş bor minerallerine bazı kısıtlamalar getirilmiş olması bu konunun ekonomik kısıtlama yaklaşımının gündeminde kaldığı anlamına gelmektedir (Zanbak, 2014).

İnternette "Madencilik ve Çevre" ile ilgili birçok bilgi vardır ve çelişkili toplum üyeleri nedeniyle yapabileceğimiz bir bilgilendirme içerisindeler. Bilgi kirliliği yalnızca madencilik ve çevre ilişkilerinde değil, insan sağlığı ve beslenme konularında da açıkça görülmektedir.

Tüm saygın bilimsel dergiler internette yayınladıkları araştırmaların, makalelerin ve görüşlerin özetlerini sunmaya başlamıştır. İçinde bulunduğumuz son dönemin kitle iletişim çağı olarak adlandırıldığını düşünürsek, kitle iletişim araçlarının insanlar açısından etkinliğini ve bilgi edinmedeki önemi inkâr edilmemektedir (Vatansever, 2014).

Madencilik ve çevre konusunda da sansasyonel haberlerden kaçınıp, konunun uzmanlarının verdikleri bilimsel ve objektif bilgiler ve raporlara itibar edilmelidir. 1994-2000 yılları arasında Ovacık Altın Madeninin çalışma izinleri sürecinde, bu madencilik projesinin çevre felaketine neden olacağı gerekçeleri ile hayli sayıda dava açılmıştır. 1994 Kasım ayında başlayan ve Ağustos 2004'de Çevre ve Orman Bakanlığının tesise ÇED olumlu kararına kadar idame eden bu hukuk periyodunun bir kronolojisine referanslarda verilen kaynaktan ulaşılabilir (Akel, 2006). 1997 Mayıs ayı içinde Danıştay altın madenciliğine izin veren Çevre Bakanlığı işleminin iptali istemi ile açılan davaların reddi yolunda verilen Bölge İdare Mahkemelerinin kararlarını bozarak dava konusu işlemin yeniden görüşülmesi yönünde bir karar vermiştir. Bu karar sonrasında, uzmanlık konusu madencilik olan ve çeşitli üniversitelerden hayli sayıda bilim adamı Ovacık Altın Madeni özelinde "altın madenciliği ve çevre" ilişkisi üzerine, bilimsel görüşlerini belirtmişlerdir. ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümünün 12 öğretim üyesi tarafından, hukukun üstünlüğüne razı gelen kişiler olarak, altın madenciliği ve Danıştay kararları hakkındaki camiası bilgilendirmek amacıyla yaptıkları, konuyu irdeleyen 14 maddelik teknik irdeleme içeren açıklamanın sonuç kısmı aşağıda verilmektedir (ODTÜ- MMB, 1997): *Danıştay kararlarında 2709 sayılı T.C. Anayasasının bireyin dokunulmazlığı, maddi ve tinsel varlığı hakkındaki 17.Madde, sıhhat hizmetleri ve çevrenin korunması hakkındaki 56.Madde dikkate alınmıştır. Ancak, anayasamız organik servetlerin ve kaynakların aranması ve işletilmesi hakkındaki 168.Madde ile yer altı kaynaklarımızı da güvence altına almıştır. "Ya madencilik ya çevre" gibi bir dayatma ülkemiz çıkarlarına uygun değildir. Yer altı kaynaklarımızın ekonomiye kazandırılması sırasında, yapılacak işlemlerin bilim ve tekniğe uygunluğu, ilgili kuruluşlarca ve konunun uzmanları tarafından denetlendiği ve izlendiği sürece üzerinde yaşadığımız ve gelecek nesillere bırakacağımız çevremizin zarar görmesi, insan*

yaşamının riske atılması muhtemel değildir. Saygılarımızla; 12 akademisyen...

Madencilik faaliyetleri için gerekli izinler 2012/15 sayılı Başbakanlık Genelgesi kapsamı dışında tutulmalıdır. Güvenlik soruşturması sonucu yapılan işlemler, daha önce güvenlik soruşturması olumlu sonuçlanan şirketin ortaklık yapısında değişiklik, yeni ruhsat, faaliyet izinleri, devir işlemleri veya lisans yenilemelerinde herhangi bir değişiklik olmaması halinde yapılmalıdır. İzinlerin genişletilmesi de dahil olmak üzere düzenlemeler madencilik lehine yorumlanmalı ve orman olarak kabul edilen alanlarda görüş birliği ile orman mevzuatında gerekli değişiklikler bir an önce yapılmalıdır. Bu bağlamda sayılı Yönetmelik hükümlerinde belirtilen izin bedelinin hesaplanmasında bilindiği üzere sayılı Maden Kanunu'nun 7. maddesinde *"alınan izin, uzatmalar dahil olmak üzere ruhsat kanununun geçerlilik süresi sonuna kadar geçerlidir"* denilmektedir. Bu hüküm aynı maddenin Uygulama Yönetmeliğinin 7'inci maddesinde de yer almaktadır. Orman Kanunu 16.ıncı maddesi, ruhsat süresi dikkate alınarak Bakanlığın uygun göreceği kişilere izin verilir..." hükmü yer alıyor. İstanbul, İzmir, Diyarbakır ve benzeri birçok ülkede madencilik faaliyetleri için gerekli orman izinleri eyaletlerde zaman sınırlıdır ve orman yönetimine bir veya iki yıla kadar izin verilmektedir. Bir süre sonra aynı onay başvurusu tekrar yapılıyor ve bürokratik süreç aynı şekilde devam ediyor. Madencilik sektöründe ruhsat güvenliğini zedeleyen ve öngörülebilirliği ortadan kaldıran bu uygulamadan idari tedbirlerle vazgeçilmeli, orman izinleri ruhsat süreleri dikkate alınarak düzenlenmelidir (Çamad, Serham, Mjd, Ebmad, Ayso. 2018).

ÇED sürecindeki müessese görüşlerinin esas alınarak, üyelik izinleri ya da İşyeri Açma Ruhsatı alımı sırasında yeniden aynı kurumlardan yeni görüşler istek edilmemelidir. ÇED periyodu arasında alakalı bütün kurumların görüşü alınarak, açılan sıhhat koruma bandının bir başka müessese tarafınca değiştirilmesinin önüne geçilmelidir. Esas olan maden aramacılığının kanunda "amme yararına faaliyet" olarak belirtilmesi olmalıdır. Bu nedenle izin sürelerinin kısaltılmasına yönelik düzenlemeler yapılması elzemdir. Maden Kanunu hususi bir kanun olup, madencilikle hususi olarak ilgilenilmediği takdirde mahkemelere intikal eden mevzularda verilen hüküm kararlarında bir standart ve objektif bir yaklaşım yakalanamamaktadır. Bunun önüne geçilmesi için madencilikle alakalı mevzularda yönelik uzmanlık mahkemelerinin kurulması, bunun olası olmaması halinde 7 bölgede madencilikle alakalı davalarla sorumlu mahkemelerin oluşturulması müsait olacaktır (Çamad, Serham, Mjd, Ebmad, Ayso. 2018).

2. Sonuç

Anayasa, Maden Kanunu Yürürlük Kararnamesi ve ülkemizde orman alanlarında yapılan madencilğin temel hükümlerini düzenleyen sorumlu hükümet kanunları, madenlerin korunmasını ve gereği gibi işletilmesini zorunlu kılmaktadır. Mümkün olduğu kadar verimli olmalı, işleyişinde toplumsal/kamu yararı göz önünde bulundurulmalı ve dikkatli kullanılmalıdır. Bunun için düzenlemeler vardır. Bu durum, Anayasa'nın kıyı, tarih, kültür ve tabiat varlıkları, tarım arazileri, mera, toprak ve orman varlıklarına verdiği önemin maden kaynaklarına yeterince verilmediğini göstermektedir. Bunlar anayasal koruma altındadır ve kullanılırken toplumsal/kamu yararı dikkate alınır. Ancak maden kaynakları, yenilenemeyen ve tükenebilen doğaları nedeniyle, yenilenebilir kaynaklardan çok daha fazla korunmayı ve en verimli şekilde kullanılmasını hak etmektedir.

Madencilik ve orman/çevre hakkında onlarca sayfa yazılmasına rağmen "Bu konunun başka açıklamaları da var" gibi görüşler üretmek çok kolaydır. Ülkemizdeki ilk dava olan Ovacık altın madeni davasında, "insan ve çevre sağlığına yönelik iddia edilen risklerin kabul edilemez" olduğu, atık barajı ve atık yönetiminin doğru olmadığı ileri sürülerek, 2001 yılından bu yana başka şirketler ve faaliyet gösteren kuruluşlar doğru değildi. Bu, faaliyetlerinin çevre sorunlarına yol açmaması ile kanıtlanmaktadır. Ancak ne yazık ki gerçek şu ki, sorunun sosyo-politik yönleri yalnızca bilimsel ve teknik yaklaşımlarla çözülemeyecek kadar karmaşık olduğundan, madencilik, özellikle de altın madenciliği ile ilgili davalar devam edecek gibi durmaktadır.

Bu makalede öncelikle günümüzde orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algıların arttığı görülmektedir. Bu sebepten dolayı orman alanlarında madencilikten kaynaklanan olumsuz algının kaldırılması için neler yapılmalı? Sorusu akıllara gelmektedir. Bu makale de bu sorunun cevabına ışık tutacaktır.

En başta gelen olumsuz algı ise madencilikten kaynaklanan ormanların yok edilmesidir. Bu algının öncelikle ortadan kaldırılması gerekmektedir. Madencilğin bir diğer olumsuz algısı ise, insan sağlığı üzerinde yarattığı psikolojik rahatsızlıklardır.

3. Öneriler

- Maden arama ve madencilik izin ve lisansı verilen kişilerin mali ve teknik yeterlilikleri aranmakta olup, denetim ve denetimler doğru şekilde yapıldığı takdirde madencilerin bünyeleri otomatik olarak iyileşecektir.
- Kazanılmış haklara yönelik olarak devletten geçici destek ve eğitim alınması hedefe ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.
- Kamu yararı açısından, sanayinin tüm faaliyetlerinde nitelikli personele, özellikle de nitelikli mühendislere ihtiyaç

vardır. Bu alanda çalışan mühendislerin (kamu kurum ve kuruluşları, şirketler ve danışmanlık sektörleri) mesleklerini iyi tanımama ve ya mesleğinin gelişimini takip etmeme hakları olmamalıdır. Mesleğini iyi bilmeyen ve mesleğinin gelişimini iyi takip edemeyen mühendislerin, kamu malı olan karar alma, proje, tasarım vb. yapma, maden kaynaklarını yönetme vb. hakları olmamalıdır. Birçok ülkede olduğu gibi bu alanda çalışan mühendislerin de sertifikalı olması ve yaşam boyu eğitimden geçmesi gerekiyor. Her türlü iş yalnızca uygun niteliklere sahip kişiler tarafından yapılmalı ve bu nitelikler özenle tanımlanıp yönetilmelidir

- Madencilikten kaynaklanan ormanların yok edilme algısı ortadan kaldırılmalıdır.
- Türkiye'de ormansızlaşma ve orman bozulmasının sadece madencilikten olmadığı kabul edilmelidir.

Teşekkür

Behzat GÖKÇEN DEMİR, Akın AKBULUT, Rahmi KOCAMAN Bey'e, Hakan YÜKSEL Bey'e, Şükrü ŞAFAK Bey'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- ÇED (2017). *İklim değişikliğinin sağlık üzerine olan etkileri*, <http://cevresagligi.thsk.saglik.gov.tr/cevresel-etkileri-izleme/993-iklim-uzerine-olan-etkileri.html>. Erişim tarihi: 28.01.2025
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı., (2009). *Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü*. Erişim Tarihi: 16.1.2025, Erişim Adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/2_2_madenc-i-k-faal-yetler--20200103075114.pdf
- Demirbugan, A., 2014a. Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerini değerlendirme yöntemleri. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(2), 287-300.
- Demirbugan, A., 2014b. Madencilik projelerinin çevresel dışsallıkları göz önünde bulundurularak ekonomik değerlendirmesi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 7 (2), 403-422.
- Dereli A., M., Yalçın, M., Erdoğan, S., 2010. Madencilik faaliyetlerinde coğrafi bilgi sisteminin kullanımı. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2 (3), 28-34.
- EB, 2016. Sektör Raporları: Madencilik Sektörü, https://www.ekonomi.gov.tr/portal/content/conn/UCM/uu_id/dDocName:EK-051184
- ETKB. (2020). *"Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu 2020"*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) & TOBB Yayın No: 2021/25, ISBN No: 978-605-137-862-6, .
- Jesus, de P., Dardeniz, G., 2015. Antik Madencilik Hakkında Arkeolojik ve Jeolojik Görüşler, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 151: 235-250.
- Kalaycı, M., Uzun, O., 2017. Madencilik sonrası maden alanlarının rekreasyonel amaçlı değerlendirilmesi. IBAD, 2(2):232-244.
- Kartalkanat, A., 2008. Anadolu'da Madencilüğünün Tarihçesi; Kütahya-Gümüşköy'de 3500 Yıldır Süren Madencilik Çalışmaları, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 137: 91-97.

- KB, 2015. Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu raporu, <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zeltisastisastKomisyonuRaporlar/Attachments/260/MadencilikPolitikalar%C4%B1%C3%96%C4%B0K.pdf>
- Madencilik. (2018). *İhracat Genel Müdürlüğü Maden Metal ve Orman Ürünleri Daire başkanlığı*.
- Mahir, V. (2012). *İTÜ Madencilikte Çevre ve Maden Ocaklarının Rehabilitasyonu*. - MJKM.
- MMO, 2011. Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu, Ankara
- Projeleri, M. (2017). *Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi*.
- saglisolluhaber.com. (tarih yok).
- Suiçmez, H. (2014). *“Verimliliğin Ekonomi Politikası (VEP)” T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. Verimlilik Genel Müdürlüğü, 22s.*
- Sunduvaç, Y. (2018). *“Dünya ve Türkiye’de Madencilik Sektörü- I. Kütahya Ticaret ve Sanayi Odası, Sektörel Analiz, Sayı:179, 4s.*
- Tamzok, N. 2008. Osmanlı imparatorluğu’nun son döneminden çok partili döneme madencilik politikaları, 1861-1948. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi 63 (04), 179-204.
- TMMOB. (2011). *Madencilik Sektörü ve Politikaları*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası
- Yalçın, Ü., 2016. Anadolu madencilik tarihine toplu bir bakış. Yer Altı Kaynakları Dergisi, 5(9), 3-13

Doğal Dil İşleme Tabanlı Türkçe Videolarda Küfür Tespiti Ve Otomatik Sansürleme Sistemi

Ziya DİRLİK^{1*}, Turgay AYDOĞAN²

^{1*}Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD, d2040138067@ogr.sdu.edu.tr, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, turgayaydogan@sdu.edu.tr, Isparta, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 22.06.2025 ve Kabul Tarihi 21.07.2025)

(DOI: 10.35354/tbed.1724854)

ATIF/REFERENCE: Dirlik, Z. & Aydoğan, T. (2025). Doğal Dil İşleme Tabanlı Türkçe Videolarda Küfür Tespiti Ve Otomatik Sansürleme Sistemi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 15(2), 48-53.

Öz

Bu çalışmada Türkçe video içeriklerinde yer alan küfür ve argolu ifadelerin otomatik tespit edilmesi ve tespit edilen yerlerin farklı bir ses ile sansürlenmesi için bir sistem önerilmiştir. Sistem, öncelikle, video dosyasının ses içeriğini analiz etmekte ve Otomatik Konuşma Tanıma (Automatic Speech Recognition - ASR) algoritması kullanarak bunu metne çevirmektedir. Metin içerisinde yasaklı kelimeleri tespit etmek için Türkçe'de yaygın olarak kullanılan küfürlü, argo veya rahatsız edici kelimelerden oluşan yasaklı kelime listesi oluşturulmuştur. Sesten metne dönüştürülen metin ile yasaklı kelime listesi karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analiz aşamasında hazır doğal dil işleme modeli kullanılarak yasaklı kelime listesi içerisinde, kelime kalıpları ve farklı yazım şekilleri de dikkate alınmaktadır. Tespit edilen küfür ve argo içeren bölgeler zaman damgaları ile doğru bir şekilde işaretlenir ve sansür aşamasında bunlara karşılık gelen ses segmentleri otomatik olarak farklı bir ses ile sansürlenir. Son aşamada ise sansürlenmiş ses ile video dosyası birleştirilerek sansürlenmiş video oluşturulur. Sistem sosyal medya platformlarından elde edilen farklı aksanlar ve konuşma hızlarına sahip videolar ile test edilmiştir. Önerilen sistem çevrimdışı ve önceden kaydedilmiş videolar için iyi performans göstermekte olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomatik konuşma tanıma, doğal dil işleme, argo ve küfür tespiti, video içerik sansürleme

Natural Language Processing Based Profanity Detection and Automatic Censoring System in Turkish Videos

Abstract

In this study, we propose a system for automatic detection of profanity and slang in Turkish video content and censoring the detected parts with a different voice. The system first analyzes the audio content of the video file and translates it into text using Automatic Speech Recognition (ASR) algorithm. In order to detect banned words in the text, a banned word list consisting of commonly used abusive, slang or offensive words in Turkish is created. The list of banned words is analyzed by comparing the audio-to-text transcription with the list of banned words. In the analysis phase, word patterns and different spellings are also taken into account from the banned word list by using a ready-made natural language processing model. The detected regions containing profanity and slang are accurately marked with timestamps, and in the censoring stage, the corresponding audio segments are automatically censored with a different audio. In the final stage, the censored audio and the video file are merged to create a censored video. The system is tested with videos with different accents and speech rates obtained from social media platforms. It is observed that the proposed system performs well for offline and prerecorded videos.

Keywords: Automatic speech recognition, natural language processing, slang and profanity detection, video content censoring

* Sorumlu Yazar: d2040138067@ogr.sdu.edu.tr

1. Giriş

Günümüz dijital dünyasında sosyal medya platformlarının içerik kontrol mekanizmaları insan kontrolüne dayalı eski yöntemlerle sınırlı kalmakta ve bu durum ciddi bir toplumsal krize dönüşmektedir. Özellikle genç nesillerin büyük bir bölümünün günlük hayatlarının merkezinde yer alan bu platformlarda argo, küfür, cinsel içerikli söylem, nefret söylemi ve şiddet kontrolsüz bir şekilde yayılıyor. Bu içeriklerin büyük ölçüde manuel olarak denetlenmesi hem zaman alıcı hem de artan veri hacmi karşısında yetersiz kalıyor. Bu durumun en ciddi sonucu ise yetişme çağındaki çocuklar ve gençler üzerindeki olumsuz etkisidir. Psikolojik araştırmalar, dijital platformlardaki uygunsuz içeriklerin gençlerin dil gelişimini, sosyal becerilerini ve ahlaki değerlerini önemli ölçüde deforme ettiğini ortaya koymaktadır (Gedik ve Akin, 2016; Şahin vd., 2024). Özellikle ergenlik dönemindeki bireyler, bu platformlarda normalleştirilen kötü dil kullanımını ve şiddet içeren davranış kalıplarını sorgulamadan içselleştirmekte ve günlük iletişimlerinde bu unsurları doğal olarak kullanmaktadır. Bu durumun toplumsal yapı üzerindeki uzun vadeli etkileri oldukça fazladır. Geleneksel değerlerin ve saygı kültürünün giderek aşınması, bireyler arasındaki iletişim kalitesinin düşmesine, toplumsal hoşgörünün azalmasına ve toplumsal çatışmaların artmasına neden olmaktadır. Eğitimciler ve psikologlar, dijital platformlardaki bu kontrolsüz içerik akışının önümüzdeki yıllarda toplumun sosyokültürel dokusunda onarılamaz hasarlar bırakacağı konusunda uyarılmaktadır (Yanık, 2017; Öztürk, 2022).

Sorunun boyutları her geçen gün büyüyor ancak mevcut çözümler bu hızlı dijital dönüşüm karşısında yetersiz kalıyor. İçerik kontrol sistemlerinin daha etkin, otomatik ve yapay zekâ destekli çözümler olması gerekiyor (Çelik ve Yıldırım, 2020; Tayiz ve Canayaz, 2021). Aksi takdirde gelecek nesillerin maruz kaldığı bu dijital kirlilik, geleceğin toplumsal yapısı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.

Bu çalışmanın amacı, videolarda geçen küfür ve argo kelimeleri sansürlemeyi hedefleyen bir sistem geliştirilmesidir. Sistemin genel çalışma prensibi ise şöyledir; Videolardaki sesi yapay zeka destekli konuşma tanıma teknolojisiyle metne çevirerek, önceden özel olarak eğitilmiş doğal dil işleme algoritmaları kullanarak uygunsuz içerikli metinler tespit edilmektedir. Tespit edilen bu bölümlere sesi eklenmesi ile sansürlenerek orijinal video yeniden oluşturulmaktadır. Türkçe'nin dil yapısına özel olarak optimize edilen bu sistem, bağlamsal analiz yeteneği sayesinde sadece açık küfürleri değil, hakaret amaçlı kullanılan dolaylı ifadeleri de algılayabilmekte, zaman damgalama sayesinde videodaki tam konumlarını tespit ederek yüksek doğruluk oranıyla çalışmaktadır. Manuel kontrollere kıyasla daha hızlı işlem yapabilen bu çözüm, içerik üreticilerin videolarını otomatik olarak temizlemelerine, eğitim platformlarının uygunsuz içeriklerin filtrelemesine ve ebeveynlerin çocukları için güvenli izleme ortamı oluşturmalarına olanak tanımaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Küfür, argo, cinsel içerikli söylem, nefret söylemi vb., durumların tespitinde literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları hakkında bu başlık altında bilgi verilmiştir. Gedik ve Akin (2016), Ata Demirel, Cem Yılmaz ve Atalay Demirci'nin solo sahne performanslarında kullandıkları argoyu incelemeyi amaçlayan bir araştırmayı mercek altına almıştır. Araştırma nitel türlerden tarama modelinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Sonuçlardan Ata Demirel ve Cem Yılmaz'ın performanslarında argo sözcükleri çokça kullandıkları ve bu tür sözcük kullanımlarının sahne anlatılarının ana unsurları arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık Atalay Demirci'nin sahne performanslarında argo dili daha az kullandığı tespit edilmiştir.

Tayiz ve Canayaz (2021) çalışmalarında evrimsel sinir ağlarını kullanarak ses dosyalarından küfürlü seslerin belirlenmesini amaçlamışlardır. Ayrıca, ses verilerinin özelliklerini belirlemek için insan kulağının frekans algılama sürecini taklit ettiği için mel-frekans Keprsal katsayıları yöntemi kullanılmıştır.

Çelik ve Yıldırım (2020), internetteki küfürlü içeriği tespit etmek için yeni bir hibrit yapay zeka modeli önermiştir. Platformdan bağımsız model, öncelikle metinleri analize hazır hale getirmek için ön işleme tabi tutmaktadır. Önceden işlenen metinler, boyutlarına bağlı olarak ya sezgisel analizden geçiriliyor ya da üç farklı yapay zeka modelinin harmanlandığı bir modüle besleniyor. Her bir modelin olasılık puanları, nihai sınıflandırmayı belirlemek için bir hakem model tarafından karşılaştırılıp ve içerik “küfürlü” veya “temiz” olarak etiketlenmiştir.

Öztürk (2021), pandemi boyunca Twitter'da 65 yaş ve üzeri bireylere yönelik oluşturulan nefret söylemini Teun Van Dijk'in söylem analizi yöntemini uygulayarak analiz etmiştir. Özellikle #65yaşıüstusokağakükümayakmayeagsano, #65yaş ve #65yaşıüstü hashtagleri altında yapılan söylem analizinde toplam 218 nefret söylemi tespit edilmiştir. Çalışmada yaşlı bireylerin “virüs kaynağı, sosyal yük, zararlı, aşırı ve sorumsuz” gibi olumsuz terimlerle anıldığını belirtmiştir. Yine çalışmasında Twitter platformunun nefret söylemlerinin üretilmesine aracılık ettiğini vurgulamıştır.

Baydoğan ve Alatas (2021), yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak sosyal medyada hızla yayılan nefret söylemini otomatik olarak tespit eden bir sistem oluşturmuşlardır. Temel doğal dil işleme işlemlerini ve kelime torbası (BoW), terim frekansı (TF), terim belge matrisi (t-DM) gibi özellik çıkarma yöntemlerini uygulayarak Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Perceptron algoritmaları ile nefret söylemini tespit etmişlerdir. Deneylerde en yüksek doğruluk oranı %80 ile Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Algılayıcı algoritmaları tarafından sağlanmıştır.

Kurt ve Demirel (2023), Türkçede hakaret ve nefret söylemini otomatik olarak tespit edebilen bir sistem önerisinde bulunmuşlardır. Türkçe veri setleri öncelikle otomatik etiketleme yöntemi ile hazırlanmış ve BERT ile ilgili bir dizi model uygulanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek verime sahip XLMRoBERTa modeli seçilmiş ve veri seti üzerinde test işlemleri gerçekleştirilerek performansı önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Eğin ve Bulut (2023), sosyal medya platformlarındaki Türkçe yazılı paylaşımlardan mültecilere karşı nefret söylemini tanımayı amaçlamışlar ve bu amaçla bazı makine öğrenmesi modelleri uygulamışlardır. Karşılaştırmalı olarak Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları ve Rastgele Orman yöntemleri ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Araştırma doğrultusunda Rastgele Orman, Yapay Sinir Ağı ve Lojistik Regresyon modellerinin Destek Vektör Makineleri ve Karar Ağaçları modellerine kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bayrak ve arkadaşları (2023), Türk Twitter kullanıcılarının paylaşımlarındaki nefret söylemini otomatik olarak tespit etmek için BERT-Base'in mimarisini dikkate alarak bir model tasarlamışlardır. Model önce "zararlı-zararsız" açıklamalı bir veri seti üzerinde eğitilmiş ve test aşamasında %92,53 oranında doğru sonuç vermiştir.

Alawi ve arkadaşları (2023), araştırmalarında Türkçe nefret söyleminin tespiti için 53.000'den fazla sosyal medya içeriğinden oluşan büyük bir veri seti üzerinde klasik makine öğrenmesi yaklaşımları ile en yeni derin öğrenme yaklaşımlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. BERT tabanlı özellik çıkarma yaklaşımının oldukça başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada ayrıca LightGBM (LGMB), Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek Ağları (BiLSTM) ve Lojistik Regresyon modellerinin veri seti üzerinde en iyi çıktıyı verdiğini gözlemişlerdir. ROC eğrisi analizinden, bu üç modelin saldırgan içeriği tanımlamada oldukça güvenilir olduğu ve yaklaşık %95 doğruluk oranı sağladığı sonucuna varmışlardır.

Nasiboğlu ve Gencer (2023), İsimlendirilmiş Varlık Tanıma (NER) problemi durumunda Twitter'dan örneklenen Türkçe tweet verileri aracılığıyla küfür, hakaret ve uygunsuz terimlerin sınıflandırılmasını incelemişlerdir. Çalışmada öncelikle metinlerin terim ve kelime öbekleri işaretlenmiş ardından işaretlenen veriler vektör formlarına dönüştürülmüştür. Vektörler işlenirken Bi-LSTM modeli ve önceden eğitilmiş bir BERT modeli aracılığıyla eğitilmiş ve sınıflandırma performansları bir karşılaştırma için ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Bi-LSTM modelinin sınıflandırma performansı eğitim ve test aşamalarında yaklaşık %99, BERT modelinin ise sırasıyla %99 ve %95 olarak elde edilmiştir. Ayrıca işlem süresi açısından Bi-LSTM modelinin BERT'e göre yaklaşık 3 kat daha hızlı çalıştığı görülmüştür.

Yakar ve diğerleri (2024), Türkçe tweetlerden oluşan iki boyutlu (1k ve 2k) veri seti üzerinde bir nefret söylemi tespit sistemi gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak, beş farklı özellik seçim yöntemi ile özellik sayısını 1000'e indirmiş ve daha sonra bu özellikler üzerinde K-En Yakın Komşu, Rastgele Orman, Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri, LSTM ve Word2Vec+SVM yöntemleri ile performans testi gerçekleştirilmiştir. Performans analizi için F-skore performans ölçütü benimsenmiş ve OneR özellik seçimi ve Naive Bayes algoritması 1k veri kümesinde %88,81 F-skore değeri ile en iyi performansı elde ederken Info-Gain özellik seçimi ve Naive Bayes algoritması 2k veri kümesinde %87,71 F-skore değeri ile en iyi performansı elde etmiştir. Performans analizi çıktılarından, LSTM algoritmasının performansının tüm özellik seçim yöntemleri için diğer yöntemlere göre arttığını gözlenmiştir.

Şahin (2024), nefret söylemi tespiti için çeşitli derin öğrenme ve makine öğrenmesi tabanlı yöntemleri karşılaştırmıştır. Belgeleri vektörleştirmek için Terim Frekansı (TF), Word2Vec (Skip-Gram ve CBOW modelleri), Doc2Vec (PVBOW ve PVDN), GloVe ve BERT kullanılmıştır. Sınıflandırmada, klasik makine öğrenimi yöntemleri Rastgele Orman, Naive Bayes ve Destek Vektör Makineleri ile derin sinir modelleri LSTM, Bidirectional LSTM (BiLSTM) ve Text Graph Convolutional Network (textGCN) karşılaştırılmıştır. Deneylerde, verilerin %75'i eğitim ve %25'i test için kullanılmış ve en yüksek performans 9.000 örnek seti üzerinde %92,34 F1 ile Alg-2 sınıflandırıcısı tarafından elde edildiği belirlenmiştir.

3. Materyal ve Metot

Önerilen sistemin temel amacı, dijital video içeriğindeki küfürlü, argo veya rahatsız edici kelimeleri otomatik olarak tanımak ve bu kelimelerin geçtiği bölümleri bip sesi kullanarak sansürlemektir. Bu amaca ulaşmak için geliştirilen sistem ilk olarak video dosyalarının konuşma içeriğini metne dönüştürmektedir. Sonrasında sesten metne dönüştürülen veri içerisinde önceden belirlenen küfürlü, argo veya rahatsız edici kelimelerden oluşan kelime listesinden kelimeleri tanı ve zaman etiketlerini kullanarak ilgili ses bölümlerini yakalayarak sansürleme işlemini gerçekleştirir. En sonunda hem sansürlenmiş video dosyası hem de sansürleme sürecine ilişkin istatistiksel veriler elde edilmektedir.

Sistemin geliştirilmesi, yedi aşamalı bir yapı üzerine kurgulanmıştır. Bunlar; Şekil 1'de detaylı olarak gösterilmiştir. Sistemin genel işleyişi ilk olarak; video dosyasının sisteme yüklenmesi ile başlar. 2. adımda videodan ses kanalı ayrıştırılır. 3. adımda ses dosyası metine dönüştürülmektedir. 4. adımda küfür, argo ve rahatsız edici söz içeren kelimelerin tespiti için metin analizi yapılır. 5. adımda tespit edilen küfür, argo ve rahatsız edici kelimelerin zaman aralıklarına sansürlemek için bip sesi eklenir. 6. adımda sansürlenmiş ses dosyası orijinal video ile birleştirilir. En son adım ise ses ve hareketli görüntü dosyaları birleştirilerek sesi sansürlenmiş video dosyası oluşturulur.



Şekil 1: Geliştirilen sistemin çalışma adımları

3.1. Video Dosyasından Sesin Ayrıştırılması

Geliştirilen sistemin ilk aşamasında, video dosyasının içindeki ses verisinin ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Video dosyası çoğunlukla ses ve görüntü bileşenlerini aynı ortamda içeren kapsayıcı formatında bulunmaktadır. Bu

çalışmada .mp4 formatındaki video dosyaları kullanılmıştır. Video dosyasından sesin ayrıştırılması şu nedenlerle gereklidir:

- Ses işleme ve analiz algoritmaları, ham ses verisi (örneğin WAV biçiminde) ile daha doğru ve hızlı çalışmaktadır.
- Videodaki sesin görüntüden ayrılması işlem süresini ve bellekteki yükü azaltmaktadır.
- Konuşma tanıma (speech-to-text) algoritmaları genellikle ses dosyasını girdi olarak almaktadır.

Bu işlem için video düzenleme ve ses ayrıştırma işlevleri destekleyen bir kütüphane kullanılmıştır. Bu kütüphane aracılığıyla video dosyasından ses bileşeni çıkartılmış ve WAV formatında geçici bir ses dosyası olarak kaydedilmiştir. Video dosyasının içerisindeki ses bileşeni izole edilerek bağımsız bir ses dosyası elde edilmektedir. Video dosyasını V ve çıkarılan ses dosyasını A ile gösterirsek, süreç fonksiyonel olarak şu şekilde modellenilebilir:

$$A = \text{VideodanSesiCikar}(V)$$

Ses verisinin WAV formatında kaydedilmesi tercih edilmesinin temel nedeni WAV dosya formatının kayıpsız veri saklamaya imkan tanınması ve ses işleme algoritmalarının bu format üzerinde daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmesidir. Elde edilen ses dosyası daha sonraki aşamalarda konuşma tanıma süreçlerinde kullanılacaktır.

3.2. Küfürli İfade Veri Setinin Oluşturulması

Bu çalışmada, Türkçe küfürli, argo ve rahatsız edici kelimeleri tespit etmek için bir yasaklı kelime veri seti oluşturulmuştur. Yasaklı kelimeler listesi günlük Türkçede kullanılan küfürli ve argo kelimeleri içermektedir. Hem sosyal medya metinlerinde hem de günlük sözlü iletişimde yaygın olarak kullanılan hakaret, aşağılama, müstehcen ve cinsiyetçi kelimeler veri setinde sunulmuştur. Sözcükler, Türkçedeki sözlü saldırganlık türleri dikkate alınarak kategorize edilmiş ve bu çalışmada sansürleme algoritmasının ilk girdi kümesi olarak kullanılmıştır.

Veri setinin oluşturulmasında aşağıdaki yöntemler izlenmiştir:

- Mevcut literatür ve kaynaklardan Türkçeye özgü argo ve küfür cümleleri incelenmiştir.
- Sözlü kültürde yaygın kullanımı olan ifadeler veri setine dahil edilmiştir (örn. kısa küfür kalıpları, kısaltmalar).
- Yazım varyantları da göz önünde bulundurularak uygunsuz kelimelerin farklı yazım şekilleri dikkate alınarak regex tabanlı karşılaştırmaların doğru çalışması sağlanmıştır.
- Listeye yalnızca tekil sözcükler değil birden fazla kelimeden oluşan çok sözcüklü kalıplar da dahil edilmiştir.

Bu çalışmadaki küfürli, argo ve rahatsız edici kelimelerin tamamı sadece teknik deneyler ve sansürleme algoritmasını geliştirmek için kullanılmıştır. Sağlanan ifadelerin hiçbirisi hedef gösterici, ayrımcı veya aşağılayıcı niyetlerle sunulmamıştır. Sadece sosyal normlar dahilinde sakıncalı olan dil kalıplarının otomatik olarak tespit edilmesini sağlamak için kullanılmışlardır.

Çalışma, araştırma etiği ilkeleri doğrultusunda yürütülmüş ve sosyal açıdan hassas materyallerin analizinde ölçülü ve dikkatli

kullanım ilkesine bağlı kalmıştır. Kullanılan veriler herhangi bir kişisel veya özel bilgi içermemektedir.

3.3. Konuşmanın Metne Dönüştürülmesi ve Küfür Algılama

İkinci aşamada, ses dosyasından Otomatik Konuşma Tanıma (Automatic Speech Recognition-ASR) algoritması yardımıyla ses verisi metne dönüştürülmüştür. Şekil 2’de ASR’nin çalışma şekli gösterilmiştir. Bu işlem sonucunda ses verisi metne dönüştürülerek, zaman damgalı segmentler halinde yapılandırılmıştır. Çıktı kümesi T olarak tanımlanır:

$$T = \{(s_i, e_i, t_i)\}$$

Burada:

s_i : Segmentin başlangıç zamanı (saniye cinsinden),

e_i : Segmentin bitiş zamanı,

t_i : Segmentin metinsel karşılığıdır.



Şekil 2: ASR (Otomatik Konuşma Tanıma) süreci

Bu yapı sansürlenecek ifadelerin ses dosyası üzerindeki tam yerlerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Metne dönüştürülmüş içerikteki küfürli ifadelerin tespiti için önceden oluşturulan yasaklı kelime veri seti olan kelime listesi kullanılmıştır. Her segment içerisindeki metin parçası, bu yasaklı kelime listesi ile karşılaştırılmış ve uygunsuz ifade içeren segmentler işaretlenmiştir. Tespit işlemi aşağıdaki karar fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir:

$$YasakKelimeVarmi(t_i) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } t_i \cap B \neq \emptyset \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases}$$

Burada:

- t_i : ASR (Otomatik Konuşma Tanıma) modeli tarafından üretilen ve zaman damgasına sahip olan i. metin segmentini ifade eder.
- B : Sistem tarafından önceden tanımlanmış olan yasaklı kelimeler listesidir. Bu liste, Türkçe’de yaygın olarak kullanılan küfür, argo ve rahatsız edici kelime içeren ifadeleri kapsamaktadır.

- $t_i \cap B$: Segment metni ile yasaklı kelimeler kümesinin kesişimini (yani t_i ifadesinde, B kümesinden herhangi bir kelimenin olup olmadığı kontrol ediliyor) ifade etmektedir.

Bu yapıya göre, bir segmentin metni t_i kümesi içerisinde yer alan kelimelerden en az birini içerdiğinde (yani $t_i \cap B \neq \emptyset$) segment sansürlenmek üzere işaretlenir. Böylece sansürleme işlemi yalnızca hedef kelimeleri içeren zaman aralıklarında uygulanır ve içerik bütünlüğü korunur.

Eğer t_i ile B arasında hiçbir ortak eleman yoksa, yani t_i 'de yasaklı kelime yoksa, fonksiyon 0 döndürmektedir. Sansürlenecek bir kelime bulunamamış anlamına gelmektedir.

Yukarıdaki fonksiyon aracılığı ile uygunsuz içerik içeren metin segmentleri işaretlenmektedir. Böylece hangi ses aralıklarının sansürleneceği belirlenmektedir. Bu formüle göre, küfürlü içerik içeren segmentler bir sonraki sansürleme aşamasına aktarılacak üzere seçilmiştir.

Segment bazlı küfür tespiti için, metin parçalarının önceden tanımlanmış bir yasaklı kelimeler listesi (B) ile kesişimi kontrol edilmiştir. Kesişim boş değilse, ilgili segment için **YasakKelimeVarmi**(t_i) = 1 olarak atanmış ve sansür işlemi uygulanmıştır. Aksi durumda değer sıfır kabul edilmiştir. Bu gösterge fonksiyonu, zaman bazlı ses sansürleme sürecinin temel karar yapısını oluşturmaktadır.

3.4. Ses Sansürleme ve Bip Sesi Ekleme

Son aşamada tespit edilen uygunsuz ifadelerin ses dosyasındaki karşılık gelen segmentleri bip sesi ile değiştirilir. İlk olarak, her bir segmentin süresi hesaplanır:

$$D_i = e_i - s_i$$

Bu süre bilgisi ilgili bölgeye yerleştirilecek bip sesinin uzunluğunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Üretilen bip sesi, ilgili süredeki konuşma bölümünün yerini almak üzere hazırlanmıştır:

$$BIP_i = BipSesiUret(D_i)$$

Bip sesi üretildikten sonra, orijinal ses dosyasındaki uygunsuz segmentin yerine yerleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sansür işlemi, orijinal ses dosyasındaki uygunsuz segmentin bip sesi ile değiştirilmesi şeklinde gerçekleşir:

$$A' = Yerdegistir(A, s_i, e_i, BIP_i)$$

Burada A' , sansür işlemi tamamlanmış olan ve artık küfür içermeyen yeni ses dosyasını temsil etmektedir. Ses dosyasının

argo ve küfür içeren kısımlarının tamamen bip sesi ile örtülmesini sağlar. Yeniden yapılandırılmış nihai ses dosyası A' , video ile tekrar birleştirilerek, argo ve küfürden arındırılmış bir video içeriği elde edilmiştir.

Bu aşamanın sonunda, kullanıcıya yalnızca bip sesi duyurulacak şekilde, küfürlü ifadelerin bulunduğu kısımlar gizlenmiş ve içerik toplumsal kurallara açısından uygun hale getirilmiştir.

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen sistem, Türkçe video içerikleri üzerinde gerçekleştirilmiş testlerde başarılı sonuçlar vermiştir. Sistem; farklı aksan, konuşma hızı ve ses kalitesine sahip örneklerde argo ve küfürlü ifadeleri yüksek doğruluk oranı ile tespit edebilmiştir. Otomatik konuşma tanıma modülü sayesinde ses dosyaları hızlı bir şekilde metne dönüştürülmüş, metin üzerinde yapılan kelime eşleştirme işlemi ise sistemin esnekliğini artırmıştır.

Küfür tespit edilen bölgelere yerleştirilen bip sesi, segment süresi ile orantılı olarak üretilmiş ve orijinal ses akışı ile uyumlu hale getirilmiştir. Bu durum, sansürlü içeriğin izleyici açısından daha doğal ve anlaşılır kalmasını sağlamıştır. Tablo 1'de çalışmanın deneysel sonuçları gösterilmiştir. Sosyal medya platformlarından herkesin kullanımına açık olan videolar test işlemi için kullanılmıştır.

Tablo 1. Video İçeriğinde Argo ve Küfür Analizi: Segment ve Sansürleme Çalışmasının Deneysel Sonuçları

	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4	TV 5	TV 6	TV 7	TV 8	TV 9	TV 10
Toplam Segment Sayısı:	6	78	154	78	98	171	136	228	136	1281
Sansürlenmiş Segment Sayısı:	3	2	10	1	12	3	29	2	1	22
Sansür Oranı:	50%	2,56%	6,49%	1,28%	12,21%	1,75%	21,32%	0,88%	0,74%	1,72%
Toplam Bip Süresi (ms):	22000	4000	20000	2000	41000	5560	76721	6000	2000	44000
Saptanılan Farklı Argo/Küfür Sayısı:	5	1	4	1	4	3	5	2	1	6
Cümle Sayısı:	48	415	675	412	515	509	602	670	413	4466
Video Süresi (dd:ss)	00:32	2:48	6:10	6:35	6:45	6:58	7:44	13:17	18:10	45:04
Video İşleme ve Sansürleme Süresi(sn)	17.7	78.7	167,09	134.4	147.80	397.0	199.0	298.70	348.4	1122.0

5. Sonuç

Bu çalışmada geliştirilen sistem Türkçe videoların küfür ve argoya dayalı olarak otomatik sansürlenmesi için modüler bir mimariye sahiptir. Geliştirilen sistem, videolardaki sesin çıkarılması, konuşmanın metne dönüştürülmesi ve yasaklı kelime listesine göre tespit edilen rahatsız edici kelimelerin bulunduğu ses segmentlerinin bip sesi ile sansürlenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Geliştirilen otomatik küfür tespiti ve sansürleme sistemi uygulandığı 10 farklı Türkçe video içeriği üzerine yürütülen testlerde yüksek başarıyla sonuçlanmıştır. Analiz edilen videolarda 2.676 konuşma segmenti bulunmuştur. Bu segmentlerden, 85 segment (%3,18)'i küfür veya argo içerik tespit edilerek otomatik olarak bip sesiyle sansürlenmiştir. Sansürlenilen segmentin sayısı video bazında 1-29 arasında değişiklik gösterirken, sansür oranları da %0,74 ile %50 aralığında gerçekleşmiştir. Tespit edilen argo veya küfürlü farklı ifade sayısı ise video başına 1 ile 6 arasında tespit edilmiştir. Üretilen toplam bip sesi süresi 224.281 milisaniye (~3 dakika 44 saniye) olarak hesaplanmıştır. Sistem, kısa videolar için 17,7 saniye gibi çok kısa bir sürede sansürleme işlemini tamamlayabilirken, en uzun videoda bu süre 1122 saniyeye kadar ulaşmıştır. Yöntemin farklı aksan, konuşma hızlarına, ses kalitesi ve videoların kalitelerinin düşüklüğüne rağmen yüksek doğruluk oranıyla çalıştığı gözlenmiştir.

Literatürde metin tabanlı küfür ve nefret söylemi tespiti üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen (Çelik ve Yıldırım, 2020; Baydoğan ve Alatas, 2021; Kurt ve Demirel, 2023; Alawi vd., 2023; Nasiboğlu ve Gencer, 2023), bu çalışmada küfür içeriklerinin sesli medya içerikleri üzerinden otomatik olarak sansürlenmesini hedeflemişlerdir. Bu çalışmada sunulan yöntemle benzer en yakın çalışma Tayız ve Canayaz (2021) ait olan çalışmadır. Önerilen sistemin bu literatürden en önemli farklı ise ses verilerinin metne dönüştürülerek sansürlenecek yerlerin metinlerden faydalanarak belirlenmesidir.

Ancak sunulan sistemin mevcut haliyle bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Önceden tanımlanmış kelime listesi argo ve küfür tespitinde sınırlı kalabilmektedir. Örneğin, çok anlamlı kelimeler veya yeni ortaya çıkan argo ifadeler sistem tarafından her zaman doğru şekilde algılanamamaktadır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda makine öğrenmesi destekli küfür algılama yöntemlerinin entegrasyonu yapılması daha doğru sonuçları ortaya çıkarabilir. Ayrıca gerçek zamanlı video işleme kapasitesi eklenerek canlı yayınlarda da uygulanabilir hale getirilmesi daha kullanışlı bir yapı olmasına sebep olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma Türkçe dijital içeriklerde argo ve uygunsuz dil kullanımının otomatik olarak sansürlenmesini sağlayan yenilikçi ve uygulanabilir bir çözüm sunarak hem içerik üreticilerine hem de dijital platformlara etik ve teknik açıdan önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kaynakça

- Alawi, A. E. B., Özyer, G. T., & Bozkurt, F., (2023). Textual-based Turkish offensive language detection model, 16. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, Erzurum, Türkiye.
- Baydoğan, V. C., & Alatas, B. (2021). Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Nefret Söylemi Tespiti için Yapay Zeka Temelli Algoritmaların Performans Değerlendirmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 745-754.
- Bayrak, Ş., Karaca, A., Toson, F., Kocabey, A., & Arslanoğlu, F. B. (2023). BERT-Base Modeli ile Türkçe Sosyal Medya Paylaşımlarında Nefret Söylemi Tespiti. In 31st IEEE Conference on Signal Processing and Communications Applications (SIU). IEEE.
- Çelik, A., & Yıldırım, B. (2020, October). Turkish profanity detection enhanced by artificial intelligence. In 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- Eğin, F., & Bulut, V. (2023). Mültecilere Yönelik Nefret Söyleminin Tespitinde Makine Öğrenmesi Modellerinin Kullanılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (48), 19-22.
- Gedik, M., & Akın, E. (2016). Tek Kişilik Gösterilerde (Stand-Up) Kullanılan Argo Dilinin Tespiti Üzerine Bir İnceleme (Ata Demirer, Cem Yılmaz, Atalay Demirci Örneği). Ekev Akademi Dergisi, (66), 415-432.
- Kurt, M. S., & Demirel, E. Y. (2023). Türkçe Hakaret ve Nefret Söylemi Otomatik Tespit Modeli. Veri Bilimi, 6(1), 61-73.
- Nasiboglu, R., & Gencer, M. (2023). Adlandırılmış Varlık Tanıma Modelleri ile Türkçe Sosyal Medya Metinlerinde Küfürlü Sözlerin Sansürlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 72-88.
- Öztürk, F. E. (2021). Salgınla Yayılan Nefret: Twitter'da 65 Yaş Üstü Bireylere Yönelik Nefret Söylemi. Ege Üniversitesi İletişim Fakültesi Yeni Düşünceler Hakemli E-Dergisi, (15), 143-159.
- Öztürk, F. E. (2022). Çevrimiçi okur yorumlarında Suriyeli sığınmacılara yönelik nefret söylemi: altındağ örneği. İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(4), 508-530.
- Şahin, S. (2024). Çevrimiçi sosyal ağlarda rahatsız edici davranış tespiti ve azaltma stratejileri (Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi).
- Tayız, M. M., & Canayaz, M. (2021). Evrimsel Sinir Ağları ile Türkçe Videolarda Geçen Küfür Seslerinin Sansürlenmesi. Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2(2), 101-110.
- Yakar, Ö., Büyüktanır, B., Çil, A. E., & Girgin, A. B. A. (2024). Türkçe Nefret Söylemi Problemi Analizinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının ve Özellik Seçimi Yöntemlerinin Performans Karşılaştırması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (53), 97-111. nefret söyleminin temelleri. Global Media Journal TR Edition, Güz, 8(15), 364-383.
- Yanık, A. (2017). Sosyal medyada yükselen nefret söyleminin temelleri. Global Media Journal TR Edition, 8(15), 364-383.